

DIPLOMARBEIT

Master's Thesis

Technische Grundlagen für den Einsatz von Zweisystemfahrzeugen am Beispiel der Wiener Linien

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines
Diplom-Ingenieurs unter der Leitung von

Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Norbert Ostermann und
Univ. Ass. Dipl.-Ing. Dr. techn. Bernhard Rüger

E 232

Institut für Eisenbahnwesen, Verkehrswirtschaft und Seilbahnen

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Gerhard Nendwich

E616 / 8927710

Reichmannngasse 9/5
1160 Wien

Wien, im November 2008

Unterschrift

„Wollen ist allerdings nötig“

Roland Rainer

Kurzfassung

Die vorliegende Diplomarbeit bietet einen Überblick über die technischen Voraussetzungen, die erfüllt werden müssen, um Zweisystemfahrzeuge, wie sie im Ausland bereits erfolgreich eingesetzt werden, und unter den Begriffen „Karlsruher Modell“ bzw. „tram-train“ bekannt sind, im Netz der Wiener Linien einsetzen zu können. Dazu werden die Unterschiede in den Systemkomponenten der in Wien bzw. dem Wiener Umland vorhandenen Eisenbahnsysteme, nämlich der Vollbahn (ÖBB), U-Bahn mit Stromschiene, U-Bahn mit Oberleitung, Wiener Lokalbahnen und Wiener Straßenbahn aufgezeigt, sowie Lösungsansätze für eine mögliche Kombination der unterschiedlichen Systeme angeführt.

Vorab werden in einem eigenen Kapitel die rechtlichen Voraussetzungen behandelt, die sich aufgrund der unterschiedlichen Klassifikation der auftretenden Eisenbahnsysteme in der vorhandenen Rechtssystematik ergeben.

Der Hauptteil der Arbeit befasst sich mit den technischen Grundlagen, die in mehreren Unterabschnitten beschrieben werden.

Eine wesentliche Komponente stellt der Fahrweg bzw. das Rad-Schiene-System dar. Weitere Kapitel beschäftigen sich mit dem Streckennetz bzw. den Trassierungsparametern und der Gestaltung der Fahrzeuge.

Das Kapitel Bahnsteige behandelt die Unterschiede der vorhandenen Bahnsteigsysteme und mögliche Maßnahmen, um auch bei einem systemübergreifenden Fahrzeugeinsatz barrierefreie Einstiegsverhältnisse für die Fahrgäste anbieten zu können.

Danach werden die Systemkomponenten Antrieb – Traktion und abschließend die Unterschiede und Kombinationsmöglichkeiten der Sicherungssysteme erläutert.

Zuletzt werden die erforderlichen Voraussetzungen anhand eines Anwendungsbeispiels, der möglichen Verknüpfung der Straßenbahnlinie 60 mit der Kaltenleutgebner Bahn, zusammengefasst.

Abstract

This master's thesis gives an overview concerning the technical requirements needed for the Wiener Linien to use dual-model vehicles, which have successfully been introduced abroad and are known under the term "Karlsruher Modell" or "tram-train". The differences between the components of the railway systems which exist in and around Vienna, that is: railway (ÖBB), underground with contact rail, underground with overhead contact line, "Wiener Lokalbahnen" and tramway are listed, and basic approaches for possible combinations of the different systems are suggested.

The legal requirements based on the different classifications of the existing railway systems in the present legal system are dealt with in an introducing chapter .

The main part of this thesis deals with the technical requirements which have been described in various chapters.

An essential section concerns the track-components and the wheel-rail-system.

Other chapters consider the rail networks with their layout parameters and the configuration of the vehicles.

The chapter "platforms" deals with the differences between the existing platform layouts and possible measures to allow barriere-free train entrances for passengers.

Thereafter, the component traction will be dealt with and the difference and possible combination of signalling and fail-safe systems will be explained.

In conclusion, a summary of the necessary requirements will be illustrated to explain the connection between the tramway route 60 and the Kaltenleutgebner railway.

INHALTSVERZEICHNIS

1	Zielsetzung	1
2	Einleitung	2
2.1	Grundsätzliche Überlegungen	2
2.2	Umgesetzte Projekte	3
3	Problemstellung	4
4	Begriffsbestimmungen und Abkürzungen.....	5
5	Rechtliche Voraussetzungen.....	7
5.1	Rechtssystematik	7
5.2	Gliederung der Bahnen.....	9
5.3	Genehmigungen	10
5.4	Verknüpfung von Schienenbahnen.....	12
5.5	Bestimmungen für Vollbahnen (Haupt- und Nebenbahnen)	13
5.6	Bestimmungen für Straßenbahnen (U-Bahnen und Straßenbahnen)	14
5.7	Vergleich zu deutschen Vorschriften	17
6	Technische Voraussetzungen	18
6.1	Fahrweg – Rad/Schiene-System	20
6.1.1	Spurweite	20
6.1.2	Schienenprofile.....	23
6.1.3	Weichen – Kreuzungen	27
6.1.4	Radsätze und Radprofile	31
6.1.4.1	verwendete Radsätze und Radprofile.....	33
6.1.4.2	Vergleich Radsätze und Radprofile	39

6.1.5	Zusammenspiel Rad – Schiene.....	39
6.1.5.1	Zusammenspiel Rad – Schiene innerhalb der einzelnen Systeme	40