



Diplomarbeit

Beschleunigung des Regionalverkehrs durch Erhöhung der Seitenbeschleunigung

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines
Diplom-Ingenieur (Dipl.-Ing. oder DI)

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften

von

Markus LADSTÄTTER, BSc

Mat.Nr.: 01326242

unter der Leitung von

Assistant Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Bernhard Rüger

Univ.Ass. Dipl.-Ing. Markus Lagler, BSc BA

Institut für Verkehrswissenschaften, E230

Wien, im März 2024

Unterschrift



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.

Ich nehme zur Kenntnis, dass ich zur Drucklegung dieser Arbeit nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass die vorliegende Arbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen von mir selbstständig erstellt wurde. Alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur, sind in dieser Arbeit genannt und aufgelistet. Die aus den Quellen wörtlich entnommenen Stellen, sind als solche kenntlich gemacht.

Das Thema dieser Arbeit wurde von mir bisher weder im In- noch Ausland einem Beurteiler_in zur Begutachtung in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt. Diese Arbeit stimmt mit der von den Begutachter_innen beurteilten Arbeit überein.

Ich nehme zur Kenntnis, dass die vorgelegte Arbeit mit geeigneten und dem derzeitigen Stand der Technik entsprechenden Mitteln (Plagiat-Erkennungssoftware) elektronisch-technisch überprüft wird. Dies stellt einerseits sicher, dass bei der Erstellung der vorgelegten Arbeit die hohen Qualitätsvorgaben im Rahmen der geltenden Regeln zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis „Code of Conduct“ an der TU Wien eingehalten wurden. Zum anderen werden durch einen Abgleich mit anderen studentischen Abschlussarbeiten Verletzungen meines persönlichen Urheberrechts vermieden.

Ort und Datum

Unterschrift



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

An dieser Stelle möchte ich die Möglichkeit nutzen, um mich bei allen Personen zu bedanken, die mich während der Erstellung dieser Arbeit begleitet und unterstützt haben.

Bedanken möchte ich mich bei Herrn Assistant Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Bernhard Rüger und Herrn Univ.-Prof. i.R. Dipl.-Ing. Dr.techn. Norbert Ostermann die mir ermöglichten am für mich fakultätsfremden Institut für Verkehrswissenschaften meine Arbeit abzuhandeln. Gleichmaßen möchte ich mich beim Herrn Studiendekan Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.mont. Paul Heinz Mayrhofer für die Genehmigung, die verfasste Arbeit an der Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften einreichen zu dürfen, bedanken. Für wertvolle Diskussionen und anregende Gespräche gilt mein Dank Herrn Univ.Ass. Dipl.-Ing. Markus Lagler, BSc BA. Besonders bedanken möchte ich mich bei allen Personen des Instituts für Verkehrswissenschaften für die herzliche Aufnahme und der Hilfsbereitschaft.

Weiters möchte ich mich bei der ÖBB-Infrastruktur AG als auch bei der SKF Österreich AG für die zur Verfügung gestellten Daten und reichlichen Informationen bedanken, ohne die diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

Ein Dank gebührt meinen langjährigen Kollegen und Freunden, bei denen ich immer das Gespräch zum Austauschen suchen konnte.

Im speziellen möchte ich mich bei meiner Familie und besonders bei meiner liebevollen Mutter und meinem fürsorglichen Vater bedanken, ohne ihnen und dem Rückhalt wäre eine studentische Laufbahn nicht möglich gewesen. Das Wissen immer nach Hause kommen zu können ist für mich von unschätzbarem Wert.

Zuletzt will ich mich zuinnerst bei meiner wundervollen Kollegin, Freundin und Partnerin bedanken, durch die ich heute der Mensch bin, der ich sein will.

Für Julia

Wir haben zwei Leben.

Das zweite beginnt in dem Moment,

in dem wir erkennen,

dass wir nur eines haben.





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.

Zur besseren Lesbarkeit wird in der vorliegenden Arbeit auf die simultane Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen verzichtet. Es wird das generische Maskulinum präferiert, wobei alle Geschlechter gleichermaßen gemeint sind. Im Sinne der sprachlichen Vereinfachung soll dies als geschlechtsneutral zu verstehen sein.



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.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	III
Abstract.....	V
1 Einleitung.....	1
1.1 Forschungsfragen	2
1.2 Methodologie	3
2 Grundlagen.....	5
2.1 Trassierungselemente	5
2.1.1 Trassierung im Grundriss	5
2.1.2 Trassierung im Aufriss	6
2.2 Seitenbeschleunigung bei Bogenfahrt	7
2.3 Überhöhung.....	8
2.3.1 Ausgleichende Überhöhung	9
2.3.2 Überhöhungsfehlbetrag und -überschuss.....	10
2.4 Überhöhungsrampe	11
2.4.1 Gerade Überhöhungsrampe.....	12
2.4.2 Geschwungene Überhöhungsrampe	13
2.4.3 Weitere Formen von Überhöhungsrampen	15
2.5 Übergangsbogen.....	15
2.5.1 Übergangsbogen mit gerader Krümmungslinie	16
2.5.2 Übergangsbogen mit geschwungener Krümmungslinie	17
2.5.3 Wiener Bogen®	19
2.6 Neigetechnik	20
2.7 Aktuelle Richtlinien und Vorgaben	21
2.7.1 Nationale Richtlinien und Konzernvorgaben in Österreich.....	23
2.7.2 Grenzwerte	23
2.7.3 Nationale Richtlinien und Konzernvorgaben in Deutschland Schweiz	31
2.7.4 Weitere Bahnbetriebe.....	31
3 Ausgangssituation der derzeitigen Trassierung.....	32
3.1 Strecken in Österreich für Fahrten mit erhöhter Seitenbeschleunigung.....	34
3.2 Analyse der ausgewählten Strecke – Laaer Ostbahn	36

3.3 Fahrplananalyse in FBS.....	38
4 Anpassung des Geschwindigkeitsprofils durch Parametervariation	44
4.1 Geschwindigkeitsprofile am Beispiel Desiro ML und ICE-T (NeiTech).....	51
4.2 Fahrplananalyse mit zusätzlicher Seitenbeschleunigung in FBS.....	55
4.3 Alternative Möglichkeit der Fahrzeioptimierung durch softwarebasierte Überhöhungsanpassung	60
5 Auswirkungen einer erhöhten Seitenbeschleunigung	62
5.1 Auswirkungen auf den Oberbau	62
5.2 Auswirkungen auf Fahrzeug und Wagen.....	64
5.3 Grenze zur Entgleisung.....	66
5.4 Komfortgrenzen für Menschen	67
5.5 Ladungsverschiebung im Güterverkehr	68
6 Zusammenfassung und Ausblick.....	71
6.1 Fazit	71
6.2 Beantwortung der Forschungsfragen	75
6.3 Weiterer Forschungsbedarf.....	77
Abbildungsverzeichnis	80
Tabellenverzeichnis	81
Abkürzungsverzeichnis	83
Literaturverzeichnis	87
Anhang A.....	97
A.1 Originales Fahrplanbild	98
A.2 Nachbildung des Fahrplanbildes.....	102
A.3 Neues Musterfahrplanbild	104
Anhang B	106
B.1 Ausgangssituation	107
B.2 Bestandsstrecke	108
B.3 Mischverkehr	116
B.4 Personenverkehr	124

Kurzfassung

Die Attraktivierung der regionalen Eisenbahnstrecke gewinnt durch die immer schnelllebigeren Gesellschaft und den Wunsch, ohne viel Zeitverlust an Reiseziele zu gelangen, an Bedeutung. Es gibt eine Vielzahl verschiedener Ansätze um den Regionalverkehr zu beschleunigen. In der vorliegenden Arbeit wird die Möglichkeit zur Steigerung der Fahrtgeschwindigkeit durch Erhöhung der zulässigen Seitenbeschleunigung bei der Durchfahrt von Bögen am Beispiel einer bereits existierenden Regionalbahnstrecke in Österreich genauer analysiert. Ein Einblick zu Trassierungselementen und aktuell gültigen Grenzwerten bietet eine umfangreiche Literaturrecherche. Im Vergleich ausgewählter Eisenbahnstrecken basierend auf die Anzahl der Bögen pro Kilometer eignet sich die Laaer Ostbahn für eine genauere Untersuchung. Der Fahrplan der betrachtenden Strecke (Wien – Laa an der Thaya) wird detailgetreu im Fahrplanbearbeitungssystem des Herstellers iRFP nachgebildet. Darauf aufbauend werden verschiedene Methoden unter Ausnutzen der Trassierungsgrenzwerte bei unterschiedlichen unausgeglichenen Seitenbeschleunigungen mit und ohne einer Veränderung des Oberbaus anhand von neuen Geschwindigkeitsprofilen miteinander verglichen. Ebenso wird auf den Sachverhalt der Überhöhungsanpassung als auch auf die Nutzung von Fahrzeugen mit einer Neigetechnik eingegangen. Die Variante des Desiro MainLine von Siemens als leichtes Fahrzeug und des Regionalexpress bestehend aus dem Doppelstockwagen unter Nutzen des Ausnahmegrenzwertes für die unausgeglichene Seitenbeschleunigung stellen eine sinnvolle Kombination auf der Strecke ohne Änderung der Überhöhung dar, um eine Fahrzeitreduktion zu realisieren. Der gewählte Umstand wird unter Einhaltung der vorgegebenen Regelaufenthaltszeiten und Optimierung der Trassenbelegung in die Software Fahrplanbearbeitungssystem implementiert und ein neuer Musterfahrplan mit resultierender Fahrzeitverkürzung extrahiert. Eine Beschleunigung des Regionalverkehrs durch Erhöhung der Seitenbeschleunigung bringen negative Effekte für Fahrzeug und Oberbau mit sich. Instandhaltungsintervalle und Radsatzlagerbelastungen werden hinsichtlich einer öfters größeren Beanspruchung begutachtet und bewertet. Die Arbeit zeigt unabhängig der negativen Effekte, dass unter Verwendung verschiedener Methoden eine Beschleunigung des Regionalverkehrs durch Erhöhung der Seitenbeschleunigung als auch durch weiteren Maßnahmen möglich ist.



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 enhancement of the regional railway route gains importance due to society becoming increasingly fast-paced and the desire to reach destinations without significant time loss. There are various approaches to accelerating regional transportation. In this paper, the possibility of improving travel speed by increasing the permissible lateral acceleration when passing through curves is analyzed in more detail using the example of an existing regional railway line in Austria. Extensive literature research provides an insight into track elements and currently valid limit values. In a comparison of selected railroad lines based on the number of curves per kilometer, the Laaer Ostbahn is suitable for a more detailed investigation. The timetable of the line under consideration (Vienna – Laa an der Thaya) is reproduced in detail in the timetable processing system by the manufacturer iRFP. Based on this, various methods are compared using the track limits with different unbalanced lateral accelerations with and without a change to the railway track using new velocity profiles. The issue of cant adjustment and the use of vehicles with tilting technology are also discussed. The combination of the Desiro MainLine from Siemens as a lightweight vehicle and the Regional Express consisting of double-decker coaches, using the exception limit for unbalanced lateral acceleration, represents a practical solution on the route without altering the cant, thus achieving a reduction in travel time. The selected circumstance is implemented in a timetable processing system in the compliance with the specified standard stopping times, resulting in a new sample timetable with reduced travel times. Accelerating regional traffic by increasing lateral acceleration has negative impacts on the vehicle and track. Maintenance intervals and wheelset bearing loads are assessed and evaluated concerning increasingly higher levels of stress. Regardless of the negative effects, the work shows that it is possible to accelerate regional transport by increasing lateral acceleration.



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.

1 Einleitung

Das System Bahn besteht aus einem komplexen Zusammenspiel von zahlreichen voneinander abhängigen Teilsystemen. In Bahnbetrieben können Parameter ausfindig gemacht werden, welche eine Veränderung auf die Fahrzeit von Zügen auf Eisenbahnstrecken bewirken. Das Ausnutzen von Trassierungsgrenzwerte ermöglicht eine merkbare Fahrzeitverkürzung. Geschwindigkeiten, welche auf betrachteten Streckenabschnitten gefahren werden können, haben neben Betriebsabläufen oder Beschleunigungs- und Bremsvermögen einen Einfluss auf die Fahrzeit. [1] Durch das Anheben der bogenäußeren Schiene kann aufgrund der Überhöhung die zulässige Geschwindigkeit im Kreisbogen erhöht werden. Die Seitenbeschleunigung kann in der Bogenfahrt durch eine zusätzliche Überhöhung reduziert werden. [2] Die Ausnutzung der Trassierungsgrenzwerte und ein dadurch resultierender Fahrzeitgewinn für Passagiere stehen einer negativen Entwicklung im Fahrkomfort als auch einer erhöhten Oberbaubeanspruchung gegenüber [1]. Insbesondere bei Strecken mit Mischverkehr (MV) steigen die Belastungen basierend auf eine Anhebung der Überhöhung durch einen langsam fahrenden Verkehr auf die bogeninnere Schiene stark an. [3] Eine zusätzliche Überhöhung, im Vergleich zur Ausgangssituation, gleicht nur ein schneller fahrender Verkehr aus, um einen identischen Überhöhungsfehlbetrag zu erreichen. Für einen langsamen Eisenbahnverkehr (z.B. Güterzug) auf einer Strecke mit zusätzlicher Überhöhung sinkt der Überhöhungsfehlbetrag in Bezug zur unveränderten Ausgangsgeschwindigkeit, sofern ein Überhöhungsfehlbetrag vorliegt. Liegt im Gegensatz im betrachteten Fall bereits ein Überhöhungsüberschuss vor, so nimmt dieser bei zusätzlicher Überhöhung zu. Beides hat eine zusätzliche Belastung für die Bogeninnenschiene zur Folge. Ein schneller fahrender Verkehr hat durch den Kompromiss eines gewissen Überhöhungsfehlbetrages das Anlaufen des Radsatzes als auch das Auftreten von Verschleiß des Schienenkopfes der bogenäußeren Schiene zur Folge [3].

Einerseits ist die Überhöhung durch die Lagebeständigkeit des Gleises und die Bedingungen der festen Fahrbahn durch den Hersteller und andererseits durch die Komfortgrenzen für den Fahrgast sowie der Ladungsverschiebung im Güterverkehr, im jeweiligen bei langsamer Fahrt und bei Halt des Zuges technisch begrenzt. [4]

Eine weitere Möglichkeit zur Fahrzeitreduktion stellt die gleisbogenabhängigen Wagenkastensteuerung (Neigetechnik) dar. Bei diesem Verfahren wird der Wagenkasten zur Bogeninnenseite geneigt und die wirkende Seitenbeschleunigung reduziert. Daraus ergibt sich eine bogenschnelle Fahrt, ohne den Komfort zu beeinträchtigen. [2]

Die Regeln der Trassierung setzen sich aus den derzeitigen Vorgaben der Eisenbahn-Bau- und Betriebsverordnung (EisbBBV in Österreich, vgl. auch die EBO in Deutschland) und/oder aus den Technischen Spezifikationen für die Interoperabilität Teilsystem Infrastruktur (TSI INF) mit ihrem Geltungsbereich in der Europäischen Union zusammen. [5] Darüber hinaus sind länderspezifische Regelungen wie in Deutschland die Richtlinien der Deutschen Bahn (DB) oder in Österreich die Regelwerke der Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB) als auch Leitlinien durch Normen einzuhalten. Ergänzend müssen die Richtlinien und Vorschriften für Eisenbahnen (RVE) herangezogen werden. Für nicht vom Bunde betriebene Eisenbahnen kommen Vorgängervorschriften (B 51/P) zur Geltung, analog zu Schmalspurbahnen (B 52). Siehe auch [6] für weitere Informationen.

Die genannten Tatsachen zeigen ein eventuell vorhandenes Potenzial der Fahrzeitgewinnung einer ausgewählten und in Betracht gezogenen Eisenbahnstrecke sowie die daraus entstehende Nachteile, welche Maßnahmen erfordern, auf.

1.1 Forschungsfragen

Mit einem Ausnutzen oder Anpassen der Trassierungsgrenzwerte und der damit einhergehenden Erhöhung der Geschwindigkeit auf Eisenbahnstrecken setzt sich die Arbeit zum Ziel, die Beschleunigung des Regionalverkehrs auf Basis der Seitenbeschleunigung als Parametervariation zu untersuchen. Die damit im Zusammenhang stehenden Forschungsfragen werden wie folgt formuliert:

- Welche Fahrzeitreduktion ergibt sich durch eine höhere Geschwindigkeit im Kreisbogen und der damit verbundenen erhöhten Seitenbeschleunigung in der zu betrachtenden Eisenbahnstrecke?
- Wie ist eine solche Fahrzeitreduktion zu erreichen und ist ein Anpassen der derzeit existierenden Trassierungsgrenzwerte notwendig? (in Bezug auf eine Erhöhung der zulässigen Seitenbeschleunigung)
- Welche Voraussetzungen sind notwendig, um die Geschwindigkeit bei Bogenfahrt weiter zu erhöhen?

- Was für Auswirkungen ergeben sich für Oberbau und Fahrzeug?
- Welche Komfortgrenzen existieren für den Menschen in Transportmitteln und sind diese gegebenenfalls anzupassen?
- Wie wirkt sich eine erhöhte Seitenbeschleunigung oder eine zusätzliche Überhöhung für den langsam fahrenden Güterzugverkehr und dessen Güter aus und existieren Vorgaben zum Transport von Gütern auf Schiene?

Im Rahmen der Arbeit werden die angeführten Fragestellungen anhand der Trassierungsgrenzwerte behandelt und den daraus ergebenden Antworten ausführlich diskutiert. Für die Analyse ist die zu betrachtenden Regionalbahnstrecke in Österreich notwendig. Ein geeigneter Streckenabschnitt wird mit Hilfe der Netzkarte der ÖBB-Infrastruktur AG als auch mit OpenStreetMap ausgewählt und abgegrenzt.

1.2 Methodologie

Zu Beginn der Diplomarbeit wird eine systematische Literaturrecherche durchgeführt, um den Themenbereich der wissenschaftlichen Arbeit abzugrenzen. Dabei werden die derzeitigen Trassierungsgrenzwerte, die Auswirkungen durch das Ausnutzen oder Anpassen dieser Werte als auch auf die Neigetechnik und dessen Effekt aufgezeigt. Gleichzeitig wird auf die unterschiedlichen Vorgaben länderübergreifend in Österreich, Deutschland und der Schweiz eingegangen.

Als nächsten Schritt wird ebenfalls mittels einer Literaturrecherche als auch in Diskussionen mit Experten eine detaillierte Streckenanalyse des ausgewählten Eisenbahnabschnittes in Österreich durchgeführt. Dabei wird mittels des Fahrplanbearbeitungssystem (FBS) [7], einem Computerprogramm zur Eisenbahnbetriebsplanung, die Ausgangssituation der Strecke betrachtet sowie Stellung zur derzeitigen Trassenausnutzung (bezogen auf die zulässige Geschwindigkeit) genommen. Der öffentlich zugängliche Fahrplan des Regionalverkehrs wird zum aktuellen Zeitpunkt erläutert und in der genannten Software implementiert und abgebildet.

Anhand einer Anpassung der Trassierung durch eine Parametervariation werden die möglichen Grenzen der Eisenbahnstrecke aufgezeigt. Im speziellen wird auf die Seitenbeschleunigung mit und ohne einer zusätzlichen, zur bereits existierenden, Überhöhung eingegangen. Im Zuge dessen wird eine mögliche neue zulässige Höchstgeschwindigkeit für die einzelnen Streckenabschnitte ausgewertet. Darüber hinaus wird auf die Trassierungsgrenzwerte bei gleichzeitiger Verwendung der Neigetechnik und

1 Einleitung

deren Auswirkung auf den betrachtenden Streckenabschnitt eingegangen. Ein neues Fahrplanbild, um Zeiteinsparungen auf der Strecke zu visualisieren, wird wie in der Ausgangssituation durch FBS erstellt.

Auswirkungen der Parametervariation werden für Fahrzeug und Oberbau und den daraus resultierenden Instandhaltungsintervallen durch eine zusätzliche Belastung diskutiert. Komfortgrenzen für den Menschen und eine Ladungsverschiebung im Güterverkehr durch eine zusätzliche Überhöhung werden ebenfalls behandelt.

Abschließend gibt die Diplomarbeit Antworten zu den gestellten Forschungsfragen und bietet damit einen Überblick zur Entscheidungsfindung, ob eine Anpassung oder ein Ausnutzen der Trassierungsgrenzwerte für die ausgewählte Strecke für sinnvoll erscheint. Ein Vergleich zur Ausgangssituation wird angestellt und Ergebnisse möglichst einfach interpretiert. Ein Ausblick auf noch zusätzliche Analysen zur Aufgabenstellung wird am Ende der Arbeit angeführt.

2 Grundlagen

Mobilität wird im heutigen Zeitalter zur Bedingung. Effizienz bedeutet verschiedene Distanzen komfortabel und schnell zu bewältigen. Dabei ist die Effizienz als Anzahl der Wege pro Tag definiert [8]. Zur alltäglichen Notwendigkeit gehört beispielsweise ein Pendeln zum Arbeitsplatz als auch in die Ausbildungsstätte. Am Reiseziel stressfrei anzukommen wird von immer größerer Bedeutung. [9] Öffentliche Verkehrsmittel werden zu reisenden Büros und mobilen Erholungsstätten für Dienstleistungsnehmer. Reisende wollen demnach zu jedem Zeitpunkt komfortabel zur Zielankunft gelangen. [10] Die Eigenschaften schnell und gleichzeitig komfortabel zu reisen stehen möglicherweise im Konflikt zueinander, den es in der Diplomarbeit zu untersuchen gilt. Ohne einer Anpassung der Trassierung oder anderen Maßnahmen nimmt bei Erhöhung der Geschwindigkeit der Komfort unweigerlich ab. Durch eine schnellere Bogenfahrt erhöht sich die Seitenbeschleunigung welche als Passagier zu vernehmen ist.

Dem gegenüber steht der Transport von Gütern auf der Schiene. Mehr Fracht soll rascher und öfter zum Kunden gelangen. Auf absehbarer Zeit wird der Güterverkehr weiter ansteigen. Eine Situation, welche dem Schienenverkehr Kapazitäten und Effizienz abverlangt. [11] Durch eine höhere Geschwindigkeit im Kreisbogen kann die Anzahl der Umläufe gesteigert werden. Vorgaben für Ladung und Gut gilt es dabei zu berücksichtigen.

2.1 Trassierungselemente

Als Trasse oder Trassierung wird der Fahrweg der Bahn bezeichnet, welcher das Ergebnis der Anwendung von geometrischen Elementen (Trassierungselementen) ist. Unterschieden wird der Einsatz von Elementen im Grund- und Aufriss. Ersteres beinhaltet Geraden, Kreisbogen sowie Übergangsbogen. Längsneigungen werden im Aufriss betrachtet. [12]

2.1.1 Trassierung im Grundriss

Das bevorzugte Trassierungselement ist die Gerade. Als kürzeste Verbindung zweier Punkte erlaubt sie ebenso die kürzeste Fahrzeit bei geringeren Baukosten. Eine Anbindung ohne weitere geometrischer Elemente, um Hindernisse zu umgehen, wird nur bedingt oder gar unmöglich sein. Folglich sind Kreisbogen zu verwenden, in der Regel mit konstantem Radius bei der Durchfahrt. Die Krümmung (k) der Trasse ist gemäß Gleichung (1) mit dem Kehrwert des Radius (R) definiert. Auf einer Gerade ergibt sich dadurch $k = 0$. [12]

Eine Abknickung mit $k = \infty$ kommt in der Trassierung nicht vor.

$$k = \frac{1}{R} \quad (1)$$

Im Eisenbahnwesen wird aufgrund der größeren Radien die Krümmung k mit 1000 multipliziert und somit im Maßstab dargestellt. Der Wechsel von Trassierungselementen führt zu Unstetigkeitsstellen [2]. Eine plötzliche Änderung des Radius wird als unangenehmer Ruck spürbar wahrgenommen. Um einen Ruck zu vermeiden, werden Übergangsbogen verwendet. Der Krümmungsradius soll immer den angrenzenden Trassierungselementen entsprechen. Übergangsbogen beginnen am Ende der Geraden mit einer Krümmung von $k = 0$ und einem entsprechendem Radius $R = \infty$. Am Beginn des Bogens sowie am Ende des Übergangsbogen stellt sich der Bogenradius ein. Der Krümmungsanstieg von Übergangsbogen ist stetig. Ohne eines solchen Übergangsbogen würde die Krümmung zwischen Gerade und Bogen sprunghaft ansteigen. [12] Einen linearen Krümmungsverlauf über die gesamte Übergangslänge erfüllt die Klothoide. Für die Trassierung einer Schienenbahn findet die Klothoide den häufigsten Gebrauch. [2] Weitere Formen der Krümmungslinie werden in Kapitel 2.5 beschrieben.

In der Planung sind Krümmungswechsel in Übergangsbogen bei planmäßig befahrenen Gleisen (Hauptgleise) sowie der freien Strecke und deren Fortsetzung in Bahnhöfen zu berücksichtigen. Allen übrigen Gleisen (Nebengleise) erfolgt eine Trassierung jedoch ohne Übergangsbogen. [2]

Koordinatentreue Krümmung und Radius sind bei einem Rechtsbogen während aufsteigender Kilometrierung der Strecke positiv und negativ in einem Linksbogen. [13]

2.1.2 Trassierung im Aufriss

Die Neigungslinie (Steigung und Gefälle) wird im Aufriss als Gerade abgebildet. Ein Neigungswechsel wird mit einem Kreisbogen ohne Übergangsbogen ausgerundet. [2]

Längsneigungen im Aufriss haben folgende Bedingungen zu erliegen:

Eine vorgegebene Geschwindigkeit muss sowohl bei positiver und negativer Steigung möglich sein. Bei einer positiven Steigung muss der Zug von selbst wieder anfahren können. Abwärts muss gegebenenfalls die Geschwindigkeit begrenzt werden, um dem Zug ein vollständiges Anhalten zu erlauben. [12]

2.2 Seitenbeschleunigung bei Bogenfahrt

Ein Körper mit einer Masse (m_G) bewegt sich immer entlang einer geradlinigen Bahn, sofern keine äußere Kraft auf ihn einwirkt. Eine kreisförmige Bahnbeschreibung ist nur möglich, wenn die Masse zum Kreismittelpunkt hin beschleunigt wird und eine Kraft den Körper auf der beschriebenen Bahn hält. Bewegt man sich als ein Beobachter mit der Körpermasse auf derselben Kreisbahn mit, wird eine entsprechende Gegenkraft wahrgenommen. Diese spürbare Scheinkraft wird Zentrifugalkraft (F) genannt und ergibt sich aus dem Kraftgesetz gemäß Gleichung (2). [14]

$$F = m_G * a \quad (2)$$

Wobei die Zentrifugalbeschleunigung (a) durch die Geschwindigkeit (v) in [m/s] sowie dem Krümmungsradius R in [m] in Gleichung (3) beschrieben wird. [14]

$$a = \frac{v^2}{R} \quad (3)$$

Als Mitfahrender auf der Bahn bei Durchfahrt eines Kreisbogens in Fahrtrichtung rechts, scheint eine Kraft zu wirken, die den eigenen Körper nach links beschleunigt. Dem Trägheitsgesetz entsprechend versucht man sich weiterhin geradeaus zu bewegen und wird erst durch die wirkende Zentripetalkraft auf die betreffende Kreisbahn gezwungen. [14]

Im Rad-Schiene-System wird die Zentrifugalkraft über den Spurkranz in die Schiene geführt. Sie ist jedenfalls zu begrenzen, um folgende Effekte zu vermeiden: [2], [12]

- Entgleisung, sofern Zentrifugalkraft im Verhältnis zur Gewichtskraft zu groß wird (Aufklettern des Spurkranzes speziell bei hoher Reibung zwischen Rad und Schiene)
- Kippen des Fahrzeuges um die bogenäußere Schiene durch zu hohe Seitenkräfte
- Lageverschiebung des Gleises durch Horizontalkräfte
- Komfortkriterien für Reisende durch die Horizontalbeschleunigung
- Verrutschen von Fracht

2.3 Überhöhung

Zur Reduzierung der wirkenden Seitenbeschleunigung ist im Trassierungselement Kreisbogen eine Überhöhung vorgesehen. Eine Überhöhung wird durch Anheben der bogenäußere Schiene erzielt. Die zulässige Geschwindigkeit kann mithilfe einer Überhöhung im Kreisbogen weiter nach oben verschoben werden. [2]

„In den Bogen der durchgehenden Hauptgleise muss in der Regel die äußere Schiene höher liegen als die innere (Überhöhung).“ [15, §13 Absatz 4, EisBBV]

In der nicht überhöhten geraden Schiene befindet sich die Erdbeschleunigung (g) theoretisch in der Fahrzeugachse des aufgerichteten Wagenkastens. Bei Durchfahrt eines Kreisbogens neigt sich das Fahrzeug zur Kreismitte. Die horizontale Zentrifugalbeschleunigung a ist radial zur bogenäußeren Schiene wie in Abb. 1 entsprechend ausgerichtet. [2]

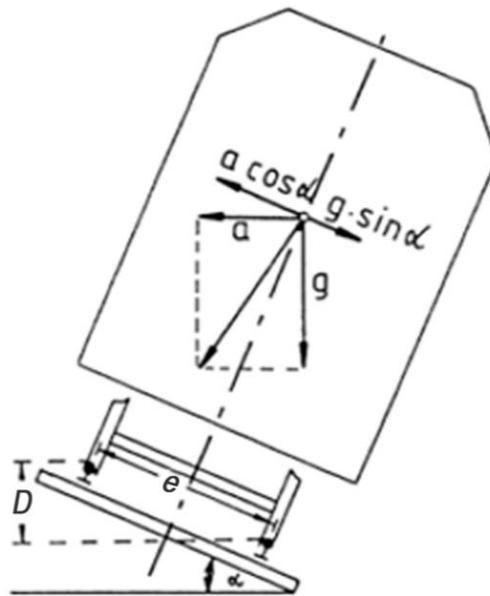


Abb. 1: Beschleunigungsanteile bei Bogenfahrt mit Überhöhung nach [2]

Darüber hinaus ist zu erkennen, dass sich der Neigungswinkel (α) aus der Überhöhung (D) und dem Normalabstand (e) der Schienenkopfmitten gemäß Gleichung (4) ergibt. [2]

$$\sin \alpha = \frac{D}{e} \quad (4)$$

Abhängig von der jeweils verwendeten Überhöhung mit dem Winkel α ergeben sich daraus die senkrecht zur Fahrzeugachse gerichteten Beschleunigungskomponenten. [16] Eine herkömmliche Überhöhung wird als positiv bezeichnet, sofern die außenliegende Schiene gegenüber der Inneren höher liegt. Als negative Überhöhung (jedoch mit mathematisch

positivem Wert) wird die höher liegende innere Schiene gegenüber der Äußeren beschrieben. Letzteres wird auch Untertiefung genannt. Es gibt die Konvention, dass im Sinne der Kilometrierung die koordinatentreue Überhöhung mit positivem Vorzeichen zu versehen ist, wenn die linke Schiene gegenüber der Rechten erhöht ist. Sollte das rechte Bogengleis gegenüber dem Linken erhöht sein, ist die koordinatentreue Überhöhung mit einem negativen Vorzeichen zu versehen. Bei gleichem Vorzeichen der koordinatentreuen Krümmung und der koordinatentreuen Überhöhung gilt die äußere Schiene als überhöht. Bei ungleichen Vorzeichen handelt es sich um eine Überhöhung des inneren Gleises. [13]

2.3.1 Ausgleichende Überhöhung

Werden die Parameter Überhöhung, Radius sowie Geschwindigkeit derart aufeinander abgestimmt, dass die Resultierende aus Seitenbeschleunigung und Gravitationsbeschleunigung in der Fahrzeugachse liegt, bezeichnet man die Überhöhung als ausgleichende Überhöhung (D_{EQ}). [17] Die Beschleunigungskomponenten senkrecht zur Fahrzeugachse sind im Falle der ausgleichenden Überhöhung nach Gleichung (5) betragsmäßig identisch. [2]

$$\frac{V^2}{R} * \cos \alpha = g * \sin \alpha \quad (5)$$

Für Normalspurbahnen mit einem Abstand der Schienenkopfmitten näherungsweise $e = 1500$ mm ergibt sich für kleine Winkel Gleichung (6): [2]

$$D_{EQ} = \frac{11,8 * V^2}{R} \quad (6)$$

Wobei die Geschwindigkeit in [km/h] und der Bogenradius in [m] einzusetzen sind. Als Resultat erhält man die ausgleichende Überhöhung in [mm]. Der Faktor 11,8 zur Berechnung der ausgleichenden Überhöhung setzt sich aus dem Schienenmittenkopfabstand und dem Umrechnungsfaktor von km/h auf m/s geteilt durch die Erdbeschleunigung zusammen. Bei ausgewählter Überhöhung kann es nur eine Geschwindigkeit geben, bei der die Beschleunigungskomponenten in der Fahrzeugachse liegen. [2] Überhöhung und Radius sind allgemein örtlich vorgegebene Größen und nur langfristig veränderbar. Im Normalfall fahren Züge gleicher Gattung auf gleichen Streckenabschnitten dieselben Richtgeschwindigkeiten und können dadurch mit einer ausgleichenden Überhöhung trassiert werden. Im Mischverkehr wird eine ausgewogene Überhöhung für einen ausgewählten Geschwindigkeitsbereich ober- oder unterhalb der Streckendurchschnittsgeschwindigkeit gesucht. [16]

2.3.2 Überhöhungsfehlbetrag und -überschuss

Weicht man von der Geschwindigkeit bei ausgleichender Überhöhung ab, sodass die Beschleunigungskomponenten nicht mehr in Fahrzeugachse liegen, wirkt eine freie nicht ausgeglichene Seitenbeschleunigung (a_q) zur Fahrzeug Innen- oder Außenseite. [2] Ist die Fahrtgeschwindigkeit größer als jene bei ausgeglichener Überhöhung, so ist die freie Seitenbeschleunigung positiv zur bogenäußeren Schiene gerichtet und ein Überhöhungsfehlbetrag (I) vorhanden. Bei Vorliegen einer kleineren Geschwindigkeit ist die frei wirkende Seitenbeschleunigung negativ zur Innenseite des Bogens ausgerichtet. Man spricht vom Überhöhungsüberschuss (E). [18] Die Beschleunigung a_q kann mit Gleichung (7) beschrieben werden. [2]

$$a_q = \frac{V^2 * \cos \alpha}{R} - g * \sin \alpha \quad (7)$$

Für kleine Winkel und dem genähertem Schienenkopfabstand folgt Gleichung (8): [2]

$$a_q = \frac{V^2}{12,96 * R} - \frac{D}{153} \quad (8)$$

Wobei die Geschwindigkeit erneut in [km/h], der Bogenradius in [m] und die eingebaute Überhöhung in [mm] einzusetzen sind. Daraus ergibt sich die freie Seitenbeschleunigung in [m/s²]. Multipliziert man mit dem Faktor 153 folgt der Überhöhungsfehlbetrag I nach Gleichung (9), wobei der Minuend daher der ausgleichenden Überhöhung D_{EQ} gleicht. [2]

$$I = D_{EQ} - D \quad (9)$$

Falls die eingebaute Überhöhung D größer als die ausgleichende Überhöhung D_{EQ} ist, folgt aus Gleichung (10) der Überhöhungsüberschuss E : [2]

$$E = D - D_{EQ} \quad (10)$$

Veranschaulicht werden soll der Überhöhungsfehlbetrag durch Anheben der bogenäußeren Schiene anhand der Abb. 2. [2]

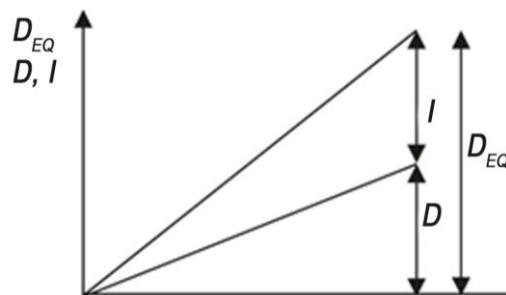


Abb. 2: Überhöhungsfehlbetrag bei vorgegebener eingebaute Überhöhung nach [2]

Definitionsgemäß ist die koordinatentreue unausgeglichene Seitenbeschleunigung im Sinne der Kilometrierung nach links wirkend positiv und nach rechts wirkend negativ. Ist die eingebaute Überhöhung gegenüber der ausgeglichenen kleiner, so besitzen die koordinatentreue Überhöhung, die koordinatentreue freie Seitenbeschleunigung als auch der Überhöhungsfehlbetrag gleiche Vorzeichen. Ist stattdessen die eingebaute Überhöhung größer als jene der ausgeglichenen, so ergeben sich für die koordinatentreue Überhöhung, die koordinatentreue unausgeglichene Seitenbeschleunigung sowie dem Überhöhungsfehlbetrag ungleiche Vorzeichen. Eine entsprechende Auflistung des beschriebenen Sachverhalts ist in Tab. 1 zu sehen. [13]

Tab. 1: Definition der Vorzeichen im koordinatentreuen System

Überhöhungsfehlbetrag			
$k > 0$ bzw. $D > 0$	$a_q > 0$	$l > 0$	Rechtsbogen
$k < 0$ bzw. $D < 0$	$a_q < 0$	$l < 0$	Linksbogen
Überhöhungsüberschuss (negativer Überhöhungsfehler)			
$k > 0$ bzw. $D > 0$	$a_q < 0$	$l < 0$	Rechtsbogen
$k < 0$ bzw. $D < 0$	$a_q > 0$	$l > 0$	Linksbogen

2.4 Überhöhungsrampe

Überhöhungen werden im Regelfall durch das Anheben der bogenäußeren Schiene zustande gebracht. Als Überhöhungsrampe wird der Bereich von $D = 0$ bis zum Erreichen der eingebauten Überhöhung bezeichnet. [16] Der Rampenanfang (RA) mit geringerer Überhöhung geht mit proportionaler Änderung zur Krümmung, im Aufriss gerade oder geschwungen, in das Rampenende (RE) über. Zur Regelform zählt bei Schienenbahnen die gerade Rampe. [2] Überhöhungsrampen können im Aufriss gerade oder aber auch geschwungen ausgeführt werden. Geschwungene Rampen werden in S-förmig geschwungene Rampen und Rampen nach Bloss unterschieden, welche später genauer beschrieben werden. Eine gemeinsame Betrachtung von Überhöhungsrampe und Übergangsbogen ist unerlässlich. Der Verlauf der Überhöhung muss dem der Krümmung gleichen. Allgemein sind Überhöhungsrampe und Übergangsbogen gleich lang anzufertigen, wobei die Länge durch die Rampenlänge vorgegeben ist. Neigungswechsel in Überhöhungsrampen sind aufgrund der Überlagerung von Vertikalbeschleunigungen zu vermeiden. [18]

2.4.1 Gerade Überhöhungsrampe

Die gerade Überhöhungsrampe wird in Form einer linear steigenden Geraden mit Übergang zur vollständigen Überhöhung als einfachste Art der Rampen angesehen. In [Abb. 3](#) zu sehen, wächst die Überhöhung proportional zur Entfernung (x) bei gegebenem Winkel α . [2]

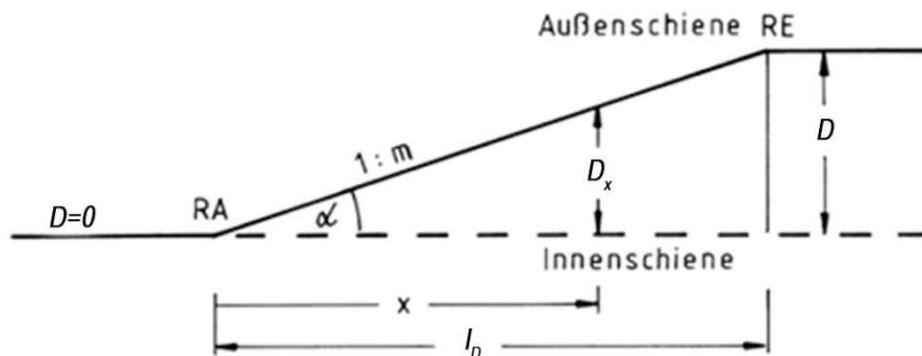


Abb. 3: Gerade Überhöhungsrampe nach [18]

Die Überhöhung (D_x) im Punkt x kann durch [Gleichung \(11\)](#) beschrieben werden. Mit der Rampenlänge (l_D) und D als vordefinierte geplante Überhöhung ergibt sich: [2]

$$D_x = \frac{D * x}{l_D} \quad (11)$$

Alternativ kann die Rampenneigung im Verhältnis ($1:m$) mithilfe der Rampenlänge und der Überhöhung durch [Gleichung \(12\)](#) definiert werden. [2]

$$m = \frac{l_D}{D} \quad (12)$$

Rampenanfang und Rampenende sollen sich bei allen Bahnen mit dem Anfang des Übergangsbogen (UA) und dem Ende (UE) überdecken. Die Länge des Übergangsbogen kann jedoch in Ausnahmefällen für die Rampenlänge autoritativ sein. Es ist notwendig, dass zwischen zwei geraden Überhöhungsrampen ein Gleisabschnitt mit vorgegebener Länge (l) in [m] ohne Veränderung der Überhöhung oder mit konstanter Überhöhung angeordnet ist. [2] Für den Gleisabschnitt bei einer zulässigen Geschwindigkeit (V_{zul}) in [km/h] gilt nach [Gleichung \(13\)](#) folgender Regelwert: [2], [13]

$$l \geq 0,4 * V_{zul} \quad (13)$$

Wobei man eine Zustimmungslänge für den Gleisabschnitt zwischen Weichen schon nach [Gleichung \(14\)](#) für Geschwindigkeiten kleiner 60 km/h erreicht: [2], [13]

$$0,4 * V_{zul} > l \geq 0,1 * V_{zul} \quad (14)$$

Kann kein Gleisabschnitt mit der in Gleichung (13) beschriebenen Länge aufgrund einer dichten Aufeinanderfolge der Gleisbögen hergestellt werden, besteht die Möglichkeit, stattdessen eine Scherenrampe (Gleisschere) anzuordnen. [2]

Im Gegensatz zu den geraden Rampen dürfen geschwungene Überhöhungsrampen unmittelbar ohne dazwischen liegendem Gleisabschnitt zusammenfallen. Dies gilt auch für den Übergangsbogen mit geschwungener Krümmungslinie im Grundriss. [2] Um spätere Änderungen an der Trassierung vorzunehmen, wird eine flachere Rampenneigung bei der Planung befürwortet. Rampen mit steileren Neigungen werden von Bahnen teilweise mit Ausrundungen am Rampenanfang und -ende versehen. [4]

2.4.2 Geschwungene Überhöhungsrampe

Der Abstand des Kreisbogens gegenüber der Geraden, um den Übergangsbogen einlegen zu können, ist bei einem Übergangsbogen mit geschwungener Krümmungslinie in etwa halb so groß wie im Vergleich des Übergangsbogens mit gerader Krümmungslinie. Geschwungene Rampen und Übergangsbogen werden oft verwendet, um Geschwindigkeitsverbesserungen der Bahn zu erreichen, wo bestehende Übergangsbogenlängen nicht ausreichen. Geschwungene Rampen können S-förmig oder nach Bloss entwickelt werden. [18] Eine weitere Möglichkeit stellt der Wiener Bogen® in Zusammenhang als Übergangsbogen dar. [13]

Zu sehen in Abb. 4 wird die S-förmig geschwungene Rampe, welche aus zwei spiegelgleichen quadratischen Parabeln ausgebildet ist. [18]

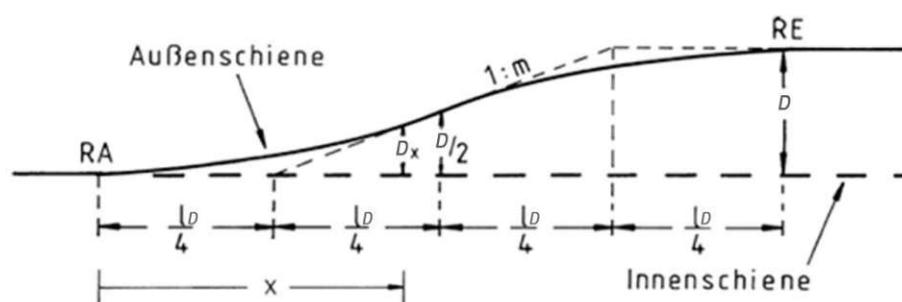


Abb. 4: S-förmig geschwungene Überhöhungsrampe nach [18]

Dabei gilt nach Gleichung (15) für die erste Hälfte der Überhöhung bis zur halben Rampenlänge für den Punkt x : [18]

$$D_x = \frac{2 * D * x^2}{l_D^2} \quad (\text{von } x = 0 \text{ bis } x = \frac{l_D}{2}) \quad (15)$$

Für die zweite Hälfte der Rampenlänge ergibt sich nach Gleichung (16): [18]

$$D_x = D - \frac{2 * D}{l_D^2} * (l_D - x)^2 \quad (\text{von } x = \frac{l_D}{2} \text{ bis } x = l_D) \quad (16)$$

In der Rampenmitte (RM) tritt die steilste Rampenneigung auf, siehe Gleichung (17). [18]

$$m = \frac{l_D}{2 * D} \quad (17)$$

Die Tangente entspricht hier gleichzeitig der Neigungslinie und schneidet die Auftragslinien jeweils bei einem Viertel der Rampenlänge. [18]

Die Rampe nach Bloss besteht aus einer Parabel dritter Ordnung und liefert dadurch Abb. 5. Bei gleicher vorgegebener Rampenneigung ist die S-förmige Rampe länger als die Rampe nach Bloss. [2]

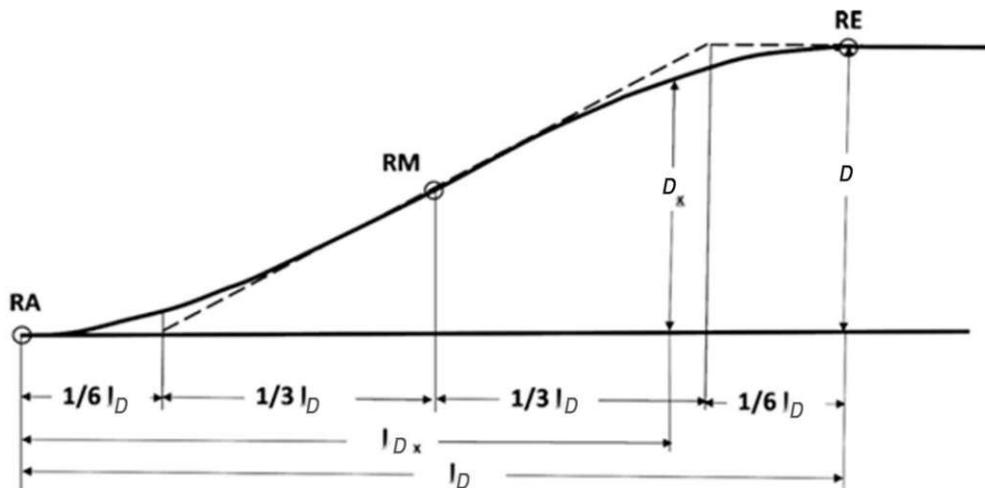


Abb. 5: Rampe nach Bloss nach [2]

Die Überhöhung im Punkt x kann bei der Bloss Rampe durch folgende Gleichung (18) beschrieben werden: [2]

$$D_x = D * \left(\frac{3 * x^2}{l_D^2} - \frac{2 * x^3}{l_D^3} \right) \quad (18)$$

Die Steigung in der Mitte der Rampe ist durch Gleichung (19) vorgegeben: [2]

$$m = \frac{l_D}{1,5 * D} \quad (19)$$

Die Tangenten schneiden bei Rampen nach Bloss jeweils bei einem Sechstel der gesamten Rampenlänge. In der Regel sind gerade Rampen und Übergangsbogen gegenüber der geschwungenen Kombination zu bevorzugen. Weiters sollen Rampen mit S-Form bei Instandhaltungsmaßnahmen in eine Rampe nach Bloss verändert werden. Wie bei der

geraden Überhöhungsrampe gilt auch bei geschwungenen, dass Rampenanfang und -ende mit dem Anfang und Ende des Übergangsbogen zusammenfallen sollen. [2]

2.4.3 Weitere Formen von Überhöhungsrampen

Verschiedenste Konzepte wurden im Verlauf der Zeit in Kombination von Überhöhungsrampe und Übergangsbogen offengelegt. Zu berücksichtigen ist immer ein Zusammenhang zwischen der Krümmungslinie des Übergangsbogen im Grundriss und dem Verlauf der Überhöhungsrampe. Weitere Formen der Überhöhungsrampen werden anhand der Übergangsbogen in Kapitel 2.5 erläutert.

2.5 Übergangsbogen

Schließt ein Gleisbogen unmittelbar an eine Gerade an, so erfährt das Fahrzeug am Bogenanfang (BA) einen geschwindigkeitsabhängigen Ruck. Durch Veränderung des Radius entsteht ein geschwindigkeitsunabhängiger Krümmungssprung. Bei Durchfahren einer Trassierung ändert sich der Überhöhungsfehlbetrag mit einem Wechsel der Trassierungselemente. Die Differenz kann zwischen zwei Elementen durch den Unterschied der Überhöhungsfehlbeträge beschrieben werden. Die Abstufung der Überhöhungsfehlbeträge (ΔI) am Krümmungssprung errechnet sich durch die Überhöhungsfehlbeträge der benachbarten Elemente (I_1, I_2) nach Gleichung (20) zu: [18]

$$\Delta I = |I_1 - I_2| \quad (20)$$

Dieser betragsmäßige Unterschied ist auch das entscheidende Auswahlkriterium für Übergangsbogen. Durch Einlegen eines Übergangsbogen mit stetiger und langsamer Steigung der Krümmung kann ein Ruck vermieden werden. Eine Planung der Trassierung mit Übergangsbogen gewährleistet eine Abwesenheit des Rucks. Ob ein Übergangsbogen eingelegt werden soll oder ob gänzlich auf ihn verzichtet werden kann, hängt von der Geschwindigkeit und dem Unterschied des Überhöhungsfehlbetrages ab. Wie bereits zuvor erwähnt sei nochmals angemerkt, dass in durchgehenden Hauptgleisen jedenfalls ein Übergangsbogen zur Vermeidung von Krümmungssprüngen anzuwenden ist. Der Krümmungsverlauf der Überhöhungsrampe hat den entsprechenden Vorgaben des Übergangsbogens Folge zu leisten. Bei Anwendung eines Übergangsbogens mit gerader Krümmungslinie ist ebenfalls eine gerade Überhöhungsrampe einzubauen. Dem Übergangsbogen mit geschwungener Krümmungslinie ist ebenso eine S-förmige Überhöhungsrampen oder eine Rampe nach Bloss zugeordnet. [18]

Bedeutet zusammengefasst, dass die Länge der Überhöhungsrampe maßgebend für den Übergangsbogen ist. Unter Umständen kann jedoch die Länge des Übergangsbogen für die Rampenlänge maßgebend sein, im Allgemeinen sollen aber Übergangsbogen und Überhöhungsrampe zusammenfallen ($UA = RA$ und $UE = RE$). Der Verlauf der Überhöhungsrampe ist jedoch nach jenem Krümmungsverlauf des Übergangsbogen auszuwählen. [18]

2.5.1 Übergangsbogen mit gerader Krümmungslinie

Bei einem Übergangsbogen mit gerader Krümmungslinie ist zwischen Gleisbogen und Gerade kein Krümmungssprung vorhanden. Im Verlauf der Krümmung existiert jedoch ein Knick. Am Beginn des Übergangsbogens nimmt die Krümmung von null bis zur anschließenden Krümmung des Kreisbogens linear zu. [19] Am Punkt der kleinsten Krümmung wird der Anfang des Übergangsbogens UA definiert, der Punkt mit der größten Krümmung im Verlauf wird als Übergangsbogenende UE deklariert. [16] Ein Rechtsbogen wird im Krümmungsbild koordinatengetreu positiv nach oben, ein Linksbogen negativ nach unten ausgehend von der Grundlinie abgebildet. Ein entsprechender linearer Krümmungsverlauf eines Gleisbogens nach links im Sinne der Streckenkilometrierung ist in [Abb. 6](#) zu sehen. [2]

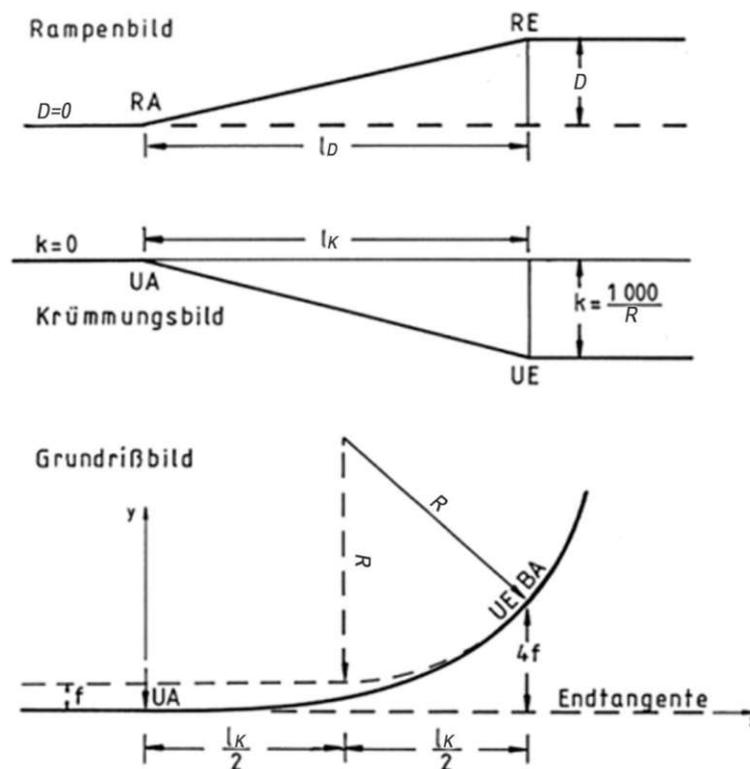


Abb. 6: Rampen-, Krümmungs- und Grundrißbild eines Übergangsbogens mit geradem Krümmungsverlauf nach [2]

Die Klothoide erfüllt die Ansprüche eines linearen Krümmungsbildes über die gesamte Bogenlänge des Übergangs (l_K). Dementsprechend ist für die Außenschiene eine gerade Überhöhungsrampe zu wählen. Am Ende des Übergangsbogens sollen Gleisbogen und Klothoide eine gemeinsame Tangente bilden. Ermittelt wird eine passende Klothoide durch rechengestützte Programme oder durch ein Klothoidenlineal. Die Absteckmaße der Klothoide sind in Tafeln tabelliert. [2] Der Kreisbogen muss um das Abrückmaß (f) von der Tangente entfernt werden, damit der Übergangsbogen eingebaut werden kann. In bestehenden Bahnanlagen ist eine nachträgliche Veränderung des Abrückmaßes nur mit großem Aufwand zu erreichen. [18]

2.5.2 Übergangsbogen mit geschwungener Krümmungslinie

Um höhere zulässige Geschwindigkeiten auf Bahnanlagen zu erreichen, sind die Überhöhungen zu vergrößern und eine längere Überhöhungsrampe muss verbaut werden. Das hat ebenfalls zur Folge, dass der Übergangsbogen verlängert werden muss. Das Abrückmaß wächst proportional mit der Übergangsbogenlänge. Um solche Änderungsmaßnahmen wirtschaftlich umsetzen zu können, wird die gesteigerte Überhöhung bei gleichbleibender Rampenlänge durch veränderte Rampenformen ausgebildet. Der geschwungene Krümmungsverlauf des Übergangsbogens wird wie nach dem Verlauf der geschwungenen Rampe (S-förmig oder nach Bloss) hergestellt. [18]

Analog zur S-förmigen Überhöhungsrampe besteht auch der Übergangsbogen nach S-Form aus zwei spiegelgleichen quadratischen Parabeln. Für die erste Hälfte des Übergangsbogens errechnet sich die Krümmung nach Gleichung (21): [2]

$$k = \frac{2 * x^2}{l_K^2} \quad (\text{von } x = 0 \text{ bis } x = \frac{l_K}{2}) \quad (21)$$

Die zweite Hälfte des Übergangsbogen (nach steilster Neigung in Rampenmitte) wird durch einen verlängerten Kreisbogen von UE bis zur Rampenmitte abgesteckt. Der Sachverhalt ist im Grundrissbild der Abb. 7 zu sehen. [2]

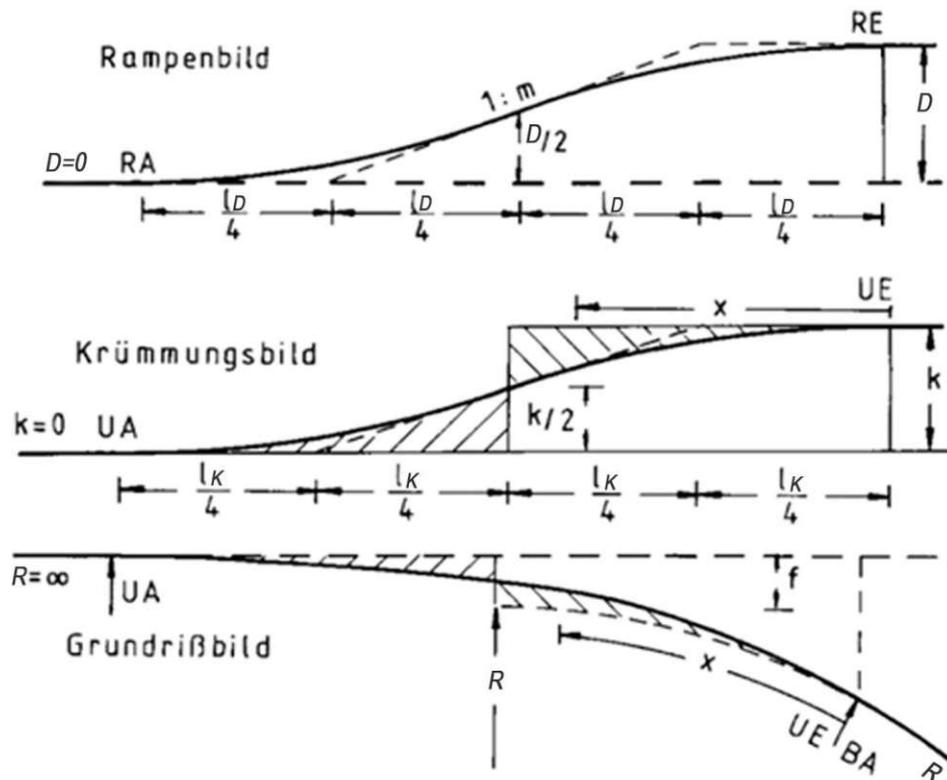


Abb. 7: Rampen-, Krümmungs- und Grundrißbild für einen Übergangsbogen mit geschwungenem Krümmungsverlauf nach [2]

Ein entsprechend ähnliches Verhalten ergibt sich mit Verwendung von Parabeln dritter Ordnung bei dem Übergangsbogen nach Bloss. In Abb. 7 zu sehen ist ein qualitativ ähnliches Rampen-, Krümmungs- und Grundrißbild für Übergangsbogen nach Bloss. [2]

Folgen zwei Gleisbogen dicht aufeinander, so sollen nie zwei getrennte Übergangsbogen mit gerader Krümmungslinie ausgebildet werden. Die jeweiligen Anfänge des Übergangsbogens sollen durch eine Zwischengerade voneinander getrennt werden. Folgen die Gegenbögen derart dicht aufeinander, sodass eine Zwischengerade mit vorgegebener Mindestlänge nicht eingebaut werden kann, so ist die Krümmung des ersten Übergangsbogen linear in die Krümmung des zweiten Übergangsbogens zu überführen. Folgen zwei Übergangsbogen mit geschwungener Krümmungslinie dicht aufeinander so sind diese direkt am Übergangsbogenanfang zu verbinden. [18] Das Fahrzeug reagiert bei jedem Krümmungswechsel auf die wechselnde Seitenbeschleunigung durch Änderung des Wankwinkels. Der Wagen schwingt dabei über die Gleichgewichtslage hinaus und stellt sich auf diese erst nach einer gewissen Zeit ein. Innerhalb dieses Zeitintervalls sollte kein weiterer Krümmungswechsel stattfinden. [4]

2.5.3 Wiener Bogen®

Der Wiener Bogen® ist ein Übergangsbogen mit kraftminimaler Überhöhungsrampe und einen glatten Verlauf der unausgeglichene Seitenbeschleunigung erzielt. Dabei wird die Gleismittellinie mit variabler Krümmung (entsprechend einer für die Überhöhung angenommene) nach einer nichtlinearen Funktion unter Berücksichtigung der Wankbewegung ausgelegt. Dieser Übergangsbogen ermöglicht eine Übereinstimmung mit Schwerpunkt- und Drallsatz in etwa für die Höhe des betrachtenden Fahrzeuges und bringt eine verbesserte Fahrdynamik mit sich. [20] Der Wiener Bogen® vermeidet negative Eigenschaften der gängigen Trassierungselemente wie ein unstetiger Überhöhungsverlauf und dessen stoßartigen Beanspruchungen von Fahrzeug und Gleis bei jeweils Anfang und Ende des Übergangs, was ebenfalls eine Verbesserung des Fahrkomforts und größeren Instandhaltungsintervallen mit sich bringt. Vielmehr wird bei diesem Übergangsbogen der Fahrzeugschwerpunkt als geführt betrachtet. Daraus entsteht ein proportionaler Zusammenhang zwischen Überhöhungsrampe und abgeleitetem Krümmungsverlauf im Grundriss, welche einen stetigen Verlauf der Überhöhung mit Sicherheit darstellt. Charakteristisch für den Wiener Bogen® ist ein Ausschwingen des Bogens in die Gegenrichtung (in Richtung der bogenäußeren Schiene des Übergangsbogens) im Anfangsbereich des Übergangsbogens. [21] Die Projektion des Schwerpunktes fällt bei dieser Art der Trassierung nicht mehr mit der Gleichachse im Grundriss zusammen. Stattdessen bildet sie im Bogen einen Abstand zu dieser. Vorschriften über eine notwendige Länge von Nachbarelementen sind beim Wiener Bogen® aufgrund der freien Gleisliefenführung nicht mehr notwendig, Damit kann mit dem beschriebenen Übergangsbogen deutlich unabhängiger trassiert werden. Erste Versuchsbögen wurden Ende des 20. Jahrhunderts auf der Westbahn sowie auf Nebenstrecken Attnang-Puchheim gelegt, welche ein 20% geringeres Kräftelevel zwischen Rad und Schiene zeigten. Eine äußerst wirtschaftliche Anwendung zeigt der Wiener Bogen® bei der Umtrassierung zur Geschwindigkeitserhöhung auf Strecken im Bestand. Durch den Austausch der herkömmlichen Klotheide können höhere Geschwindigkeiten erreicht werden bei gleichzeitig minimaler Verschiebung zur Ausgangstrasse. [22]

2.6 Neigetechnik

Zur Verringerung die auf den Fahrgast wirkende Seitenbeschleunigung kann bei schnell durchfahrenden Bögen die Neigetechnik (NeiTech) eingesetzt werden. Dabei wird der Wagenkasten des Fahrzeuggespannes zur Bogeninnenseite geneigt. Ziel der NeiTech ist es die auftretende Seitenbeschleunigung bei Kurvenfahrt minimal zu gestalten und die Komfortgrenzwerte für den Fahrgast nicht zu übersteigen. Sie findet dann ihre Anwendung, um Strecken schneller befahren zu können als für konventionelle Züge zugelassen. Gesprochen wird vom bogenschnellen Fahren oder vom Fahren mit erhöhter zulässiger Seitenbeschleunigung. Fahren Züge mit eingesetzter Neigetechnik, spricht man bei konventioneller Geschwindigkeit von einer Komfortneigung, da die Seitenbeschleunigung durch die zusätzliche Neigung des Wagenkastens nahezu auf Null abgebaut werden kann. Bei der Neigetechnik wird grundsätzlich in zwei Konzeptionen unterschieden; die aktive und passive NeiTech. [23]

Aktive Neigetechnik:

Die erste Ausführung beruht auf eine gleisbogenabhängige Steuerung, dabei wird der Wagenkasten pneumatisch, hydraulisch oder elektrisch während der Kurvenfahrt zur Innenseite geneigt. Eine Ansteuerung erfolgt über eine Sensorik, die entweder in der ersten oder letzten Fahrzeugachse des Zuges liegt. Die Neigung durch die NeiTech kann bis zu 8° gemessen von der Fahrzeugachse betragen und wird geschwindigkeitsabhängig automatisch aktiviert. [23] Zu den aktiven Systemen zählen auch Wagenkastenneigungen, welche wissensbasiert aus Streckendaten ohne teure Sensorik gewonnen werden. [24]

Passive Neigetechnik:

Dem vorigen System gegenüber steht eine Technik bei dem die Wagenkästen über hoch liegende mit Luft befüllte Federn frei pendelnd aufgehängt sind, sodass ein virtueller Drehpunkt oberhalb des Wagendaches entsteht. Bei Kurvenfahrt schwingt der Kasten unterhalb des Schwerpunktes aufgrund der Seitenbeschleunigung zur bogenäußeren Schiene und neigt sich so als Gesamtes zur Innenseite des Bogens. Dieses System kommt ohne Steuerungseinheit sowie Sensorik aus. Die passive Neigetechnik ist gegenüber der aktiven billiger sowie einfacher herzustellen. Eine mögliche Fahrzeitverbesserung ist aufgrund eines maximalen Neigewinkels von $3,5^\circ$ weniger ausgeprägt. Das System findet hauptsächlich ihre Anwendung, um eine Komfortneigung zu erreichen. [23] Zu beachten ist, dass die passive Neigetechnik unbedingt einer Überhöhung der bogenäußeren Schiene bedarf. [24]

Bisher hat der Einsatz der NeiTech gezeigt, dass es einen nicht zu vernachlässigen Anteil an Fahrgästen gibt, die empfindlich auf eine Neigung reagieren, besonders bei kurz aufeinanderfolgenden Neigungswechseln. In der wissensbasierten Neigetechnik sind daher Komfortkriterien zu berücksichtigen. Einerseits soll die Steuerung nur dann aktiv werden, wenn die Seitenbeschleunigung einen maximalen Grenzwert überschreiten würde und andererseits soll der Wagenkasten nur so weit geneigt werden, dass der Grenzwert der Seitenbeschleunigung minimal unterschritten wird. Zudem soll für Verstellgeschwindigkeiten der Neigung die volle Länge des Übergangsbogen genutzt werden und prinzipiell die Anzahl der Neigevorgänge minimiert werden. [24]

2.7 Aktuelle Richtlinien und Vorgaben

Durch die Entscheidung gemeinschaftlicher Leitlinien für den Aufbau eines transeuropäischen Verkehrsnetzes (TEN) beschloss die Europäische Kommission das Hochgeschwindigkeitsbahnsystem in Europa zu vereinheitlichen. Europäische Richtlinien für die Interoperabilität von Bahnsystemen begünstigen die Verknüpfung der einzelnen staatlichen Bahnnetze. Die Interoperabilitätsrichtlinien beschreiben Verfahren, während die eigentlichen technische Anforderungen durch die Technischen Spezifikationen für die Interoperabilität (TSI) in untergeordneten Regelwerken manifestiert sind. Die TSI entspringen dabei den europäischen Interoperabilitätsrichtlinien und beinhalten Aspekte und Grenzwerte, welche berücksichtigt werden müssen. Den TSI zu Grunde liegen die jeweils aktuellen europäischen Normen (EN). In [Abb. 8](#) zu sehen ist eine entsprechende Hierarchie, die Bezug auf die Richtlinien, Regelwerke und Normen nimmt. [25]



Abb. 8: Normenpyramide für Richtlinien, Regeln und Normen der Eisenbahn nach [25]

Europäische Richtlinien:

Sämtliche bereits bestehende Vorgaben wurden in eine einheitliche Interoperabilitätsrichtlinie 08/57/EG zusammengefasst. [25] Diese Vereinheitlichung wurde bereits durch die Richtlinie EU 2016/797 für Interoperabilität des Eisenbahnsystems in der europäischen Union (Neufassung) ersetzt. [26] Als Nachtrag dient die Richtlinie EU 2017/1474 Interoperabilität des Eisenbahnsystems in der europäischen Union (Ergänzung). [27] Gemeinsam bilden die konsolidierten Fassungen die Bestandteile der Eisenbahnpakete 1-4, welche Maßnahmen zur Verbesserung des europäischen Eisenbahnverkehrs beinhalten.

Technische Spezifikationen für die Interoperabilität TSI:

Die TSI beinhaltet wesentliche Parameter zu technischen Anforderungen, um einen interoperablen Verkehr zu ermöglichen. Diese Parameter sind von jedem Mitgliedsstaat mit Bahnanschluss einzuhalten und mit eigenen nationalen Vorgaben zu vergleichen. TSI beruhen auf Grundlage der europäischen Normen, welche vom europäischen Komitee für Normung (CEN) und elektrische Normung (CENELEC) sowie dem europäischen Institut für Kommunikationsnormen (ETSI) ausgearbeitet werden. [25] Eine zum Zeitpunkt der Diplomarbeit aktuell gültigen Vorschriften zur Infrastruktur der TSI (INF/INS) ist die konsolidierte Verordnung EU 1299/2014. [28] Ebenfalls für den Hintergrund der Arbeit sind die technischen Spezifikationen zu Lokomotiven und Personenwagen TSI (LOC&PAS) nach der Verordnung EU 1302/2014 sowie für Güterwagen TSI (WAG) nach der Verordnung EU 321/2013 und dessen Änderungen von Bedeutung. [29], [30] Modifikationen der TSI fanden zuletzt 2023 statt. Die TSI stellt in einigen Fällen den kleinsten gemeinsamen Nenner dar und berücksichtigt nicht die höheren Standards der einzelnen europäischen Mitgliedsstaaten.

Europäische Normen:

Den zuvor erwähnten Vorgaben unterliegen die Europäische Normen, welche ebenfalls einzuhalten sind. Im Falle der Linienführung kommt die aktuelle EN 13803:2017 zur Geltung. Sie beschreibt die Grenzwerte des Vorhabens in der Gestaltung der Infrastruktur und ersetzt die bisherigen Normen EN 13803-1 sowie EN 13803-2. [31]

Einige firmeninterne oder nationale Richtlinien erfüllen eventuell höhere Sicherheitsstandards und schränken dadurch die Planung der Linienführung weiter ein. Übergreifend sind immer die strengeren zu Tragen kommenden Grenzwerte zu verwenden.

2.7.1 Nationale Richtlinien und Konzernvorgaben in Österreich

In Österreich bildet ähnlich der hierarchischen Gliederung die Spitze nach dem Bundesministerium das Eisenbahngesetz von 1957 (EisbG) sowie dessen Änderungen, welches im wesentlichen Begriffsbestimmungen der Bahn enthält. [32] Dem unterliegt die konsolidierte Fassung der Eisenbahnbau- und betriebsverordnung EisbBBV von 2008, welche Sicherheitsrelevante Grenzwerte deklariert. [15] Abschließend sind Konzernvorgaben, wie das Regelwerk 01|03 für die Linienführung von Gleisen der ÖBB Holding AG einzuhalten. Sie besitzt im gesamten Bereich der ÖBB Infrastruktur AG ihre Gültigkeit. [13] Darüber hinaus gibt es noch weitere notifizierte technische Regeln, welche einzuhalten sind. Dabei handelt es sich um eine weitreichende Aufzählung von Vorschriften. Beispielsweise angeführt sind die österreichischen Normen (ÖNORM) für Brückenbau oder Tunnelbau, aber auch die Vorschriften des Österreichischen Bundesfeuerwehrverbandes. [33] National sind ebenso die RVE zu berücksichtigen. [34]

Durch eine Einführung vordefinierter Grenzwerte werden physikalische Grundlagen der Eisenbahnstrecken verlassen. Die Physik erlaubt zwar durch Anstellen von Berechnungen das Ermitteln von Kraft und Beschleunigung, jedoch kann man nicht für ein gewähltes Projekt physikalisch objektiv entscheiden, welche Werte für Planung und Bau als sinnvoll erscheinen. Niemals existiert eine für alle Fälle passende einheitliche Lösung. Auf Grundlage der Physik werden ingenieurmäßig Richtlinien definiert, welche eine zukünftige Planung von Bahnanlagen erleichtern sollen. [19]

Die europäische Norm als auch die Richtlinien der ÖBB zur Linienführung legen für bestimmte Parameter neben dem normalen Grenzwert auch einen außergewöhnlichen Grenzwert fest. Außergewöhnliche Grenzwerte stellen die am wenigsten einschränkende Werte dar und dürfen nur unter besonderen Umständen angewandt werden. [31]

2.7.2 Grenzwerte

Nach den zuvor beschriebenen technischen Spezifikationen für Interoperabilität, geltenden Normen, aktuellen nationalen Gesetzen und Rechtsvorschriften sowie internen Konzernregeln werden nachstehend die Grenzwerte der Infrastruktur für Normalspurbahnen mit einer Spurweite von 1435 mm aufgezeigt. Im speziellen wird auf jene eingegangen, welche durch Anpassung eine Erhöhung der Seitenbeschleunigung oder höhere Fahrtgeschwindigkeit im Kreisbogen erlauben. Auch jene Informationen die in Verbindung mit diesen Grenzwerten stehen werden gelistet.

Mindestbogenradius:

In Tab. 2 zu sehen, ergibt sich nach den beschriebenen Vorgaben ein Bogenradius (R_{min}), welcher mindestens einzuhalten ist. Grundsätzlich gilt, dass der Bogen aber so groß wie möglich gewählt werden soll.

Tab. 2: Grenzwerte für den Mindestbogenradius R_{min} [m]

TSI		
Neue Strecken		≥ 150
EN 13803		
Normaler Grenzwert		≥ 150
A.o. Grenzwert		≥ 150
EisbBBV		
Hauptbahnen		≥ 300
Nebenbahnen		≥ 180
ÖBB 01 03 Regelwerk		
Neubau und Erneuerung Sonstiges Netz	Empfohlener Grenzwert	≥ 250
	Ausnahme Grenzwert	≥ 175
Nebengleise	Empfohlener Grenzwert	≥ 175
	Ausnahme Grenzwert	≥ 100
Absoluter Mindest- bogenradius		$R_{min} = 11,8 * \frac{V_{max}^2}{D_{lim} + I_{lim}}$
	Geschwindigkeitsspreizung	$R_{min} = 11,8 * \frac{V_{max}^2 - V_{min}^2}{I_{lim} + E_{lim}}$

Die größte zulässige Überhöhung (D_{lim}), der größte zulässige Überhöhungsfehlbetrag (I_{lim}) und der größte zulässige Überhöhungsüberschuss (E_{lim}) sind in [mm] aus den folgenden Tabellen zu entnehmen. Die höchstzulässige Bogengeschwindigkeit schneller Züge (V_{max}) sowie die Bogengeschwindigkeit von Zügen, die für langsamere Geschwindigkeiten (V_{min}) bestimmt sind, werden im Absoluten Mindestbogenradius in [km/h] eingesetzt.

Überhöhung:

In Tab. 3 zu erkennen, ergeben sich durch die beschriebenen Richtlinien Grenzwerte für die maximal zulässige Überhöhung D_{lim} und $(D_{R,lim})$ als Funktion des Bogenradius R [m].

Tab. 3: Grenzwerte für die maximal zulässige Überhöhung D_{lim} [mm]

TSI		
	Güterverkehr und Mischverkehr	Personenverkehr
Schottergleis	≤ 160	≤ 180
Feste Fahrbahn	≤ 170	≤ 180
Bahnsteigbereich	≤ 110	≤ 110
Auf neuen Mischverkehrs- oder Güterverkehrsstrecken mit Bogenradius < 305 m gilt	$D_{R,lim} \leq \frac{(R - 50)}{1,5}$	
EN 13803		
	Allgemein	Weichen und Kreuzungen
Normaler Grenzwert	≤ 160	≤ 120
A.o. Grenzwert	≤ 180	≤ 160
Maximale Überhöhung als Funktion des Bogenradius	$D_{R,lim} = \frac{(R - 50)}{1,5}$	
EisbBBV		
		≤ 180
ÖBB 01 03 Regelwerk		
	Allgemein	Bahnsteigbereich
Neubau und Erneuerung Sonstiges Netz	Empfohlener Grenzwert	≤ 60
	Ausnahme Grenzwert	≤ 100
Nebengleise	≤ 100	

Überhöhungsfehlbetrag:

In Tab. 4 zu sehen, wird ein maximal zulässiger Überhöhungsfehlbetrag l_{lim} beschrieben.

Tab. 4: Grenzwerte für den maximal zulässigen Überhöhungsfehlbetrag l_{lim} [mm]

TSI		$V \leq 160$ km/h	160 km/h $< V \leq$ 300 km/h	$V > 300$ km/h
Lokomotiven und Personenwagen		≤ 153	≤ 153	≤ 100
Güterwagen		≤ 130	-	-
EN 13803				
		$V \leq 220$ km/h	220 km/h $< V \leq$ 300 km/h	300 km/h $< V \leq$ 360 km/h
ohne NeiTech	Normaler Grenzwert	≤ 153	≤ 153	≤ 100
	A.o. Grenzwert	≤ 180	≤ 153	≤ 100
		80 km/h $< V \leq$ 260 km/h		
mit NeiTech	Normaler Grenzwert	≤ 275		
	A.o. Grenzwert	≤ 300		
EisbBBV				
			≤ 150	
ÖBB 01 03 Regelwerk				
		Allgemein	Fahrzeuge mit Achslast ≤ 18 t	Fahrzeuge mit Achslast ≤ 18 t und NeiTech
Neubau und Erneuerung Sonstiges Netz	Empfohlener Grenzwert	≤ 100	≤ 150	≤ 275 nur für TEN-Strecken
	Ausnahme Grenzwert	≤ 130		
Nebengleise		≤ 100		

Überhöhungsüberschuss:

Weiters wird nach Tab. 5 ein maximal zulässiger Überhöhungsüberschuss E_{lim} durch die Richtlinien dargelegt.

Tab. 5: Grenzwerte für den maximal zulässigen Überhöhungsüberschuss E_{lim} [mm]

TSI		
-		
EN 13803		
Normaler Grenzwert		≤ 110
A.o. Grenzwert		≤ 150
EisbBBV		
-		
ÖBB 01 03 Regelwerk		
Neubau und Erneuerung	Empfohlener Grenzwert	≤ 80
Sonstiges Netz	Ausnahme Grenzwert	≤ 110
Nebengleise		≤ 80

Unvermittelte Änderung des Überhöhungsfehlbetrages:

Nach Tab. 6 ergibt sich durch die Gesetzmäßigkeiten ein Grenzwert für die maximal zulässige unvermittelte Änderung des Überhöhungsfehlbetrages (ΔI_{lim}), welcher sich beispielsweise zwischen zwei Kreisbögen mit unterschiedlichem Radius, ohne oder mit ganz kurzem Übergangsbogen (sprunghafte Änderung der Krümmung im Grundriss) befindet.

Tab. 6: Grenzwerte für die maximal zulässige abrupte Änderung des Überhöhungsfehlbetrages ΔI_{lim} [mm]

TSI				
	$V \leq 60$ km/h			≤ 130
	60 km/h < $V \leq 200$ km/h			≤ 125
	200 km/h < $V \leq 230$ km/h			≤ 85
	$V > 230$ km/h			≤ 25
	$V \leq 40$ km/h und $l \leq 75$ mm			≤ 150
EN 13803				
	$V \leq 60$ km/h	60 km/h	200 km/h	230 km/h
		< $V \leq$	< $V \leq$	< $V \leq$
		200 km/h	230 km/h	360 km/h
Normaler Grenzwert	≤ 110	≤ 100	≤ 85	≤ 25
A.o. Grenzwert	≤ 130	≤ 125	≤ 85	≤ 25
EisbBBV				
-				
ÖBB 01 03 Regelwerk				
Neubau und Erneuerung	Empfohlener Grenzwert			≤ 55
Sonstiges Netz mit Gleisrang a	Ausnahme Grenzwert			≤ 100
Nebengleise mit Gleisrang a				≤ 110

Seitenbeschleunigung:

In Tab. 7 werden theoretische Grenzwerte der maximal zulässigen freien Seitenbeschleunigung (a_{qlim}) aufgezeigt. Diese können Anhand der bereits angeführten Grenzwerte aus Tab. 4 und Tab. 5 sowie in Zusammenhang mit den Gleichungen (8) bis (10) ermittelt werden. Es gilt folgende Gleichung (23): [2]

$$a_{qlim} = \frac{I_{lim}}{153} \quad (22)$$

In Abhängigkeit von der Beschaffenheit des Oberbaues, der Baureihe des Fahrzeuges, der Ladung und Sicherung dieser, als auch der Komfortkriterien soll die Horizontalbeschleunigung maximal 1 m/s² betragen. [2]

Tab. 7: Grenzwerte für die maximal zulässige Seitenbeschleunigung a_{qlim} [m/s²]

TSI		
Entsprechend gemäß den Grenzwerten für Überhöhungsfehlbetrag		
EN 13803		
Entsprechend gemäß den Grenzwerten für Überhöhungsfehlbetrag und -überschuss		
EisbBBV		
150 mm	0,98	~1
ÖBB 01 03 Regelwerk		
Mit Hilfe des Überhöhungsüberschusses und des Überhöhungsfehlbetrages ergeben sich mit einem vorgegebenen Betrag folgende empfohlene Grenzwerte der unausgeglichenen Seitenbeschleunigung:		
80 mm	0,523	
100 mm	0,654	
110 mm	0,719	
130 mm	0,85	

Neigetechnik:

Bei Verwendung der aktiven NeiTech werden nach der Literatur Geschwindigkeiten zwischen 70 bis 160 km/h für die ÖBB sowie die DB AG vorgesehen. Die maximale Geschwindigkeit ist nicht systembedingt. Sie resultiert aus den gültigen Vorschriften, sodass ein linienförmiges Zug- oder das europäische Zugbeeinflussungssystem (LZB- oder ETCS) Level 2 Ausrüstung bei Geschwindigkeiten größer 160 km/h notwendig wird. Höhere Geschwindigkeiten, kürzere Reisezeiten und optimale Fahrplangestaltung können auf vorhandenen Strecken ohne Umtrassierung mit der Neigetechnik umgesetzt werden. [23] Das Nutzen der Neigetechnik erlaubt größere Überhöhungsfehlbeträge bei gleicher Seitenbeschleunigung im Vergleich zu konventionellen Zügen.

Informationen und festgelegte Randbedingungen zur Arbeit:

Im Vordergrund steht die Ausnutzung der Trassierungsgrenzwerte mit konventionellen Zügen in erster Linie ohne eine Veränderung der bestehenden Strecke. Als weitere Lösung orientiert sich die Diplomarbeit an einer Trassierungsanpassung oder das Einsetzen der Neigetechnik. Entsprechende Trassierungsgrenzwerte für Überhöhungsrampen und Übergangsbogen bedarf einer weiteren Analyse und werden im Umfang der Arbeit nicht angeführt. Dies hat den Hintergrund, ob eine geplante Änderung der Überhöhung umsetzbar wäre, bezogen auf die Vorgaben von Länge sowie Neigung der Überhöhungsrampen beziehungsweise Übergangsbögen in den geografischen Streckengegebenheiten. Anzumerken ist, dass nach dem Regelwerk 01|03 der ÖBB, Übergangsbögen mit Überhöhungsrampen neu geplanter Strecken, ausgenommen im Bereich der Weichen und dem Bahnsteigbereich, zwingend als Wiener Bogen® ausgeführt sein sollen [13].

In der Arbeit wird von einem konstant überhöhten Kreisbogen ausgegangen, bei dem die Wankwinkelbeschleunigung verschwindet und somit nicht berücksichtigt werden muss. Ebenso ist damit ein effektiver Ruck nur im Übergangsbogen während der zeitlichen Änderung des Überhöhungsfehlbetrages aufzufinden und im konstant überhöhten Kreisbogen unwesentlich.

Eine höchstzulässige Geschwindigkeit in Bögen, die aufgrund der Linienführung zulässig ist, ergibt sich demnach unter Berücksichtigung von Radius und Überhöhung und der damit verbundenen unausgeglichene Seitenbeschleunigung (Überhöhungsfehlbetrag). [13]

Weiters ist anzumerken, dass eine gewählte Überhöhung größer 160 mm zu einer Ladungsverschiebung und infolgedessen zu einer Einschränkung des Fahrgastkomforts führen kann, wenn Züge anhalten oder mit geringer Geschwindigkeit fahren (hoher Überhöhungsüberschuss). [31]

2.7.3 Nationale Richtlinien und Konzernvorgaben in Deutschland | Schweiz

In Österreich sind die erwähnten EU-Richtlinien, die technischen Spezifikationen für Interoperabilität als auch die aktuelle europäische Norm für Bahnanwendungen nach Abb. 8 rechtskräftig, welche in den Nachbarländern Deutschland und Schweiz ebenfalls ihre Gültigkeit finden. Nationale Richtlinien sind für die entsprechenden Staaten jeweils getrennt voneinander zu behandeln.

Deutschland:

Nach der Normenpyramide sind National zum Tragen kommend hierarchisch die aktuelle Fassung des Allgemeinen Eisenbahngesetzes (AEG) [35], der konsolidierte Text der Eisenbahn-Bau- und Betriebsverordnung EBO [36] und zuletzt Konzernvorgaben für die Linienführung durch die DB AG die Richtlinie 800.0110 zu berücksichtigen [37].

Schweiz:

Im deutschsprachigen Nachbarland der Schweiz stellen das Eisenbahngesetz (EBG), die Eisenbahnverordnung (EBV), als auch das Regelwerk Technik Eisenbahn (RTE) in der beschriebenen Reihenfolge die Gesetzmäßigkeiten dar [38], [39], [40].

2.7.4 Weitere Bahnbetriebe

Nicht bundeseigene Eisenbahnen oder Privatbahnen können beispielsweise die Regelwerke des Verbandes deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) als Grundlage und Richtlinie betrachten. [41] Alternativ können die Richtlinien und Vorschriften für Eisenbahnwesen RVE herangezogen werden. [34] In Österreich kommt die Vorgängervorschrift für Oberbau B 51/P in Bezug auf von nicht vom Bunde betriebene Haupt- und Nebenbahnen zur Geltung. [42] Da das Regelwerk 01|03 der ÖBB keine Schmalspurbahnen beinhaltet, gilt laut der B 50 - Teil2 der ÖBB ein analoges Verhalten und verweist auf einen Vorreiter der B 52. [43], [44] Weitere Informationen zu der Trassierungsnormung von Schmalspurbahnen sind der Literatur [6] zu entnehmen.

3 Ausgangssituation der derzeitigen Trassierung

Um eine geeignete Bahnstrecke zur Parametervariation ausfindig zu machen, wird das Potenzial von drei Strecken in Niederösterreich evaluiert. Dabei werden auf der Eisenbahnstrecke befindlichen Anzahl der Bögen und Haltestellen, sowie auf den gesamten Fahrtweg und die Reisezeit eingegangen. Weiters wird die Anzahl der verkehrenden Personenzüge angegeben. Eine Kombination aus vielen Bögen in einer kurzen Strecke bei gleichzeitig langer Fahrzeit (exklusive Haltezeiten) und regem Zugverkehr stellen eine hohe Eignung dar, um eine Parametervariation durchzuführen und damit die Fahrgeschwindigkeit und die Seitenbeschleunigung zu erhöhen. Dieser Schritt hilft bei der Entscheidung, eine Strecke für Verbesserungsmöglichkeiten auszuwählen.

Die Anzahl der Bögen werden durch Einsicht der frei zugänglichen Karten von OpenStreetMap als auch mit der Netzkarte der ÖBB Infrastruktur AG erfasst. [45], [46] Informationen zur Kilometrierung werden mittels der Freeware Wegeentgelt Kalkulator, zur Verfügung gestellt durch die ÖBB Infrastruktur AG, eingeholt. [47]

Die Anzahl der Haltestellen als auch die reine Fahrzeit wird mithilfe der aktuellen Fahrplanhefte ermittelt, wobei der Regionalexpress (REX) zu Betracht gezogen wird, um eine Referenz zu erhalten. Ebenso werden durch die Fahrplaninformationen für die jeweils betrachtete Strecke die Summe der verkehrenden Personenzüge an einem Wochentag aufgezeigt (beide Richtungen). Im Vergleich sind jene Züge nicht enthalten, die die Linie nur kurz befahren und rasch nach wenigen Stationen wieder verlassen. [48], [49], [50]

Im Personennahverkehr wird von einer Mindestaufenthaltszeit von 30 Sekunden an Unterwegsbahnhöfen und Haltestellen ausgegangen. An Groß- und Knotenbahnhöfen wird eine Aufenthaltszeit von mindestens zwei Minuten festgelegt. [51] Tabellarisch werden mit den zuvor beschriebenen Randbedingungen folgende Trassen miteinander verglichen:

- Alte Westbahnstrecke, führend über Eichgraben/Altlangbach und Neulengbach; betrachtet zwischen Wien Westbahnhof und Hauptbahnhof (Hbf.) St. Pölten mit den Knotenstellen Wien Westbahnhof, Wien Hütteldorf und St. Pölten
- Franz-Josefs-Bahn, betrachtet zwischen Tulln an der Donau und Gmünd mit den Knotenstellen Tulln an der Donau sowie Absdorf Hippersdorf

- Laaer Ostbahn, betrachtet von Wien Leopoldau über Gerasdorf und Laa an der Thaya mit der Knotenstelle Wien Leopoldau

In Tab. 8 ist eine Auflistung des Vergleichs, die anzutreffenden Bögen pro Kilometer und die Durchschnittsgeschwindigkeit zu sehen.

Tab. 8: Trassenvergleich

	Westbahn	Franz-Josefs-Bahn	Laaer Ostbahn
Anzahl der Bögen	53	117	78
Wegstrecke	60,58 km	129,03 km	67,35 km
REX Anzahl der Haltestellen	11	14	11
REX Anzahl der Knotenstellen	3	2	1
REX Reisedauer (inkl. Haltestellen)	61 min	105 min	62 min
REX Reisedauer (exkl. Haltestellen)	49,5 min	94 min	54,5 min
Anzahl der Personenzüge	201	54	69
Bogen pro Kilometer	0,875	0,907	1,158
REX Durchschnitts- geschwindigkeit (exkl. Haltestellen)	73,4 km/h	82,4 km/h	74,2 km/h

Die Westbahnstrecke verläuft im Gegensatz zu den beiden anderen Strecken durchgehend zweigleisig. Die Franz-Josefs-Bahn verkehrt in Richtung Gmünd ab Absdorf Hippersdorf nur noch eingleisig. Auch die Laaer Ostbahn nimmt ab Wolkersdorf in Richtung Laa an der Thaya ebenfalls einen eingleisigen Verlauf an. [46] Dies ist auch einer der Gründe, warum die Anzahl der Personenzüge auf der Westbahn deutlich höher liegt, verglichen zu den beiden anderen Strecken. Aus Tab. 8 zu entnehmen, ergibt sich das größte Potenzial zur Beschleunigung des Regionalverkehrs an der Laaer Ostbahn. Zum einen liegt es an dem höheren Verhältnis zwischen Anzahl der Bögen und der zurückgelegten Wegstrecke. Durch das Ausnutzen oder Anpassen der Trassierungsgrenzwerte kann verhältnismäßig eine größere Zeitersparnis erzielt werden. Zum Anderen deutet auch die mittlere Durchschnittsgeschwindigkeit auf Verbesserungsmöglichkeiten hin. Darüber hinaus berichten Einzelpersonen von häufigen Verspätungen an der Laaer Ostbahn und fragen sich, ob die existierenden Fahrpläne verbessert werden können [52]. Das vorgestellte Zielnetz 2040 beinhaltet einen abschnittswisen zweigleisigen Ausbau der Laaer Ostbahn [53]. In der Zukunft soll darauf der Verkehr beschleunigt werden, ändert aber die derzeitige

Situation für Pendler nicht [54]. Des Weiteren wird die Franz-Josefs-Bahn derzeit ausgebaut und modernisiert, um Fahrpläne nach Abschluss im Jahr 2029 attraktiver zu gestalten [55]. Auch die Weststrecke wurde durch die 60 km lange Neubaustrecke führend über Tullnerfeld modernisiert [56]. Durch die Verlegung des Fernverkehrs im Jahre 2012 über den Wienerwaldtunnel konnte man die Fahrpläne der alten Westbahnstrecke ausbauen. Hinsichtlich der beschriebenen Argumente wird im Rahmen der Diplomarbeit die Laaer Ostbahn zur genaueren Analyse in Betracht gezogen.

3.1 Strecken in Österreich für Fahrten mit erhöhter Seitenbeschleunigung

Im Folgenden werden die Strecken gelistet, bei denen eine Fahrt mit erhöhter Seitenbeschleunigung möglich ist. Die Aufzählung geschieht in Abhängigkeit der Streckenklasse der Fahrzeuge, als auch auf Basis des Verzeichnisses der örtlich zulässigen Geschwindigkeiten (VzG). Gleichzeitig darf die maximal zugelassene nicht ausgeglichene freie Seitenbeschleunigung des betrachteten Fahrzeuges zu keinem Zeitpunkt überschritten werden. [57] Nach dem Regelwerk 01.03 wird auf einer Strecke von einer erhöhten Seitenbeschleunigung größer $0,654 \text{ m/s}^2$ und nach Verlassen des empfohlenen Grenzwertes vom Überhöhungsfehlbetrag gesprochen. Unter Einhaltung des Ausnahme Grenzwertes für den Überhöhungsfehlbetrag ergibt sich demnach ein a_{qlim} von maximal $0,85 \text{ m/s}^2$ zur Bogenaußenseite. [13] Die Zulassung kann bei einzelnen Strecken auf bestimmte Fahrzeuge mit der jeweiligen Streckenklasse eingeschränkt werden. [57]

- Wiener Neustadt Hbf = Staatsgrenze bei Loipersbach-Schattendorf, Strecke 10801; Streckenklasse D3; $a_{qlim} = 0,85 \text{ m/s}^2$ gültig für Fahrzeuge mit einer Streckenklasse von: B1, A
- Streckenende 16201 nächst Wöllersdorf = Gutenstein, Strecke 16201; Streckenklasse C4 (D4 Wöllersdorf – Pernitz-M.); $a_{qlim} = 0,85 \text{ m/s}^2$ gültig für Fahrzeuge mit einer Streckenklasse von: B2, B1, A
- Wiener Neustadt Hbf (in Nb) = Puchberg am Schneeberg, Strecke 16301; Streckenklasse D4; $a_{qlim} = 0,85 \text{ m/s}^2$ gültig für Fahrzeuge mit einer Streckenklasse von: B2, B1, A
- Bad Fischau-Brunn = Wöllersdorf, Strecke 16601; Streckenklasse D4; $a_{qlim} = 0,85 \text{ m/s}^2$ gültig für Fahrzeuge mit einer Streckenklasse von: B2, B1, A

- Wiener Neustadt Hbf (in Nb) = Fehring, Strecke 16701; Streckenklasse D3 (D4 Friedberg – Fehring); $a_{q\lim} = 0,85 \text{ m/s}^2$ gültig für Fahrzeuge mit einer Streckenklasse von: B1, A
- Linz Urfahr = Aigen Schlägl, Strecke 25801; Streckenklasse B2; $a_{q\lim} = 0,85 \text{ m/s}^2$ gültig für Fahrzeuge mit einer Streckenklasse von: B1, A

In einer älteren Version der VzG Fahrplanunterlage für Fahren mit erhöhter Seitenbeschleunigung wurden die Triebfahrzeuge und Triebwagen zusätzlich auf Bogenfreundlichkeit geprüft. Ein Betrieb mit erhöhter nicht ausgeglichener Seitenbeschleunigung ist also nur dann erlaubt, sofern der Zug als bogenfreundlich eingestuft ist. Gleichzeitig sind einige Voraussetzungen im Bogen zu erfüllen. Unter anderem muss das Verhältnis von Längsreibkraft (T_x) zur quasistatischen Radaufstandskraft (Q_{qst}) unter einem maximalen Wert nach Gleichung (23) bleiben: [58]

$$\frac{T_x}{Q_{qst}} \leq 0,25 \quad (23)$$

Bogenfreundliche Fahrzeuge haben eine mindestens zweistufige Federung und einen ausreichenden primären Federweg zwischen Achslager und Laufwerksrahmen und weisen eine ausreichende sekundäre Federung zwischen Laufwerksrahmen und Fahrzeugkasten auf. Ausreichender Federweg ist dann erfüllt, wenn maximal 95% der Größe der Grenzwerte der lateralen quasistatischen Radquerkräfte, Gleisverschiebungskräfte, horizontale Seitenbeschleunigung und vertikale dynamische Radaufstandskräfte bei Fahrt mit erhöhter nicht ausgeglichener Seitenbeschleunigung ausgenützt werden. [58]

Zusätzlich ist auf Grundlage der statischen Radaufstandskraft (Q_{st}) in Ruhe bei großer Achslast ($17 \text{ t} < 2 * Q_{st} < 22 \text{ t}$) folgende Bedingung in Abhängigkeit der Radquerkraft (Y) zur quasistatischen Radaufstandskraft des Rades auf der Bogeninnenseite (Q_{qst_innen}) nach Gleichung (24) zu erfüllen: [58]

$$\frac{Y}{Q_{qst_innen}} \leq 0,28 \quad (24)$$

Bei kleiner Achslast ($2 * Q_{st} < 17 \text{ t}$) sind die Radquerkräfte entsprechend klein und es ist nach Gleichung (25) zu erfüllen: [58]

$$2 * Q_{st} \leq 17 \text{ t} \quad (25)$$

Ob ein Fahrzeug bogenfreundlich ist, unterliegt den oben genannten Kriterien und wird im Zuge des Zulassungsverfahrens entschieden. [58] Es sei jedoch angemerkt, dass diese

Voraussetzungen keine Anwendung mehr in der aktuellen Version der VzG Fahrplanunterlage für Fahren mit erhöhter Seitenbeschleunigung finden und nur noch Bezug auf das VzG und die Streckenklasse genommen werden.

3.2 Analyse der ausgewählten Strecke – Laaer Ostbahn

Die Laaer Ostbahn führt mit ihrer Streckennummer 11601 zwischen Wien Hauptbahnhof und Laa an der Thaya. [59] Die Streckenklasse ist dabei durchgehend von Wien Süßenbrunn nach Laa an der Thaya als D3 definiert. Ausgenommen ist die Zubringerstrecke beginnend von Wien Leopoldau nach Wien Süßenbrunn mit einer Deklaration von D4. Die Angaben der VzG-Streckenklassenkarte erfolgen bis zu einer Geschwindigkeit von 120 km/h (maximale Güterzuggeschwindigkeit). [60] Die jeweilige Streckenklasse gibt dabei die Fähigkeit der Infrastruktur an, die von den Fahrzeugen im Betrieb ausgeübten vertikalen Lasten standzuhalten sind, wobei sich die Belastung aus der Streckenklasse und der zulässigen Geschwindigkeit ergibt. [61] Darüber hinaus werden ein Großteil der Fahrzeuge einschließlich Güterwagen mit ihren entsprechenden Nutzlasten (angegeben in maximaler Radsatzlast und Masse je Längeneinheit) in die Streckenklassen A, B1, B2, C2, C3, C4, D2, D3, D4 eingestuft. Eine solche Einteilung der Infrastruktur ist für alle Arten von Vollbahnfahrzeugen, die bei unterschiedlichen Höchstgeschwindigkeiten operieren (Güter- und Personenverkehr), gültig. Daher muss als zusätzliche Information eine festgelegte Höchstgeschwindigkeit angegeben werden, um verschiedene Geschwindigkeiten einer zugeordneten Streckenklasse abzudecken. In einigen Situationen kann es wünschenswert sein, eine Streckenklasse bei einer niedrigen Geschwindigkeit zu bestimmen, um die Streckenklasse zu maximieren. Auf Mischverkehrsstrecken ist die Streckenklasse bei maximaler Güterzuggeschwindigkeit meist ausreichend. Für Fahrzeuge, die eine gleiche oder niedrigere Streckenklasse besitzen und schneller als mit maximaler Güterzuggeschwindigkeit verkehren sollen, sind ferner Untersuchungen nach den Tabellen im Anhang C der EN 15528 notwendig. [62]

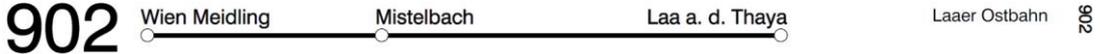
Wie bereits erwähnt verläuft die Strecke 11601 inklusive der Zubringerstrecke von Wien Leopoldau über Gerasdorf nach Wolkersdorf zweigleisig und nimmt anschließend einen eingleisigen Verlauf bis nach Laa an der Thaya an. Die Strecke ist dabei durchgehend elektrifiziert. Die Laaer Ostbahn verläuft über Mistelbach und zählt im betrachteten Abschnitt insgesamt 10 Bahnhöfe und 12 Haltestellen. [46], [63] Nach dem am 11. Dezember 2022 in Kraft getretenen Fahrplan verkehren auf der Strecke Züge der Linie S2 beziehungsweise S7 ausgehend von Mödling nach Wien Leopoldau über Wien

Süßenbrunn weiter nach Laa an der Thaya und zurück. [50], [64] Manche Garnituren enden aber bereits früher und verkehren nur zwischen Wolkersdorf und dem Flughafen Wien beziehungsweise Wolfsthal. Darüber hinaus wird zu Verkehrshauptzeiten der Betrieb mit Regionalexpresszügen der Linie REX2 unterstützt. [50] Nicht betrachtet wird der Fernverkehr im Abschnitt zwischen Wien Westbahnhof führend über die Wien Erzherzog-Karl-Straße, welche die in der Arbeit evaluierte Strecke in Wien Süßenbrunn kreuzt und in Richtung Břeclav verlässt.

Die Schnellbahnzüge der Laaer Ostbahn bestehen hauptsächlich aus Triebwagen der Baureihe 4746, umgangssprachlich Cityjet beziehungsweise Desiro MainLine (DML) von Siemens Mobility GmbH. Die dreiteilige Variante des Triebfahrzeuges der ÖBB hat eine eingetragene zulässige Höchstgeschwindigkeit von 160 km/h [65]. Seltener werden die Fahrzeuge der Baureihe 4020 für den Betrieb der S-Bahn verwendet. Die Regionalexpresszüge werden durch ein Triebfahrzeug der Taurus Familie 1016/1116 oder einer Lokomotive der Baureihe 1144 befördert. Als Wagen kommen meist Doppelstockwagen (DS) zum Einsatz. Diese sind im Gegensatz zum Desiro ML für eine höchstzulässige Geschwindigkeit von 140 km/h vorgesehen [66]. Weniger oft kommen auf Regionalexpresszügen die Inlandsreisewagen der ÖBB zum Einsatz. Die beiden letzteren Triebfahrzeuge sind auch im Güterverkehr gebräuchliche Zugmaschinen. Auf der Strecke 11601 wird der Transport von Gütern hauptsächlich durch die Rail Cargo Austria mit Fahrzeugen der Baureihe 1110, 2050 oder 1142 abgewickelt. [67]

In Abb. 9 ist ein zum Zeitpunkt der Arbeit aktueller Auszug des Fahrplanbildes der Laaer Ostbahn für den Früh- und Mittagsverkehr zwischen Wien Meidling und Laa an der Thaya zu sehen. Alle gelisteten Züge verkehren täglich. Mögliche Abweichungen sind im Fahrplanbild vermerkt. Dabei beziehen sich 1 – 7 eingekreist, auf den jeweiligen Wochentag beginnend mit Montag bis Sonntag. Das Kreuzsymbol steht dabei für Sonn- und Feiertagen. In der Zeichenerklärung bedeutet im Fahrplanbild A, dass die Linie Werktags außer Samstag verkehrt. Mit einem C versehene Züge verkehren am Samstag sowie Sonn- und Feiertagen. [50], [68] Der vollständige Fahrplanbild ist dem Anhang A.1 zu entnehmen. In Bezug der Parametervariation wird die Strecke als Neubau-Erneuerungsstrecke von sonstigen Netzen behandelt, da es sich bei der Laaer Ostbahn um keine TEN Strecke handelt.

3 Ausgangssituation der derzeitigen Trassierung



Gesamtverkehr Wien Meidling - Wien Leopoldau siehe Fahrplanbild 900

☒ Zustieg im Nahverkehr (REX, R, S-Bahn) nur mit gültigem Ticket, aufgenommen in Stationen ohne Möglichkeit zum Ticketkauf.

	02	07/REX2	02	02	07/REX2	02												
OB	24176	24192	24212	24230	24246	24252	24258	24272	24286	24298	24306	24318	24326	24338	24346	24366	24378	24386
zusätzliche Hinweise																		
von	Modling																	
Wien Meidling	ab 4:24				6:09				7:09		7:39		8:09		8:39	9:09		9:39
Wien Matzleinsdorfer Platz	4:27				6:12				7:12		7:42		8:12		8:42	9:12		9:42
Wien Hbf (Bahnsteige 1-2)	4:30				6:15				7:15		7:45		8:15		8:45	9:15		9:45
Wien Quartier Belvedere	4:31				6:16				7:16		7:46		8:16		8:46	9:16		9:46
Wolfsthal		5:57	4:29	4:57		5:29		5:57		6:59		7:46		8:19	8:40	9:19		9:49
Flughafen Wien (VIE)		4:41	5:11	5:41		6:11	6:19	6:41		7:19	7:49	7:46		8:19	8:40	9:19		9:49
Wien Rennweg	an 4:34	4:58	5:28	5:58	6:19	6:29	6:40	6:58	7:19	7:49	7:49	8:07	8:19	8:40	9:19	9:40	9:49	9:49
Wien Mitte	an 4:37	5:01	5:31	6:01	6:22	6:31	6:43	7:01	7:22	7:43	7:52	8:10	8:22	8:43	9:22	9:43	9:52	9:52
Wien Praterstern	an 4:40	5:04	5:34	6:04	6:25	6:34	6:46	7:04	7:25	7:46	7:55	8:13	8:25	8:46	9:25	9:46	9:55	9:55
Wien Praterstern	an 4:41	5:05	5:35	6:05	6:26	6:35	6:47	7:05	7:26	7:47	7:56	8:14	8:26	8:47	9:26	9:47	9:56	9:56
Wien Traisengasse	an 4:44	5:08	5:38	6:08	6:29	6:38	6:50	7:08	7:29	7:50	7:59	8:17	8:29	8:50	9:29	9:50	9:59	9:59
Wien Handelskai (1-2)	an 4:45	5:09	5:39	6:09	6:30	6:39	6:51	7:09	7:30	7:51	8:01	8:19	8:31	8:52	9:31	9:52	10:01	10:01
Wien Floridsdorf	an 4:49	5:13	5:43	6:13	6:34	6:43	6:55	7:13	7:34	7:55	8:04	8:22	8:34	8:55	9:34	9:55	10:04	10:04
Wien Floridsdorf	ab 4:50	5:15	5:45	6:15	6:35	6:45	6:56	7:15	7:35	7:56	8:05	8:23	8:35	8:56	9:35	9:56	10:05	10:05
Wien Siemensstraße	ab 4:53	5:18	5:48	6:18	6:38	6:48	6:59	7:18	7:38	7:59	8:08	8:26	8:38	8:59	9:38	9:59	10:08	10:08
Wien Leopoldau	ab 4:57	5:22	5:52	6:22	6:42	6:52	7:03	7:22	7:42	8:03	8:12	8:30	8:42	9:03	9:22	9:42	10:03	10:12
Gerasdorf	an 5:01	5:27	5:56	6:27	6:46	6:56	7:07	7:27	7:46	8:06	8:16	8:34	8:46	9:06	9:26	9:46	10:06	10:16
Kapellerfeld	an 5:06	5:30	5:59	6:30	6:49	6:59	7:10	7:30	7:49	8:09	8:19	8:37	8:49	9:09	9:29	9:49	10:09	10:19
Seyring	an 5:09	5:33	6:02	6:33	6:51	7:01	7:12	7:33	7:51	8:11	8:21	8:39	8:51	9:11	9:31	9:51	10:11	10:21
Obersdorf	an 5:12	5:36	6:05	6:36	6:54	7:04	7:15	7:36	7:54	8:14	8:24	8:42	8:54	9:14	9:34	9:54	10:14	10:24
Wolkersdorf	an 5:12	5:39	6:07	6:39	6:57	7:07	7:18	7:39	7:57	8:17	8:27	8:45	8:57	9:17	9:37	9:57	10:17	10:27
Wolkersdorf	ab 5:40			6:40	7:03			7:40		8:15		8:42	8:59	9:15	9:59	10:15		10:15
Ulrichskirchen	ab 5:43			6:43	7:06			7:43				8:47	9:02	9:16	9:46	10:02		10:16
Schleinbach	ab 5:46			6:46	7:10			7:46					9:02	9:16	9:46	10:02		10:16
Hautzendorf	ab 5:50			6:50	7:14			7:50					9:08	9:22	9:52	10:08		10:12
Niederkreuzstetten	ab 5:54			6:54	7:18			7:54					9:12	9:26	9:56	10:12		10:16
Neubau-Kreuzstetten	ab 6:06			7:06	7:30			8:06					9:16	9:30	10:00	10:16		10:20
Ladendorf	ab 6:18			7:18	7:42			8:18					9:21	9:35	10:05	10:21		10:25
Paasdorf	ab 6:18			7:18	7:42			8:18					9:21	9:35	10:05	10:21		10:25
Mistelbach	an 6:23			7:23	7:47			8:23		8:37		9:08	9:28	9:37	10:24	10:37		10:37
Mistelbach	ab 7:12			8:12				8:12		8:38		9:08	9:28	9:37	10:24	10:37		10:37
Mistelbach Stadt	ab 7:14			8:14				8:14		8:39		9:09	9:29	9:38	10:25	10:38		10:38
Siebenbrunn NO	ab 7:22			8:22				8:22		8:45		9:15	9:35	9:39	10:26	10:39		10:39
Hörsdorf	ab 7:22			8:22				8:22		8:45		9:15	9:35	9:39	10:26	10:39		10:39
Frättingsdorf	ab 7:30			8:30				8:30		8:55		9:25	9:45	9:49	10:36	10:49		10:49
Enzersdorf bei Staatz	ab 7:33			8:33				8:33		8:55		9:25	9:45	9:49	10:36	10:49		10:49
Staatz	ab 7:33			8:33				8:33		8:55		9:25	9:45	9:49	10:36	10:49		10:49
Kottingneusiedl	ab 7:33			8:33				8:33		8:55		9:25	9:45	9:49	10:36	10:49		10:49
Laa a. d. Thaya	an 7:40			8:40				8:40		9:05		9:35	9:55	9:59	10:46	11:05		11:05

☒ ☓ und † von Mödling, ☓ nicht † von Wiener Neustadt
☓ ☓ von Mödling, ☓ von Wiener Neustadt

	02	07/REX2	02	02	07/REX2	02												
OB	24406	24418	24426	24446	24466	24472	24486	24506	24518	24526	24538	24546	24558	24566	24578	24586	24598	24606
zusätzliche Hinweise																		
von	Modling	Modling	Modling	Modling	Modling	Modling	Modling	Modling	Modling	Modling	Modling	Modling	Modling	Modling	Modling	Modling	Modling	Modling
Wien Meidling	ab 10:09		10:39	11:09		11:39		12:09		12:39		13:09		13:39	14:09		14:39	
Wien Matzleinsdorfer Platz	10:12		10:42	11:12		11:42		12:12		12:42		13:12		13:42	14:12		14:42	
Wien Hbf (Bahnsteige 1-2)	10:15		10:45	11:15		11:45		12:15		12:45		13:15		13:45	14:15		14:45	
Wien Quartier Belvedere	10:16		10:46	11:16		11:46		12:16		12:46		13:16		13:46	14:16		14:46	
Wolfsthal		10:19		11:19		11:59	10:59		12:19		12:49		13:19		13:49	14:19		14:49
Flughafen Wien (VIE)		10:19	10:40	10:49	11:19	11:40	11:49	12:10	12:19	12:40	12:49	13:10	13:19	13:40	13:49	14:10	14:19	14:40
Wien Rennweg	an 10:19	10:40	10:49	11:19	11:40	11:49	12:10	12:19	12:40	12:49	13:10	13:19	13:40	13:49	14:10	14:19	14:40	14:49
Wien Mitte	an 10:22	10:43	10:52	11:22	11:43	11:52	12:13	12:23	12:43	12:52	13:13	13:22	13:43	13:52	14:13	14:22	14:43	14:52
Wien Praterstern	an 10:25	10:46	10:55	11:25	11:46	11:55	12:16	12:25	12:46	12:55	13:16	13:25	13:46	13:55	14:16	14:25	14:46	14:55
Wien Praterstern	an 10:26	10:47	10:56	11:26	11:47	11:56	12:17	12:26	12:47	12:56	13:17	13:26	13:47	13:56	14:17	14:26	14:47	14:56
Wien Traisengasse	an 10:29	10:50	11:00	11:29	11:50	11:59	12:20	12:29	12:50	12:59	13:20	13:29	13:50	13:59	14:20	14:29	14:50	14:59
Wien Handelskai (1-2)	an 10:31	10:52	11:01	11:31	11:52	12:01	12:22	12:31	12:52	13:01	13:22	13:31	13:52	14:01	14:22	14:31	14:52	15:01
Wien Floridsdorf	an 10:34	10:55	11:04	11:34	11:55	12:04	12:25	12:34	12:55	13:04	13:25	13:34	13:55	14:04	14:25	14:34	14:55	15:04
Wien Floridsdorf	ab 10:35	10:56	11:05	11:35	11:56	12:05	12:26	12:35	12:56	13:05	13:26	13:35	13:56	14:05	14:26	14:35	14:56	15:05
Wien Siemensstraße	ab 10:38	10:59	11:08	11:38	11:59	12:08	12:29	12:38	12:59	13:08	13:29	13:38	13:59	14:08	14:29	14:38	14:59	15:08
Wien Leopoldau	ab 10:42	11:03	11:12	11:42	12:03	12:12	12:33	12:42	13:03	13:12	13:33	13:42	14:03	14:12	14:33	14:42	15:03	15:12
Gerasdorf	an 10:46		11:16	11:46		12:16	12:37	12:46		13:16	13:37	13:46		14:16	14:37	14:46		15:16
Kapellerfeld	an 10:49		11:19	11:49		12:19	12:40	12:49		13:19	13:40	13:49		14:19	14:40	14:49		15:19
Seyring	an 10:51		11:21	11:51		12:21	12:42	12:51		13:21	13:42	13:51		14:21	14:42	14		

Laaer Ostbahn verglichen. Diese Handlung führt zu einer wirklichkeitsnahen und zum Zeitpunkt der Arbeit aktuellen Verarbeitung der Daten. Die eingepflegten Betriebsstellen in FBS entsprechen der Realität und gleichen damit ebenfalls in Reihenfolge dem beschriebenen Fahrplanbilddauszug 902. Weiters werden die Betriebsstellen als Knotenstelle oder Unterwegsbahnhof mit den bereits beschriebenen Mindestaufenthaltszeiten deklariert. Den jeweiligen Linien und den unterschiedlichen Zugverläufen sind jeweils verschiedene Regelaufenthalte entsprechend dem Fahrplanbild zugeordnet.

Das Bogenband mit seinen zugeordneten Radien, gekennzeichnet an der absoluten Kilometrierung der Strecke, inklusive der Angaben zur verbauten Überhöhung als auch der Länge zu Übergangsbögen beziehungsweise Überhöhungsrampen, werden mit einem Bestandsbogenverzeichnis der ÖBB Infra verglichen. Von Wien Süßenbrunn nach Laa an der Thaya ist das Bestandsbogenverzeichnis nicht durchgehend gelistet, sondern beinhaltet mehrere Teilabschnitte, welche zusammen ein durchgehendes Band ergeben. [69], [70], [71], [72] Im Vergleich treten in den existierenden Daten nur kleinere Diskrepanzen auf, die es zu vernachlässigen gilt. Anzumerken ist, dass sich bei FBS eine absolute Kilometrierung immer auf die Bogenmitte bezieht. Im Bestandsbogenverzeichnis der ÖBB Infra hingegen wird Bezug auf den Anfang und das Ende des jeweiligen Trassierungselements hinsichtlich der absoluten Kilometrierung genommen.

Ebenso wird das bestehende Geschwindigkeitsprofil in FBS mit dem durch die ÖBB Infra zur Verfügung gestellten VzG der Laaer Ostbahn miteinander verglichen, um in weiterer Folge eine möglichst reelle Nachbildung des originalen und bestehenden Fahrplanbildes erstellen zu können. [73] Die Geschwindigkeitsprofile gleichen sich vollständig und es existieren nur sehr marginale Unterschiede betreffend der absoluten Kilometrierung (Abweichung im Bereich von maximal 0,003 km), welche ebenfalls vernachlässigt werden.

Zur Erstellung eines Bildfahrplans in FBS ist die Eingabe von Zügen notwendig. Diese können nur aus Triebfahrzeugen als Lokzug oder zusammen mit entsprechenden Wagen kombiniert werden. Eine Zugbildung kann sich ebenfalls aus mehreren Triebwagen zusammensetzen. Im Fahrplanbearbeitungsprogramm sind bereits mehrere Musterfahrzeuge mit verschiedenen Attributen zur Auswahl enthalten. Unter anderem auch jene, welche hauptsächlich Anwendung auf der Strecke 11601 finden. Die S-Bahn Linie wird in FBS als dreiteilige Triebwagenvariante EMU-ML-3 deklariert. In der Umgangssprache wird diese als Desiro ML (Baureihe 4746) bezeichnet. Beim

3 Ausgangssituation der derzeitigen Trassierung

Regionalexpress handelt es sich um die Baureihe 1116 als Triebfahrzeug in Lastkombination mit einem Doppelstock-Zwischenwagen und Steuerwagen. Die unterschiedlich vorgegebenen Höchstgeschwindigkeiten sind für das jeweilige Fahrzeug oder den Wagen zu berücksichtigen (trifft ebenso auf einen Güterverkehr zu). Für eine ausgewählte Strecke ist jedoch die Veröffentlichung eines einzigen Verzeichnisses der örtlich zulässigen Geschwindigkeit ausreichend, an welches sich alle Eisenbahnfahrzeuge zu halten haben, sofern nicht anders angegeben.

In weiterer Folge werden alle Züge entsprechend des Fahrplanbildes mit zugeordneter Zugnummer und Linie sowie Zuggattung und Abfahrtszeiten in FBS integriert. Züge welches Samstags, Sonn- Feiertags verkehren werden nicht berücksichtigt. Dazu werden die einzelnen Züge (davon unabhängig ob es sich um eine S-Bahn oder den Regionalexpress handelt) mit einem gewöhnlichen Fahrzeitzuschlag von 3% für den Regionalverkehr angegeben [7]. Die Schnell- und Betriebsbremse des Desiro ML wird bei allen Zügen als Druckluftbremse mit 150% Bremsleistung in Bremsstellung P+E für Personenzugbremse mit einer zusätzlichen elektrodynamischen Bremse angenommen. Die Mindestbremsleistung werden dabei mit dem Berechnungstool im Fahrdynamikreiter bemessen und geben infolgedessen das mindestens erforderliche Bremsvermögen eines Zuges an, der aus seiner zulässigen Geschwindigkeit in einem Vorsignalabstand bei maßgebendem Gefälle mit einer Schnellbremsung halten kann [7]. Im Gegensatz zum Regionalexpress bestehend aus der Tauruslok und dem Doppelstock-Zwischenwagen und Steuerwagen wird die Bremseinstellung als Druckluftbremse bei der Schnellbremse mit 150% Bremsleistung in Bremsstellung R+Mg für Hochleistungsbremse mit einer zusätzlichen magnetischen Bremse angenommen. Als Betriebsbremse wird ebenfalls die Wahl von 150% Bremsleistung jedoch in Bremsstellung R ohne einer zusätzlichen magnetischen Bremse getroffen.

Die Streckenlisten werden den jeweiligen Fahrtverläufen mit seinen Bahnhofshalten des Fahrplanbildes nachgestellt. Versucht wird planmäßige Aufenthalte ebenfalls beizubehalten (wie beispielsweise der fünf Minuten Aufenthalt in Wolkersdorf, obwohl eine Weiterfahrt bereits früher möglich wäre). Dementsprechend werden in FBS, acht verschiedene Listen mit individuellen Regelaufhalten festgelegt, die den jeweiligen Zugläufen zugeordnet werden.

Berücksichtigt man alle zuvor genannten Faktoren und wählt geeignete freie Trassen aus, können die Züge in FBS, Teilausschnitt zu sehen in Abb. 10, nachgestellt werden. Im Fahrplankopf, über dem Bildfahrplan zu sehen, sind Informationen zu Anfangs- und Endbahnhof des betrachteten Netzes sowie auftretende Bogenradien in Meter vermerkt. Weiters erkennt man die angeführten Haltestellen und dessen Abkürzung anhand der Doppel- oder Einfachlinie ob es sich um einen zwei- oder eingleisigen Abschnitt der Strecke handelt.

Leopoldau - Laa a.d.Thaya
 gültig vom 13.12.2020 bis 11.12.2021
 67,345 km
 Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.8.1 | lizenziert für TU Wien
 Informationen unter www.irfp.de

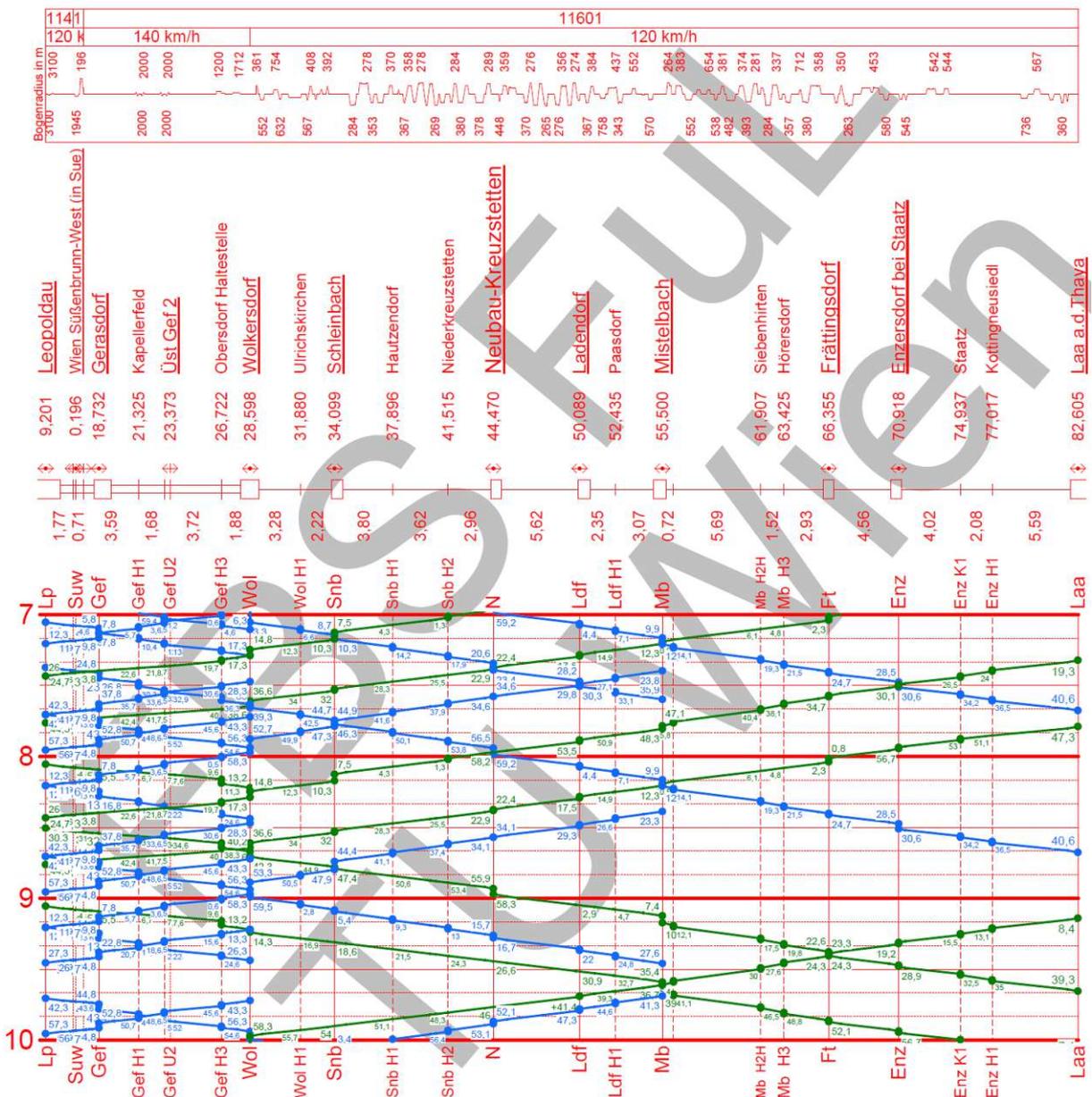


Abb. 10: Bildfahrplan Wien Leopoldau - Laa a. d. Thaya von 7 bis 10 Uhr

3 Ausgangssituation der derzeitigen Trassierung

Haltestellen ohne rechteckigem Symbol sind eingleisig ausgeführt und kennzeichnen damit, dass ein Kreuzen des gegenläufigen Verkehrs an dieser Stelle nicht möglich ist. Haltestellen mit rechteckigem Symbol, sind zumindest zweigleisig ausgeführt und ein Kreuzen ist im Bahnhofsbereich möglich. Auch diese Gegebenheiten wurden mit der Realität mittels OpenRailwayMap verglichen und auf Korrektheit überprüft [74].

Weiters ist anhand des Desiro ML (am Beispiel des Schnellbahnzuges 24668 ausgehend von Wien Leopoldau nach Laa an der Thaya) ein Geschwindigkeitsprofil aus FBS exportiert und in Abb. 11 zur Veranschaulichung ersichtlich. Der betrachtete Zug hält in allen Betriebsstellen. Das Fahrplanbearbeitungsprogramm berücksichtigt sowohl Beschleunigungen als auch Verzögerungen in Fahrtrichtung sowie eine Mindestbeharrungszeit von 30 Sekunden bei Erhöhung der Geschwindigkeit.

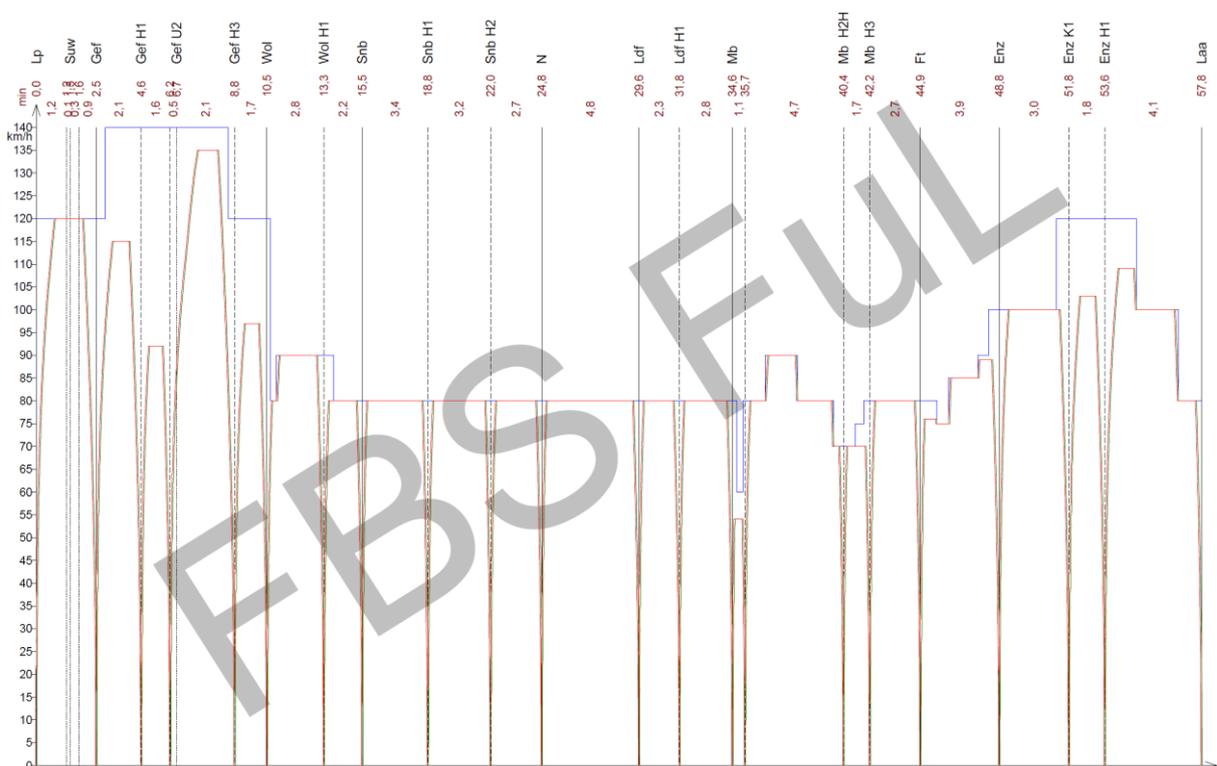


Abb. 11: Geschwindigkeitsprofil des Bestands am Beispiel der S2 24668

Nachdem alle Zugläufe fehlerfrei und ohne Mehrfachbelegung der Trassen in das Fahrplanbearbeitungsprogramm eingespielt sind, ist es möglich einen Tabellenfahrplan zu erstellen. In Abb. 12 ist ein Auszug des erstellten Fahrplanbildes mit Fahrtrichtung kommend von Wien Leopoldau nach Laa a. d. Thaya zu sehen. Das vollständige nachgebildete Fahrplanbild ist dem Anhang A.2 zu entnehmen.

		SB 24176	SB 24192	SB 24212	SB 24230	SB 24246	SB 24252	SB 24258	SB 24272	SB 24286	REX 24298 2.	SB 24306	REX 24318 2.	SB 24326	REX 24338 2.	SB 24346	SB 24366	REX 24378 2.	SB 24386	SB 24406	REX 24418 2.	SB 24426	SB 24446	REX 24458 2.	
zusätzliche Hinweise																									
km																									
0 Leopoldau	ab	4 57	5 22	5 52	6 22	6 42	6 52	7 03	7 22	7 42	8 03	8 12	8 30	8 42	9 03	9 12	9 42	10 03	10 12	10 42	11 03	11 12	11 42	12 03	
3 Gerasdorf		5 01	5 26	5 56	6 26	6 46	6 56	7 07	7 26	7 46	8 06	8 15	8 33	8 45	9 06	9 45	10 16	10 46	10 19	10 49	11 19	11 49	12 19		
6 Kapellerfeld		5 04	5 29	5 59	6 29	6 49	6 59	7 10	7 30	7 49	8 09	8 18	8 36	8 48	9 09	9 48	10 19	10 49	10 21	10 51	11 21	11 51	12 21		
8 Seyring		5 06	5 31	6 01	6 32	6 51	7 01	7 12	7 32	7 51	8 11	8 20	8 38	8 51	9 11	9 51	10 21	10 51	10 24	10 54	11 24	11 54	12 24		
11 Obersdorf Haltestelle		5 09	5 34	6 04	6 36	6 54	7 04	7 15	7 36	7 54	8 14	8 24	8 42	8 54	9 14	9 54	10 24	10 54	10 27	10 57	11 27	11 57	12 27		
13 Wolkersdorf	an	5 12	5 37	6 07	6 38	6 57	7 07	7 18	7 38	7 57	8 17	8 27	8 45	8 57	9 17	9 57	10 14	10 27	10 30	11 00	11 14	11 27	11 57	12 14	
13 Wolkersdorf	ab		5 37		6 39	7 03		7 39		8 42	8 59	9 14		9 59		10 14		10 39		11 14		11 59	12 14		
17 Ulrichskirchen			5 40		6 42	7 06		7 42		8 47	9 02		9 02		9 16		10 02		10 05		11 02		12 02		
19 Schleinbach			5 45		6 46	7 10		7 46		8 51	9 05		9 05		9 19		10 05		10 08		11 05		12 05		
23 Hautzendorf			5 49		6 50	7 14		7 50		8 55	9 09		9 09		9 23		10 09		10 12		11 09		12 09		
26 Niederkreuzstetten			5 53		6 53	7 17		7 53		8 58	9 13		9 13		9 27		10 13		10 16		11 13		12 13		
29 Neubau-Kreuzstetten			6 05		6 59	7 23		7 59		9 04	9 18		9 18		9 32		10 18		10 21		11 18		12 18		
35 Laciendorf			6 18		7 04	7 30		8 04		9 09	9 22		9 22		9 36		10 22		10 25		11 22		12 22		
37 Passdorf					7 07	7 33		8 07		9 12	9 24		9 24		9 38		10 24		10 27		11 24		12 24		
40 Mistelbach	an		6 23		7 10	7 36		8 10		9 15	9 28		9 28		9 42		10 28		10 31		11 28		12 28		
40 Mistelbach	ab				7 12		8 12		9 12		9 39		9 39		9 53		10 39		10 42		11 39		12 39		
41 Mistelbach Stadt					7 14		8 14		9 14		9 41		9 41		9 55		10 41		10 44		11 41		12 41		
47 Siebenhirten					7 19		8 19		9 19		9 46		9 46		9 60		10 46		10 49		11 46		12 46		
48 Hürsdorf					7 21		8 21		9 21		9 48		9 48		10 02		10 48		10 51		11 48		12 48		
51 Frättingsdorf					7 24		8 24		9 24		9 52		9 52		10 06		10 52		10 55		11 52		12 52		
56 Erzersdorf bei Staatz					7 30		8 30		9 30		9 56		9 56		10 10		10 56		10 59		11 56		12 56		
60 Staatz					8 04		9 04		10 04		10 32		10 32		10 46		11 32		11 35		12 32		13 00		
62 Kottlingnesiedl					7 36		8 36		9 36		9 55		9 55		10 02		10 55		10 58		11 52		12 52		
67 Laa a.d.Thaya	an				7 41		8 41		9 41		9 40		9 40		10 08		11 08		11 12		12 08		13 02		

		SB 24466	SB 24478	SB 24486	REX 24498 2.	SB 24506	SB 24518	SB 24526	REX 24538 2.	SB 24546	SB 24558	SB 24566	REX 24578 2.	SB 24586	REX 24608 2.	SB 24598	SB 24606	REX 24618 2.	SB 24626	REX 24610 2.	SB 24638	SB 24646	REX 24658 2.	SB 24666	
zusätzliche Hinweise																									
km																									
0 Leopoldau	ab	12 12	12 33	12 42	13 03	13 12	13 33	13 42	14 03	14 12	14 33	14 42	15 03	15 12	15 29	15 33	15 42	16 03	16 12	16 29	16 33	16 42	17 03	17 12	
3 Gerasdorf		12 16	12 37	12 46	13 16	13 37	13 46	14 16	14 37	14 46	15 16	15 25	15 46	15 55	16 03	16 12	16 37	16 46	16 19	16 49	17 03	17 12	17 37		
6 Kapellerfeld		12 19	12 40	12 49	13 19	13 40	13 49	14 19	14 40	14 49	15 19	15 28	15 49	15 58	16 06	16 15	16 40	16 49	16 21	16 51	17 05	17 14	17 39		
8 Seyring		12 21	12 42	12 51	13 21	13 42	13 51	14 21	14 42	14 51	15 21	15 30	15 51	16 00	16 08	16 17	16 42	16 51	16 24	16 54	17 08	17 17	17 42		
11 Obersdorf Haltestelle		12 24	12 45	12 54	13 11	13 24	13 45	14 11	14 24	14 45	15 11	15 24	15 54	16 03	16 12	16 37	16 46	16 19	16 49	17 03	17 12	17 37			
13 Wolkersdorf	an	12 27	12 48	12 57	13 14	13 27	13 48	14 14	14 27	14 48	15 12	15 27	15 57	16 06	16 15	16 40	16 49	16 22	16 52	17 06	17 15	17 40			
13 Wolkersdorf	ab		12 58		13 14		13 59		14 14		14 59		15 15		15 40		16 15		16 40		16 59		17 15		
17 Ulrichskirchen			13 02		13 05		14 02		14 05		15 02		15 05		16 02		16 05		17 02		17 05		18 02		
19 Schleinbach			13 09		13 12		14 09		14 12		15 09		15 12		16 09		16 12		17 09		17 12		18 09		
23 Hautzendorf			13 13		13 16		14 13		14 16		15 13		15 16		16 13		16 16		17 13		17 16		18 13		
26 Niederkreuzstetten			13 19		13 22		14 19		14 22		15 19		15 22		16 19		16 22		17 19		17 22		18 19		
29 Neubau-Kreuzstetten			13 24		13 27		14 24		14 27		15 24		15 27		16 24		16 27		17 24		17 27		18 24		
35 Laciendorf			13 28		13 36		14 28		14 36		15 28		15 40		16 04		16 28		17 04		17 28		18 04		
37 Passdorf					13 39		14 39		15 40		16 04		16 04		16 28		17 04		17 28		18 04		18 28		
40 Mistelbach	an		13 41		14 41		15 42		16 07		16 07		16 31		17 07		17 31		18 07		18 31		19 07		
40 Mistelbach	ab				13 41		14 41		15 42		16 07		16 07		16 31		17 07		17 31		18 07		18 31		
41 Mistelbach Stadt			13 46		14 46		15 47		16 07		16 07		16 31		17 07		17 31		18 07		18 31		19 07		
47 Siebenhirten			13 48		14 48		15 50		16 10		16 10		16 34		17 10		17 34		18 10		18 34		19 10		
48 Hürsdorf			13 52		14 52		15 53		16 13		16 13		16 37		17 13		17 37		18 13		18 37		19 13		
51 Frättingsdorf			13 58		14 58		15 59		16 19		16 19		16 43		17 19		17 43		18 19		18 43		19 19		
56 Erzersdorf bei Staatz			14 00		15 00		16 01		16 21		16 21		16 45		17 21		17 45		18 21		18 45		19 21		
60 Staatz			14 02		15 02		16 03		16 23		16 23		16 47		17 23		17 47		18 23		18 47		19 23		
62 Kottlingnesiedl			14 08		15 08		16 09		16 29		16 29		16 53		17 29		17 53		18 29		18 53		19 29		
67 Laa a.d.Thaya	an				14 08		15 08		16 09		16 29		16 53		17 29		17 53		18 29		18 53		19 29		

		REX 2412 2.	SB 24678	SB 24686	REX 24698 2.	SB 24706	SB 24714 2.	SB 24718	SB 24726	REX 24738 2.	SB 24746	SB 24766	REX 24778 2.	SB 24786	SB 24806	REX 24818 2.	SB 24826	SB 24846	REX 24858 2.	SB 24866	SB 24886	SB 24906	SB 24926		
zusätzliche Hinweise																									
km																									
0 Leopoldau	ab	17 29	17 33	17 42	18 03	18 12	18 29	18 33	18 42	19 03	19 12	19 42	20 03	20 12	20 42	21 03	21 12	21 42	22 03	22 12	22 42	23 12	23 42		
3 Gerasdorf		17 37	17 46	17 46	18 16	18 16	18 37	18 46	19 16	19 46	20 16	20 46	20 46	20 19	20 49	21 19	21 49	22 19	22 49	23 19	23 49				
6 Kapellerfeld		17 42	17 51	17 51	18 21	18 21	18 42	18 51	19 21	19 51	20 21	20 51	20 21	20 54	21 24	21 54	22 24	22 54	23 24	23 54					
8 Seyring		17 45	17 54	17 54	18 24	18 24	18 45	18 54	19 10	19 24	19 54	20 11	20 24	20 54	2										

4 Anpassung des Geschwindigkeitsprofils durch Parametervariation

In diesem Abschnitt der Diplomarbeit wird im Detail ein möglicher Fahrzeitgewinn, der sowohl von der eingebauten Überhöhung ausgeht und die Möglichkeit einer höheren Bogengeschwindigkeit in Betracht zieht (Trassierungsgrenzwerte ausnutzen). Zudem werden der Zeitgewinn infolge einer zusätzlichen Überhöhung sowie der Einsatz von anderen Fahrzeugen (NeiTech) überprüft. Im Zuge dessen wird für den jeweiligen Bogen eine neue höchstzulässige Geschwindigkeit und damit für verschiedene Szenarien ein neues Geschwindigkeitsprofil ermittelt, welches bei Verbesserungspotenzial mit dem aktuellen VzG zu ersetzen gilt.

Ebenso wird auf den Zustand eines Mischverkehrs mit der Annahme eines zusätzlichen Güterverkehrs eingegangen. Als weitere Variante sei die Laaer Ostbahn mit einer Grenzwertausnutzung, die ausschließlich einen Personenverkehr (PV) ermöglicht.

Jetzt und auch in weiterer Folge der Diplomarbeit wird immer von der Fahrtrichtung von Wien Leopoldau nach Laa an der Thaya gesprochen. Da sich die Geschwindigkeitsprofile des bereits existierenden VzG in beide Fahrtrichtungen gleichen, ist es nur notwendig ein neues Geschwindigkeitsprofil für eine ausgewählte Fahrtrichtung zu ermitteln und diese für die jeweils andere gestürzt zu übertragen. Ein zusätzlicher Eintrag mit höherer Geschwindigkeit ist von Wien Leopoldau nach Laa an der Thaya zwischen Frättingsdorf und Enzersdorf bei Staats aufzufinden der im VzG für die Gegenrichtung nicht angeführt ist und für die Gegenrichtung zu vernachlässigen gilt.

Alle Berechnungen zur Parametervariation werden in Microsoft Excel (Version 2312) angestellt. [75] Die zuvor beschriebenen und bereits implementierten Daten zur absoluten Kilometrierung, Betriebsstellenbezeichnung, Informationen zu Bogenradien und dessen koordinatentreue Vorzeichen, als auch Informationen zur Länge der Übergangsbogen und Überhöhungsrampen, sowie die Daten zur Überhöhung und das Geschwindigkeitsprofil werden aus dem Fahrplanbearbeitungsprogramm exportiert und in Excel importiert. Anschließend werden alle Daten zur weiteren Verarbeitung aufbereitet und dem Betriebsstellenzentrum oder dem zugehörigen Ein- und Ausfahrtssignal (falls vorhanden) der absoluten Kilometrierung zugeordnet. Unter Berücksichtigung des Geschwindigkeitsprofils und der absoluten Kilometrierung lässt sich die reine Fahrzeit

ohne Halt berechnen, welche als Grundlage zum Vergleich anderer Geschwindigkeitsprofile dient. In der Excelberechnung werden unendlich große Beschleunigungen und Verzögerungen in Fahrtrichtung vorausgesetzt. Ebenso werden keine Aufenthaltszeiten berücksichtigt, um verschiedene Zugläufe mit verschiedenen Haltevorgaben direkt miteinander vergleichen zu können. Für den Fall der Bestandsstrecke mit realem Geschwindigkeitsprofil des VzG ergibt sich eine Fahrzeit von 44,8 Minuten.

Gemäß den Gleichungen aus Kapitel 2 werden weiters eine ausgleichende Überhöhung sowie der ergebende Überhöhungsfehlbetrag als auch die Änderung des Überhöhungsfehlbetrages für potenziell kritische aufeinanderfolgende Trassierungselemente ohne Übergangsbogen berechnet. Letzterer dient zur Überprüfung, ob die vorgegebenen Grenzwerte auf der Bestandstrecke gemäß dem Regelwerk der ÖBB selbst eingehalten werden, und weist denkbar kritische Trassierungselemente für die Parametervariation auf. Ebenso wird die auftretende Seitenbeschleunigung des jeweiligen Bogens bei Durchfahrt mit zulässiger Geschwindigkeit des VzG berechnet. Auf der Zubringerschleife zwischen Wien Süßenbrunn-West und Wien Süßenbrunn-Nord ergibt sich dabei mit den exportierten Daten von FBS eine maximale Seitenbeschleunigung von fast 5 m/s^2 bei 120 km/h . Dies lässt auf einen Datenfehler oder einer falschen Darstellung der Geschwindigkeit in FBS hindeuten der im Bestand zwar unverändert belassen wird, jedoch bei Neuauslegung der Geschwindigkeitsprofile jedes Szenarium berücksichtigt und behoben wird. Demnach ergibt sich nach Neuauslegung für den betrachteten Bereich mit schlechter Datenqualität eine geringste maximale Geschwindigkeit von 55 km/h . Trotz des Datenfehlers gilt das Ziel nach wie vor, in den anderen Bereichen einen Geschwindigkeitszuwachs zu erreichen, der letztendlich zu einer Fahrzeitverkürzung führt.

Für die Berechnung sind alle zu Trage kommenden Grenzwerte notwendig. Dazu wird die Limitierung der Grenzwerte immer entsprechend den Tabellen aus Kapitel 2.7.2 ausgewählt, wobei in jedem Fall immer alle Vorgaben und Richtlinien erfüllt werden. Grenzwerte, die eine Auslegung am strengsten einschränken, werden selektiert, sodass die Grenzwerte der anderen Richtlinien und Vorgaben berücksichtigt werden. Sollte eine Auswahl anderweitig getroffen werden und damit Grenzwerte eines oder einiger Regelwerke verletzen, wird dies in der Diplomarbeit erwähnt.

Die Berechnung in Excel wird in drei Grundkonzepte differenziert. Die erste Variante beruht auf der Bestandsstrecke und nimmt keinerlei infrastrukturelle Maßnahmen vor. Sehr wohl verändert werden aber die Werte der unausgeglichenen Seitenbeschleunigung, welche eine

schnellere Fahrt ermöglichen. In der zweiten Variante wird zusätzlich die Überhöhung der Strecke angepasst, sodass ein Mischverkehr (bestehend aus Personenverkehr und Güterverkehr) möglich bleibt. Die letzte Variante überhöht bei Bogenfahrt nochmals mehr (Grenzwerte des ÖBB-Regelwerks 01|03 werden dabei verlassen) und lässt dadurch ausschließlich einen Personenverkehr zu.

Zwischen diesen drei Varianten wird zusätzlich innerhalb der Berechnung zwischen einem Doppelstockwagen und dem Desiro ML bei verschiedenen unausgeglichene Seitenbeschleunigungen ($l = 100 \text{ mm} \triangleq a_q = 0,654 \text{ m/s}^2$; $l = 130 \text{ mm} \triangleq a_q = 0,85 \text{ m/s}^2$; $l = 150 \text{ mm} \triangleq a_q = 0,98 \text{ m/s}^2$) gemäß den Grenzwerten unterschieden.

Innerhalb der drei Varianten wird darüber hinaus Bezug auf einen NeiTech Zug genommen. Dies geschieht am Beispiel der Baureihe 4011, umgangssprachlich als ICE-T bezeichnet, und dem entsprechenden Grenzwert für den Überhöhungsfehlbetrag bei Verwendung der Neigetechnik ($l = 275 \text{ mm}$). Die Wahl fällt explizit auf diese Baureihe, da es sich hierbei um einen der wenigen vorhandenen Züge mit Neigetechnik in Österreich handelt. Die ÖBB verfügte eigens über eine geringe Stückzahl der ICE-T Züge, die heute unter der Führung der DB zwischen Österreich und Deutschland über Passau verkehren [76]. Für die Bauart wird mit einer maximal zulässigen Geschwindigkeit von 230 km/h eine LZB- ETCS-Level 2 Ausrüstung vorausgesetzt. [23]

Zur Berechnung eines neuen Geschwindigkeitsprofils ist die Vorgabe einer maximalen unausgeglichene Seitenbeschleunigung essenziell. Wie schon beschrieben geschieht dies bei verschiedenen Grenzwerten gemäß dem Regelwerk der ÖBB. Als erster Schritt wird mit vorgegebener Überhöhung und Nutzung der Gleichungen in Kapitel 2 eine ausgleichende Überhöhung und folglich, unter Berücksichtigung der Grenzwerte für die unausgeglichene Seitenbeschleunigung, eine neue maximale Geschwindigkeit für den jeweiligen Bogen und dem Fahrzeug berechnet. Das dabei entstehende Ergebnis wird auf die nächstkleinere, durch fünf teilbare Zahl abgerundet. Weiters werden kleinere Teilabschnitte der Strecke zusammengefasst und auf die jeweils kleinste neue Geschwindigkeit bezogen, um ein vorläufiges Geschwindigkeitsprofil zu erhalten (nicht aber unter einer Geschwindigkeit des bestehendem VzG). Da man die Fahrzeitverkürzung maximieren will, sollen hohe Geschwindigkeiten möglichst lange gefahren werden. Niedrigere Geschwindigkeiten sollen mindestens eine Beharrungszeit von 30 Sekunden aufweisen, sofern die Ausgangssituation selbst diese Anforderung der Beharrungszeit verletzt, ist dem nicht Folge zu leisten. Unter Berücksichtigung der Mindestbeharrungszeit

entsteht ein geglättetes und neues Geschwindigkeitsprofil, aus dem man in Zusammenhang mit der Kilometrierung eine neue Fahrzeit berechnen kann. Weiters wird eine neue ausgleichende Überhöhung berechnet, die als Kontrolle dient, um einen möglichen Überhöhungsüberschuss zu erkennen. Dies trifft vor allem in den Varianten der Überhöhungsanpassung zu wo es einen Überhöhungsüberschuss dringlich zu vermeiden gilt. Ebenso wird wie in der Ausgangssituation die Änderung des Überhöhungsfehlbetrages in potenziell kritischen Fällen von Trassierungselementen ohne Übergangsbogen kontrolliert, und ob das jeweilige Szenarium unter dem Ausnahmegrenzwert liegt. Diese Vorgehensweise ist analog für jeden einzelnen Fall und jede Variante, mit dem Unterschied anzuwenden, dass bei der zweiten und dritten Variante oberbauliche Maßnahmen vorgenommen werden. Anzumerken ist, dass diese Varianten aber nicht mehr als notwendig überhöht werden, sofern die maximale Geschwindigkeit des Fahrzeuges bereits erreicht wurde und immer unter oder maximal gleich den beschriebenen Grenzwerten für einen Mischverkehr beziehungsweise Personenverkehr gewählt werden. Mit OpenRailwayMap wird überprüft, ob sich Bahnsteigbereiche in einem Bogen oder einer Gerade befinden. Im Bahnsteigbereich wurde mit maximal 100 mm entsprechend dem Regelwerk der ÖBB 01|03 überhöht und entspricht damit dem Ausnahmegrenzwert.

Ebenso sei zu erwähnen, dass die Überhöhungsänderung für aufeinander folgende Elemente als auch die Mindestlängen für Überhöhungsrampe und Übergangsbogen nach dem Regelwerk der ÖBB für die Bestandsstrecke kalkuliert werden. Anzumerken ist, dass die Mindestlängen auf der existierenden Strecke trotz Berücksichtigung des Ausnahmegrenzwertes des Öfteren nicht eingehalten werden. Zu der beschriebenen Problematik werden in der Arbeit keine Formeln angeführt und dienen in der Berechnung nur zur Eruierung. Im genannten Punkt kann es sich um eine schlechte Datenqualität, falsch übertragene Dokumente als auch Fehler bei der Auslegung handeln. Ebenso könnte sich die Auslegung von Übergangsbogen- und Überhöhungsrampenlänge auf veraltete Vorgaben beziehen. Dies hätte zur Folge, dass ohne Erneuerung der Laaer Ostbahn nach aktuell gültigen Regelwerken keine korrekten Längen verbaut sind. Da auch keinerlei geografische Daten zur Lage und Position der Übergangsbogen und Überhöhungsrampen vorliegen und es sich zwar um eine bogenreiche Strecke, nicht aber um eine Strecke auf deren Bögen unmittelbar aufeinander folgen handelt, wird auf die beschriebene Problematik nicht genauer eingegangen. Vermutlich ist aber das Potenzial und der Platz zur Verlegung längerer Übergangselemente vorhanden, sodass Scherenrampen oder das ineinander Ragen von Elementen vermieden werden kann. Die Vermutung wird mit dem

augenscheinlichen Verlauf der Laaer Ostbahn bestätigt. Am Beispiel der Strecke 10501 zwischen Semmering und Gloggnitz ist eine solche Vermutung unzulässig, da verschiedene Trassierungselemente direkt aufeinanderfolgen. Infolgedessen werden durch Änderung der Überhöhung der Laaer Ostbahn keinerlei Angaben zu notwendigen Übergangsbögen und Überhöhungsrampen getroffen.

Eine Änderung von bestehenden Übergangsbogenlängen und dem proportional wachsenden Abrückmaß ist mit hohen Kosten verbunden. Um eine Anpassung der Überhöhung wirtschaftlich umzusetzen, wird eine andere Rampenform bei gleichbleibender Länge ausgebildet. [18] Nach den Vorgaben der EN 13803 wird eine maximale Rampenneigung von 2,5 mm/m bei einer Geschwindigkeit größer 50 km/h bei unveränderter Übergangsbogenlänge verlangt [31]. Durch eine Überhöhungsanpassung, die das Ausnutzen der Trassierungsgrenzwerte präferiert und ein Mischverkehr möglich bleibt, ist jedoch in sieben Fällen eine Verlängerung der bestehenden Übergangsbogen und damit die Verschiebung der Gleislage erforderlich, sodass die Angabe der Norm hinsichtlich der Ausbildung einer neuen Rampenform erfüllt wird. Bei einer Überhöhungsanpassung, wodurch ein Güterverkehr von der Befahrung ausgeschlossen wird, ist in 13 Fällen eine Anpassung der Übergangsbogenlänge notwendig. Auf der existierenden Bestandsstrecke sind auf insgesamt fünf der bereits genannten Fälle eine Vorgabe der maximalen Rampenneigung nicht erfüllt. Wie erwähnt wird jedoch angenommen, dass auf der betrachteten Strecke der Platz zur Verlängerung der einzelnen notwendigen Übergangsbogenlänge und der Verschiebung der Gleislage besteht, damit eine maximale Rampenneigung selbst bei Überhöhungsanpassung nicht überschritten wird.

Die nachstehenden Tabellen sollen die verschiedenen berechneten Fälle und dessen Ergebnisse als Fahrzeitverkürzung ausgehend von einem jeweils neuem geglätteten Geschwindigkeitsprofil gegenüber dem Bestand visualisieren und damit die drei beschriebenen Grundkonzepte widerspiegeln. Die Tab. 9 bezieht sich auf Fahrzeuge bei verschiedenen unausgeglichene Seitenbeschleunigungen beziehungsweise unterschiedlichen Überhöhungsfehlbeträgen unter Ausnutzung der Trassierungsgrenzwerte auf der unveränderten Bestandsstrecke. Der Bestand wird in der Tabelle als das unveränderte Geschwindigkeitsprofil, welches dem original bestehendem VzG gleicht, fahrend auf der unveränderten Bestandsstrecke bezeichnet (Ausgangssituation). Fahrzeuge in Konstellation eines Doppelstockwagen und Triebwagen bestehend aus dem Desiro ML werden für verschiedene Szenarien betrachtet. Ebenso wird in der Tabelle die Fahrzeit unter Nutzung der Neigetechnik am ICE-T dargestellt.

Tab. 9: Fahrzeit und -verkürzung mit unterschiedlichen Fahrzeugen bei verschiedenen unausgeglichenen Seitenbeschleunigungen/Überhöhungsfehlbeträgen auf der Bestandsstrecke

Ausnutzen von Grenzwerten ohne Oberbauänderungen (keine baulichen Maßnahmen)			
	Fahrzeit [min]	Reduktion [min]	Reduktion [%]
Bestand (Ausgangssituation)	44,767	0	0
DS $a_q = 0,654 \text{ m/s}^2$	43,098	1,669	3,728
DS $a_q = 0,85 \text{ m/s}^2$	41,591	3,176	7,095
DS $a_q = 0,98 \text{ m/s}^2$ (leichtes Tfz notwendig)	40,421	4,345	9,706
DML $a_q = 0,654 \text{ m/s}^2$	42,552	2,215	4,948
DML $a_q = 0,85 \text{ m/s}^2$	40,710	4,056	9,06
DML $a_q = 0,98 \text{ m/s}^2$	39,489	5,278	11,789
ICE-T NeiTech mit $l = 275 \text{ mm} \triangleq a_q = 1,8 \text{ m/s}^2$ für das Drehgestell	32,089	12,678	28,319

An dieser Stelle sei nochmal angemerkt, dass Fahrzeit und Fahrzeitverkürzung auf Grundlage von unendlich großen Beschleunigungen und Verzögerungen in Fahrtrichtung ohne Halt in Betriebsstellen kalkuliert werden. Ebenso ist zu berücksichtigen, dass der Doppelstockwagen in Kombination des Triebfahrzeuges 1116 für eine unausgeglichene Seitenbeschleunigung von $a_q = 0,98 \text{ m/s}^2$ nicht zulässig wäre, da die Achslast der verwendeten Taurus jener Vorgaben der leichten Fahrzeuge von ≤ 18 Tonnen übersteigt. Daher muss unter einer Verwendung des Doppelstockwagen bei einer unausgeglichenen Seitenbeschleunigung von $a_q = 0,98 \text{ m/s}^2$ zwingend ein anderes und leichteres Triebfahrzeug (Tfz) gewählt werden.

Die nachstehenden Tabellen beziehen sich auf Fahrzeuge bei verschiedenen unausgeglichenen Seitenbeschleunigungen beziehungsweise Überhöhungsfehlbeträgen bei gleichzeitiger Veränderung der Überhöhung unter Ausnutzung der Trassierungsgrenzwerte. In [Tab. 10](#) wird der Betrieb eines Mischverkehrs aufrechterhalten. Hingegen bezieht sich die [Tab. 11](#) auf eine Überhöhungsanpassung, dass nur noch ein Betrieb im Personenverkehr möglich ist. Ein Güterverkehr kann aufgrund dessen die betrachtete Strecke nicht mehr befahren.

Tab. 10: Fahrzeit und -verkürzung mit unterschiedlichen Fahrzeugen bei verschiedenen unausgeglichene Seitenbeschleunigungen/Überhöhungsfehlbeträgen auf Strecke mit veränderter Überhöhung für Mischverkehr

Ausnutzen von Grenzwerten mit Oberbauänderungen (Mischverkehr möglich)			
	Fahrzeit [min]	Reduktion [min]	Reduktion [%]
Bestand (Ausgangssituation)	44,767	0	0
DS $a_q = 0,654 \text{ m/s}^2$	40,399	4,367	9,755
DS $a_q = 0,85 \text{ m/s}^2$	39,106	5,660	12,643
DS $a_q = 0,98 \text{ m/s}^2$ (leichtes Tfz notwendig)	38,259	6,508	14,538
DML $a_q = 0,654 \text{ m/s}^2$	39,309	5,458	12,192
DML $a_q = 0,85 \text{ m/s}^2$	38,015	6,751	15,08
DML $a_q = 0,98 \text{ m/s}^2$	37,168	7,599	16,975
ICE-T NeiTech mit $l = 275 \text{ mm} \triangleq a_q = 1,8 \text{ m/s}^2$ für das Drehgestell	30,685	14,082	31,456

Tab. 11: Fahrzeit und -verkürzung mit unterschiedlichen Fahrzeugen bei verschiedenen unausgeglichene Seitenbeschleunigungen/Überhöhungsfehlbeträgen auf Strecke mit veränderter Überhöhung für Personenverkehr

Ausnutzen von Grenzwerten mit Oberbauänderungen (nur Personenverkehr möglich)			
	Fahrzeit [min]	Reduktion [min]	Reduktion [%]
Bestand (Ausgangssituation)	44,767	0	0
DS $a_q = 0,654 \text{ m/s}^2$	39,750	5,016	11,205
DS $a_q = 0,85 \text{ m/s}^2$	38,109	6,657	14,87
DS $a_q = 0,98 \text{ m/s}^2$ (leichtes Tfz notwendig)	37,228	7,538	16,838
DML $a_q = 0,654 \text{ m/s}^2$	38,659	6,107	13,642
DML $a_q = 0,85 \text{ m/s}^2$	37,018	7,748	17,307
DML $a_q = 0,98 \text{ m/s}^2$	36,137	8,629	19,275
ICE-T NeiTech mit $l = 275 \text{ mm} \triangleq a_q = 1,8 \text{ m/s}^2$ für das Drehgestell	30,031	14,736	32,917

Eine genauere Aufschlüsselung für jedes individuelle Fahrzeug inklusive des dazugehörigen berechneten Geschwindigkeitsprofils und der absoluten Kilometrierung ist dem Anhang B zu entnehmen. Sofern nicht in Klammern angeführt gilt das Geschwindigkeitsprofil für alle Fahrzeuge sowie für einen Güterverkehr (GV).

4.1 Geschwindigkeitsprofile am Beispiel Desiro ML und ICE-T (NeiTech)

Im nachfolgenden Kapitel werden die verschiedenen Varianten der erhöhten Seitenbeschleunigung ($a_q = 0,654$ bis $0,98 \text{ m/s}^2$) als auch die Auswirkungen am Geschwindigkeitsprofil ohne Anpassen der Überhöhung sowie durch ein Anpassen der Überhöhung auf jene der Grenzwerte eines Mischverkehrs oder reinem Personenverkehr am Beispiel des Desiro ML aufgezeigt. Ebenso wird auf das Geschwindigkeitsprofil des ICE-T bei verschiedenen Überhöhungen eingegangen.

In [Abb. 13](#) sind die jeweiligen Geschwindigkeitsprofile des Desiro ML als auch des ICE-T unter Nutzung der Neigetechnik auf der Bestandsstrecke (ohne Oberbauänderung) in Gegenüberstellung der Ausgangssituation ersichtlich.

Angedacht ist, die Abbildungen in Form eines VzG darzustellen, um verschiedene Geschwindigkeitsprofile untereinander direkt vergleichen zu können. Die neuen VzG ergebend für einen Doppelstockwagen oder einen Güterverkehr werden aus Gründen der Übersicht nicht angeführt. Die Geschwindigkeitsprofile würden sich ohnehin gleichen und müssten nur entsprechend der jeweiligen maximalen Geschwindigkeiten angepasst werden. Im Falle des Zuges mit einem Doppelstockwagen wird eine mögliche Geschwindigkeit von größer 140 km/h auf 140 km/h limitiert werden. Beim Güterverkehr ändert sich dies analog auf 120 km/h. Zur vereinfachten Darstellung wurden die Streckenabschnitte von Wien Leopoldau nach Wien Süßenbrunn West als auch Wien Süßenbrunn West nach Wien Süßenbrunn Nord mit der absoluten Kilometrierung der Strecke 11601 fortgeführt und die ursprüngliche absolute Kilometrierung der Vorlaufstrecken für eine einfachere Veranschaulichung ersetzt.

In [Abb. 14](#) sind die jeweiligen Geschwindigkeitsprofile des Desiro ML als auch des ICE-T unter Nutzung der Neigetechnik auf der Strecke mit angepasster Überhöhung, sodass ein Mischverkehr möglich bleibt (mit Oberbauänderung), ersichtlich. Die Ausgangssituation dient dabei als Kontrast zum Vergleich.

Zuletzt sind in [Abb. 15](#) die jeweiligen Geschwindigkeitsprofile des Desiro ML als auch des ICE-T unter Nutzung der Neigetechnik auf der Strecke mit angepasster Überhöhung (sodass nur noch ein Personenverkehr möglich bleibt) zu entnehmen. Für eine Gegenüberstellung ist die Ausgangssituation ebenfalls ersichtlich.

4 Anpassung des Geschwindigkeitsprofils durch Parametervariation

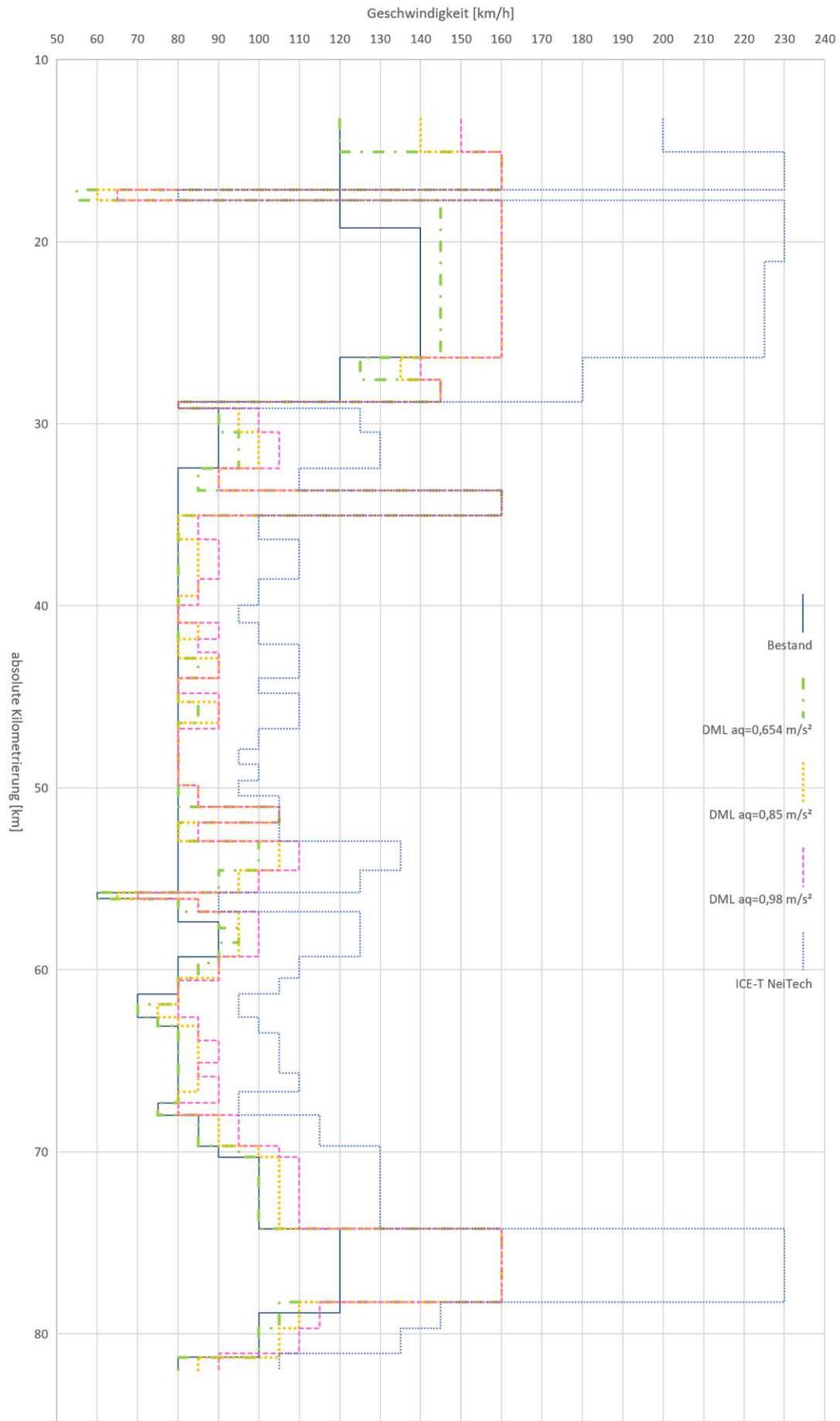


Abb. 13: neues VzG für Bestandsstrecke hinsichtlich verschiedener Szenarien

4 Anpassung des Geschwindigkeitsprofils durch Parametervariation

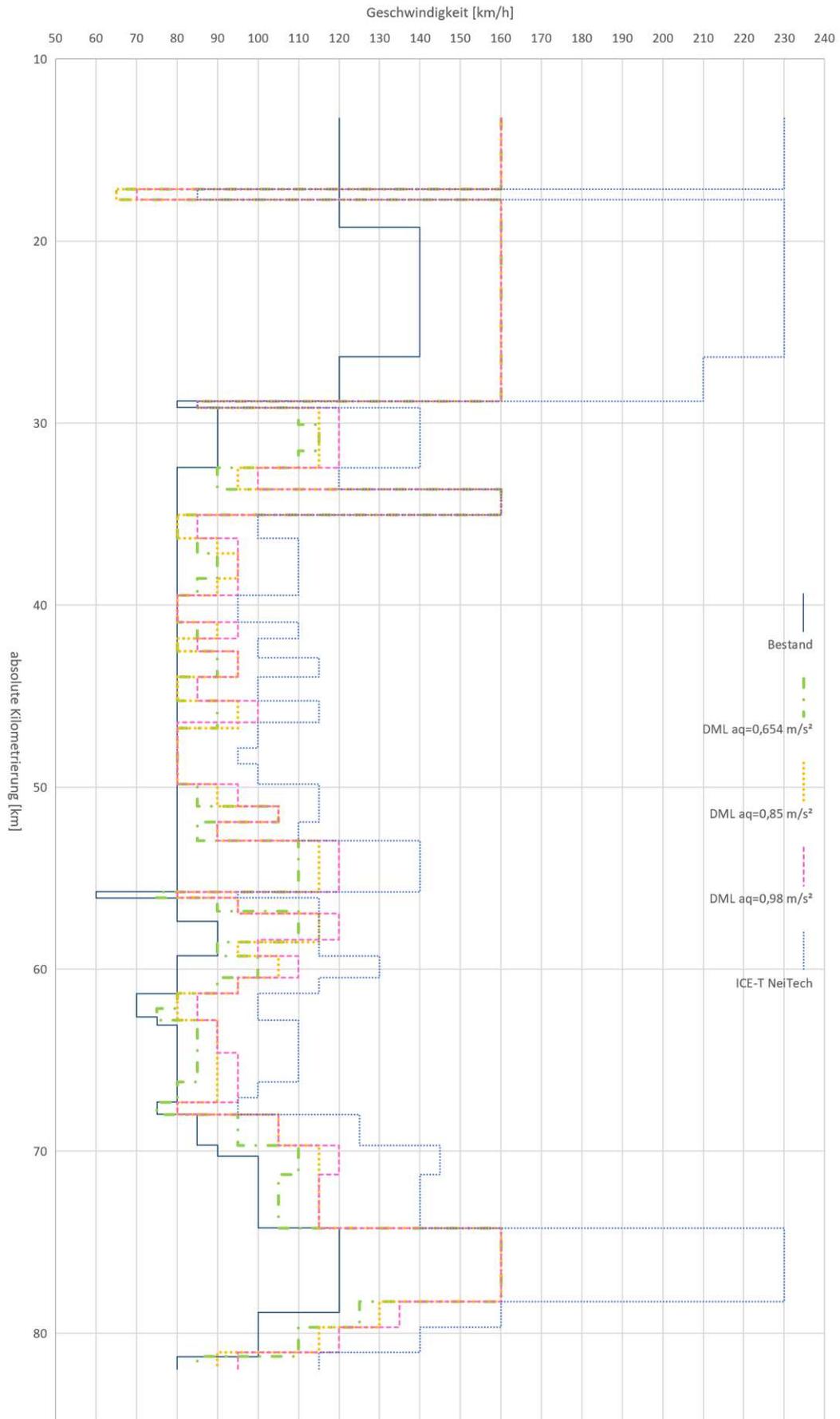


Abb. 14: neues VzG mit angepasstem D (MV) hinsichtlich verschiedener Szenarien

4 Anpassung des Geschwindigkeitsprofils durch Parametervariation

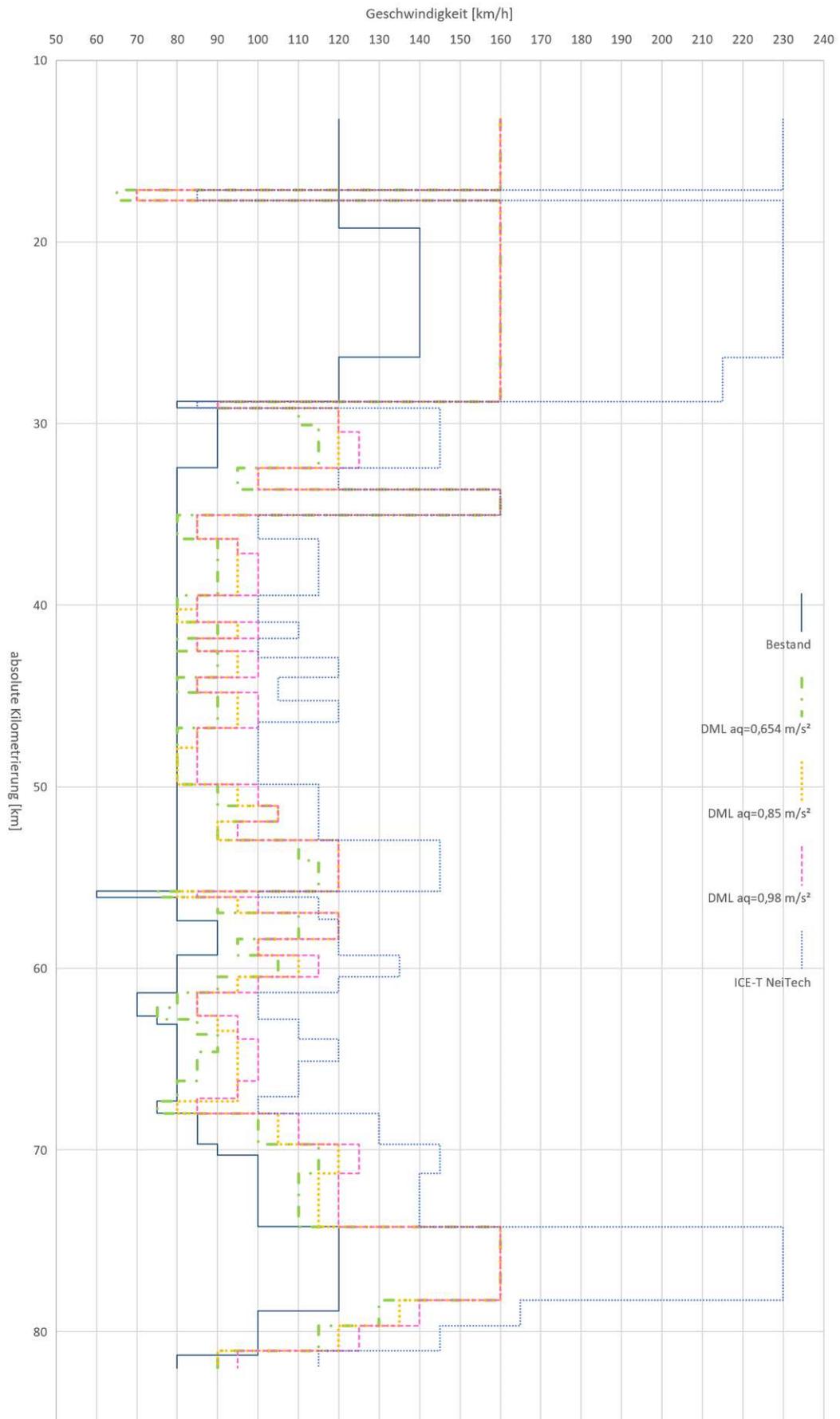


Abb. 15: neues VzG mit angepasstem D (PV) hinsichtlich verschiedener Szenarien

4.2 Fahrplananalyse mit zusätzlicher Seitenbeschleunigung in FBS

Gemäß des Pareto Prinzips werden 80 % der Ergebnisse mit 20 % des Aufwands erreicht. Nach diesem Grundsatz erscheint es angebracht, sich genauer mit der Variante des DML mit Grenzwerten als leichtes Fahrzeug bei einer unausgeglichenen erhöhten Seitenbeschleunigung von $a_q = 0,98 \text{ m/s}^2$ zu befassen. Auf der Bestandsstrecke konnten bereits 5,3 Minuten (11,789 %) gegenüber der Ausgangssituation eingespart werden. Durch Überhöhungsanpassung, wodurch ein Mischverkehr bestehen bleibt, ergibt sich eine Fahrzeitminimierung von 7,6 Minuten (16,975 %). Die zusätzliche Einsparung relativiert sich wie bei der Überhöhungsanpassung, sodass nur noch ein Personenverkehr möglich ist, wobei 8,6 Minuten (19,275 %) gegenüber der Ausgangssituation eingespart werden können. Bereits mehr als 10 % können durch Anpassung des VzG durch erhöhte Seitenbeschleunigung ohne jegliches Eingreifen auf die Strecke und mit minimalen Kosten erreicht werden. Nach dem Pareto Prinzip müssten für eine Zeiteinsparung von knapp 17 beziehungsweise 19 % höhere Kosten getragen (Umbau der Bestandsstrecke) und ein großer Aufwand betrieben werden (Streckensperrungen zur Überhöhungsanpassung), welche sich vermutlich nicht relativieren, um annähernd gleiche Ergebnisse ohne größeren Aufwand zu erreichen. Daher erscheint die Variante des Desiro ML mit Grenzwerten als leichtes Fahrzeug bei $a_q = 0,98 \text{ m/s}^2$ auf der Bestandsstrecke am realistischen hinsichtlich der reellen Umsetzung.

Von Wichtigkeit ist, dass die Doppelstockwagen im Bestand in Kombination der Baureihe 1116 als leichtes Fahrzeug mit einer erhöhten Seitenbeschleunigung von $a_q = 0,98 \text{ m/s}^2$ nicht zulässig sind. Um auch in diesem Fall Streckensperrungen als auch Umbauten zu vermeiden und kein neues Triebfahrzeug wählen zu müssen, wird die Variante des Doppelstockwagens mit einer erhöhten Seitenbeschleunigung von $a_q = 0,85 \text{ m/s}^2$ ebenfalls auf der Bestandsstrecke betrachtet.

Der Desiro ML mit $a_q = 0,98 \text{ m/s}^2$ als auch der Doppelstockwagen mit $a_q = 0,85 \text{ m/s}^2$ werden demnach mit den dazugehörigen Geschwindigkeitsprofilen (jeweils eigenes VzG) im Fahrplanbearbeitungsprogramm eingegeben. Die Züge werden fehlerfrei und ohne Mehrfachbelegung der Trassen integriert. Durch die durchschnittlich höhere Fahrzeit konnte zwischen Zugläufen ein neuer Kreuzungsbahnhof definiert werden. Ein neuer Kreuzungsbahnhof ist in Enzersdorf bei Staats zwischen den REX Zügen 24318 und 29415 um 9:19 in [Abb. 16](#) ersichtlich. Im Vergleich dazu ist der ursprüngliche Begegnungsbahnhof in Fröttlingsdorf um 9:24 in [Abb. 10](#) zu erkennen.

4 Anpassung des Geschwindigkeitsprofils durch Parametervariation

Leopoldau - Laa a.d.Thaya
 gültig vom 13.12.2020 bis 11.12.2021
 67,345 km

Fahrplanbearbeitungssystem FBS-FuL | iPLAN 1.8.1 | lizenziert für TU Wien
 Informationen unter www.irfp.de

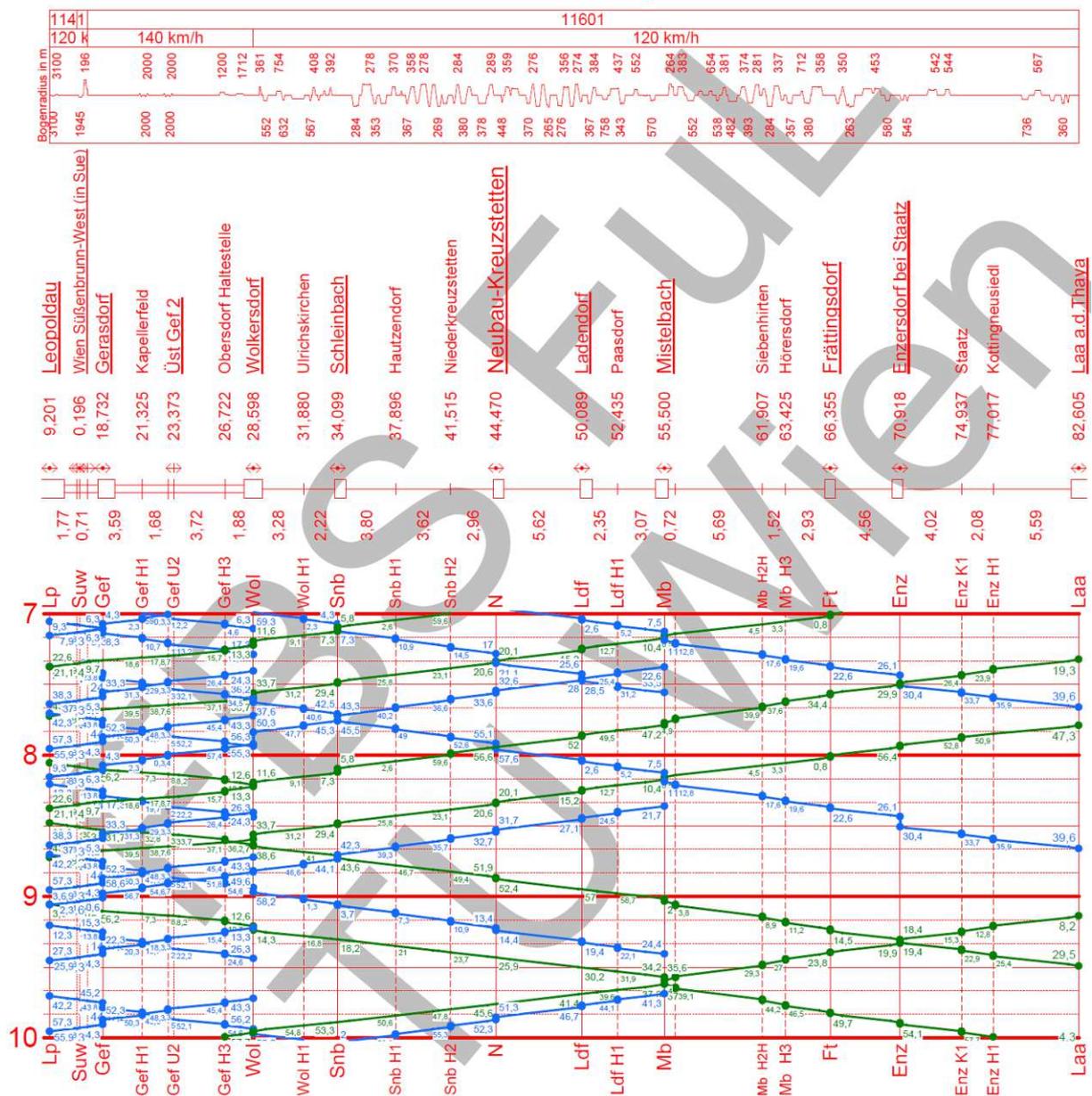


Abb. 16: Bildfahrplan Wien Leopoldau - Laa a. d. Thaya von 7 bis 10 Uhr mit erhöhter Seitenbeschleunigung (DML $a_q = 0,98 \text{ m/s}^2$ und DS $a_q = 0,85 \text{ m/s}^2$)

Die Bremseneinstellungen mussten beim Desiro ML aufgrund der höheren Geschwindigkeit auf 220 % Mindestbremsenleistung verändert werden. Im Falle des Doppelstockzuges mussten ebenfalls die Bremseneinstellungen entsprechend den Mindestbremsenleistung auf 220 R+Mg für die Schnellbremse und 150 R für die Betriebsbremse geändert werden.

In diesem Abschnitt der Diplomarbeit soll zum Vergleich mit Abb. 11 anhand des Desiro ML, am Beispiel der Schnellbahnzug 24886 ausgehend von Wien Leopoldau nach Laa an der Thaya, das neue Geschwindigkeitsprofil in Abb. 17 zur Veranschaulichung ersichtlich gemacht werden. Der betrachtete Zug hält mit erhöhter Seitenbeschleunigung in allen Betriebsstellen und es werden erneut Beschleunigungen als auch Verzögerungen in Fahrtrichtung sowie eine Mindestbeharrungszeit von 30 Sekunden nach Geschwindigkeitserhöhung berücksichtigt.

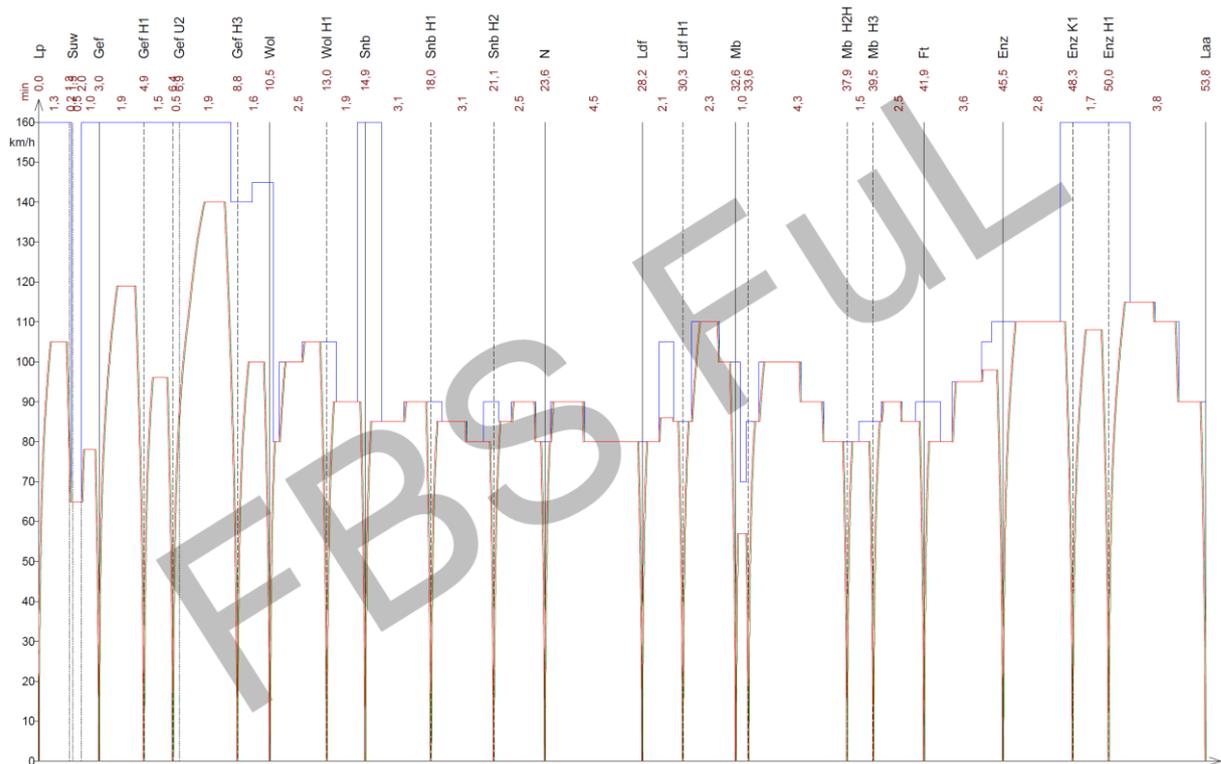


Abb. 17: Geschwindigkeitsprofil mit $a_q = 0,98 \text{ m/s}^2$ am Beispiel der S2 24886

Ein analoges Geschwindigkeitsprofil ergibt sich demnach für den betrachteten Zug und dessen planmäßige Haltestellen, beispielsweise für einen REX bestehend aus einem Doppelstockwagen mit weniger Aufenthalten. Die Geschwindigkeitsprofile anderer Züge im Bestand als auch mit erhöhter Seitenbeschleunigung im Vergleich werden aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht aufgeführt.

4 Anpassung des Geschwindigkeitsprofils durch Parametervariation

Nachdem alle Zugläufe optimiert wurden (hinsichtlich Aufenthalte und Kreuzungsbahnhöfe) ist es möglich, einen Tabellenfahrplan zu erstellen. In Abb. 18 ist ein Auszug des neuen erstellten Musterfahrplans mit Fahrtrichtung kommend von Wien Leopoldau nach Laa a. d. Thaya zu sehen. Zu erwähnen ist, dass allen Regelaufenthalten entsprechend des originalen Fahrplanbildes nachgegangen worden ist, diese beizubehalten und bei Möglichkeit nicht zu minimieren.

902 Leopoldau Wolkersdorf Neubau-Kreuzstetten Mistelbach Laa a.d.Thaya

	SB 24176	SB 24192	SB 24212	SB 24230	SB 24246	SB 24252	SB 24258	SB 24272	SB 24286	REX 24298 Z.	SB 24306	REX 24318 Z.	SB 24326	REX 24338 Z.	SB 24346	REX 24366 Z.	SB 24378 Z.	SB 24386	SB 24406	REX 24418 Z.	SB 24426	SB 24446	REX 24458 Z.	
zusätzliche Hinweise																								
km																								
0 Leopoldau	ab 4:57	5:22	5:52	6:22	6:42	6:52	7:03	7:22	7:42	8:03	8:12	8:28	8:42	9:03	9:12	9:42	10:03	10:12	10:42	11:03	11:12	11:42	12:03	
3 Gerasdorf	5:01	5:27	5:57	6:27	6:47	6:57	7:08	7:27	7:47	8:17	8:17	8:38	8:47	9:07	9:17	9:47	10:17	10:27	10:47	11:17	11:47	12:07		
6 Kapellerfeld	5:03	5:29	5:59	6:29	6:49	6:59	7:10	7:29	7:49	8:19	8:19	8:40	8:49	9:09	9:19	9:49	10:19	10:29	10:49	11:19	11:49	12:09		
8 Seyring	5:05	5:31	6:01	6:31	6:51	7:01	7:12	7:31	7:51	8:21	8:21	8:42	8:51	9:11	9:21	9:51	10:21	10:31	10:51	11:21	11:51	12:11		
11 Obersdorf Haltestelle	5:08	5:34	6:04	6:34	6:54	7:04	7:15	7:34	7:54	8:10	8:24	8:36	8:54	9:10	9:24	9:54	10:10	10:24	10:54	11:10	11:24	11:54	12:10	
13 Wolkersdorf	an 5:11	5:37	6:07	6:37	6:57	7:07	7:18	7:37	7:57	8:13	8:27	8:38	8:57	9:13	9:27	9:57	10:13	10:27	10:57	11:13	11:27	11:57	12:13	
17 Ulrichskirchen	ab	5:37	6:07	6:37	6:57	7:07	7:18	7:37	7:57	8:13	8:27	8:38	8:57	9:13	9:27	9:57	10:13	10:27	10:57	11:13	11:27	11:57	12:13	
19 Schleinbach	5:40	5:45	5:50	5:55	6:00	6:05	6:10	6:15	6:20	6:25	6:30	6:35	6:40	6:45	6:50	6:55	7:00	7:05	7:10	7:15	7:20	7:25	7:30	
23 Hautzendorf	5:45	5:50	5:55	6:00	6:05	6:10	6:15	6:20	6:25	6:30	6:35	6:40	6:45	6:50	6:55	7:00	7:05	7:10	7:15	7:20	7:25	7:30	7:35	
26 Niederkreuzstetten	5:52	5:57	6:02	6:07	6:12	6:17	6:22	6:27	6:32	6:37	6:42	6:47	6:52	6:57	7:02	7:07	7:12	7:17	7:22	7:27	7:32	7:37	7:42	
29 Neubau-Kreuzstetten	6:05	6:10	6:15	6:20	6:25	6:30	6:35	6:40	6:45	6:50	6:55	7:00	7:05	7:10	7:15	7:20	7:25	7:30	7:35	7:40	7:45	7:50	7:55	
35 Ladendorf	6:15	6:20	6:25	6:30	6:35	6:40	6:45	6:50	6:55	7:00	7:05	7:10	7:15	7:20	7:25	7:30	7:35	7:40	7:45	7:50	7:55	8:00	8:05	
37 Passdorf	6:20	6:25	6:30	6:35	6:40	6:45	6:50	6:55	7:00	7:05	7:10	7:15	7:20	7:25	7:30	7:35	7:40	7:45	7:50	7:55	8:00	8:05	8:10	
40 Mistelbach	an	6:20	6:25	6:30	6:35	6:40	6:45	6:50	6:55	7:00	7:05	7:10	7:15	7:20	7:25	7:30	7:35	7:40	7:45	7:50	7:55	8:00	8:05	
41 Mistelbach Stadt	ab																							
47 Siebenhirten	6:17	6:22	6:27	6:32	6:37	6:42	6:47	6:52	6:57	7:02	7:07	7:12	7:17	7:22	7:27	7:32	7:37	7:42	7:47	7:52	7:57	8:02	8:07	
48 Hörsdorf	6:19	6:24	6:29	6:34	6:39	6:44	6:49	6:54	6:59	7:04	7:09	7:14	7:19	7:24	7:29	7:34	7:39	7:44	7:49	7:54	7:59	8:04	8:09	
51 Frättingsdorf	6:21	6:26	6:31	6:36	6:41	6:46	6:51	6:56	7:01	7:06	7:11	7:16	7:21	7:26	7:31	7:36	7:41	7:46	7:51	7:56	8:01	8:06	8:11	
56 Enzersdorf bei Staat	6:23	6:28	6:33	6:38	6:43	6:48	6:53	6:58	7:03	7:08	7:13	7:18	7:23	7:28	7:33	7:38	7:43	7:48	7:53	7:58	8:03	8:08	8:13	
60 Staat	6:25	6:30	6:35	6:40	6:45	6:50	6:55	7:00	7:05	7:10	7:15	7:20	7:25	7:30	7:35	7:40	7:45	7:50	7:55	8:00	8:05	8:10	8:15	
62 Kottlingneusiedl	6:27	6:32	6:37	6:42	6:47	6:52	6:57	7:02	7:07	7:12	7:17	7:22	7:27	7:32	7:37	7:42	7:47	7:52	7:57	8:02	8:07	8:12	8:17	
67 Laa a.d.Thaya	an																							

902

gültig ab 13.12.2020

Abb. 18: FBS-Musterfahrplanbilddauszug 902 Wien – Mistelbach – Laa a. d. Thaya mit erhöhter Seitenbeschleunigung (DML $a_q = 0,98 \text{ m/s}^2$ und DS $a_q = 0,85 \text{ m/s}^2$)

Das vollständig neue Musterfahrplanbild ist dem Anhang A.3 zu entnehmen.

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.

Im Vergleich zum originalen Fahrplan, erstellt in FBS, zeigt der neue Musterfahrplan mit zusätzlicher erhöhter Seitenbeschleunigung, dass ein Fahrzeitgewinn auch mit Regelaufenthalt und der Berücksichtigung von Beschleunigungen und Verzögerungen in Fahrtrichtung sowie der Mindestbeharrungszeit von 30 Sekunden nach Geschwindigkeitserhöhung bestätigt werden kann. In Fahrtrichtung von Wien Leopoldau nach Laa an der Thaya ergibt sich pro Werktag betrachtet für alle Züge eine gesamte Einsparung von 133 Minuten. Dies entspricht bei 68 Zügen pro Tag einem durchschnittlichen Fahrzeitgewinn von knapp zwei Minuten pro Zug. In der Verkehrsrichtung von Laa an der Thaya nach Wien Leopoldau sind bei einer Gesamtanzahl von 68 Zügen ähnliche Ergebnisse zu erkennen. Hier können, in Betrachtung aller Züge, an einem Tag 130 Minuten eingespart werden, was ebenfalls einem Fahrzeitgewinn von knapp zwei Minuten pro Zug entspricht. Zudem werden auch jene Züge miteinkalkuliert, die aufgrund der geringen zurückgelegten Strecke kaum einen Fahrzeitgewinn verzeichnen. Unter Vernachlässigung der Kurzreisezüge verkehrend zwischen Wolkersdorf und Wien Leopoldau und umgekehrt, ergibt sich für die Strecke von Wien Leopoldau nach Laa an der Thaya eine Gesamtanzahl von 39 Zügen und damit eine Einsparung von durchschnittlich 3,41 Minuten. Im Gegenlauf kommt bei dieser Überlegung eine gesamte Anzahl von 38 Zügen zustande und bewirkt damit auf der Strecke von Laa an der Thaya nach Wien Leopoldau ebenfalls eine durchschnittliche Einsparung von 3,42 Minuten. Eine Übersicht des Fahrzeitgewinns ist in [Tab. 12](#) zusammengefasst.

Tab. 12: Fahrzeitgewinn in Abhängigkeit von der Fahrtrichtung und Anzahl der Züge

	Anzahl der Züge	Fahrzeitgewinn pro Tag [min]	Ø Fahrzeitgewinn pro Zug [min]
Wien Leopoldau – Laa an der Thaya			
Alle Personenzüge	68	133	1,956
Züge unter Vernachlässigung der Kurzreisezüge	39	133	3,41
Laa an der Thaya – Wien Leopoldau			
Alle Personenzüge	68	130	1,912
Züge unter Vernachlässigung der Kurzreisezüge	38	130	3,42

Durch das Übereinanderlegen des originalen Bestandsfahrplan mit dem neuen Musterfahrplan, erkennt man einen Fahrzeitgewinn der Züge zwischen einer und maximal acht Minuten. Der REX mit der Kennung 24318 verzeichnet dabei den höchsten Fahrzeitgewinn verkehrend von Wien Leopoldau nach Laa an der Thaya mit einer fast unveränderten Abfahrt um 8:28. Der gerade genannte REX hat eine mit erhöhter Seitenbeschleunigung Ankunft um 9:30 gegenüber dem Bestandsfahrplan um 9:40 (Abfahrt um 8:30). Demnach ergibt sich ein totaler Fahrzeitgewinn von acht Minuten für den betrachteten Zug. Ein direkter Vergleich des Zuges 24318 ist ebenso in einer Gegenüberstellung der beiden Darstellungen Abb. 10 und Abb. 16 möglich.

Ein abschnittsweiser zweigleisiger Ausbau der Laaer Ostbahn, wie das Zielnetz 2024 vorsieht, könnte möglicherweise das Potenzial einer weiteren Fahrzeitreduktion mit sich bringen. Dies trifft speziell dann zu, wenn zusätzliche zweigleisige Ausweichbahnhöfe zur Kreuzung der verkehrenden Züge gebaut werden. Dadurch könnten engere Takte gefahren und das Angebot ausgeweitet werden.

4.3 Alternative Möglichkeit der Fahrzeioptimierung durch softwarebasierte Überhöhungsanpassung

An der Technischen Universität Berlin wurde im Rahmen einer Dissertation ein Programm entwickelt, welches sich die Fahrzeitverkürzung zwischen Bahnhöfen auf bogenreichen Strecken zum Ziel setzt. Mithilfe der softwarebasierten Überhöhungsanpassung kann sowohl eine optimale Trassierung als auch der Fahrzeitgewinn ermittelt werden. [3] Verbaute Überhöhungen mit geringem Wert sorgen für größere Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen Gerade und Bogen. Die Anpassung der Trassierung gewährleistet eine durchgängig höhere Geschwindigkeit. Im Falle der softwarebasierten Lösung soll eine Änderung der Trassierung grundsätzlich ohne Ober- und Unterbauanpassung, jedoch durch Änderung der Gleislage erfolgen. Grundsätzlich müssen durch die Anpassung der Überhöhung, die Überhöhungsrampe als auch der Übergangsbogen im veränderten Streckenabschnitt angeglichen werden. In Deutschland wird der Übergangsbogen nach dem Prinzip von Bloss ausgelegt. Grenzwerte bezieht das Programm der Technischen Universität Berlin aus einschlägigen Richtlinien zur Linienführung [3]. Durch die Vorgabe eines ruckfreien Übergangs verschiebt sich durch den verlängerten Übergangsbogen die Gleislage zur Bogeninnenseite. Das Gleis kann nur um eine geringe Radiusdifferenz von 0,4 m versetzt werden, ohne grundlegende Veränderungen des Ober- und Unterbaus vornehmen zu müssen. Ziel des Programms ist

nicht, die maximal mögliche Überhöhung für jeden Trassierungspunkt zu ermitteln, sondern eine ausreichend große Überhöhung festzulegen, um eine kurze Fahrzeit zu ermöglichen. Zwar wird mit dem Programm mithilfe der maximalen Grenzwerte eine Höchstgeschwindigkeit berechnet, welche jedoch dermaßen angepasst wird, damit keine Geschwindigkeitserhöhungen vorkommen, die eine anschließende unmittelbare Bremsung notwendig macht. Bei einer Geschwindigkeitserhöhung muss eine vorgegebene Mindestwegstrecke eingehalten werden. Für die softwarebasierte Überhöhungsanpassung ist eine Eingabedatei erforderlich, die sämtlichen Informationen und Parameter sowie örtlich zulässige Geschwindigkeiten enthält. Ohne Änderung der Bogenradien wird die kürzeste Fahrzeit auf Grundlage der Gestaltungsregeln berechnet. Daraufhin werden die Überhöhungsänderungen festgelegt, welche notwendig sind, um die zuvor bestimmten höchstzulässigen Geschwindigkeiten zu ermöglichen. Darüber hinaus werden entsprechend der Überhöhung die Überhöhungsrampen und Übergangsbogen ausgelegt. Schneiden sich die Übergangsbögen zwei benachbarter Elemente, wird die effizienteste Kombination der Übergangsbogenanpassung für die Fahrgeschwindigkeitserhöhung ermittelt. Unter den gegebenen Randbedingungen ergibt sich demnach die kürzeste mögliche Fahrzeit zwischen zwei betrachteten Punkten auf Strecken im Bestand. Das Programm zeigt an Beispielen auf, dass bereits mit geringer Trassierungsanpassung oder allein mit der besseren Ausnutzung der vorhandenen Trasse ein großer Fahrzeitgewinn erreicht werden kann. [77]

5 Auswirkungen einer erhöhten Seitenbeschleunigung

Eine erhöhte Seitenbeschleunigung durch eine höhere Bogengeschwindigkeit führt zu einer höheren Belastung für Fahrzeug und Schiene sowie dem gesamten Oberbau, die es zu überprüfen gilt. Dadurch wird der Rad-Schiene-Kontakt und dessen Kräfte sowie eine Belastung für Fahrzeuge als auch ein Entgleisungskriterium genauer betrachtet. Ebenso von Bedeutung ist der Fahrkomfort für Menschen als auch die Ladungsverschiebung im Gütertransport.

5.1 Auswirkungen auf den Oberbau

Die Belastungen und damit die Anforderungen des Oberbaus ergeben sich aus einer Vielzahl von verschiedenen Faktoren. Statische und dynamische Belastungen der Gleise sowie Temperaturbeanspruchungen zählen zu den wichtigsten Aspekten der Oberbaubeanspruchungen. Schienen und Schwellen werden entsprechend miteinander zu Gleisrosten verbunden und in einem darunter liegenden Schotterbett verlegt. Bei festen Fahrbahnen hingegen kommen statt der Schotter Bettungssysteme entsprechende Schienenbefestigungen zum Einsatz. Ebenso können Schwellen aus Beton verwendet werden. Folgende Forderungen an das Tragwerk sind zu erfüllen: [78]

- Vertikale und horizontale Kräfte sowohl statisch als auch dynamisch müssen von der entsprechend dimensionierten und verschleißfesten Schiene aufgenommen und in die darunter liegende Schicht bestehend aus einem Tragwerk eingeleitet werden
- Eine dauerhaft kraftschlüssige Verbindung zwischen Schiene und Schwelle zur Kraftübertragung ist zwingend erforderlich. Ebenso müssen die Schwellen eine ausreichend große Tragfähigkeit aufweisen

Bei formschlüssiger Führung der Eisenbahn sind Unstetigkeitsstellen in der Fahrbahn nicht zulässig. Eine Verformung oder Verschiebung der Fahrbahn ist durch einen Eisenbahnbetrieb unvermeidbar, daher sind Grenzwerte der Verformung vorzudefinieren. Sind solche Grenzwerte über die Zeit erreicht, werden Instandhaltungsarbeiten notwendig, um den Ausgangszustand wiederherzustellen. [78]

In Abb. 19 sind die wirkenden Kräfte hinsichtlich des bogenäußeren Rades und der Schiene in der Normal- als auch Tangentialebene zu sehen. Dabei wird die Radkraft (Q) und die Profelseitenkraft Y durch die Normalkraft (N) in der Normalebene beschrieben. Die Radkraft Q ergibt sich aus der statischen Radlast Q_{st} , welche der halben Achslast entspricht, als auch aus der quasistatischen Radlast Q_{qst} durch Radsatzverlagerungen, sowie der dynamischen Radlast (Q_{dyn}) hervorgerufen durch eine Federwirkung des Fahrzeuges. Die Profelseitenkraft Y setzt sich aus einem quasistatischen Anteil (Y_{qst}) durch Fliehbeschleunigungen und weiteren Faktoren als auch dem dynamischen Anteil (Y_{dyn}) aus Gleislagefehlern zusammen. Längsreibkräfte T_x und Querreibkräfte (T_y) ergeben sich zufolge des Längsschlupf (S_x) beziehungsweise Querschlupf (S_y). [79]

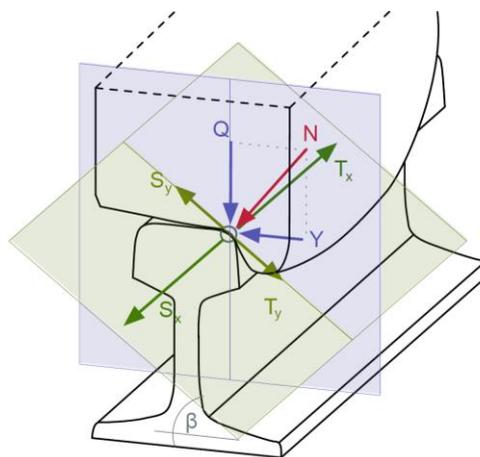


Abb. 19: Kräfte im Rad-Schiene-Kontakt [79]

Durch eine schnellere Bogenfahrt ergibt sich primär ein höherer quasistatischer Anteil der Profelseitenkraft Y_{qst} für das bogenäußere Rad zufolge einer erhöhten unausgeglichenen Seitenbeschleunigung, die wiederum in den Oberbau eingeleitet wird. Auf einer Strecke mit zusätzlicher Überhöhung steigt die Belastung der bogeninneren Schiene durch einen langsameren Verkehr an [3]. Notwendig ist es vor Umsetzung einer erhöhten Seitenbeschleunigung die Infrastruktur und dessen Verhältnisse zu überprüfen, da die Beanspruchungen für Fahrzeug und Oberbau zunehmen [1]. Es bedarf in jedem Fall einen Oberbau, der den zusätzlichen Belastungen standhält, um eine Gleislagestabilität in Querrichtung zu garantieren [28]. Durch Fahren mit erhöhter Seitenbeschleunigung nimmt der Abstand der Instandhaltungsintervalle ab, da durch die größere Belastung schneller Gleislagefehler induziert werden [80]. Grundlagen und Gestaltungsrichtlinien sowie Informationen zu Instandhaltung für den Oberbau sind in Regelwerken der ÖBB. Eine Festlegung auf die zu verwendeten Elemente des Oberbaus erfolgt in Abhängigkeit der zu erwartenden täglichen Belastungen sowie der zulässigen Streckengeschwindigkeit [80].

5.2 Auswirkungen auf Fahrzeug und Wagen

Nach aktuellem Standpunkt werden immer mehr Module zur Produktionserstellung vom Schienenfahrzeughersteller zugekauft, welcher die Integration und Qualität des Endproduktes sicherstellen muss. Unter anderem zählen, zu einem dieser Module, die Radsätze inklusive der Radsatzlager. [81] Im Gleisbogen wird die bogenäußere Seite des Drehgestells durch Fliehkraft und speziell durch eine erhöhte Seitenbeschleunigung stärker belastet. [82] Beim Schienenfahrzeug zählt das Radsatzlager zu den am stärksten beanspruchten Bauteilen. Das Radsatzlager hat sehr hohe statische Kräfte, verursacht durch das Eigengewicht des Fahrzeugs, als auch dynamische Kräfte über einen langen Zeitraum aufzunehmen. [83]

Nach Gesprächen mit der SKF Österreich AG stellte sich das zweireihige Kegelrollenlager mit der Bezeichnung BT2-8501-06 als verbautes Lager im Desiro ML von Siemens Mobility Austria heraus. Da keinerlei genauere Informationen oder Datenblätter dem Autor zu diesem Kegelrollenlager vorliegen, werden einige Lagerdaten angenommen, um eine erforderliche dynamische Tragfähigkeit (C) zu ermitteln. Einzig die Radsatzlagerabmessungen von 130 x 230 x 160 mm (Innendurchmesser x Außendurchmesser x Lagerbreite) liegen öffentlich in einem vergebenen Auftrag der ÖBB-Technische Services GmbH an SKF Österreich AG auf [84].

Laut dem Wälzlagerhersteller SKF sind Kegelrollenlager-Einheiten bei Personenzüge für Instandhaltungsintervalle von bis zu 1,7 Millionen Kilometer ausgelegt. Dadurch können sowohl die Instandhaltungsarbeiten vom Rad als auch dem Radsatzlager besser aufeinander abgestimmt werden. [85] Ausgehend von der angegebenen 1,7 Millionen Kilometer Laufleistung ergibt sich für den Desiro ML bei einer unausgeglichene Seitenbeschleunigung von $a_q = 0,98 \text{ m/s}^2$ und einer reinen Fahrzeit von 39,5 Minuten als auch einer zurückgelegten Strecke von 68,735 Kilometer in einer Fahrtrichtung eine nominelle Lebensdauer bei 90% Erlebenswahrscheinlichkeit (L_{10h}) von 16278 Stunden. Weiters wird für den jeweiligen Streckenabschnitt die gefahrene Raddrehzahl (n) bezogen auf die jeweilige Geschwindigkeit im neu ausgelegten Geschwindigkeitsprofil und einem geschätzten Raddurchmesser von 780 mm des Desiro ML benötigt. Es wird explizit kein Bezug auf einen größeren Treibraddurchmesser genommen, da aufgrund der geringen Drehzahl eine kleinere dynamische Tragfähigkeit zu erwarten wäre. Zudem sind die jeweiligen Drehzahlanteile ($n\%$) bezogen auf dessen Geschwindigkeit und der damit benötigten Fahrzeit hinsichtlich der Kilometrierung auf die gesamte Fahrzeit notwendig.

Für die Radsatzlagerberechnung ist die Angabe zur Fahrzeugmasse von 145 Tonnen der 3-teiligen Garnitur notwendig. [86] Bei vier Achsen und einem dreiteiligen Fahrzeug ergibt sich demnach eine Achslast von 12,083 Tonnen. Eine statische Radlast Q_{st} als Gewichtskraft ergibt sich im Zusammenhang durch die Hälfte der Achslast mit der Erdbeschleunigung. Eine quasistatische als auch dynamische Radlast wird näherungsweise durch die statische Radlast abgeschätzt [79]. Anschließend setzt sich die Gesamtheit der Radialkraft (F_r) aus den jeweiligen Anteilen der Radlast zusammen. Eine axial wirkende Kraft (F_a), ausgedrückt als quasistatische Profilseitenkraft Y_{qst} , wird entsprechend der freien unausgeglichenen Seitenbeschleunigung und der Achslast nach Gleichung (2) und dem zweiten Newtonsche Axiom beschrieben. In der Lagerberechnung werden weder dynamische Anteile der Profilseitenkraft zufolge von Gleislagefehlern noch ein Längs- und Querschlepp in der Tangentialebene berücksichtigt.

Da das Verhältnis von Axialkraft zur Radialkraft und dessen Ergebnis über die gesamte Strecke der Laaer Ostbahn hinweg als sehr klein anzusehen ist und vermutlich kleiner als der lagerabhängige Grenzwert (e_{Lager}) ausfällt, ist die äquivalente dynamische Lagerbelastung (P) entsprechend der folgenden Gleichung (26) auszuwählen: [87]

$$P = F_r + Y_1 * F_a \quad (26)$$

Wobei der Axialfaktor (Y_1) des zweireihigen Kegelrollenlagers als ein hoher Wert mit zwei angenommen wird. Dies hat den Grund, da die äquivalente dynamische Lagerbelastung steigt und infolgedessen eine zu erwartende Lebensdauer abnimmt. Zum Ende kann eine theoretisch erforderliche dynamische Tragzahl nach Gleichung (27) ermittelt werden: [87]

$$C = \sqrt[p]{\frac{L_{10h} * 60}{10^6} * \left(\sum n_{\%i} * n_i * P_i^p \right)} \quad (27)$$

Der Exponent der Lebensdauergleichung (p) beträgt bei Rollenlagern 10/3. [87] Der Index i steht dabei für jedes einzelne Trassierungselement. Demnach ergibt sich eine erforderliche dynamische Tragzahl von 3256 kN. Sofern das verbaute Lager BT2-8501-06 eine größere dynamische Tragzahl aufweist ist eine Laufleistung von 1,7 Millionen Kilometer gewährleistet. Wichtig zu erwähnen ist, dass keine genauen Lagerinformationen vorliegen und nur eine theoretisch notwendige dynamische Tragzahl auf Basis von einigen Annahmen ausgelegt wird. Dadurch wird von einer klassischen Lagerberechnung mit herkömmlichem Auslegungsweg abgewichen.

5.3 Grenze zur Entgleisung

Solange sich das Triebfahrzeug und dessen Wagen mit den erlaubten Geschwindigkeiten bewegt und sich der Radsatz als auch das Gleis in den zulässigen Toleranzen befinden, sollte der Betrieb zumindest theoretisch zu keiner Entgleisung führen. Auf freien Strecken mit Geschwindigkeiten über 100 km/h werden Entgleisungen oft durch Gleisverschiebungen verursacht. Dies betrifft hauptsächlich Strecken mit Holzschwellen, da ihr Gleisverschiebewiderstand gegenüber dem der Betonschwellen geringer ist. Die Entgleisung hat eine Vielzahl von beeinflussenden Faktoren und geschieht durch das Zusammenspiel einiger dieser: [88]

- Anlaufwinkel Rad/Schiene
- Kraftschlussbeiwert
- Querkraft
- Achs-, Radentlastung
- Flankenwinkel Spurkranz, Verschleißzustand
- Rückstellmoment Drehgestell
- Steifigkeit Schiene, Schienenbefestigung

Aus der Dichte der angegebenen Parameter ist ersichtlich, dass es keine einfache Formel zur Ermittlung eines Grenzwertes der Entgleisung oder einer maximal zulässigen Querkraft oder Führungskraft geben kann. [88] Die erste und einfachste Methode, um Limitierungen zu finden, gelingt nach dem Entgleisungskriterium nach Nadal. Hierbei wird die Zentrifugalkraft oder Querkraft Y mit der Radkraft Q in Verhältnis gebracht. Das Verhältnis wird zur Auslegung von Fahrzeugen herangezogen und ist abhängig vom Reibwert und Flankenwinkel. [89] Für Güterzüge gilt ein maximales Verhältnis nach Nadal von 1,2, bei schnellfahrenden Zügen ist ein maximaler Wert von 0,8 einzuhalten [90]. Zu beachten ist, dass es sich bei der Gleichung nach Nadal um eine rein statische Gleichgewichtsbetrachtung handelt und nicht praktikabel ist [91]. Demnach gibt es neben der statischen Methode noch eine quasistatische und dynamische Betrachtungsweise für Quer- und Radkraft (Y_{qst}/Y_{dyn} und Q_{qst}/Q_{dyn}). [79]

Laut dem aktuellen Stand der Literatur wird aufgrund der Tatsache, dass sich kaum Entgleisungen mit höheren Geschwindigkeiten auf Strecken mit Betonschwellen ereignen, eher auf Entgleisungen mit niedriger Geschwindigkeit (30 km/h) in engen Bogen

eingegangen. Durch die Querkraft Y bezogen auf die Radlast Q als Funktion von den beiden wichtigsten Entgleisungsparametern, dem Anlaufwinkel und dem Kraftschlussbeiwert, kann durch das Verhältnis von Querkraft Y zur Radlast Q eine Entgleisungsgefahr prognostiziert werden. Das Verhältnis hängt von weiteren Faktoren wie dem Flankenwinkel, dem Raddurchmesser als auch dem Schlupf ab. Ergebnisse, abhängig von Geschwindigkeiten, sind dabei nur über den Kraftschlussbeiwert gegeben. Unter Berücksichtigung aller genannten Faktoren ergeben sich durch die Berechnung Graphen, welche die Grenzwerte für eine Entgleisung bei langsamer Fahrt definieren. [88]

Erfahrungsgemäß kann bei Normalspurbahnen eine freie Seitenbeschleunigung von $a_q \geq 4 \text{ m/s}^2$, die über eine ausreichende Zeit wirkt, zum Kippen des Fahrzeuges führen. Dieser Wert ist jedoch abhängig von der Spurweite und Höhe des Schwerpunktes. Ebenso nicht zu vernachlässigen ist eine Entlastung des bogenäußeren Rades bei der abfallenden Überhöhungsrampe. Dabei steigt die Horizontalkraft am Spurkranz an und muss die erhöhte Reibung des bogeninneren Rades überwinden. Gleichzeitig tritt eine Verlagerung der Radlast durch die Neigung des Fahrzeuges zur Bogeninnenseite auf, welche in Ruhe des Fahrzeuges am größten ist. Dadurch kann der Zug bei sehr steilen und rasch abfallenden Überhöhungsrampen am Bogenausgang entgleisen. [90]

Schmalspurbahnen sind aufgrund des hohen Schwerpunktes im Vergleich zum geringeren Schienenkopfmittenabstand gegenüber der Normalspurbahn besonders zur Entgleisung bei einer überhöhten Bogenfahrt gefährdet. Das Kippen kann sowohl durch erzeugte Fliehkräfte bogenaußen oder bei langsamer Fahrt bis hin zum Stillstand des Zuges aufgrund von Hangabtriebskräften bogeninnen auftreten. [6] Dieser Sachverhalt kann auch bei der Normalspurbahn im Personen- und Güterverkehr auftreten, sofern die Wirklinie der Gewichtskraft den Kippunkt überschreitet.

5.4 Komfortgrenzen für Menschen

In diesem Abschnitt der Diplomarbeit werden die Komfortgrenzen durch auftretende Beschleunigungen für den Menschen existieren thematisiert. Die Erdbeschleunigung g wird als Maß für andere Beschleunigungen herangezogen. Bei Beschleunigung eines Personenkraftwagens herrschen in der Regel $0,3 g$ auf die Insassen des Fahrzeuges. Im Vergleich dazu wirken auf einen Formel-1-Rennfahrer beim Beschleunigen $1,5 g$ und bei Kurvenfahrten sogar bis zu $5 g$. Während des Starts von Weltraumraketen entstehen für den Astronauten Beschleunigungswerte von bis zu $4 g$. In Achterbahnen hingegen wirken bis zu $6 g$ für kurze Bemessungszeiten. Die Dauer der auftretenden Beschleunigung ist

neben der Richtung, in die sie wirkt, von großer Bedeutung. Kampfpiloten, die über größere Dauer 10 g ertragen müssen, können während eines Manövers zu Unbehagen und schlussendlich zum Absturz führen. Dagegen kann ein Fahrzeugunfall mit 10 g über keine größeren Auswirkungen beschrieben werden [92]. In sitzender Position mit senkrecht nach oben wirkender Beschleunigung wird es einem Menschen ab 3 g nahezu unmöglich aufzustehen. Nach wenigen Sekunden treten bei positiven Beschleunigungen nach oben von 2 bis 4 g bereits Sehstörungen ein. Bei 5 bis 6 g setzt eine Bewusstlosigkeit ein. Negative Beschleunigungen, bei denen ein Blutfluss zum Kopf entsteht, werden weitaus schlechter aufgenommen. Beschleunigungen, die senkrecht zur Körperachse auftreten, kann der Mensch und dessen Organismus besser ertragen. Bis 6 g wird auf die Extremitäten zur Abstützung ein Druck wahrgenommen. Darüber hinaus fällt dem Probanden das Atmen schwerer. Dem kann mit einem höheren Sauerstoffsättigungsgehalt entgegengewirkt werden, sodass Belastungen von 15 bis 20 g ohne Gefahren für den menschlichen Körper möglich sind. Große Beschleunigungen über einen längeren Zeitraum zu relativieren, bedarf jedoch einer speziellen Ausbildung und Training. Die Flugmanöver eines Passagierflugzeuges sind so ausgelegt, dass zu keinem Zeitpunkt des Fluges die maximale Beschleunigung von 1,5 g überschritten wird. [93] Der Wert kann als Komfortgrenze vom Menschen angesehen werden, da es sich hierbei ebenso um die maximalen Belastungen im dreidimensionalen Raum in einer Koordinatenrichtung handelt. Daraus folgend könnte man überlegen, den Überhöhungsfehlbetrag für den Personentransport auf Schienen anzupassen, um einen neuen Grenzwert zu definieren.

Unabhängig davon kommen neben der Impulsdauer der Beschleunigung auch Alter, gesundheitlicher Zustand, Geschlecht, physische Kondition und andere Faktoren hinzu. Ein männlicher junger und gesunder Mensch ohne Krankenvorgeschichte mit hervorragenden physischen Konditionen hat eine größere Toleranzempfindlichkeit gegenüber der Beschleunigung als andere. Einzelne Nachweise zeigen Probanden, die ohne größere Verletzungen 100 g Einschläge standgehalten haben. [92] Von jenen Werten wird in der Eisenbahn Abstand genommen, insofern keine Extremsituationen bestehen.

5.5 Ladungsverschiebung im Güterverkehr

Die Überhöhung ist nicht nur aufgrund der Lagebeständigkeit des Gleises, sondern neben den Komfortgrenzen für den Menschen auch durch die Ladungsverschiebung von Gütern, speziell bei langsamer Bogenfahrt, technisch begrenzt. [4] Im Güterverkehr ist es von Wichtigkeit die korrekte Auswahl des Güterwagens für die entsprechende Ladung

auszuwählen. Maßnahmen zur Ladungssicherung werden nach Art und Größe der Beanspruchung, die beim Transport zu erwarten sind, ausgelegt. Auf der Schiene entsteht die größte Krafteinwirkung für die Ladung beim Bilden des Zuges (Zusammenstellung der Personen- beziehungsweise Güterwagen zu einem Zug). Rangierstöße sind nicht immer vermeidbar. Neben der Beanspruchung in Längsrichtung des Waggons sind Kräfte in senkrechter und seitlicher Richtung während der Fahrt zu berücksichtigen. Gegen das Verschieben der Ladung ist von folgenden Bemessungskriterien auszugehen: [94]

- Maximal 4 g in Wagenlängsrichtung zufolge Rangierstöße beim Bilden des Zuges
- 0,5 g in Querrichtung
- 0,3 g in Vertikalrichtung

Beim Gütertransport ist in der Intermodalität von geringeren Kräften auszugehen und entspricht mit 1 g in Längsrichtung der Regulierungen im Straßenverkehr. Ist eine Sicherung der Güter nicht vorhanden, kann dadurch die geladene Fracht in eine unkontrollierte Bewegung geraten und sogar umkippen. Der erstrebte Zustand ist, dass geladene Gut immer unbeweglich fortzubewegen. Eine kippgefährdete Ladung erfordert zusätzliche Maßnahmen. Die starre Verladeweise von Einzelstücken oder Gruppen wird formschlüssig unverrückbar und lückenlos im Wagon festgelegt. Ein Ausfüllen entstandener Leerräume kann mit Staupolster aus widerstandsfähigem Material geschehen. Schwerere Fracht ist immer in den unteren Schichten zu verladen und eine Stapelung soll vermieden werden. Weiters eignen sich besonders Bindungen der Teilfracht zu Gruppen. Andere Möglichkeiten stellen die Vergrößerung der Aufstandsfläche oder das Zusammenstellen der Ladung mit nicht kippgefährdeten Gütern dar. Zur Sicherung gegen Längs- und Querverschub werden reibungserhöhende Unterlagen oder Festlegehölzer verwendet, welche am Wagenboden mit einer vorgegebenen Anzahl an Nägeln (abhängig vom Gewicht der Ladung) fest vernagelt werden. Die Ladung mit höherem Gewicht wird anstatt von Festlegehölzer mit Gurten, Ketten oder Drahtseilen gesichert. Bei besonders schwerem Gut kommen Abstützungen zum Einsatz. Man spricht von horizontal ausgerichteten Kanthölzern, mit denen die Ladung an belastungsfähigen Teilen des Wagens abgestützt wird. Auch die Anzahl der Stützhölzer ist wie bei der Verwendung der Nägel abhängig vom Gewicht der geladenen Fracht. [94]

5 Auswirkungen einer erhöhten Seitenbeschleunigung

Von Bedeutung ist eine korrekte Lastverteilung. Im Straßenverkehr wird am Sattelanhänger eine längsmittige Lagerung gefordert [95]. Ein zulässiges Gesamtgewicht sowie zulässige Achslasten dürfen nicht überschritten werden. Damit eine Ladung fachgerecht platziert wird, soll nach dem Lastverteilungsplan vorgegangen werden. [96] Ist kein Lastverteilungsplan vorhanden, so ist der Schwerpunkt der Ladung zwischen den beiden Stirnwänden mittig zu positionieren. Auch im Güterverkehr soll diesem Ansatz nachgegangen werden. Ladung und dessen Schwerpunkt ist wenn möglich mittig zwischen den Fahrgestellen und zentriert in Fahrtrichtung auszurichten.

Aus den genannten Gründen ist die Eisenbahninfrastruktur für den Güter- bzw. Mischverkehr mit Grenzwerten zu versehen. Dadurch kann ein sicherer Transport der Ladung als auch eine Lagebeständigkeit des Gleises garantiert werden. Die Grenzwerte für den Güter- und Mischverkehr sind den Tabellen aus Kapitel 2.7.2 zu entnehmen. Sie bestehen aus den aktuellen Gesetzestexten und Vorgaben wie jene der TSI.

Damit Güter- als auch Personenzüge die Strecke befahren können, ist nach der EN 13803 eine maximale Überhöhung von 160 mm einzuhalten, da anderenfalls eine Ladeverschiebung bei stillstand oder langsamer Fahrt des Zuges auftreten kann. [31] Auch die TSI schreibt für den Güterverkehr auf Schottergleis eine maximale Überhöhung von 160 mm vor. [28]

6 Zusammenfassung und Ausblick

Anhand der Grundlagen zur Trassierungsgestaltung, den aktuellen Richtlinien sowie das Ausnutzen von Trassierungsgrenzwerten unterschiedlicher Varianten zur Beschleunigung des Regionalverkehrs durch Erhöhung der zulässigen Seitenbeschleunigung bei Bogenfahrt ist, wie in der Arbeit gezeigt, eine Minimierung der Fahrzeit möglich. Durch Erhöhung der Fahrtgeschwindigkeit und einer gleichzeitigen Reduktion der Reisezeit wird der Regionalverkehr für den Reisenden attraktiver. Die Auswertung findet realitätsnah an einer bereits bestehenden Regionalstrecke Anwendung.

Das Ergebnis der Fahrzeitreduktion scheint zwar eindeutig, jedoch liegen keine Referenzen der beiden in der vorliegenden Arbeit verworfenen Strecken zum weiteren Vergleich vor. Unterstützt wird die Kernaussage dieser Arbeit dennoch durch anderen Forschungen wie [1] und [3] und bestätigt eine Fahrzeitreduktion infolge einer Beschleunigung des Regionalverkehrs durch Erhöhung der Seitenbeschleunigung sowohl bei Ausnutzen der Trassierungsgrenzwerte ohne und mit einer Anpassung der Überhöhung. Fahrgäste reagieren eventuell empfindlich auf eine Erhöhung der Seitenbeschleunigung als auch auf eine zusätzliche Überhöhung, welche bis hin zu Extremsituation in [93] Unbehagen erfahren können. Der Komfort und die Beschleunigung des Eisenbahnverkehrs werden auch in näherer Zukunft immer in Konflikt zueinanderstehen.

6.1 Fazit

Durch eine Zusammenfassung und Gegenüberstellung der Trassierungsgrenzwerte von verschiedenen Vorgaben und Richtlinien besteht die Möglichkeit die Grenzwerte mit der meisten Limitierung zur Ausnutzung der Trassierungsgrenzwerte zu extrahieren. In einem praktischen Vergleich existierender Regionalverkehrsstrecken wurde durch ein Bewertungsverfahren beruhend auf der Anzahl der Bögen pro Kilometer die Laaer Ostbahn mit ihrer Streckenbezeichnung 11601 als jene Strecke mit dem meisten Potenzial zur Beschleunigung des Regionalverkehrs identifiziert. Mit Verwendung des aktuellen VzG sowie Informationen zu Strecken- und Fahrzeugdaten ist ein detailgetreuer Fahrplan entsprechend dem Originalen nachbildbar. Anhand der zur Verfügung gestellten Informationen wurden bei entsprechenden Trassierungsgrenzwerten neue Geschwindigkeitsprofile entwickelt. Streckenabschnitte und damit Bögen der Laaer Ostbahn, die noch nicht die Trassierungsgrenzwerte ausnutzen, wurden an die Grenzwerte

angenähert. Durch Vorgabe der Mindestbeharrungszeit und der maximal möglichen Geschwindigkeiten wurden die daraus folgenden Geschwindigkeitsprofile definiert.

Unter anderem erfolgte eine Berechnung bei verschiedenen Überhöhungsfehlbeträgen, welche bei Fahrzeugen ohne Neigetechnik direkt proportional hinsichtlich der unausgeglichene Seitenbeschleunigung zu deuten sind. Zu klassifizieren sind ebenfalls verschiedene Streckensituationen, mit und ohne einer zusätzlichen Überhöhung, gegenüber der Bestandsstrecke, sodass ein Misch- oder reiner Personenverkehr umsetzbar ist.

Schon beim Ausnutzen der Trassierungsgrenzwerte auf eine unausgeglichene Seitenbeschleunigung von maximal $a_q = 0,654 \text{ m/s}^2$ bei Bogenfahrt und keiner Anpassung der Überhöhung zeichnet sich unter Optimierung des Geschwindigkeitsprofils ein Fahrzeitgewinn bei einem Doppelstockwagen von 1,7 Minuten zwischen Wien Leopoldau und Laa an der Thaya gegenüber der Ausgangssituation ab. Der Desiro ML verzeichnete eine Fahrzeitreduktion von 2,2 Minuten gegenüber dem Bestand.

Mit aufgeschlossenen Ansichtsweisen durch Überhöhungsanpassung oder durch Verwendung alternativer Fahrzeuge mit Neigetechnik ist eine weitere Fahrzeitverkürzung möglich. Dabei ergab sich am Beispiel des ICE-T auf angepasster Strecke zu Erhaltung des Mischverkehrs eine Fahrzeitverkürzung von 14,1 Minuten. Bei weiterer Überhöhungsanpassung, bei der ein Güterverkehr von der Befahrung der Strecke ausgeschlossen wird, ergab sich eine Ersparnis von 14,7 Minuten. Die beiden beschriebenen Varianten sind mit hohen Umbau- und Beschaffungskosten verbunden und vermutlich wirtschaftlich nicht rentabel. Darüber hinaus wird eine LZB- oder ETCS-Level 2 Ausrüstung vorausgesetzt damit Geschwindigkeiten größer 160 km/h gefahren werden können, wodurch vermutlich ebenfalls unverhältnismäßig hohe Kosten entstehen. Anzumerken ist, dass die zuvor beschriebenen Fahrzeitverkürzungen auf Basis unendlich großer Beschleunigungen und Verzögerungen in Fahrtrichtung sowie ohne Halt kalkuliert wurden, um den Vergleich verschiedener Szenarien zu ermöglichen.

Eine mögliche und realistische Umsetzung der Parametervariation auf der existierenden Bestandsstrecke (ohne infrastrukturelle Maßnahmen) ist eine Kombination des Desiro ML beim Ausnutzen der Trassierungsgrenzwerte bei $a_q = 0,98 \text{ m/s}^2$ und dem Doppelstockwagen bei $a_q = 0,85 \text{ m/s}^2$. Diese Kombination mit neuem Geschwindigkeitsprofil ist nicht nur dank der Beachtung vorgegebener Regelaufenthaltszeiten realitätsnah, sondern auch unter der Berücksichtigung von

Beschleunigungen und Verzögerungen in Fahrtrichtung in das Fahrplanbearbeitungsprogramm implementiert worden. Dies beinhaltet jedoch nur den Werktagsverkehr. Ein Verkehr am Wochenende als auch an Feiertagen wurden im Rahmen der Diplomarbeit nicht berücksichtigt. Unter optimaler Ausnutzung der Trassenbelegung ergab sich ein neuer Musterfahrplan mit verfrühten Ankunftszeiten gegenüber dem originalen Fahrplan für den jeweilig betrachteten Zug. Für die Fahrtrichtung von Wien Leopoldau nach Laa an der Thaya ergab sich für die Gesamtanzahl aller täglich verkehrenden Züge, ausgenommen Kurzreisezüge, eine Ersparnis von durchschnittlich 3,41 Minuten. Analog sah das Ergebnis der Analyse ähnlich mit einer gesamten Reduktion von durchschnittlich 3,42 Minuten für die Gegenrichtung aus. Im direkten Vergleich des originalen Fahrplanbildes mit dem Musterfahrplan mit angepassten Geschwindigkeitsprofil ist ein maximaler Fahrzeitgewinn eines Zuges von acht Minuten zu vernehmen.

In der vorliegenden Arbeit könnte eine Anpassung der Überhöhung mit der Änderung des Oberbaus sowie den im Zusammenhang stehenden Kosten und Streckensperrungen als auch den daraus resultierenden Fahrzeitverkürzungen unterschätzt worden sein. Wohlmöglich ist eine weitere Fahrzeitminimierung vom Betreiber von großem Interesse, um beispielsweise Personalkosten, trotz größerer Investitionskosten, einzusparen.

Der Austausch von Zügen bestehend aus den Doppelstockwagen durch den Desiro ML geht mit einer weiteren Fahrzeitverkürzung pro Tag einher. Die Transportkapazitäten werden dadurch aufgrund des geringeren Platzangebots zu Stoßzeiten geschmälert.

Weiters wurde im Zuge der erhöhten Seitenbeschleunigung auf die Auswirkungen und dessen zusätzlichen Belastungen auf den Oberbau eingegangen. Demnach sind infrastrukturelle Gegebenheiten zwingend zu überprüfen, bevor die Fahrtgeschwindigkeit erhöht wird. Ebenso sind geringere Intervallabstände als auch ein größerer Verschleiß der bogenäußeren Schiene aufgrund der größeren Belastung zu erwarten. Auch spiegeln sich die Auswirkungen durch die potenziell höhere dynamische Profelseitenkraft fahrzeugseitig nieder. Eine Neuauslegung oder Neuwahl der Lagerung des Desiro ML ist vermutlich nicht zutreffend, da eine erhöhte Seitenbeschleunigung und damit die resultierende Profelseitenkraft immer unterhalb der Grenzwerte ausgelegt wurde. Eine zu erwartende Lebensdauer wird sich aufgrund der öfter auftretenden höheren Profelseitenkraft gegenüber dem Bestand jedoch verkürzen. Zu berücksichtigen ist, dass durch eine höhere Raddrehzahl die Fahrtgeschwindigkeit zunimmt, der Zug infolgedessen früher an der Zieldestination ankommt und mit weniger Belastungszeit für das Lager gegenüber dem

Bestand einhergeht. Nach dem Ergebnis der Lagerkalkulation ist eine dynamische Tragzahl von 3256 kN erforderlich. Sofern das verbaute und eingesetzte Lager des Desiro ML eine höhere Tragzahl aufweist, ist eine angegebene Laufleistung von 1,7 Millionen Kilometer beim Fahren mit erhöhter Seitenbeschleunigung gewährleistet. Als eine Schwäche der Lagerberechnung stellt sich das verwendete Gewicht des Triebfahrzeuges heraus, da zu keinem Zeitpunkt das Gewicht unter realen Betriebsbedingungen herangezogen wurde. Zu Stoßzeiten kann die Gesamtmasse des Fahrzeuges aufgrund der Beförderung von Fahrgästen stark variieren, welche nicht berücksichtigt worden ist und dennoch Auswirkungen auf die erforderliche dynamische Tragzahl hat. Zudem beruht die angestellte Radsatzlagerberechnung auf Annahmen welche von der Realität abweichen können.

Als Komfortgrenze konnte, unter Berücksichtigung anderer Fortbewegungsmittel, ein Wert von 1,5 g als Grenzwert senkrecht zur Körperachse beschrieben werden. Eine verwendete erhöhte unausgeglichene Seitenbeschleunigung von maximal 0,98 m/s², wie sie in der Diplomarbeit Anwendung fand, liegt unterhalb des Wertes und verletzt nicht das Wohlbefinden der Fahrgäste.

Auch eine Ladungsverschiebung mit entsprechender Ladungssicherung kann bei einer erhöhten Seitenbeschleunigung im Güterverkehr vernachlässigt werden. Als Bemessungskriterium in die Querrichtung wurde von 0,5 g ausgegangen. Der für den Güterverkehr einzuhaltende Ausnahmegrenzwert für die unausgeglichene Seitenbeschleunigung von 0,85 m/s² liegt demnach weit unter dem angegebenen Bemessungsmaximum für die Ladung. Ein Güterzug kann aus diesem Grund nach dem VzG für den Doppelstockwagen mit einer Taurus Lokomotive mit maximal 120 km/h verkehren. Auch ist eine gegebenenfalls zusätzliche Überhöhung der Laaer Ostbahn für einen Güterverkehr bedenkenlos umzusetzen, da im Mischverkehr auf Schottergleis eine maximale Überhöhung von 160 mm einzuhalten ist. Daraus ergibt sich ein problemloser Sachverhalt eines Güterwagens und dessen Ladung, bei Stillstand im stark überhöhten Bogen. Für eine entsprechende Ladungssicherung ist dennoch Sorge zu tragen, um das Verschieben oder gar das Kippen von Ladegut zu vermeiden.

6.2 Beantwortung der Forschungsfragen

- *Welche Fahrzeitreduktion ergibt sich durch eine höhere Geschwindigkeit im Kreisbogen und der damit verbundenen erhöhten Seitenbeschleunigung in der zu betrachtenden Eisenbahnstrecke?*

Am Beispiel des Desiro ML mit einer erhöhten unausgeglichenen Seitenbeschleunigung von $a_q = 0,98 \text{ m/s}^2$ und dem Zug bestehend aus den Doppelstockwagen mit einer erhöhten unausgeglichenen Seitenbeschleunigung von $a_q = 0,85 \text{ m/s}^2$ auf der Bestandsstrecke ohne Berücksichtigung der Kurzreisezüge ergibt sich eine durchschnittliche Fahrzeitreduktion von Wien Leopoldau nach Laa an der Thaya von 3,41 Minuten. In die Gegenrichtung ist eine Reduktion von 3,42 Minuten zu verzeichnen. Maximal wird ein Fahrzeitgewinn am Beispiel des REX 24318 von acht Minuten erzielt.

- *Wie ist eine solche Fahrzeitreduktion zu erreichen und ist ein Anpassen der derzeit existierenden Trassierungsgrenzwerte notwendig? (in Bezug auf eine Erhöhung der zulässigen Seitenbeschleunigung)*

Eine Fahrzeitreduktion kann durch das Ausnutzen der Trassierungsgrenzwerte, durch Anpassen der Überhöhung sowie durch das Nutzen einer Neigetechnik erreicht werden. Eine Adaptierung der derzeit festgelegten Trassierungsgrenzwerte zu höheren Werten ist im Falle der Laaer Ostbahn nicht notwendig, da ein Ausnutzen der Trassierungsgrenzwerte möglich ist und eine Fahrzeitreduktion erreicht werden kann.

- *Welche Voraussetzungen sind notwendig, um die Geschwindigkeit bei Bogenfahrt weiter zu erhöhen?*

Um die Geschwindigkeit am Beispiel des Desiro ML mit $a_q = 0,98 \text{ m/s}^2$ weiter zu erhöhen, bedarf es einer Anpassung der Überhöhung gegenüber der Bestandsstrecke. Eine weitere Möglichkeit stellt das Anheben von derzeit definierten Grenzwerten des Überhöhungsfehlbetrages oder die Nutzung von Fahrzeugen mit Neigetechnik dar. Im Extremum ist durch das vollständige Ändern der Infrastruktur hinsichtlich des Bogenradius ebenfalls eine höhere Geschwindigkeit realisierbar. Mit einer Kombination aus aller genannten Voraussetzungen wird eine maximal mögliche Geschwindigkeit bei Bogenfahrt erreicht.

- *Was für Auswirkungen ergeben sich für Oberbau und Fahrzeug?*

Durch eine höhere unausgeglichene Seitenbeschleunigung ergibt sich eine ebenfalls höhere Profelseitenkraft, die in den Oberbau eingeleitet und vom Radsatzlager des Fahrzeuges aufgenommen werden muss. Es bedarf einen Oberbau, der den zusätzlichen Belastungen standhält und eine Gleislagestabilität in Querrichtung garantiert. Instandhaltungsintervalle nehmen durch schneller auftretende Gleislagefehler ab. Auch fahrzeugseitig wirkt sich eine öfters höhere Profelseitenkraft unvorteilhaft auf die Lagerlebensdauer aus. Die Belastungszeit des Radsatzlagers nimmt für Hin- als auch Rückfahrten zwischen dem betrachteten Abschnitt ab.

- *Welche Komfortgrenzen existieren für den Menschen in Transportmitteln und sind diese gegebenenfalls anzupassen?*

In anderen öffentlichen Fortbewegungsmitteln treten maximale Beschleunigungen im Raum von maximal 1,5 g, was einem Wert von $14,715 \text{ m/s}^2$ entspricht, auf. In der Eisenbahnbranche kann demnach eine sehr starke Limitierung von $0,98 \text{ m/s}^2$ in der Querrichtung hinsichtlich der Komfortgrenze überdacht werden. Dennoch soll der Aspekt als generell komfortables und sicheres Fortbewegungsmittel unter allen Mitteln beibehalten werden.

- *Wie wirkt sich eine erhöhte Seitenbeschleunigung oder eine zusätzliche Überhöhung für den langsam fahrenden Güterzugverkehr und dessen Güter aus und existieren Vorgaben zum Transport von Gütern auf Schiene?*

Eine zusätzliche Überhöhung und das Ausnutzen von Trassierungsgrenzwerten wirkt sich, wie beim Personenverkehr, positiv auf die Fahrzeit aus und bedarf einer entsprechenden Ladungssicherung. Ein Bemessungskriterium für Ladung in die Querrichtung wird jedoch mit 0,5 g angegeben und entspricht mit $4,905 \text{ m/s}^2$ deutlich mehr als dem aktuellen Ausnahmegrenzwert für eine unausgeglichene Seitenbeschleunigung von $a_q = 0,85 \text{ m/s}^2$. Für eine maximale Überhöhung, um Ladungsverschiebungen im Stillstand oder bei geringer Geschwindigkeit des Zuges zu vermeiden, sind 160 mm angegeben.

6.3 Weiterer Forschungsbedarf

Die Arbeit zeigt das Potenzial der Fahrzeitminimierung durch eine Erhöhung der Seitenbeschleunigung auf. Weitere Aspekte bleiben unbehandelt und bieten eine Grundlage für weiteren Forschungsbedarf.

Von großem Interesse ist beim Anpassen der Überhöhung auf der Laaer Ostbahn die Umsetzbarkeit hinsichtlich der geforderten Mindestübergangsbogenlänge und der Mindestlänge für die Überhöhungsrampe. Dabei zu berücksichtigen wären die geografischen Gegebenheiten als auch der Abstand der Übergangsbögen beziehungsweise Überhöhungsrampen zueinander und ob schlussfolgernd ein Einlegen möglich wäre. Eine nachträgliche Änderung der Übergangsbogenlänge von bestehenden Bahnanlagen zufolge einer Überhöhungsanpassung ist aufgrund des zur Übergangsbogenlänge proportional wachsenden Abrückmaßes nur mit hohen Kosten umsetzbar. Eine Variante, ohne geografischer Analyse und Gleisverschiebungen, ist die Neigungsanpassung der Überhöhungsrampe ohne Änderung der Übergangsbogenlänge. Dennoch wird auch in dieser Variante in der Präferenz der Trassierungsgrenzwertausnutzung für die Überhöhung eine Verlängerung des Übergangsbogens für wenige Fälle von Notwendigkeit sein, die es zu überprüfen gilt und eine weitere geografische Untersuchung erfordert. Soll zur Gänze auf geografische Analysen verzichtet werden, ist eine weitere Adaptierung des bereits erstellten Geschwindigkeitsprofil möglich. In diesem Fall sollen geforderte Grenzwerte der Rampenneigung berücksichtigt und das Geschwindigkeitsprofil im Bedarfsfall herabgesetzt werden. Anders als in der vorliegenden Arbeit, hätte dies nicht die Priorisierung der Ausnutzung der Trassierungsgrenzwerte zufolge und stellt eine weitere Variante zur Erstellung eines neuen Geschwindigkeitsprofils dar.

Wie sich Grenzwerte und dessen Regelwerke im Bereich von Weichen verhalten, macht eine weitere Analyse hinsichtlich des neu ausgelegten Verzeichnisses der örtlich zulässigen Geschwindigkeiten notwendig. Dem gleichgestellt ist der Bedarf der Forschung von Grenzwerten im Höhenbild durch Verwendung einer zusätzlichen Überhöhung bei wechselnden Trassierungselementen.

Aktuell vorgegebene Grenzwerte von Regelwerken und Richtlinien zur unausgeglichenen Seitenbeschleunigung können auf die in der Diplomarbeit angegebenen Tatsachen zur Komfortgrenze der Fahrgäste in einer weiterführenden Abhandlung geprüft werden. Die Sinnhaftigkeit einer Erhöhung des derzeitigen Grenzwertes soll überdacht werden.

Ebenfalls interessant wären maximal zulässige Geschwindigkeiten bei möglichen technisch ungesicherten Bahnübergängen, wenn die Eisenbahnstrecke und der damit kreuzende Eisenbahnverkehr im Straßenverkehr schlecht einsehbar ist.

Die Auswirkungen und erforderlichen Maßnahmen für den Oberbau durch eine zusätzliche Überhöhung der betrachteten Strecke kann weitgehend tiefer überprüft werden, da dieser Sachverhalt in der Diplomarbeit nur oberflächlich behandelt wurde. Dem gleichgestellt seien die Auswirkungen einer zusätzlichen Überhöhung auf die Oberleitung. Ebenso kann den zusätzlichen Belastungen von weiteren Fahrzeugkomponenten (speziell des Rades) und ob diese den Beanspruchungen standhalten können nachgegangen werden. Folglich ist das Verschleißverhalten anderer Fahrzeugelemente von Interesse.

Die Analyse der äquivalenten Konizität und damit den Laufeigenschaften zwischen Rad und Schiene im Vergleich des Rades im Neuzustand als auch im verschlissenen Zustand und der daraus folgenden unterschiedlich ergebenden Kräfte bei Fahrten mit erhöhter Seitenbeschleunigung, wäre ebenfalls von wissenschaftlicher Bedeutung in weiteren Arbeiten.

Darüber hinaus ergebe sich die Möglichkeit die notwendigen Kosten zur Umsetzung des Fahrens mit erhöhter Seitenbeschleunigung zu eruieren (Neupositionierung von Geschwindigkeitstafeln, engere Instandhaltungsintervalle des Oberbaus als auch beim Fahrzeug durch eine öfters höhere Radsatzlagerbelastung).

Andere Möglichkeiten, die in eine weitere Fahrzeitreduktion für den Passagier resultieren, können ebenfalls in einer weiteren Studie abgehandelt werden. Hier ergeben sich Potenziale wie die Auswirkungen von zusätzlichen Einstiegs- und Ausstiegsmöglichkeiten am Fahrzeug oder das Anpassen der Türdimensionen, um mögliche kürzere Aufenthalte in Betriebsstellen zu erreichen. Dafür ist es ebenfalls notwendig, das Verhalten von Menschen bei Zu- und Ausstieg zu untersuchen.

Auch die Planung und Implementierung eines vollständigen oder abschnittswisen zweigleisigen Ausbaus der Laaer Ostbahn, wie es im Zielnetz 2040 Erwähnung findet [53], hätte mit der Entwicklung weiterer Ausweichbahnhöfen zur Kreuzung verschiedener Züge vermutlich großes Potenzial zur weiteren Beschleunigung des Regionalverkehrs. Diese Erfolg versprechende Maßnahmen des Zielnetz 2024 gilt es in einer weiteren Machbarkeitsstudie zu untersuchen.

Ebenso von Bedeutung wären die Auswirkungen und die mögliche Fahrzeitreduktion im Vergleich zu neu veröffentlichten Fahrplanheften der Laaer Ostbahn. Zwar weist das Fahrplanbild der Laaer Ostbahn für das Jahr 2024 keinerlei Unterschiede gegenüber dem Fahrplanbild 2023 auf und hat damit auch keine Änderungen der Fahrzeitreduktion zu Folge, dennoch können Fahrplanhefte der Zukunft genauer analysiert werden.

Als zukünftiges Bewertungsmodell kann der Ansatz der Bögen pro Kilometer zur Beschleunigung des Regionalverkehrs mehrerer zu Betracht gezogener Strecken und dessen Potenzial zur raschen Entscheidungsfindung dienen. Die in der Diplomarbeit angestellten Überlegungen zur Fahrzeitreduktion der Laaer Ostbahn können als Ansatz für weitere Eisenbahnstrecken in Österreich wie in [1] angewendet werden. Dies bedarf der Recherche und Einholung von Streckendaten, Informationen zum Verzeichnis örtlich zulässiger Geschwindigkeiten als auch den verwendeten Fahrzeugen im Bestand und falls notwendig deren Wagen.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Beschleunigungsanteile bei Bogenfahrt mit Überhöhung nach [2]	8
Abb. 2: Überhöhungsfehlbetrag bei vorgegebener eingebauter Überhöhung nach [2]	10
Abb. 3: Gerade Überhöhungsrampe nach [18]	12
Abb. 4: S-förmig geschwungene Überhöhungsrampe nach [18]	13
Abb. 5: Rampe nach Bloss nach [2]	14
Abb. 6: Rampen-, Krümmungs- und Grundrissbild eines Übergangsbogens mit geraden Krümmungsverlauf nach [2]	16
Abb. 7: Rampen-, Krümmungs- und Grundrissbild für einen Übergangsbogen mit geschwungenem Krümmungsverlauf nach [2]	18
Abb. 8: Normenpyramide für Richtlinien, Regeln und Normen der Eisenbahn nach [25]	21
Abb. 9: Fahrplanbildauszug 902 Wien – Mistelbach – Laa a. d. Thaya [50]	38
Abb. 10: Bildfahrplan Wien Leopoldau - Laa a. d. Thaya von 7 bis 10 Uhr	41
Abb. 11: Geschwindigkeitsprofil des Bestands am Beispiel der S2 24668	42
Abb. 12: FBS-Fahrplanbildauszug 902 Wien – Mistelbach – Laa a. d. Thaya	43
Abb. 13: neues VzG für Bestandsstrecke hinsichtlich verschiedener Szenarien	52
Abb. 14: neues VzG mit angepasstem D (MV) hinsichtlich verschiedener Szenarien	53
Abb. 15: neues VzG mit angepasstem D (PV) hinsichtlich verschiedener Szenarien	54
Abb. 16: Bildfahrplan Wien Leopoldau - Laa a. d. Thaya von 7 bis 10 Uhr mit erhöhter Seitenbeschleunigung (DML $a_q = 0,98 \text{ m/s}^2$ und DS $a_q = 0,85 \text{ m/s}^2$)	56
Abb. 17: Geschwindigkeitsprofil mit $a_q = 0,98 \text{ m/s}^2$ am Beispiel der S2 24886	57
Abb. 18: FBS-Musterfahrplanbildauszug 902 Wien – Mistelbach – Laa a. d. Thaya mit erhöhter Seitenbeschleunigung (DML $a_q = 0,98 \text{ m/s}^2$ und DS $a_q = 0,85 \text{ m/s}^2$)	58
Abb. 19: Kräfte im Rad-Schiene-Kontakt [79]	63

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Definition der Vorzeichen im koordinatentreuen System	11
Tab. 2: Grenzwerte für den Mindestbogenradius R_{min} [m]	24
Tab. 3: Grenzwerte für die maximal zulässige Überhöhung D_{lim} [mm]	25
Tab. 4: Grenzwerte für den maximal zulässigen Überhöhungsfehlbetrag l_{lim} [mm]	26
Tab. 5: Grenzwerte für den maximal zulässigen Überhöhungsüberschuss E_{lim} [mm].....	27
Tab. 6: Grenzwerte für die maximal zulässige abrupte Änderung des Überhöhungsfehlbetrages Δl_{lim} [mm]	28
Tab. 7: Grenzwerte für die maximal zulässige Seitenbeschleunigung a_{qlim} [m/s ²].....	29
Tab. 8: Trassenvergleich	33
Tab. 9: Fahrzeit und -verkürzung mit unterschiedlichen Fahrzeugen bei verschiedenen unausgeglichenen Seitenbeschleunigungen/Überhöhungsfehlbeträgen auf der Bestandsstrecke	49
Tab. 10: Fahrzeit und -verkürzung mit unterschiedlichen Fahrzeugen bei verschiedenen unausgeglichenen Seitenbeschleunigungen/Überhöhungsfehlbeträgen auf Strecke mit veränderter Überhöhung für Mischverkehr	50
Tab. 11: Fahrzeit und -verkürzung mit unterschiedlichen Fahrzeugen bei verschiedenen unausgeglichenen Seitenbeschleunigungen/Überhöhungsfehlbeträgen auf Strecke mit veränderter Überhöhung für Personenverkehr	50
Tab. 12: Fahrzeitgewinn in Abhängigkeit von der Fahrtrichtung und Anzahl der Züge	59
Tab. B.1: VzG Ausgangssituation auf der Bestandsstrecke mit Fahrzeuginformationen ..	107
Tab. B.2: VzG bei $a_q = 0,654$ m/s ² auf Strecke ohne Änderung der Überhöhung mit Fahrzeuginformationen	108
Tab. B.3: VzG bei $a_q = 0,85$ m/s ² auf Strecke ohne Änderung der Überhöhung mit Fahrzeuginformationen	110
Tab. B.4: VzG bei $a_q = 0,98$ m/s ² auf Strecke ohne Änderung der Überhöhung mit Fahrzeuginformationen	112
Tab. B.5: VzG NeiTech auf Strecke ohne Änderung der Überhöhung mit Fahrzeuginformationen	114
Tab. B.6: VzG bei $a_q = 0,654$ m/s ² auf Strecke mit Änderung der Überhöhung für Mischverkehr mit Fahrzeuginformationen.....	116

Tab. B.7: VzG bei $a_q = 0,85 \text{ m/s}^2$ auf Strecke mit Änderung der Überhöhung für Mischverkehr mit Fahrzeitinformationen.....	118
Tab. B.8: VzG bei $a_q = 0,98 \text{ m/s}^2$ auf Strecke mit Änderung der Überhöhung für Mischverkehr mit Fahrzeitinformationen.....	120
Tab. B.9: VzG NeiTech auf Strecke mit Änderung der Überhöhung für Mischverkehr mit Fahrzeitinformationen.....	122
Tab. B.10: VzG bei $a_q = 0,654 \text{ m/s}^2$ auf Strecke mit Änderung der Überhöhung für Personenverkehr mit Fahrzeitinformationen.....	124
Tab. B.11: VzG bei $a_q = 0,85 \text{ m/s}^2$ auf Strecke mit Änderung der Überhöhung für Personenverkehr mit Fahrzeitinformationen.....	126
Tab. B.12: VzG bei $a_q = 0,98 \text{ m/s}^2$ auf Strecke mit Änderung der Überhöhung für Personenverkehr mit Fahrzeitinformationen.....	128
Tab. B.13: VzG NeiTech auf Strecke mit Änderung der Überhöhung für Personenverkehr mit Fahrzeitinformationen.....	130

Abkürzungsverzeichnis

Symbol	Beschreibung
1:m	Rampenneigung
a	Seitenbeschleunigung (Zentrifugal- bzw. Horizontalbeschleunigung)
A, B1, B2, C2, C3, C4, D2, D3, D4	Streckenklassen
AEG	Allgemeines Eisenbahngesetz
a_q	freie nicht ausgeglichene Seitenbeschleunigung
$a_{q,lim}$	maximal zulässige freie Seitenbeschleunigung
BA	Bogenanfang
C	dynamische Tragfähigkeit eines Lagers
CEN	Comité Européen de Normalisation, europäisches Komitee für Normung
CENLEC	Comité Européen de Normalisation Electrotechnique, europäisches Komitee für elektrotechnische Normung
D	Überhöhung
DB	Deutsche Bahn
D_{EQ}	ausgleichende Überhöhung
D_{lim}	maximal zulässige Überhöhung
DML	Desiro MainLine von Siemens Mobility GmbH
$D_{R,lim}$	maximal zulässige Überhöhung als Funktion des Bogenradius
DS	Doppelstockwagen
D_x	Überhöhung bei gegebener Entfernung
e	Schienenkopfmittennormalabstand
E	Überhöhungsüberschuss
EBG	Eisenbahngesetz
EBO	Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung
EBV	Eisenbahnverordnung
EisbBBV	Eisenbahnbau- und betriebsverordnung
EisbG	Eisenbahngesetz

e_{Lager}	lagerabhängiger Grenzwert
E_{lim}	maximal zulässiger Überhöhungsüberschuss
EN	europäische Norm
ETCS	European Train Control System, europäische Zugbeeinflussung
ETSI	Europäisches Institut für Telekommunikationsnormen
f	Abrückmaß
F	Zentrifugalkraft
F_a	Axialkraft
FBS	Fahrplanbearbeitungssystem
F_r	Radialkraft
g	Gravitationsbeschleunigung
GV	Güterverkehr
Hbf	Hauptbahnhof
I	Überhöhungsfehlbetrag
I_1	Überhöhungsfehlbetrag des ersten Trassierungselements
I_2	Überhöhungsfehlbetrag des zweiten Trassierungselements
I_{lim}	maximal zulässiger Überhöhungsfehlbetrag
k	Krümmung
l	Länge
L_{10h}	nominale Lebensdauer bei 90% Erlebenswahrscheinlichkeit
l_D	Rampenlänge
l_k	Übergangsbogenlänge
LOC&PAS	Technische Spezifikation für die Interoperabilität Teilsystem Lokomotiven und Personenwagen
LZB	linienförmige Zugbeeinflussung
m_G	Masse
MV	Mischverkehr
n	Drehzahl
$n\%$	Drehzahlanteil
NeiTech	Neigetechik
ÖBB	Österreichische Bundesbahnen
ÖNORM	österreichische Norm
P	äquivalente dynamische Lagerbelastung
p	der Exponent der Lebensdauergleichung =10/3 bei Rollenlagern

PV	Personenverkehr
Q	Radkraft bzw. Aufstandskraft
Q_{dyn}	dynamische Radaufstandskraft
Q_{qst}	quasistatische Radaufstandskraft
Q_{qst_innen}	quasistatische Radaufstandskraft des bogeninneren Rades
Q_{st}	statische Radaufstandskraft in Ruhe
R	Krümmungsradius (Bogenradius)
RA	Rampenanfang
RA1	Anfang der ersten Rampe
RA2	Anfang der zweiten Rampe
RE	Rampenende
RE1	Ende der ersten Rampe
RE2	Ende der zweiten Rampe
REX	Regionalexpress
RFI	Rete Ferroviaria Italiana
RM	Rampenmitte
R_{min}	mindestens einzuhaltender Bogenradius
RTE	Regelwerk Technik Eisenbahn
RVE	Richtlinien und Vorschriften für das Eisenbahnwesen
S_x	Längsschlupf
S_y	Querschlupf
TEN	transeuropäisches Verkehrsnetz
Tfz	Triebfahrzeug
TSI	Technische Spezifikation für die Interoperabilität
TSI INF/INS	Technische Spezifikation für die Interoperabilität Teilsystem Infrastruktur
T_x	Längsreibungskraft zu Folge Reibung in Fahrtrichtung
T_y	Querreibungskraft
UA	Übergangsbogenanfang
UE	Übergangsbogenende
v	Geschwindigkeit in [m/s]
V	Geschwindigkeit in [km/h]
VDV	Verband deutscher Verkehrsunternehmen
V_{max}	höchstzulässige Bogengeschwindigkeit schneller Züge in [km/h]

Abkürzungsverzeichnis

V_{\min}	Bogengeschwindigkeit von Zügen, die für langsamere Geschwindigkeiten bestimmt sind (z.B. Güterzüge) in [km/h]
VzG	Verzeichnis der örtlich zulässigen Geschwindigkeiten
V_{zul}	zulässige Geschwindigkeit in [km/h]
WAG	Technische Spezifikation für die Interoperabilität Teilsystem Güterwagen
x	Entfernung
Y	Querkraft, Führungskraft bzw. Profilseitenkraft (beschrieben durch Zentrifugalkraft)
Y_1	Axialfaktor
Y_{dyn}	dynamische Querkraft bzw. Profilseitenkraft
Y_{qst}	quasistatische Querkraft bzw. Profilseitenkraft
α	Neigungswinkel
Δl	unvermittelte Änderung des Überhöhungsfehlbetrages
Δl_{lim}	maximal zulässige unvermittelte Änderung des Überhöhungsfehlbetrages

Literaturverzeichnis

- [1] M. Kunter und B. Rüger, „Möglichkeiten der Fahrzeitreduktion durch Ausnützung von Trassierungsparametern – am Beispiel der Kamptal- und der Puchbergbahn“, *Eisenbahntechnische Rundschau (ETR)*, Nr. 3, S. 76–80, März 2021.
- [2] R. Menius und V. Matthews, „Linienführung“, in *Bahnbau und Bahninfrastruktur: Ein Leitfaden zu bahnbezogenen Infrastrukturthemen*, 10. Auflage., Wiesbaden: Springer Vieweg, 2020, S. 81–151. [Online]. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1007/978-3-658-27733-8>
- [3] A. Nottbeck, „Untersuchungen zu Auswirkungen von Geschwindigkeitserhöhungen auf Bahnstrecken im Bestand“, Dissertation, Technische Universität München, München, 2016.
- [4] M. Weigend, „Trassierung und Gleisplangestaltung“, in *Handbuch Eisenbahninfrastruktur*, 3., Überarbeitete und Aktualisierte Auflage., L. Fendrich und W. Fengler, Hrsg., Berlin: Springer Vieweg, 2019, S. 639–672. [Online]. Verfügbar unter: https://doi.org/10.1007/978-3-662-56062-4_12
- [5] R. Schach, P. Jehle, und René. Naumann, „Technischer Systemvergleich“, in *Transrapid und Rad-Schiene-Hochgeschwindigkeitsbahn: Ein gesamtheitlicher Systemvergleich*, 1. Auflage., Berlin: Springer, 2006, S. 69–250. [Online]. Verfügbar unter: https://link.springer.com/chapter/10.1007/3-540-28335-8_5
- [6] G. Clar-Novak und M. Lagler, „Die europäische Trassierungsnormung von Schmalspurbahnen im Vergleich“, *Eisenbahntechnische Rundschau (ETR)*, Nr. 9, S. 72–75, Sep. 2023.
- [7] C. Weber u. a., *Fahrplanbearbeitungssystem FBS - Anleitung*. Dresden: iRFP Institut für Regional- und Fernverkehrsplanung e. K., 2020.
- [8] K. Hermann und E. Günter, „Expertengespräch“, 8. März 2024.
- [9] C. Rauch, *Die Evolution der Mobilität: Eine Studie des Zukunftsinstitutes im Auftrag des ADAC*. München: ADAC Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e. V., 2017. Zugegriffen: 11. Juli 2023. [Online]. Verfügbar unter: https://assets.adac.de/image/upload/v1606826089/ADAC-eV/KOR/Text/PDF/ADAC_Studie_Evolution_der_Mobilitaet_deutsch_ik128f.pdf
- [10] DB Vertrieb, *Ökologisch, flexibel, effizient: die Zukunft der geschäftlichen Mobilität*. Frankfurt am Main: DB Vertrieb GmbH, 2015.

- [11] G. Prokop und A. Stoller, *Der Güterverkehr von morgen: LKWs zwischen Transporteffizienz und Sicherheit*. in Schriften zur Ökologie, no. 30. Berlin: Heinrich-Böll-Stiftung, 2012. Zugegriffen: 11. Juli 2023. [Online]. Verfügbar unter: https://www.boell.de/sites/default/files/Gueterverkehr_von_Morgen.pdf
- [12] H. Joachim und L. Frank, „Kinematische Planungsgrundlage“, in *Planung von Bahnanlagen: Grundlagen - Planung - Berechnung*, 2., Aktualisierte und Erweiterte Auflage., München: Carl Hanser, 2018, S. 16–28. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.hanser-elibrary.com/doi/epdf/10.3139/9783446418905.002>
- [13] ÖBB-Infrastruktur AG, *Linienführung von Gleisen - Regelwerk 01.03 Entwerfen von Bahnanlagen*. ÖBB-Infrastruktur AG, 2016.
- [14] B. Grotz, *Grundwissen Physik*, Release 0.4.4c, Aktualisiert am 24.03.2018. Augsburg, 2018. Zugegriffen: 11. Juli 2023. [Online]. Verfügbar unter: https://www.grund-wissen.de/physik/_downloads/grundwissen-physik.pdf
- [15] Bundesministerium Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, *Österreichische Verordnung über den Bau und Betrieb von Eisenbahnen (Eisenbahnbau- und betriebsverordnung - EisBBV)*. 2023. Zugegriffen: 12. Juli 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung/Bundesnormen/20006077/EisBBV%20c%20Fassung%20vom%2012.07.2023.pdf?FassungVom=2023-07-12>
- [16] C. Hass-Klau, *Bahnverkehr I - Skript zur Vorlesung*. Bergische Universität Wuppertal Fachbereich Bauingenieurswesen, 2011.
- [17] Bergische Universität Wuppertal, *Bahnverkehr I - Übungen zur Vertiefung*. Wuppertal: Fakultät für Architektur und Bauingenieurswesen, 2011.
- [18] V. Matthews, „Linienführung“, in *Bahnbau*, 7. überarbeitete und Aktualisierte Auflage., Wiesbaden: Teubner, 2007, S. 66–112. [Online]. Verfügbar unter: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-8351-9107-5_8
- [19] H. Joachim und L. Frank, „Trassierungsparameter für Bahnen“, in *Planung von Bahnanlagen: Grundlagen - Planung - Berechnung*, 2., Aktualisierte und Erweiterte Auflage., München: Carl Hanser, 2018, S. 29–59. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.hanser-elibrary.com/doi/epdf/10.3139/9783446418905.003>
- [20] H. Hasslinger, „Gleis mit Übergangsbogen und kräfteminimaler Überhöhungsrampe“, AT 412 975 B, 29. Juni 2005 [Online]. Verfügbar unter: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/030449833/publication/AT412975B?q=pn%3DAT412975B>

- [21] G. Presle, M. Boyer, und A. Hanhn, „Der Wiener Bogen® in der Erhaltung der Gleisinfrastruktur der ÖBB“, *Eisenbahntechnische Rundschau (ETR)*, Nr. 3, S. 135–140, März 2007.
- [22] G. Presle, „Wiener Bogen® - Entwicklung und Möglichkeiten -“, in *Vorfahrt für die Schiene, Gleisbau: Planung - Bau - Vermessung*, Bd. 26, Wiesbaden: Chmielorz GmbH, 2008.
- [23] R. Immisch, K.-H. Linke, und H. Kügler, „Pro und Contra Neigetechnik“, *EI - Eisenbahningenieur*, Nr. 11, S. 10–17, Nov. 2007.
- [24] U. Bitterberg, „Wissensbasierte Neigetechnik - mehr Komfort trotz weniger Aufwand?“, *EI - Eisenbahningenieur*, Nr. 51, S. 26–33, Sep. 2000.
- [25] H. Freystein, M. Muncke, und P. Schollmeier, „Auswirkungen der Interoperabilitätsrichtlinien 96/48/EG und 2001/16/EG, beide geändert durch die Änderungsrichtlinie 2004/50/EG“, in *Handbuch Entwerfen von Bahnanlagen*, DVV Media Group GmbH | Eurailpress, 2008, S. 103–144.
- [26] Europäische Kommission, *Richtlinien über die Interoperabilität des Eisenbahnsystems in der Europäischen Union (Neufassung)*, Bd. EU 2016/797. 2016, S. 1–58. Zugegriffen: 24. August 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016L0797&qid=1692883078861>
- [27] Europäische Kommission, *Beschlüsse zur Ergänzung der Richtlinie (EU) 2016/797 des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf spezifische Ziele für die Ausarbeitung, Annahme und Überarbeitung der Technischen Spezifikationen für Interoperabilität*, Bd. EU 2017/1474. 2017, S. 1–11. Zugegriffen: 24. August 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32017D1474&qid=1692885666129>
- [28] Europäische Kommission, *Verordnung über die technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems „Infrastruktur“ des Eisenbahnsystems in der Europäischen Union*, Bd. EU Nr. 1299/2014. 2014, S. 1–124. Zugegriffen: 25. August 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:02014R1299-20190616&qid=1562677135873&from=EN>

- [29] Europäische Kommission, *Verordnung über eine technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems „Fahrzeuge - Lokomotiven und Personenwagen“ des Eisenbahnsystems in der Europäischen Union*, Bd. EU Nr. 1302/2014. 2014, S. 1–246. Zugegriffen: 25. August 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:02014R1302-20200311&from=DE>
- [30] Europäische Kommission, *Verordnung über die technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems „Fahrzeuge - Güterwagen“ des Eisenbahnsystems in der Europäischen Union und zur Aufhebung der Entscheidung 2006/861/EG der Kommission*, Bd. EU Nr. 321/2013. 2013, S. 1–80. Zugegriffen: 25. August 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:02013R0321-20190616&from=DE>
- [31] DIN EN 13803, „Bahnanwendungen - Oberbau - Trassierungsparameter - Spurweiten 1435 mm und größer; Deutsche Fassung“. Beuth Verlag GmbH, Berlin, September 2017.
- [32] Bundesministerium Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, *Österreichisches Bundesgesetz über das Eisenbahnwesen (Eisenbahngesetz 1957)*, Bd. 60. Bundesgesetz. 1957, S. 1–16. Zugegriffen: 25. August 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung/Bundesnormen/10011302/EisbG%2c%20Fassung%20vom%2025.08.2023.pdf>
- [33] H. Freystein, M. Muncke, und P. Schollmeier, „Technische Regeln im Eisenbahnbau“, in *Handbuch Entwerfen von Bahnanlagen*, 3. Aufl., DVV Media Group GmbH | Eurailpress, 2015, S. 43–57.
- [34] Forschungsgesellschaft - Straße - Schiene - Verkehr, „Richtlinien und Vorschriften für das Eisenbahnwesen (RVE)“. Zugegriffen: 30. August 2023. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.fsv.at/cms/default.aspx?ID=eb0531f9-4adc-45b0-8940-a5d533c159ae>
- [35] Bundesministeriums der Justiz sowie des Bundesamts für Justiz Deutschland, *Allgemeines Eisenbahngesetz (AEG)*, Bd. BGBl. I S. 2378, 2396; 1994 | S. 2439. 1993, S. 1–42. Zugegriffen: 30. August 2023. [Online]. Verfügbar unter: https://www.gesetze-im-internet.de/aeg_1994/AEG.pdf

- [36] Bundesministeriums der Justiz sowie des Bundesamts für Justiz Deutschland, *Eisenbahn-Bau- und Betriebsverordnung (EBO)*, Bd. BGBl. 1967 | | S. 1563. 2967, S. 1–51. Zugegriffen: 30. August 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.gesetze-im-internet.de/ebo/EBO.pdf>
- [37] DB Netz AG, *Richtlinie 800.0110 - Linienführung*. 2009.
- [38] Schweizerische Eidgenossenschaft, *Eisenbahngesetz (EBG)*, Bd. 742.101. 1957, S. 1–74. Zugegriffen: 30. August 2023. [Online]. Verfügbar unter: https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1958/335_341_347/de
- [39] Schweizerische Eidgenossenschaft, *Verordnung über Bau und Betrieb der Eisenbahnen (Eisenbahnverordnung, EBV)*, Bd. 742.141.1. 1983, S. 1–64. Zugegriffen: 30. August 2023. [Online]. Verfügbar unter: https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1983/1902_1902_1902/de
- [40] Verband öffentlicher Verkehr, *Geometrische Gestaltung der Fahrbahn - Meterspur*, Bd. R RTE 22546. Bern, 2012. Zugegriffen: 30. August 2023. [Online]. Verfügbar unter: https://www.voev.ch/images/VOEVRteWebShop/voev/preview/R-RTE-22546_d.pdf
- [41] Verband Deutscher Verkehrsunternehmen, „VDV Regelwerke“. Zugegriffen: 30. August 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.vdv.de/eisenbahn-bostrab.aspx>
- [42] Bundesministerium für Verkehr und Elektrizitätswirtschaft, *B 51/P Oberbauvorschrift für Österreichische nicht vom Bunde betriebene Haupt- und Nebenbahnen*. Wien, 1958.
- [43] R. Klösch, B. Knoll (sen.), B. Knoll (jun.), R. Stradner, M. Walter, und H. L. Hasslinger, *B 50 -Teil 2 Oberbau - Technische Grundsätze Linienführung von Gleisen*. 2004.
- [44] Österreichische Bundesbahnen, *B 52 Oberbau Technische Grundsätze*. Wien: Im Selbstverlag der Österreichischen Bundesbahnen, 1980.
- [45] „OpenStreetMap“. Zugegriffen: 28. September 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.openstreetmap.org/#map=13/48.2084/16.2678>
- [46] ÖBB-Infrastruktur AG, „Netzkarte“. Zugegriffen: 28. September 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://infrastruktur.oebb.at/de/geschaeftpartner/schienennetz/dokumente-und-daten/netzkarten/karte-oebb-netz.pdf>

- [47] ÖBB-Infrastruktur AG, „Wegeentgelt Kalkulator“. Zugegriffen: 28. September 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://infrastruktur.oebb.at/de/geschaeftpartner/it-tools/wegeentgelt-kalkulator>
- [48] ÖBB-Personenverkehr AG, „Fahrplanbild 110 Wien Westbf - Neulengbach - St. Pölten“. Zugegriffen: 29. September 2023. [Online]. Verfügbar unter: https://www.oebb.at/de/dam/jcr:996d6d9a-4b60-4108-b8f2-9a1d7312d00c/110_23.pdf
- [49] ÖBB-Personenverkehr AG, „Fahrplanbild 800 Wien Franz-Josefs-Bahnhof - Tulln - Sigmundsberg - Gmünd - České Velenice“. Zugegriffen: 29. September 2023. [Online]. Verfügbar unter: https://www.oebb.at/de/dam/jcr:b2bcdd54-f468-4f6f-9977-f9f2114404a3/800_23.pdf
- [50] ÖBB-Personenverkehr AG, „Fahrplanbild 902 Wien - Wolkersdorf - Mistelbach - Laa a.d. Thaya“. Zugegriffen: 29. September 2023. [Online]. Verfügbar unter: https://www.oebb.at/de/dam/jcr:a8df58b1-2d65-43cc-8dfd-dc20bb99850c/902_23.pdf
- [51] ÖBB-Infrastruktur AG, *Schiennetz-Nutzungsbedingungen 2024, Gültig ab 10. Dezember 2023*, Version 1.4. Zugegriffen: 18. Oktober 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://infrastruktur.oebb.at/de/geschaeftpartner/schiennetz/snnb/snnb-2024/schiennetz-nutzungsbedingungen-2024.pdf>
- [52] W. Karin, „Laa an der Thaya Ostbahn: Es ist eine Qual, mit den ÖBB zur Arbeit zu fahren“, *NÖN*, 11. August 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.noen.at/mistelbach/laa-an-der-thaya-ostbahn-es-ist-eine-qual-mit-den-oebb-zur-arbeit-zu-fahren-380192775>
- [53] Bundesministerium Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, ÖBB-Infrastruktur AG, und Schieneninfrastruktur-Dienstleistungsgesellschaft mbH, „Zielnetz 2040 Das Bahnnetz der Zukunft“. 25. Januar 2024. Zugegriffen: 13. Februar 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bmk.gv.at/themen/verkehrsplanung/ausbauplan/zielnetz.html>
- [54] P. Michael, „Bahnausbau: Zweigleisigkeit nur in zwei Abschnitten geplant“, *NÖN*, Jänner 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://m.noen.at/mistelbach/bezirk-mistelbach-bahnausbau-zweigleisigkeit-nur-in-zwei-abschnitten-geplant-406489626>

- [55] ÖBB-Infrastruktur AG, *Moderne Franz-Josefs-Bahn, Höherer Komfort und kürzere Fahrzeiten*, Projektinformation 2022, Amtliche Mitteilung. 2022. Zugegriffen: 29. September 2023. [Online]. Verfügbar unter:
https://horn.gv.at/media/upload/editor/files/Moderne%20Franz-Josefs-Bahn_Projektinformation%2008-22_web%281%29.pdf
- [56] ÖBB-Infrastruktur AG, „Weststrecke Wien - Salzburg“. Zugegriffen: 29. September 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://infrastruktur.oebb.at/de/projekte-fuer-oesterreich/bahnstrecken/weststrecke-wien-salzburg>
- [57] VzG - Ausschuss ÖBB-Infrastruktur AG, *Auflistung der Strecken für Fahren mit erhöhter Seitenbeschleunigung auf Basis VzG und Streckenklasse*, Version 2.9. ÖBB-Infrastruktur AG, 2020.
- [58] M. Fraisl u. a., *Anhang 4 zum Handbuch Fahren mit erhöhter Seitenbeschleunigung auf Basis VzG, Streckenklasse und Triebfahrzeugkategorien*, Version 1.2. ÖBB-Infrastruktur AG, 2008.
- [59] ÖBB-Infrastruktur AG, *Streckennummern für den Fpl. ab 11.12.2022*. Zugegriffen: 21. November 2023. [Online]. Verfügbar unter:
<https://infrastruktur.oebb.at/de/geschaeftpartner/schiennetz/dokumente-und-daten/oebb-streckenverzeichnis.pdf>
- [60] ÖBB-Infrastruktur AG, „VzG - Streckenklassenkarte, gültig ab 10.12.2023“. Zugegriffen: 21. November 2023. [Online]. Verfügbar unter:
<https://infrastruktur.oebb.at/de/geschaeftpartner/schiennetz/dokumente-und-daten/netzkarten/dokument?datei=Karte+VzG+Streckenklassen+%28SNNB+2024%29>
- [61] C. Kandels, „Netzzugang“, in *Handbuch Eisenbahninfrastruktur*, 3., Überarbeitete und Aktualisierte Auflage., L. Fendrich und W. Fengler, Hrsg., Berlin: Springer Vieweg, 2019, S. 981–1002. [Online]. Verfügbar unter:
https://doi.org/10.1007/978-3-662-56062-4_20
- [62] DIN EN 15528, „Bahnanwendungen - Streckenklassen zur Behandlung der Schnittstelle zwischen Lastgrenzen der Fahrzeuge und Infrastruktur; Deutsche Fassung“. Beuth Verlag GmbH, Berlin, Februar 2022.

- [63] ÖBB-Infrastruktur AG, „VzG - Streckenübersichtskarte, gültig ab 10.12.2023“. Zugriffen: 21. November 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://infrastruktur.oebb.at/de/geschaeftpartner/schienennetz/dokumente-und-daten/netzkarten/dokument?datei=Karte+VzG+Strecken%C3%BCbersicht+%28SN+NB+2024%29>
- [64] ÖBB-Personenverkehr AG/HaCon Ingenieurgesellschaft GmbH, „ÖBB Scotty WebApp“. Zugriffen: 22. November 2023. [Softwareversion/Datenstand: 5.45.OEBB.14.7.5]. Verfügbar unter: <https://fahrplan.oebb.at/webapp/#!P|TP!H|523253>
- [65] Siemens AG, *Desiro ML ÖBB cityjet für die ÖBB-Personenverkehr AG*. München, 2018. Zugriffen: 6. Dezember 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:9680ef2a-1386-4cb6-9fe9-b7a907e58698/datenblatt-desiro-ml-oebb-cityjet-d.pdf>
- [66] ÖBB-Personenverkehr AG, „ÖBB Doppelstock-Wendezug“. Zugriffen: 6. Dezember 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.oebb.at/de/reiseplanung-services/im-zug/unsere-zuege/doppelstock>
- [67] H. Maurer, „Laaer Ostbahn“. Zugriffen: 22. November 2023. [Online]. Verfügbar unter: https://austria-forum.org/af/AustriaWiki/Laaer_Ostbahn
- [68] ÖBB-Infrastruktur AG, „Zeichenerklärung (Fahrplanbilder)“. 1. Dezember 2022. Zugriffen: 23. November 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.oebb.at/de/dam/jcr:0f810078-d9ee-4c18-8007-9f63c29164d4/zeichenerklaerung-oebb.pdf>
- [69] ÖBB-Infrastruktur AG, „Bestandsbogenverzeichnis (FK) Stadlau (A) - Gerasdorf (E) von km 12.636 bis km 19.759“. 15. Juli 2022.
- [70] ÖBB-Infrastruktur AG, „Bestandsbogenverzeichnis (FK) Gerasdorf (A) - Wolkersdorf (E) von km 19.759 bis km 28.620“. 6. Juni 2023.
- [71] ÖBB-Infrastruktur AG, „Bestandsbogenverzeichnis (FK) Abzw. Gerasdorf 2 (A) - Mistelbach (E) von km 28.620 bis km 55.330“. 23. Mai 2023.
- [72] ÖBB-Infrastruktur AG, „Bestandsbogenverzeichnis (FK) Mistelbach (A) - Laa a.d. Th. (E) von km 55.865 bis km 82.805“. 3. Mai 2023.
- [73] ÖBB-Infrastruktur AG, „VzG Streckeninformationen 11601: W.Mat-Laxenburg (inWbf)=Laa a.d. Thaya (VzG Version 3.0)“. 28. September 2022.
- [74] „OpenRailwayMap“. Zugriffen: 29. Januar 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.openrailwaymap.org/>

- [75] „Microsoft Excel“. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.microsoft.com/de-at/microsoft-365/excel>
- [76] ÖBB-Personenverkehr AG, „Intercity-Express“. Zugegriffen: 30. Januar 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.oebb.at/de/reiseplanung-services/im-zug/unsere-zuege/ice>
- [77] M. Gülker, M. Hecht, und C.-R. Culemann, „Softwarebasierte Überhöhungsanpassung für bogenreiche Strecken“, *ZEVrail*, Nr. 11/12, S. 1–13, 2022.
- [78] R. Menius und V. Matthews, „Oberbau“, in *Bahnbau und Bahninfrastruktur: Ein Leitfaden zu bahnbezogenen Infrastrukturthemen*, 10. Auflage., Wiesbaden: Springer Vieweg, 2020, S. 169–210. [Online]. Verfügbar unter: https://doi.org/10.1007/978-3-658-27733-8_11
- [79] B. Schmieder, *Spurführung & Fahrdynamik*, Skript zur VO Eisenbahnwesen. Wien: Technische Universität Wien, Institut für Verkehrswissenschaften, 2021.
- [80] Trackopedia, „Oberbauformen“. Zugegriffen: 1. Februar 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.trackopedia.com/lexikon/infrastruktur/oberbau/oberbauformen>
- [81] J. Ihme, „Engineering im Schienenfahrzeugbau“, in *Schienenfahrzeugtechnik*, 2. Auflage., Springer Vieweg, 2018, S. 267–290. [Online]. Verfügbar unter: https://doi.org/10.1007/978-3-658-24923-6_7
- [82] J. Ihme, „Radsatzführung, Federung und Dämpfung“, in *Schienenfahrzeugtechnik*, 2. Auflage., Springer Vieweg, 2018, S. 139–207. [Online]. Verfügbar unter: https://doi.org/10.1007/978-3-658-24923-6_5
- [83] A. Haigermoser, *Schienenfahrzeuge*, Skriptum zur VO Schienenfahrzeuge. Graz: Technische Universität Graz.
- [84] OffeneVergaben.at, „Radsatzlager BT2-8501-06, CJ 00402306147“. Zugegriffen: 3. Februar 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://offenevergaben.at/auftr%C3%A4ge/39525>
- [85] SKF Österreich AG, „Kegelrollenlager-Einheiten“. Zugegriffen: 3. Februar 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.skf.com/at/industries/railways/solutions/tapered-roller-bearing-units>
- [86] ÖBB-Personenverkehr AG, „ÖBB Cityjet“. Zugegriffen: 3. Februar 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.oebb.at/de/reiseplanung-services/im-zug/unsere-zuege/cityjet>

- [87] SKF Österreich AG, *Wälzlagerkatalog - Wälzlager*. 2021. Zugegriffen: 3. Februar 2024. [Online]. Verfügbar unter:
https://cdn.skfmediahub.skf.com/api/public/094ea584acc90401/pdf_preview_medium/094ea584acc90401_pdf_preview_medium.pdf#cid-121486
- [88] R. Fleiss, „Betriebliche und geometrische Parameter der Entgleisung eines Schienenfahrzeuges“, *Eisenbahntechnische Rundschau (ETR)*, Nr. 4, S. 86–90, Apr. 2021.
- [89] M. Petz, *Spurführungstechnik*, Skript zur VO Spurführungstechnik. Wien: Technische Universität Wien, Institut für Verkehrswissenschaften, 2022.
- [90] K. Rießberger, „Das Zusammenwirken von Rad und Schiene“, in *Handbuch Eisenbahninfrastruktur*, 3., Überarbeitete und Aktualisierte Auflage., L. Fendrich und W. Fengler, Hrsg., Berlin: Springer Vieweg, 2019, S. 1–39. [Online]. Verfügbar unter: https://doi.org/10.1007/978-3-662-56062-4_1
- [91] R. Fleiss, „Der Rad/Schiene-Kontakt bei unterschiedlichen Betriebsparametern“, *Eisenbahntechnik*, Nr. 12, S. 12–19, Dez. 2015.
- [92] D. F. Shanahan, „Human Tolerance and Crash Survivability“, in *Pathological Aspects and Associated Biodynamics in Aircraft Accident Investigation (RTO-EN-HFM-113)*, The Research and Technology Organisation (RTO) of North Atlantic Treaty Organisation (NATO), Bd. AC/323(HFM-113)TP/57, Madrid, 2005.
- [93] K. Hannemann, „Frage: Wieviel g kann ein Mensch aushalten?“, *Max-Planck-Institut für Dynamik und Selbstorganisation*, 2009, Zugegriffen: 3. Oktober 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.ds.mpg.de/131983/18>
- [94] DB Railion, *Ladungssicherung in Güterwagen*. Berlin: Stinnes AG, 2004.
- [95] A. Lampen, „Falsche Lastverteilung“, *Berufskraftfahrer-Zeitung*, S. 18–19, Aug. 2003.
- [96] SpanSet® AG, *Ladungssicherung*, Bd. B0901CH2. Oetwil am See. Zugegriffen: 20. Oktober 2023. [Online]. Verfügbar unter:
<https://spansetservices.com/assets/ch/de/d-ladungssicherung-2021-maj-mt.pdf>

Anhang A

Fahrpläne

Auf den folgenden Seiten wird das originale Fahrplanbild und der mit dem Programm FBS nachgestellte Tabellenfahrplan gezeigt. Anschließend folgt ein neu ausgelegter Musterfahrplan mit erhöhter Seitenbeschleunigung.

A.1 Originales Fahrplanbild

902 Wien Meidling — Mistelbach — Laa a. d. Thaya

Laer Ostbahn

902

Gesamtverkehr Wien Meidling - Wien Leopoldau siehe Fahrplanbild 900

SB Zustieg im Nahverkehr (REX, R, S-Bahn) nur mit gültigem Ticket, ausgenommen in Stationen ohne Möglichkeit zum Ticketkauf.

OBB	zusätzliche Hinweise	02		REX/07		REX/02		02																	
		24176	24192	24212	24230	24246	24252	24258	24272	24286	24298	24306	24318	24326	24338	24346	24356	24378	24386	24396	24406	24418	24426	24438	24446
	von																								
	Wien Meidling	ab	4 24																						
	Wien Matzleinsdorfer Platz		4 27																						
	Wien Hbf (Bahnsteige 1-2)		4 30																						
	Wien Quartier Belvedere		4 31																						
	Wolfsthal																								
	Flughafen Wien (VIE)																								
	Wien Rennweg	an	4 34	3 57	4 29	4 57	5 41	6 19	6 58	7 19	7 40	7 49	8 09	8 19	8 49	9 19	9 19	9 19	9 19	9 19	9 19	9 19	9 19	9 19	
	Wien Mitte	ab	4 34	4 58	5 28	5 58	6 19	6 28	6 40	6 58	7 19	7 40	7 49	8 07	8 19	8 40	8 49	9 19	9 40	9 49	9 49	9 49	9 49	9 49	
	Wien Praterstern	an	4 37	5 01	5 31	6 01	6 22	6 31	6 43	7 01	7 22	7 43	7 52	8 10	8 22	8 43	8 52	9 22	9 43	9 52	9 52	9 52	9 52	9 52	
	Wien Praterstern	ab	4 40	5 04	5 34	6 04	6 25	6 34	6 46	7 04	7 25	7 46	7 55	8 13	8 25	8 46	8 55	9 25	9 46	9 55	9 55	9 55	9 55	9 55	
	Wien Praterstern	an	4 41	5 05	5 35	6 05	6 26	6 35	6 47	7 05	7 26	7 47	7 56	8 14	8 26	8 47	8 56	9 26	9 47	9 56	9 56	9 56	9 56	9 56	
	Wien Traisengasse	ab	4 44	5 08	5 38	6 08	6 29	6 38	6 50	7 08	7 29	7 50	7 59	8 17	8 29	8 50	8 59	9 29	9 50	9 59	9 59	9 59	9 59	9 59	
	Wien Handelskai (1-2)	an	4 46	5 10	5 40	6 10	6 31	6 40	6 52	7 10	7 31	7 52	8 01	8 19	8 31	8 52	9 01	9 31	9 52	10 01	10 01	10 01	10 01	10 01	
	Wien Floridsdorf	ab	4 49	5 13	5 43	6 13	6 34	6 43	6 55	7 13	7 34	7 55	8 04	8 22	8 34	8 55	9 04	9 34	9 55	10 04	10 04	10 04	10 04	10 04	
	Wien Floridsdorf	an	4 50	5 14	5 44	6 14	6 35	6 44	6 56	7 14	7 35	7 56	8 05	8 23	8 35	8 56	9 05	9 35	9 56	10 05	10 05	10 05	10 05	10 05	
	Wien Siemensstraße	ab	4 53	5 17	5 47	6 17	6 38	6 47	6 59	7 17	7 38	7 59	8 08	8 26	8 38	8 59	9 08	9 38	9 59	10 08	10 08	10 08	10 08	10 08	
	Wien Leopoldau	an	4 57	5 22	5 52	6 22	6 42	6 52	7 03	7 22	7 42	8 03	8 12	8 30	8 42	9 03	9 12	9 42	10 03	10 12	10 12	10 12	10 12	10 12	
	Gerasdorf		5 01	5 27	5 56	6 27	6 46	6 56	7 07	7 27	7 46	7 56	8 16	8 16	8 16	8 16	8 16	8 16	8 16	8 16	8 16	8 16	8 16	8 16	
	Kapellerfeld		5 06	5 30	6 01	6 30	6 48	6 59	7 10	7 30	7 48	7 59	8 19	8 19	8 19	8 19	8 19	8 19	8 19	8 19	8 19	8 19	8 19	8 19	
	Seyring		5 06	5 33	6 01	6 33	6 51	7 01	7 12	7 33	7 51	8 11	8 21	8 38	8 48	9 11	9 21	9 51	10 11	10 21	10 21	10 21	10 21	10 21	
	Obersdorf		5 05	5 36	6 04	6 36	6 54	7 04	7 15	7 36	7 54	8 13	8 23	8 41	8 54	9 13	9 23	9 54	10 13	10 24	10 24	10 24	10 24	10 24	
	Wolkersdorf	an	5 13	5 39	6 07	6 37	6 57	7 07	7 17	7 37	7 57	8 17	8 27	8 41	8 57	9 17	9 27	9 57	10 17	10 27	10 27	10 27	10 27	10 27	
	Wolkersdorf	ab	5 40	5 43	5 43	6 40	7 03	7 03	7 03	7 40	7 40	8 15	8 15	8 42	8 59	9 15	9 15	9 59	10 15	10 15	10 15	10 15	10 15	10 15	
	Ulrichskirchen		5 43	5 46	5 46	6 43	7 06	7 06	7 06	7 43	7 43	8 18	8 18	8 45	9 02	9 18	9 18	10 02	10 18	10 18	10 18	10 18	10 18	10 18	
	Schleimbach		5 46	5 49	5 49	6 46	7 10	7 10	7 10	7 46	7 46	8 21	8 21	8 48	9 05	9 21	9 21	10 05	10 21	10 21	10 21	10 21	10 21	10 21	
	Hautzendorf		5 50	5 53	5 53	6 47	7 11	7 11	7 11	7 50	7 50	8 25	8 25	8 52	9 09	9 25	9 25	10 09	10 25	10 25	10 25	10 25	10 25	10 25	
	Niederkreuzstetten		5 54	5 57	5 57	6 51	7 15	7 15	7 15	7 54	7 54	8 29	8 29	8 56	9 13	9 29	9 29	10 13	10 29	10 29	10 29	10 29	10 29	10 29	
	Neubau-Kreuzstetten		5 58	6 01	6 01	6 55	7 19	7 19	7 19	7 58	7 58	8 33	8 33	9 00	9 17	9 33	9 33	10 17	10 33	10 33	10 33	10 33	10 33	10 33	
	Ladendorf		6 18	6 21	6 21	7 15	7 39	7 39	7 39	8 05	8 05	8 40	8 40	9 07	9 24	9 40	9 40	10 24	10 40	10 40	10 40	10 40	10 40	10 40	
	Paasdorf		6 18	6 21	6 21	7 15	7 39	7 39	7 39	8 05	8 05	8 40	8 40	9 07	9 24	9 40	9 40	10 24	10 40	10 40	10 40	10 40	10 40	10 40	
	Mistelbach	an	6 23	6 26	6 26	7 19	7 43	7 43	7 43	8 08	8 08	8 43	8 43	9 10	9 27	9 43	9 43	10 27	10 43	10 43	10 43	10 43	10 43	10 43	
	Mistelbach	ab				7 14	7 14	7 14	7 14	7 14	7 14	7 14	7 14	7 14	7 14	7 14	7 14	7 14	7 14	7 14	7 14	7 14	7 14	7 14	
	Mistelbach Stadt					7 19	7 19	7 19	7 19	7 19	7 19	7 19	7 19	7 19	7 19	7 19	7 19	7 19	7 19	7 19	7 19	7 19	7 19	7 19	
	Siebenhirten NO					7 25	7 25	7 25	7 25	7 25	7 25	7 25	7 25	7 25	7 25	7 25	7 25	7 25	7 25	7 25	7 25	7 25	7 25	7 25	
	Hörsdorf					7 30	7 30	7 30	7 30	7 30	7 30	7 30	7 30	7 30	7 30	7 30	7 30	7 30	7 30	7 30	7 30	7 30	7 30	7 30	
	Frättingsdorf					7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	
	Enzersdorf bei Staatz					7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	
	Staatz					7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	
	Kottingneusiedl					7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	7 35	
	Laa a. d. Thaya	an				7 40	7 40	7 40	7 40	7 40	7 40	7 40	7 40	7 40	7 40	7 40	7 40	7 40	7 40	7 40	7 40	7 40	7 40	7 40	

Ⓜ Ⓝ und † von Mödling, Ⓞ nicht † von Wiener Neustadt
 Ⓢ Ⓜ von Mödling, Ⓞ von Wiener Neustadt

OBB	zusätzliche Hinweise	02		REX/07		REX/02		02																	
		24406	24418	24426	24446	24458	24466	24478	24486	24498	24506	24518	24526	24538	24546	24558	24566	24578	24586	24598	24606	24618	24626	24638	24646
	von																								
	Wien Meidling	ab	10 09																						
	Wien Matzleinsdorfer Platz		10 12																						
	Wien Hbf (Bahnsteige 1-2)		10 15																						
	Wien Quartier Belvedere		10 16																						
	Wolfsthal																								
	Flughafen Wien (VIE)																								
	Wien Rennweg	an	10 19	10 19	10 49	11 19	11 40	11 49	12 10	12 19	12 40	12 49	13 10	13 19	13 40	13 49	14 10	14 19	14 40	14 49	14 49	14 49	14 49	14 49	
	Wien Mitte	ab	10 19	10 40	10 49	11 19	11 40	11 49	12 10	12 19	12 40	12 49	13 10	13 19	13 40	13 49	14 10	14 19	14 40	14 49	14 49	14 49	14 49	14 49	
	Wien Praterstern	an	10 22	10 43	10 52	11 22	11 43	11 52	12 13	12 22	12 43	12 52	13 13	13 22	13 43	13 52	14 13	14 22	14 43	14 52	14 52	14 52	14 52	14 52	
	Wien Praterstern	ab	10 25	10 46	10 55	11 25	11 46	11 55	12 16	12 25	12 46	12 55	13 16	13 25	13 46	13 55	14 16	14 25	14 46	14 55	14 55	14 55	14 55	14 55	
	Wien Praterstern	an	10 26	10 47	10 56	11 26	11 47	11 56	12 17	12 26	12 47	12 56	13 17	13 26	13 47	13 56	14 17	14 26	14 47	14 56	14 56	14 56	14 56	14 56	
	Wien Traisengasse	ab	10 29	10 50	10 59	11 29	11 50	11 59	12 20	12 29	12 50	12 59	13 20	13 29	13 50	13 59	14 20	14 29	14 50	14 59	14 59				

902

Wien Meidling

Mistelbach

Laa a. d. Thaya

Laer Ostbahn

902

Gesamtverkehr Wien Meidling - Wien Leopoldau siehe Fahrplanbild 900

59 Zustieg im Nahverkehr (REX, R, S-Bahn) nur mit gültigem Ticket, ausgenommen in Stationen ohne Möglichkeit zum Ticketkauf.

Table with 18 columns for train types (REX 2, REX 2, etc.) and 22 rows for stations from Wien Meidling to Laa a. d. Thaya. Includes departure and arrival times.

Table with 18 columns for train types and 22 rows for stations from Wien Meidling to Laa a. d. Thaya. Includes departure and arrival times.

gültig ab 11.12.2022

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.



Seite 2

A.1 Originales Fahrplanbild

902

Laa a. d. Thaya

Mistelbach

Wien Meidling

Laer Ostbahn

902

Gesamtverkehr Wien Leopoldau - Wien Meidling siehe Fahrplanbild 900

SB Zustieg im Nahverkehr (REX, R, S-Bahn) nur mit gültigem Ticket, ausgenommen in Stationen ohne Möglichkeit zum Ticketkauf.

OB	Zusätzliche Hinweise	02/07	REX2	02/07	02	REX2/07	02	REX2/07	02	REX2/07	02	REX2	02/07	02	REX2/07	02	REX2	02/07	02	REX2/07	02	REX2		
		27225	2403	27243	29255	27265	29275	2905	27285	29295	27305	29315	2407	27325	29335	27345	29355	2409						
ab	Laa a. d. Thaya	4:11	4:47			5:19		5:47		6:19		6:47		7:19		7:47		8:19		8:47		9:19		9:47
ab	Kottlingneusiedl	4:15				5:24		5:53		6:24		6:53		7:24		7:53		8:24		8:53		9:24		9:53
ab	Staatz	4:16	4:53			5:26		5:57		6:28		6:57		7:28		7:57		8:28		8:57		9:28		9:57
ab	Enzersdorf bei Staatz	4:21	4:57			5:30		6:01		6:30		7:01		7:30		8:01		8:30		9:01		9:30		10:01
ab	Frättingsdorf	4:26	5:02			5:35		6:06		6:35		7:06		7:35		8:06		8:35		9:06		9:35		10:06
ab	Hörsdorf	4:29				5:38		6:09		6:38		7:09		7:38		8:09		8:38		9:09		9:38		10:09
ab	Siebenbrunn NO	4:32				5:41		6:12		6:41		7:12		7:41		8:12		8:41		9:12		9:41		10:12
ab	Mistelbach Stadt	4:37				5:46		6:17		6:46		7:17		7:46		8:17		8:46		9:17		9:46		10:17
an	Mistelbach	4:39	5:11			5:48		6:11		6:48		7:11		7:48		8:11		8:48		9:11		9:48		10:11
ab	Mistelbach	4:40	5:12	5:23	5:49	5:53	6:12	6:23	6:49	6:53	7:12	7:23	7:49	7:53	8:12	8:23	8:49	8:53	9:12	9:23	9:49	10:03	10:12	
ab	Paasdorf	4:43		5:27	5:57	6:06	6:18	6:27	6:54	7:06	7:18	7:27	7:54	8:06	8:18	8:27	8:54	9:06	9:18	9:27	9:54	10:06	10:18	
ab	Ladendorf	4:48	5:18	5:30	5:54	6:08	6:24	6:30	6:54	7:08	7:24	7:30	7:54	8:08	8:24	8:30	8:54	9:08	9:24	9:30	9:54	10:08	10:12	
ab	Neubau-Kreuzstetten	4:52	5:24	5:35	6:02	6:08	6:24	6:35	7:02	7:08	7:24	7:35	8:02	8:08	8:24	8:35	9:02	9:08	9:24	9:35	10:02	10:08	10:12	
ab	Niederkreuzstetten	4:55		5:38	6:02	6:08	6:24	6:38	7:02	7:08	7:24	7:38	8:02	8:08	8:24	8:38	9:02	9:08	9:24	9:38	10:02	10:08	10:12	
ab	Hautzendorf	4:59		5:42	6:02	6:12	6:33	6:42	7:10	7:10	7:33	7:42	8:10	8:10	8:33	8:42	9:10	9:10	9:33	9:42	10:10	10:10	10:12	
ab	Schleinbach	5:03	5:33	5:47	6:10	6:17	6:33	6:47	7:17	7:17	7:33	7:47	8:17	8:17	8:33	8:47	9:17	9:17	9:33	9:47	10:17	10:17	10:12	
ab	Ulrichskirchen	5:06	5:38	5:50	6:20	6:20	6:38	6:50	7:14	7:14	7:38	7:50	8:14	8:14	8:38	8:50	9:14	9:14	9:38	9:50	10:14	10:14	10:12	
ab	Wolkersdorf	5:09	5:38	5:53	6:14	6:23	6:39	6:53	7:17	7:17	7:39	7:53	8:17	8:17	8:39	8:53	9:17	9:17	9:39	9:53	10:17	10:17	10:12	
ab	Wolkersdorf	5:10	5:38	5:43	6:11	6:17	6:39	6:43	7:17	7:17	7:39	7:53	8:17	8:17	8:39	8:53	9:17	9:17	9:39	9:53	10:17	10:17	10:12	
ab	Obersdorf	5:13	5:38	5:46	6:01	6:20	6:31	6:46	7:01	7:01	7:31	7:46	8:01	8:01	8:31	8:46	9:01	9:01	9:31	9:46	10:01	10:01	10:12	
ab	Seyring	5:16		5:49	6:04	6:34	6:49	7:04	7:34	7:34	7:54	8:04	8:34	8:34	8:54	9:04	9:34	9:34	9:54	10:04	10:04	10:04	10:12	
ab	Kapellerfeld	5:19		5:52	6:07	6:37	6:52	7:07	7:37	7:37	7:57	8:07	8:37	8:37	8:57	9:07	9:37	9:37	9:57	10:07	10:07	10:07	10:12	
ab	Gerasdorf	5:21		5:54	6:09	6:39	6:54	7:09	7:39	7:39	7:59	8:09	8:39	8:39	8:59	9:09	9:39	9:39	9:59	10:09	10:09	10:09	10:12	
ab	Wien Leopoldau	5:26	5:54	5:59	6:14	6:29	6:44	6:59	7:14	7:29	7:44	7:54	8:09	8:14	8:29	8:44	8:54	9:09	9:14	9:29	9:44	9:54	10:09	
ab	Wien Siemensstraße	5:29	5:57	6:02	6:17	6:32	6:47	6:57	7:02	7:17	7:32	7:47	7:57	8:02	8:17	8:32	8:47	8:57	9:02	9:17	9:32	9:47	10:02	
an	Wien Floridsdorf	5:32	6:00	6:05	6:20	6:35	6:50	7:00	7:05	7:20	7:35	7:50	8:00	8:05	8:20	8:35	8:50	9:00	9:05	9:20	9:35	9:50	10:00	
ab	Wien Floridsdorf	5:36	6:03	6:06	6:22	6:36	6:52	7:03	7:06	7:22	7:36	7:52	8:03	8:06	8:22	8:36	8:52	9:03	9:06	9:22	9:36	9:52	10:03	
ab	Wien Handelskai (1-2)	5:39	6:06	6:09	6:25	6:39	6:55	7:06	7:09	7:25	7:39	7:55	8:06	8:09	8:25	8:39	8:55	9:06	9:09	9:25	9:39	9:55	10:06	
ab	Wien Traisengasse	5:41	6:08	6:11	6:27	6:41	6:57	7:08	7:11	7:27	7:41	7:57	8:08	8:11	8:27	8:41	8:57	9:08	9:11	9:27	9:41	9:57	10:08	
ab	Wien Praterstern	5:43	6:10	6:13	6:29	6:43	6:59	7:10	7:13	7:29	7:43	7:59	8:10	8:13	8:29	8:43	8:59	9:10	9:13	9:29	9:43	9:59	10:10	
ab	Wien Praterstern	5:45	6:12	6:15	6:30	6:45	7:00	7:12	7:15	7:30	7:45	8:00	8:12	8:15	8:30	8:45	9:00	9:12	9:15	9:30	9:45	10:00	10:12	
ab	Wien Mitte	5:49	6:18	6:19	6:34	6:49	7:04	7:16	7:19	7:34	7:48	8:04	8:16	8:19	8:34	8:48	9:04	9:16	9:19	9:34	9:48	10:04	10:16	
ab	Wien Rennweg	5:51	6:18	6:21	6:36	6:51	7:06	7:18	7:21	7:36	7:51	8:06	8:18	8:21	8:36	8:51	9:06	9:18	9:21	9:36	9:51	10:06	10:18	
ab	Wien Rennweg	5:51	6:18	6:21	6:37	6:51	7:07	7:18	7:21	7:37	7:51	8:07	8:18	8:21	8:37	8:51	9:07	9:18	9:21	9:37	9:51	10:07	10:18	
an	Flughafen Wien (VIE)	5:51	6:18	6:21	6:37	6:51	7:07	7:18	7:21	7:37	7:51	8:07	8:18	8:21	8:37	8:51	9:07	9:18	9:21	9:37	9:51	10:07	10:18	
an	Flughafen Wien (VIE)	6:11	6:41	6:41	7:11	7:11	7:41	7:41	8:11	8:11	8:41	8:41	9:11	9:11	9:41	9:41	10:11	10:11	10:11	10:11	10:11	10:11	10:11	10:12
ab	Wien Quartier Belvedere		6:21		6:39		7:09		7:21		7:39		8:09		8:21		8:39		9:09		9:21		9:39	10:09
ab	Wien Hof (Bahnsteige 1-2)		6:23		6:41		7:11		7:23		7:41		8:11		8:23		8:41		9:11		9:23		9:41	10:11
ab	Wien Matzleinsdorfer Platz		6:26		6:44		7:14		7:26		7:44		8:14		8:26		8:44		9:14		9:26		9:44	10:14
an	Wien Meidling		6:28		6:47		7:17		7:28		7:47		8:17		8:28		8:47		9:17		9:28		9:47	10:17
nach				Wien Westbahnhof		Mödling		Mödling		Wiener Neustadt		Mödling		Mödling		Wien Westbahnhof		Mödling		Mödling		Wien Westbahnhof		Mödling

OB	Zusätzliche Hinweise	02/07	02	02/07	02	REX2/02	02/07	02/07	REX2/02	02/07	02	REX2/02	02/07	02	REX2/02	02/07	02	REX2/02						
		27365	29373	27375	27385	27405	29415	27425	27445	29455	27465	27485	29495	27505	27525	29535	27545	29555	27565					
ab	Laa a. d. Thaya					9:09		10:09		11:09		12:09		13:09		14:09		15:09		16:09		17:09		18:09
ab	Kottlingneusiedl					9:13		10:13		11:13		12:13		13:13		14:13		15:13		16:13		17:13		18:13
ab	Staatz					9:16		10:16		11:16		12:16		13:16		14:16		15:16		16:16		17:16		18:16
ab	Enzersdorf bei Staatz					9:19		10:19		11:19		12:19		13:19		14:19		15:19		16:19		17:19		18:19
ab	Frättingsdorf					9:22		10:22		11:22		12:22		13:22		14:22		15:22		16:22		17:22		18:22
ab	Hörsdorf					9:25		10:25		11:25		12:25		13:25		14:25		15:25		16:25		17:25		18:25
ab	Siebenbrunn NO					9:28		10:28		11:28		12:28		13:28		14:28		15:28		16:28		17:28		18:28
ab	Mistelbach Stadt					9:31		10:31		11:31		12:31		13:31		14:31		15:31		16:31		17:31		18:31

902

Laa a. d. Thaya

Mistelbach

Wien Meidling

Laer Ostbahn

902

Gesamtverkehr Wien Leopoldau - Wien Meidling siehe Fahrplanbild 900

58 Zustieg im Nahverkehr (REX, R, S-Bahn) nur mit gültigem Ticket, ausgenommen in Stationen ohne Möglichkeit zum Ticketkauf.

Table with columns for station names (Laa a. d. Thaya, Mistelbach, Wolkersdorf, etc.) and departure times for various train services (REX, R, S-Bahn).

Table with columns for station names (Laa a. d. Thaya, Mistelbach, Wolkersdorf, etc.) and departure times for various train services (REX, R, S-Bahn).

gültig ab 11.12.2022

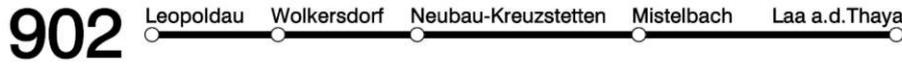
ii in den Nächten nach Freitag, Samstag; auch in den Nächten nach 25.12.; 5.1.; 9.30.4.; 17.28.5.; 7.6.; 14.8.; 25.31.10.; 7.12.

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.



Seite 4

A.2 Nachbildung des Fahrplanbildes



902

	SB 24176	SB 24192	SB 24212	SB 24230	SB 24246	SB 24252	SB 24258	SB 24272	SB 24286	REX 24298 2.	SB 24306	REX 24318 2.	SB 24326	REX 24338 2.	SB 24346	REX 24378 2.	SB 24386	SB 24406	REX 24418 2.	SB 24426	SB 24446	REX 24458 2.		
zusätzliche Hinweise																								
km																								
0 Leopoldau	ab	5 01	5 26	5 56	6 22	6 42	6 52	7 03	7 22	7 42	8 03	8 12	8 30	8 42	9 03	9 12	9 42	10 03	10 12	10 42	11 03	11 12	11 42	12 03
3 Gerasdorf		5 01	5 26	5 56	6 26	6 46	6 56	7 07	7 26	7 46	8 06	8 16	8 34	8 46	9 06	9 16	9 46	10 06	10 16	10 46	11 06	11 16	11 46	12 06
6 Kapellerfeld		5 04	5 29	5 59	6 30	6 49	6 59	7 10	7 30	7 49	8 09	8 19	8 37	8 49	9 09	9 19	9 49	10 09	10 19	10 49	11 09	11 19	11 49	12 09
8 Seyring		5 06	5 31	6 01	6 32	6 51	7 01	7 12	7 32	7 51	8 21	8 31	8 54	9 06	9 21	9 51	10 11	10 21	10 51	11 11	11 21	11 51	12 11	
11 Obersdorf Haltestelle		5 09	5 34	6 04	6 36	6 54	7 04	7 15	7 36	7 54	8 11	8 24	8 38	8 54	9 11	9 34	9 54	10 11	10 24	10 34	11 11	11 24	11 54	12 14
13 Wolkersdorf	an	5 12	5 37	6 07	6 38	6 57	7 07	7 18	7 38	7 57	8 14	8 27	8 41	8 57	9 14	9 27	9 57	10 14	10 27	10 57	11 14	11 27	11 57	12 14
13 Wolkersdorf	ab		5 37		6 39	7 03		7 39		8 12		8 42	8 59	9 14		9 59	10 14		10 59	11 14		11 59	12 14	
17 Ulrichskirchen			5 40		6 42	7 06		7 42		8 10		8 40	9 02	9 14		9 52	10 02		10 52	11 02		11 52	12 02	
19 Schienbach			5 45		6 46	7 10		7 46		8 14		8 44	9 05	9 14		9 55	10 05		10 55	11 05		11 55	12 05	
23 Hautzendorf			5 49		6 50	7 14		7 50		8 18		8 48	9 09	9 14		9 59	10 09		10 59	11 09		11 59	12 09	
26 Niederkreuzstetten			5 53		6 53	7 17		7 53		8 21		8 51	9 13	9 14		9 53	10 13		10 53	11 13		11 53	12 13	
29 Neubau-Kreuzstetten			6 05		6 59	7 23		8 04		8 32		8 58	9 16	9 16		9 58	10 16		10 58	11 16		11 58	12 16	
35 Ladendorf			6 18		7 04	7 30		8 04		8 32		9 02	9 22	9 22		9 52	10 22		10 52	11 22		11 52	12 22	
37 Paasdorf			6 09		7 07	7 33		8 07		8 35		9 05	9 24	9 24		9 54	10 24		10 54	11 24		11 54	12 24	
40 Mistelbach	an	6 23		7 10	7 36		8 10		8 38		9 08	9 28	9 36		10 28	10 36		11 28	11 36		12 28	12 36		
40 Mistelbach	ab			7 12		8 12		8 12		9 10		9 10	9 39	9 39		10 39	10 39		11 39	11 39		12 39	12 39	
41 Mistelbach Stadt				7 14		8 14		8 14		9 12		9 12	9 41	9 41		10 41	10 41		11 41	11 41		12 41	12 41	
47 Siebenhirten				7 19		8 19		8 19		9 17		9 17	9 46	9 46		10 46	10 46		11 46	11 46		12 46	12 46	
48 Hörsdorf				7 21		8 21		8 21		9 19		9 19	9 48	9 48		10 48	10 48		11 48	11 48		12 48	12 48	
51 Fröttlingsdorf				7 24		8 24		8 24		9 24		9 24	9 52	9 52		10 52	10 52		11 52	11 52		12 52	12 52	
56 Erzersdorf bei Staatz				7 30		8 30		8 30		9 28		9 28	9 56	9 56		10 56	10 56		11 56	11 56		12 56	12 56	
60 Staatz				7 34		8 34		8 34		9 32		9 32	10 00	10 00		11 00	11 00		12 00	12 00		13 00	13 00	
62 Kottिंगnesiedl				7 36		8 36		8 36		9 35		9 35	10 02	10 02		11 02	11 02		12 02	12 02		13 02	13 02	
67 Laa a.d. Thaya	an			7 41		8 41		8 41		9 40		9 40	10 08	10 08		11 08	11 08		12 08	12 08		13 08	13 08	

	SB 24466	SB 24478	SB 24486	REX 24498 2.	SB 24506	SB 24518	SB 24526	REX 24538 2.	SB 24546	SB 24558	SB 24566	REX 24578 2.	SB 24586	REX 24608 2.	SB 24598	SB 24606	REX 24618 2.	SB 24626	REX 24610 2.	SB 24638	SB 24646	REX 24658 2.	SB 24666	
zusätzliche Hinweise																								
km																								
0 Leopoldau	ab	12 12	12 33	12 42	13 03	13 12	13 33	13 42	14 03	14 12	14 33	14 42	15 03	15 12	15 29	15 33	15 42	16 03	16 12	16 29	16 33	16 42	17 03	17 12
3 Gerasdorf		12 16	12 37	12 46	13 07	13 16	13 37	13 46	14 07	14 16	14 37	14 46	15 07	15 16	15 33	15 37	15 46	16 07	16 16	16 33	16 37	16 46	17 07	17 16
6 Kapellerfeld		12 19	12 40	12 49	13 10	13 19	13 40	13 49	14 10	14 19	14 40	14 49	15 10	15 19	15 36	15 40	15 49	16 10	16 19	16 36	16 40	16 49	17 10	17 19
8 Seyring		12 21	12 42	12 51	13 12	13 21	13 42	13 51	14 12	14 21	14 42	14 51	15 12	15 21	15 38	15 42	15 51	16 12	16 21	16 38	16 42	16 51	17 12	17 21
11 Obersdorf Haltestelle		12 24	12 45	12 54	13 15	13 24	13 45	13 54	14 15	14 24	14 45	14 54	15 15	15 24	15 41	15 45	15 54	16 15	16 24	16 41	16 45	16 54	17 15	17 24
13 Wolkersdorf	an	12 27	12 48	12 57	13 18	13 27	13 48	13 57	14 18	14 27	14 48	14 57	15 18	15 27	15 44	15 48	15 57	16 18	16 27	16 44	16 48	16 57	17 18	17 27
13 Wolkersdorf	ab		12 59	13 14		13 59	14 14		14 59	15 15		15 40		15 40		15 59	16 15		16 40	16 15		16 59	17 15	
17 Ulrichskirchen			13 02		14 02		15 02		15 02	15 20		16 02		16 02		16 09	16 20		16 40	16 20		17 02	17 20	
19 Schienbach			13 05		14 05		15 05		15 05	15 23		16 05		16 05		16 12	16 23		16 43	16 23		17 05	17 23	
23 Hautzendorf			13 09		14 09		15 09		15 09	15 27		16 09		16 09		16 16	16 27		16 46	16 27		17 09	17 27	
26 Niederkreuzstetten			13 13		14 13		15 13		15 13	15 31		16 13		16 13		16 20	16 31		16 50	16 31		17 13	17 31	
29 Neubau-Kreuzstetten			13 16		14 16		15 16		15 16	15 34		16 16		16 16		16 23	16 34		16 53	16 34		17 16	17 34	
35 Ladendorf			13 22		14 22		15 22		15 22	15 40		16 22		16 22		16 29	16 40		17 08	16 40		17 22	17 40	
37 Paasdorf			13 24		14 24		15 24		15 24	15 42		16 24		16 24		16 31	16 42		17 10	16 42		17 24	17 42	
40 Mistelbach	an		13 28	13 36		14 28	14 36		15 28	15 40		16 04		16 04		16 28	16 40		17 04	17 16		17 28	17 40	
40 Mistelbach	ab			13 39		14 39		15 39		15 40		16 04		16 04		16 40		17 04		17 04		17 40		
41 Mistelbach Stadt				13 41		14 41		15 41		15 42		16 06		16 06		16 42		17 06		17 06		17 42		
47 Siebenhirten				13 46		14 46		15 46		15 47		16 07		16 07		16 47		17 07		17 07		17 47		
48 Hörsdorf				13 48		14 48		15 48		15 49		16 08		16 08		16 48		17 08		17 08		17 48		
51 Fröttlingsdorf				13 52		14 52		15 52		15 53		16 16		16 16		16 53		17 16		17 16		17 53		
56 Erzersdorf bei Staatz				13 56		14 56		15 56		15 58		16 20		16 20		16 58		17 20		17 20		17 58		
60 Staatz				14 00		15 00		16 00		16 01		16 25		16 25		17 01		17 25		17 25		18 01		
62 Kottिंगnesiedl				14 02		15 02		16 02		16 03		16 27		16 27		17 03		17 27		17 27		18 03		
67 Laa a.d. Thaya	an			14 08		15 08		16 08		16 09		16 31		16 31		17 09		17 31		17 31		18 09		

	REX 2412 2.	SB 24678	SB 24686	REX 24698 2.	SB 24706	REX 24718 2.	SB 24726	REX 24738 2.	SB 24746	SB 24766	REX 24778 2.	SB 24786	SB 24806	REX 24818 2.	SB 24826	SB 24846	REX 24858 2.	SB 24866	SB 24886	SB 24906	SB 24926		
zusätzliche Hinweise																							
km																							
0 Leopoldau	ab	17 29	17 33	17 42	18 03	18 12	18 29	18 33	18 42	19 03	19 12	19 42	20 03	20 12	20 42	21 03	21 12	21 42	22 03	22 12	22 42	23 12	23 42
3 Gerasdorf		17 33	17 37	17 46	18 07	18 16	18 33	18 37	18 46	19 07	19 16	19 46	20 07	20 16	20 46	21 07	21 16	21 46	22 07	22 16	22 46	23 16	23 46

902

Laa a.d.Thaya Mistelbach Neubau-Kreuzstetten Wolkersdorf Leopoldau

902

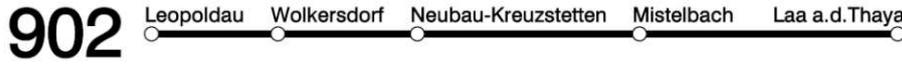
	SB 27225	REX 2403 2	SB 27245	SB 29255	REX 27265 2	SB 29275	REX 2405 2	SB 27285	SB 29295	REX 27305 2	SB 29315	REX 2407 2	SB 27325	SB 29335	REX 27345 2	SB 29355	REX 2409 2	SB 27365	SB 29375	SB 27385	SB 27405	REX 29415 2	SB 29425	SB 27445	
zusätzliche Hinweise																									
km																									
0 Laa a.d.Thaya	ab 4:11	4:47			5:19		5:47			6:19		6:47			7:19		7:47								
6 Kottingneusiedl	4:15				5:24					6:24					7:24										9:13
8 Staatz	4:18	4:53			5:26		5:53			6:26		6:53			7:26		7:53								9:15
12 Enzersdorf bei Staatz	4:21	4:56			5:30		5:56			6:30		6:56			7:30		7:56								9:19
16 Frättingsdorf	4:26	5:02			5:34		6:02			6:34		7:02			7:34		8:02								9:24
19 Hörsdorf	4:29				5:38					6:38					7:38										9:27
21 Siebenhärten	4:31				5:40					6:40					7:40										9:30
26 Mistelbach Stadt	4:36				5:45					6:45					7:45										9:35
27 Mistelbach	an 4:38	5:12			5:48		6:12			6:48		7:12			7:48		8:12								9:36
27 Mistelbach	ab 4:40	5:12		5:23	5:48	5:53	6:12		6:23	6:48		7:12		7:23	7:48		8:12		8:23				9:36	9:41	
30 Paasdorf	4:43			5:26	5:56			6:27		6:57			7:27		7:57		8:27		8:57						9:44
33 Ladendorf	4:46	5:17		5:29	5:59		6:17		6:29	6:59		7:17		7:29	7:59		8:17		8:29						9:47
38 Neubau-Kreuzstetten	4:52	5:22		5:34	6:04	6:22		6:34		7:04		7:22		7:34		8:04		8:17							9:53
41 Niederkreuzstetten	4:55			5:37	6:07			6:37		7:07			7:37		8:07				8:37						9:56
45 Hautzendorf	4:58			5:41	6:11			6:41		7:11			7:41		8:11				8:41						10:00
49 Schienbach	5:02	5:32		5:47	6:10	6:17	6:32		6:47	7:10		7:32		7:47	8:10		8:32		8:47						10:05
51 Ulrichskirchen	5:05			5:49	6:19			6:49		7:19			7:49		8:19				8:50						10:08
54 Wolkersdorf	an 5:08	5:37		5:53	6:15	6:23	6:37		6:53	7:15		7:37		7:53	8:15		8:37		8:54				9:59		10:12
54 Wolkersdorf	ab 5:10	5:38		5:58	6:17	6:28	6:38	6:43	6:58	7:17	7:28	7:38	7:43	7:58	8:17	8:28	8:38	8:43	8:58	9:13	9:43	9:58	10:01	10:13	10:43
56 Obersdorf Haltestelle	5:12		5:45	6:00	6:19	6:30	6:38	6:45	7:00	7:19	7:30	7:38	7:45	8:00	8:19	8:30	8:38	8:45	9:00	9:15	9:45	10:03	10:15	10:45	
60 Seyring	5:15		5:48	6:03	6:22	6:33	6:41	6:48	7:03	7:22	7:33	7:41	7:48	8:03	8:22	8:33	8:41	8:48	9:03	9:18	9:48			10:16	10:48
61 Kapellerfeld	5:17		5:50	6:05	6:24	6:35	6:43	6:50	7:05	7:24	7:35	7:43	7:50	8:05	8:24	8:35	8:43	8:50	9:05	9:20	9:50			10:20	10:50
64 Gerasdorf	5:21		5:54	6:09	6:28	6:39	6:47	6:54	7:09	7:28	7:39	7:47	7:54	8:09	8:28	8:39	8:47	8:54	9:09	9:24	9:54			10:24	10:54
67 Leopoldau	an 5:24	5:46	5:58	6:13	6:26	6:43	6:46	6:58	7:13	7:26	7:43	7:46	7:58	8:13	8:26	8:43	8:46	8:58	9:13	9:28	9:58	10:10	10:28	10:58	

	REX 29455 2	SB 29465	SB 27485	REX 29495 2	SB 29505	SB 27525	REX 29535 2	SB 29545	SB 29555	SB 27565	REX 29575 2	SB 29585	SB 29595	SB 27605	REX 29615 2	SB 29625	SB 29635	SB 27645	SB 27665	SB 29675	SB 27685	SB 29695	SB 27705	
zusätzliche Hinweise																								
km																								
0 Laa a.d.Thaya	ab 10:08			11:08			12:08				13:08				14:08					15:09				16:09
6 Kottingneusiedl	10:13			11:13			12:13				13:13				14:13					15:14				16:14
8 Staatz	10:15			11:15			12:15				13:15				14:15					15:16				16:16
12 Enzersdorf bei Staatz	10:19			11:19			12:19				13:19				14:19					15:21				16:21
16 Frättingsdorf	10:24			11:24			12:24				13:24				14:24					15:25				16:25
19 Hörsdorf	10:27			11:27			12:27				13:27				14:27					15:28				16:29
21 Siebenhärten	10:30			11:30			12:30				13:30				14:30					15:31				16:31
26 Mistelbach Stadt	10:35			11:35			12:35				13:35				14:35					15:36				16:36
27 Mistelbach	an 10:36			11:36			12:36				13:36				14:36					15:38				16:38
27 Mistelbach	ab 10:36	10:41		11:36	11:41		12:36	12:41			13:36	13:41			14:36	14:41				15:40				16:40
30 Paasdorf		10:44			11:44			12:44				13:44				14:44				15:44				16:44
33 Ladendorf		10:47			11:47			12:47				13:47				14:47				15:46				16:46
38 Neubau-Kreuzstetten		10:53			11:53			12:53				13:53				14:53				15:53				16:53
41 Niederkreuzstetten		10:56			11:56			12:56				13:56				14:56				15:57				16:57
45 Hautzendorf		11:00			12:00			13:00				14:00				15:00				16:00				17:00
49 Schienbach		11:05			12:05			13:05				14:05				15:05				16:05				17:05
51 Ulrichskirchen		11:08			12:08			13:08				14:08				15:08				16:08				17:08
54 Wolkersdorf	an 10:59	11:12		11:59	12:12		12:59	13:12			13:59	14:12			14:59	15:12				16:12				17:12
54 Wolkersdorf	ab 11:01	11:13	11:43	12:01	12:13	12:43	13:01	13:13	13:28	13:43	14:01	14:13	14:28	14:43	15:01	15:13	15:28	15:43	16:13	16:28	16:43	16:58	17:13	
56 Obersdorf Haltestelle	11:03	11:15	11:45	12:03	12:15	12:45	13:03	13:15	13:30	13:45	14:03	14:15	14:30	14:45	15:03	15:15	15:30	15:45	16:15	16:30	16:45	17:00	17:15	
60 Seyring		11:18	11:48		12:18	12:48		13:18	13:33	13:48		14:18	14:33	14:48		15:18	15:33	15:48	16:18	16:33	16:48	17:03	17:18	
61 Kapellerfeld		11:20	11:50		12:20	12:50		13:20	13:35	13:50		14:20	14:35	14:50		15:20	15:35	15:50	16:20	16:35	16:50	17:05	17:20	
64 Gerasdorf		11:24	11:54		12:24	12:54		13:24	13:39	13:54		14:24	14:39	14:54		15:24	15:39	15:54	16:24	16:39	16:54	17:09	17:24	
67 Leopoldau	an 11:10	11:26	11:58	12:10	12:26	12:58	13:10	13:26	13:43	13:58	14:10	14:26	14:43	14:58	15:10	15:26	15:43	15:58	16:28	16:43	16:58	17:13	17:28	

gültig ab 13.12.2020

	SB 23715	SB 27725	SB 29735	SB 27745	SB 29755	SB 27765	SB 29775	SB 27785	SB 29795	SB 27805	SB 27825	SB 27845	REX 29855 2	SB 27865	REX 29895 2	SB 27905	SB 27925	REX 29935 2	SB 27945	SB 27905	
zusätzliche Hinweise																					
km																					
0 Laa a.d.Thaya	ab 17:09								18:09				19:09		20:08					21:08	
6 Kottingneusiedl									18:14				19:14		20:13					21:13	
8 Staatz									18:16				19:16		20:15					21:15	
12 Enzersdorf bei Staatz									18:21				19:21		20:19					21:19	
16 Frättingsdorf									18:25				19:25		20:24					21:24	
19 Hörsdorf									18:28				19:28		20:27					21:27	
21 Siebenhärten									18:31				19:31		20:30					21:30	

A.3 Neues Musterfahrplanbild



902

	SB 24176	SB 24192	SB 24212	SB 24230	SB 24246	SB 24252	SB 24258	SB 24272	SB 24286	REX 24298 Z.	SB 24306	REX 24318 Z.	SB 24326	REX 24338 Z.	SB 24346	REX 24378 Z.	SB 24386	SB 24406	REX 24418 Z.	SB 24426	SB 24446	REX 24458 Z.	
zusätzliche Hinweise																							
km																							
0 Leopoldau	ab 4 57	5 22	5 52	6 22	6 42	6 52	7 03	7 22	7 42	8 03	8 12	8 28	8 42	9 03	9 12	9 42	10 03	10 12	10 42	11 03	11 12	11 42	12 03
3 Gerasdorf	5 01	5 27	5 57	6 27	6 47	6 57	7 08	7 27	7 47	8 07	8 17	8 33	8 47	9 07	9 17	9 47	10 17	10 47	11 07	11 17	11 47	12 07	
6 Kapellerfeld	5 03	5 29	5 59	6 29	6 49	6 59	7 10	7 29	7 49	8 09	8 19	8 35	8 49	9 09	9 19	9 49	10 19	10 49	11 09	11 19	11 49		
8 Seyring	5 05	5 31	6 01	6 31	6 51	7 01	7 12	7 31	7 51	8 21	8 31	8 47	9 01	9 21	9 51	10 21	10 51	11 01	11 21	11 51			
11 Odersdorf Haltestelle	5 08	5 34	6 04	6 34	6 54	7 04	7 15	7 34	7 54	8 24	8 34	8 50	9 04	9 34	9 54	10 10	10 34	10 54	11 10	11 24	11 54	12 10	
13 Wolkersdorf	an 5 11	5 37	6 07	6 37	6 57	7 07	7 18	7 37	7 57	8 13	8 27	8 38	8 57	9 13	9 27	9 57	10 13	10 27	10 57	11 13	11 27	11 57	12 13
17 Ulrichskirchen	ab 5 37		6 07	6 37	6 57			7 37				8 38	8 58	9 14		9 58	10 14		11 01	11 14	11 58	12 14	
19 Schienbach	5 40		6 10	6 40	7 02			7 40				8 43	9 03	9 14		10 03	10 14		11 03	11 14	12 03		
23 Hautzendorf	5 45		6 15	6 45	7 07			7 45				8 47	9 07	9 18		10 07	10 18		11 07	11 18	12 07		
26 Niederkreuzstetten	5 49		6 19	6 49	7 10			7 49				8 51	9 11	9 22		10 11	10 22		11 11	11 22	12 11		
29 Neubau-Kreuzstetten	5 52		6 22	6 52	7 14			7 52				8 54	9 14	9 25		10 14	10 25		11 14	11 25	12 14		
35 Ladendorf	6 05		6 35	7 05	7 27			8 05				8 52	9 14	9 25		10 14	10 25		11 14	11 25	12 14		
37 Paasdorf	6 15		6 45	7 15	7 37			8 15				9 01	9 22	9 33		10 22	10 33		11 22	11 33	12 22		
40 Mistelbach	an 6 20		6 50	7 20	7 42			8 20				9 01	9 22	9 35		10 25	10 35		11 25	11 35	12 25	12 35	
41 Mistelbach Stadt	ab 6 20		6 50	7 20	7 42			8 20				9 02	9 23	9 36		10 26	10 37		11 26	11 37	12 26	12 37	
47 Siebenhirten	6 25		6 55	7 25	7 47			8 25				9 03	9 24	9 37		10 27	10 38		11 27	11 38	12 27	12 38	
48 Hörsdorf	6 29		6 59	7 29	7 51			8 29				9 08	9 29	9 42		10 32	10 43		11 32	11 43	12 32	12 43	
51 Fröttlingsdorf	6 33		7 03	7 33	7 55			8 33				9 11	9 32	9 45		10 35	10 46		11 35	11 46	12 35	12 46	
56 Enzersdorf bei Staatz	6 38		7 08	7 38	7 60			8 38				9 14	9 35	9 48		10 38	10 49		11 38	11 49	12 38	12 49	
60 Staatz	6 43		7 13	7 43	7 65			8 43				9 19	9 40	9 53		10 43	10 54		11 43	11 54	12 43	12 54	
62 Kottिंगnesiedl	6 48		7 18	7 48	7 70			8 48				9 22	9 43	9 56		10 48	10 59		11 48	11 59	12 48	12 59	
67 Laa a.d.Thaya	an 6 53		7 23	7 53	8 15			8 53				9 25	9 46	9 59		11 00	11 11		12 00	12 11	13 00	13 11	

	SB 24466	SB 24478	SB 24486	REX 24498 Z.	SB 24506	SB 24518	SB 24526	REX 24538 Z.	SB 24546	SB 24558	SB 24566	REX 24578 Z.	SB 24586	REX 24608 Z.	SB 24598	SB 24606	REX 24618 Z.	SB 24626	REX 24638 Z.	SB 24646	REX 24658 Z.	SB 24666	
zusätzliche Hinweise																							
km																							
0 Leopoldau	ab 12 12	12 33	12 42	13 03	13 12	13 33	13 42	14 03	14 12	14 33	14 42	15 03	15 12	15 26	15 33	15 42	16 03	16 12	16 26	16 33	16 42	17 03	17 12
3 Gerasdorf	12 17	12 38	12 47	13 07	13 17	13 38	13 47	14 07	14 17	14 38	14 47	15 07	15 17	15 31	15 38	15 47	16 07	16 17	16 31	16 38	16 47	17 07	17 17
6 Kapellerfeld	12 19	12 40	12 49	13 09	13 19	13 40	13 49	14 09	14 19	14 40	14 49	15 09	15 19	15 33	15 40	15 49	16 09	16 19	16 33	16 40	16 49	17 09	17 19
8 Seyring	12 21	12 42	12 51	13 11	13 21	13 42	13 51	14 21	14 31	14 52	15 01	15 21	15 31	15 45	15 51	16 01	16 21	16 31	16 45	16 51	17 01	17 21	17 31
11 Odersdorf Haltestelle	12 24	12 45	12 54	13 14	13 24	13 45	13 54	14 10	14 24	14 45	14 54	15 10	15 24	15 38	15 45	15 54	16 10	16 24	16 38	16 45	16 54	17 10	17 24
13 Wolkersdorf	an 12 27	12 48	12 57	13 17	13 27	13 48	13 57	14 13	14 27	14 48	14 57	15 13	15 27	15 41	15 48	15 57	16 13	16 27	16 41	16 48	16 57	17 13	17 27
17 Ulrichskirchen	ab 12 36		13 14					14 14				14 58	15 14		15 37		15 58	16 14		16 37	16 58	17 14	
19 Schienbach	13 01		13 14					14 01				15 01	15 14		16 01		16 14		17 01	17 14	17 31	17 41	
23 Hautzendorf	13 03		13 17					14 03				15 03	15 19		16 03		16 19		17 03	17 19	17 37	17 47	
26 Niederkreuzstetten	13 07		13 21					14 07				15 07	15 23		16 07		16 23		17 07	17 23	17 41	17 51	
29 Neubau-Kreuzstetten	13 10		13 24					14 10				15 10	15 25		16 10		16 25		17 10	17 25	17 43	17 53	
35 Ladendorf	13 14		13 28					14 14				15 14	15 30		16 14		16 30		17 14	17 30	17 49	17 59	
37 Paasdorf	13 19		13 33					14 19				15 19	15 36		16 19		16 36		17 19	17 36	17 55	18 05	
40 Mistelbach	an 13 22		13 35					14 22				15 22	15 37		16 22		16 37		17 22	17 37	17 56	18 06	
41 Mistelbach Stadt	ab 13 25		13 38					14 25				15 25	15 37		16 25		16 37		17 25	17 37	17 56	18 06	
47 Siebenhirten	13 37		13 50					14 37				15 37	16 02		16 37		16 52		17 37	17 52	18 11	18 21	
48 Hörsdorf	13 44		13 57					14 44				15 44	16 09		16 44		17 09		17 44	18 09	18 28	18 38	
51 Fröttlingsdorf	13 46		14 09					14 46				15 46	16 11		16 46		17 11		17 46	18 11	18 30	18 40	
56 Enzersdorf bei Staatz	13 49		14 12					14 49				15 49	16 14		16 49		17 14		17 49	18 14	18 33	18 43	
60 Staatz	13 54		14 17					14 54				15 54	16 19		16 54		17 19		17 54	18 19	18 38	18 48	
62 Kottिंगnesiedl	13 57		14 20					14 57				15 57	16 22		16 57		17 22		18 07	18 22	18 41	18 51	
67 Laa a.d.Thaya	an 14 00		14 23					15 00				16 00	16 25		17 00		17 25		18 10	18 25	18 44	18 54	

	REX 2412 Z.	SB 24678	SB 24686	REX 24698 Z.	SB 24706	REX 24714 Z.	SB 24718	SB 24726	REX 24738 Z.	SB 24746	SB 24766	REX 24778 Z.	SB 24786	REX 24806 Z.	SB 24818 Z.	SB 24826	REX 24846 Z.	SB 24858 Z.	SB 24866	SB 24906	SB 24926	
zusätzliche Hinweise																						
km																						
0 Leopoldau	ab 17 26	17 33	17 42	18 03	18 12	18 26	18 33	18 42	19 03	19 12	19 42	20 03	20 12	20 42	21 03	21 12	21 42	22 03	22 12	22 42	23 12	23 42
3 Gerasdorf	17 31	17 38	17 47	18 07	18 17	18 31	18 38	18 47	19 07	19 17	19 47	20 07	20 17	20 47	21 07	21 17	21 47	22 07	22 17	22 47	23 17	23 47
6 Kapellerfeld	17 33	17 40	17 49	18 09	18 19	18 33	18 40	18 49	19 09	19 19	19 49	20 09	20 19	20 49	21 09	21 19	21 49	22 09	22 19	22 49	23 19	23 49
8 Seyring	17 35	17 42	17 51	18 11	18 21	18 35	18 42	18 51	19 1													

902

Laa a.d.Thaya Mistelbach Neubau-Kreuzstetten Wolkersdorf Leopoldau

902

	SB 27225	REX 2403 2	SB 27245	SB 29255	REX 27265 2	SB 29275	REX 2405 2	SB 27285	SB 29295	REX 27305 2	SB 29315	SB 2407 2	SB 27325	SB 29335	REX 27345 2	SB 29355	REX 2409 2	SB 27365	SB 29375	SB 27385	SB 27405	REX 29415 2	SB 29425	SB 27445	
zusätzliche Hinweise																									
kfm																									
0 Laa a.d.Thaya	ab 4:11	4:47			5:19		5:47			6:19		6:47			7:19		7:47								
6 Kottingneusiedl	4:15				5:23					6:23					7:23										
8 Staatz	4:17	4:52			5:26		5:52			6:26		6:52			7:26		7:52								
12 Enzersdorf bei Staatz	4:21	4:56			5:29		5:56			6:29		6:56			7:29		7:56								
16 Frättingsdorf	4:25	5:00			5:34		6:00			6:34		7:00			7:34		8:00								
19 Hörsdorf	4:28				5:37					6:37					7:37										
21 Siebenbrunn	4:30				5:39					6:39					7:39										
26 Mistelbach Stadt	4:34				5:44					6:44					7:44										
27 Mistelbach	an 4:36	5:10			5:47		6:10			6:47		7:10			7:47		8:10								
27 Mistelbach	ab 4:37	5:10		5:22	5:47		5:52		6:22	6:47		7:10		7:22	7:47		8:10		8:21				9:37	9:41	
30 Passdorf	4:40				5:52		5:55			6:25					7:25				8:24						
33 Ladendorf	4:42	5:15			5:29		5:58		6:15	6:28		6:52		7:15	7:28		7:52		8:15						
38 Neubau-Kreuzstetten	4:47				5:33		6:03			6:33		7:03			7:33		8:03								
41 Niederkreuzstetten	4:50				5:36		6:06			6:36		7:06			7:36		8:06								
45 Hautzendorf	4:54				5:40		6:10			6:40		7:10			7:40		8:10								
49 Schienbach	4:58	5:29			6:07		6:14		6:29	6:45		7:07		7:29	7:45		8:07		8:29						
51 Ulrichskirchen	5:00				5:46		6:16			6:47		7:17			7:47		8:17								
54 Wolkersdorf	an 5:03	5:34			5:50		6:12		6:34	6:51		7:12		7:34	7:51		8:12		8:34				9:57	10:09	
54 Wolkersdorf	ab 5:03	5:35		5:43	5:53		6:13		6:23	6:35		6:43		6:55	7:13		7:24		7:35		7:43		7:55	8:13	8:24
56 Obersdorf Haltestelle	5:05				5:45		5:55		6:15	6:25		6:35		6:45	6:57		7:15		7:26		7:35		7:45	7:57	8:15
60 Seyring	5:06				5:48		6:08			6:28		6:50		7:29	7:48		8:00		8:29		8:48		9:18	9:48	
61 Kapellerfeld	5:10				5:50		6:00			6:30		7:02			7:31		8:02		8:31		8:50		9:20	9:50	
64 Gerasdorf	5:14				5:54		6:04			6:34		7:06			7:34		8:06		8:35		9:00		9:24	9:54	
67 Leopoldau	an 5:18	5:44			5:58		6:23		6:38	6:44		6:58		7:10	7:23		7:39		7:58		8:10		8:23	8:39	8:58

	REX 29455 2	SB 29465	SB 27485	REX 29495 2	SB 29505	SB 27525	REX 29535 2	SB 29545	SB 29555	SB 27565	REX 29575 2	SB 29585	SB 29595	SB 27605	REX 29615 2	SB 29625	SB 29635	SB 27645	SB 27665	SB 29675	SB 27685	SB 29695	SB 27705	
zusätzliche Hinweise																								
kfm																								
0 Laa a.d.Thaya	ab 10:08			11:08			12:08				13:08				14:08						15:08			16:08
6 Kottingneusiedl	10:12			11:12			12:12				13:12				14:12						15:13			16:13
8 Staatz	10:15			11:15			12:15				13:15				14:15						15:15			16:15
12 Enzersdorf bei Staatz	10:19			11:19			12:19				13:19				14:19						15:20			16:20
16 Frättingsdorf	10:23			11:23			12:23				13:23				14:23						15:24			16:24
19 Hörsdorf	10:27			11:27			12:27				13:27				14:27						15:27			16:27
21 Siebenbrunn	10:29			11:29			12:29				13:29				14:29						15:29			16:29
26 Mistelbach Stadt	10:34			11:34			12:34				13:34				14:34						15:34			16:34
27 Mistelbach	an 10:36			11:36			12:36				13:36				14:36						15:36			16:36
27 Mistelbach	ab 10:37	10:41		11:37		11:41	12:37		12:41		13:37		13:41		14:37		14:41				15:38			16:38
30 Passdorf	10:44			11:44			12:44				13:44				14:44						15:41			16:41
33 Ladendorf	10:46			11:46			12:46				13:46				14:46						15:43			16:43
38 Neubau-Kreuzstetten	10:52			11:52			12:52				13:52				14:52						15:48			16:48
41 Niederkreuzstetten	10:55			11:55			12:55				13:55				14:55						15:52			16:52
45 Hautzendorf	10:58			11:58			12:58				13:58				14:58						15:56			16:56
49 Schienbach	11:04			12:04			13:04				14:04				15:04						16:04			17:04
51 Ulrichskirchen	11:06			12:06			13:06				14:06				15:06						16:06			17:06
54 Wolkersdorf	an 10:57	11:09		11:57		12:09	12:43		12:57	13:09		13:24		13:43	13:57		14:09		14:24		14:43		14:57	15:09
54 Wolkersdorf	ab 11:00	11:11		11:43		12:00	12:11		12:45	13:00		13:11		13:26	13:45		14:00		14:11		14:26		14:45	15:00
56 Obersdorf Haltestelle	11:03			12:03			13:03				14:03				15:03						16:03			17:03
60 Seyring	11:04			12:04			13:04				14:04				15:04						16:04			17:04
61 Kapellerfeld	11:16			12:16			13:16				14:16				15:16						16:16			17:16
64 Gerasdorf	11:20			12:20			13:20				14:20				15:20						16:20			17:20
67 Leopoldau	an 11:07	11:24		11:58		12:07	12:24		12:58	13:07		13:24		13:39	13:58		14:07		14:24		14:39		14:58	15:07

	SB 29715	SB 27725	SB 29735	SB 27745	SB 29755	SB 27765	SB 29775	SB 27785	SB 29795	SB 27805	SB 27825	SB 27845	REX 29855 2	SB 27865	SB 27885	REX 29895 2	SB 27905	SB 27925	REX 29935 2	SB 27945	SB 27905	
zusätzliche Hinweise																						
kfm																						
0 Laa a.d.Thaya	ab			17:08					18:08				19:08		20:08		21:08				22:08	
6 Kottingneusiedl				17:13					18:13				19:13		20:12		21:12				22:12	
8 Staatz				17:15					18:15				19:15		20:15		21:15				22:15	
12 Enzersdorf bei Staatz				17:20					18:20				19:20		20:18		21:18				22:18	
16 Frättingsdorf				17:24					18:24				19:24		20:22		21:22				22:22	
19 Hörsdorf				17:27					18:27				19:27		20:26		21:26				22:26	
21 Siebenbrunn				17:29					18:29				19:29		20:28		21:28				22:28	
26 Mistelbach Stadt				17:34																		

Anhang B

Geschwindigkeitsprofile

In diesem Teil der Diplomarbeit werden alle berechneten Fälle für die Bestandsstrecke, der Strecke mit zusätzlicher Überhöhung, sodass ein Mischverkehr möglich bleibt, und der Strecke mit zusätzlicher Überhöhung, damit nur noch ein Personenverkehr möglich ist, aufgeführt. Weiters wird die Unterteilung in die Ausgangssituation (die tatsächlich Anwendung findet) und in unterschiedliche Fahrzeuge mit verschiedenen unausgeglichene Seitenbeschleunigungen sowie dessen Ergebnisse in Fahrzeit und Fahrzeitverkürzung gegenüber dem Bestand angegeben. Ein entsprechendes Ergebnis für den Güterverkehr wurde nicht berechnet. Der Übergang der Kilometrierungsbereiche und der dadurch erfolgte Streckenwechsel wird nachstehend als horizontale Linie dargestellt.

B.1 Ausgangssituation

Tab. B.1: VzG Ausgangssituation auf der Bestandsstrecke mit Fahrzeitinformationen

Bestand (gleich dem VzG) – Ausgangssituation	
absolute km	Geschwindigkeitsprofil V [km/h]
8,4	120
19,234	140
26,358	120
28,796	80
29,147	90
32,441	80
55,753	60
56,094	80
57,381	90
59,275	80
61,347	70
62,609	75
63,085	80
67,308	75
67,983	85
69,678	90
70,283	100
74,221	120
78,849	100
81,278	80
Fahrzeit [min]	Fahrzeitverkürzung [min]
44,767	0

B.2 Bestandsstrecke

Tab. B.2: VzG bei $a_q = 0,654 \text{ m/s}^2$ auf Strecke ohne Änderung der Überhöhung mit Fahrzeuginformationen

DML $a_q = 0,654 \text{ m/s}^2$ ohne Oberbauänderungen	
absolute km	Geschwindigkeitsprofil V für DML (DS) {GV} [km/h]
8,4	120
9,018	160 (140) {120}
0,113	55
17,735	145 (140) {120}
26,358	125 {120}
27,582	145 (140) {120}
28,796	80
29,147	90
30,454	95
32,438	85
33,651	160 (140) {120}
35,04	80
42,888	85
43,96	80
45,27	85
46,43	80
51,051	105
51,914	80
52,935	100
54,547	90
55,744	60
56,09	80
56,821	90
57,695	95
58,506	90

59,629	85
60,447	80
61,907	70
62,603	75
63,079	80
67,308	75
67,979	85
69,672	95
70,276	100
74,221	160 (140) {120}
78,254	105
79,684	100
81,278	80
<hr/>	
Fahrzeit [min]	Fahrzeitverkürzung [min]
42,552 (43,098)	2,215 (1,669)
<hr/>	

Tab. B.3: VzG bei $a_q = 0,85 \text{ m/s}^2$ auf Strecke ohne Änderung der Überhöhung mit Fahrzeitinformationen

DML $a_q = 0,85 \text{ m/s}^2$ ohne Oberbauänderungen	
absolute km	Geschwindigkeitsprofil V für DML (DS) {GV} [km/h]
8,4	140 {120}
9,018	160 (140) {120}
0,113	60
17,735	160 (140) {120}
26,358	135 {120}
27,582	145 (140) {120}
28,796	80
29,147	92
30,454	100
32,438	90
33,651	160 (140) {120}
35,04	80
36,341	85
39,472	80
40,92	85
41,825	80
42,888	90
43,96	80
45,27	90
46,43	80
49,85	85
51,051	105
51,914	80
52,935	105
54,547	95
55,744	65
56,09	85

56,821	95
59,264	90
60,447	80
61,907	75
62,603	80
63,079	85
66,682	80
67,979	90
69,672	100
70,276	105
74,221	160 (140) {120}
78,254	110
79,684	105
81,278	85
<hr/>	
Fahrzeit [min]	Fahrzeitverkürzung [min]
40,710 (41,591)	4,056 (3,176)
<hr/>	

Tab. B.4: VzG bei $a_q = 0,98 \text{ m/s}^2$ auf Strecke ohne Änderung der Überhöhung mit Fahrzeitinformationen

DML $a_q = 0,98 \text{ m/s}^2$ ohne Oberbauänderungen	
absolute km	Geschwindigkeitsprofil V für DML (DS) {GV} [km/h]
8,4	150 (140) {120}
9,018	160 (140) {120}
0,113	65
17,735	160 (140) {120}
19,234	140
26,358	140 {120}
27,582	145 (140) {120}
28,796	80
29,147	100
30,454	105
32,438	90
33,651	160 (140) {120}
35,04	85
36,341	90
38,541	85
39,961	80
40,92	90
41,825	85
42,549	90
43,96	80
44,797	90
46,76	80
49,85	85
51,051	105
51,914	85
52,935	110
54,547	100

55,744	70
56,09	85
56,821	100
59,264	90
60,577	80
62,603	85
63,894	90
65,094	85
65,861	90
67,301	80
67,979	95
69,672	105
70,276	110
74,221	160 (140) {120}
78,254	115
79,684	110
81,06	90
<hr/>	
Fahrzeit [min]	Fahrzeitverkürzung [min]
39,489 (40,421)	5,278 (4,345)
<hr/>	

Tab. B.5: VzG NeiTech auf Strecke ohne Änderung der Überhöhung mit Fahrzeitinformationen

ICE-T / = 275 mm ohne Oberbauänderungen	
absolute km	Geschwindigkeitsprofil V für ICE-T [km/h]
8,4	200
9,018	230
0,113	80
17,735	230
21,082	225
26,358	180
28,796	80
29,147	125
30,454	130
32,438	110
33,651	160
35,04	100
36,341	110
38,541	100
39,961	95
40,92	100
42,122	110
43,96	100
44,797	110
46,76	100
47,862	95
48,713	100
49,606	95
50,436	105
52,935	135
54,547	125
55,744	90

56,821	125
59,264	110
60,447	105
62,603	100
63,457	105
65,66	110
66,682	95
67,979	115
69,672	130
70,276	110
74,221	230
78,254	145
79,684	135
81,06	105

Fahrzeit [min]	Fahrzeitverkürzung [min]
32,089	12,678

B.3 Mischverkehr

Tab. B.6: VzG bei $a_q = 0,654 \text{ m/s}^2$ auf Strecke mit Änderung der Überhöhung für Mischverkehr mit Fahrzeitinformationen

DML $a_q = 0,654 \text{ m/s}^2$ mit Oberbauänderungen (Mischverkehr möglich)	
absolute km	Geschwindigkeitsprofil V für DML (DS) {GV} [km/h]
8,4	160
0,113	65
17,735	160 (140) {120}
28,796	85
29,147	110
30,072	115
31,512	110
32,438	90
33,651	160 (140) {120}
35,04	80
36,341	85
37,148	90
38,541	85
39,472	80
40,92	85
41,825	80
42,549	90
43,96	80
45,27	90
46,76	80
49,85	85
51,051	105
51,914	85
52,935	110
55,744	75

56,09	90
56,821	110
58,506	90
59,275	100
60,447	90
61,334	80
62,163	75
62,806	85
66,203	80
67,308	75
67,979	95
69,672	110
71,276	105
74,221	160 (140) {120}
78,254	125
79,684	110
81,278	85

Fahrzeit [min]	Fahrzeitverkürzung [min]
39,309 (40,399)	5,458 (4,367)

Tab. B.7: VzG bei $a_q = 0,85 \text{ m/s}^2$ auf Strecke mit Änderung der Überhöhung für Mischverkehr mit Fahrzeitinformationen

DML $a_q = 0,85 \text{ m/s}^2$ mit Oberbauänderungen (Mischverkehr möglich)	
absolute km	Geschwindigkeitsprofil V für DML (DS) {GV} [km/h]
8,4	160
0,113	65
17,735	160 (140) {120}
28,796	85
29,147	115
32,438	95
33,651	160 (140) {120}
35,04	80
36,341	90
37,148	95
38,541	90
39,472	80
40,92	90
41,825	80
42,549	95
43,96	80
45,27	95
46,76	80
49,85	90
51,051	105
51,914	90
52,935	115
55,744	80
56,09	95
56,939	115
58,506	95
59,275	105

60,447	95
61,334	80
62,806	90
67,301	80
67,979	105
69,672	115
71,276	105
74,221	160 (140) {120}
78,254	130
79,684	115
81,06	90
<hr/>	
Fahrzeit [min]	Fahrzeitverkürzung [min]
38,015 (39,106)	6,751 (5,660)
<hr/>	

Tab. B.8: VzG bei $a_q = 0,98 \text{ m/s}^2$ auf Strecke mit Änderung der Überhöhung für Mischverkehr mit Fahrzeitinformationen

DML $a_q = 0,98 \text{ m/s}^2$ mit Oberbauänderungen (Mischverkehr möglich)	
absolute km	Geschwindigkeitsprofil V für DML (DS) {GV} [km/h]
8,4	160
0,113	70
17,735	160 (140) {120}
28,796	85
29,147	120
32,438	100
33,651	160 (140) {120}
35,04	85
36,341	95
39,472	80
40,92	95
41,825	85
42,549	95
43,96	85
45,27	100
46,43	80
49,85	95
51,051	105
51,914	90
52,935	120
55,744	80
56,09	95
56,939	120
58,374	100
59,275	110
60,447	95
61,334	85

62,806	90
67,301	80
64,586	95
67,301	80
67,979	105
69,672	120
71,276	115
74,221	160 (140) {120}
78,254	135
79,684	120
81,06	95
<hr/>	
Fahrzeit [min]	Fahrzeitverkürzung [min]
37,168 (38,259)	7,599 (6,508)
<hr/>	

Tab. B.9: VzG NeiTech auf Strecke mit Änderung der Überhöhung für Mischverkehr mit Fahrzeuginformationen

ICE-T l = 275 mm mit Oberbauänderungen (Mischverkehr möglich)	
absolute km	Geschwindigkeitsprofil V für ICE-T [km/h]
8,4	230
0,113	85
17,735	230
26,358	210
28,796	85
29,147	140
32,438	120
33,651	160
35,04	100
36,341	110
39,472	95
40,92	110
41,825	100
42,888	115
43,96	100
45,27	115
46,43	100
47,862	95
48,713	100
49,85	115
51,914	110
52,935	140
55,744	95
56,09	115
59,275	130
60,447	115
61,334	100

62,806	110
66,203	100
67,042	95
67,979	125
69,672	145
71,276	140
74,221	230
78,254	160
79,684	140
81,06	115

Fahrzeit [min]	Fahrzeitverkürzung [min]
30,685	14,082

B.4 Personenverkehr

Tab. B.10: VzG bei $a_q = 0,654 \text{ m/s}^2$ auf Strecke mit Änderung der Überhöhung für Personenverkehr mit Fahrzeitinformationen

DML $a_q = 0,654 \text{ m/s}^2$ mit Oberbauänderungen (Personenverkehr möglich)	
absolute km	Geschwindigkeitsprofil V für DML (DS) [km/h]
8,4	160 (140)
0,113	65
17,735	160 (140)
28,796	90
29,147	110
30,072	115
32,438	95
33,651	160 (140)
35,04	80
36,341	90
39,472	80
40,92	90
41,825	80
42,549	90
43,96	80
44,797	90
46,76	80
49,85	90
51,051	105
51,914	90
52,935	110
54,047	115
55,744	75
56,09	90
56,939	110

58,374	95
59,275	105
60,447	90
61,334	80
62,163	75
62,806	85
63,636	90
64,586	85
66,203	80
67,308	75
67,979	100
69,672	115
71,276	110
74,221	160 (140)
78,254	130
79,684	115
81,06	90
<hr/>	
Fahrzeit [min]	Fahrzeitverkürzung [min]
38,659 (39,750)	6,107 (5,016)
<hr/>	

Tab. B.11: VzG bei $a_q = 0,85 \text{ m/s}^2$ auf Strecke mit Änderung der Überhöhung für Personenverkehr mit Fahrzeuginformationen

DML $a_q = 0,85 \text{ m/s}^2$ mit Oberbauänderungen (Personenverkehr möglich)	
absolute km	Geschwindigkeitsprofil V für DML (DS) [km/h]
8,4	160 (140)
0,113	70
17,735	160 (140)
28,796	90
29,147	120
32,438	100
33,651	160 (140)
35,04	85
36,341	95
39,472	85
40,236	80
40,92	95
41,825	85
42,549	95
43,96	85
44,797	95
46,76	85
47,862	80
49,85	95
51,051	105
51,914	90
52,935	120
55,744	80
56,09	95
56,939	120
58,374	100
59,275	110

60,447	95
61,334	85
62,603	90
63,425	95
67,301	90
67,979	105
69,672	120
71,276	115
74,221	160 (140)
78,254	135
79,684	120
81,06	90

Fahrzeit [min]	Fahrzeitverkürzung [min]
37,018 (38,109)	7,748 (6,657)

Tab. B.12: VzG bei $a_q = 0,98 \text{ m/s}^2$ auf Strecke mit Änderung der Überhöhung für Personenverkehr mit Fahrzeuginformationen

DML $a_q = 0,98 \text{ m/s}^2$ mit Oberbauänderungen (Personenverkehr möglich)	
absolute km	Geschwindigkeitsprofil V für DML (DS) [km/h]
8,4	160 (140)
0,113	70
17,735	160 (140)
28,796	90
29,147	120
30,454	125
32,438	100
33,651	160 (140)
35,04	85
36,341	95
37,148	100
39,472	85
40,92	100
41,825	85
42,549	100
43,96	85
44,797	100
46,76	85
49,85	100
51,051	105
51,914	95
52,935	120
55,744	85
56,09	100
56,939	120
58,374	100
59,275	115

60,447	100
61,334	85
62,603	95
63,894	100
66,203	95
67,145	85
67,979	110
69,672	125
71,276	120
74,221	160 (140)
78,254	140
79,684	125
81,06	95

Fahrzeit [min]	Fahrzeitverkürzung [min]
36,137 (37,228)	8,629 (7,538)

Tab. B.13: VzG NeiTech auf Strecke mit Änderung der Überhöhung für Personenverkehr mit Fahrzeitinformationen

ICE-T / =275 mm mit Oberbauänderungen (Personenverkehr möglich)	
absolute km	Geschwindigkeitsprofil V für ICE-T [km/h]
8,4	230
0,113	85
17,735	230
26,358	215
28,796	85
29,147	145
32,438	120
33,651	160
35,04	100
36,341	115
39,472	100
40,92	110
41,825	100
42,888	120
43,96	105
45,27	120
46,43	100
49,85	115
52,935	145
55,744	100
56,09	115
57,308	120
59,275	135
60,447	120
61,334	100
62,806	110
63,894	120

65,094	110
67,042	100
67,979	130
69,672	145
71,276	140
74,221	230
78,254	165
79,684	145
81,06	115

Fahrzeit [min]	Fahrzeitverkürzung [min]
30,031	14,736
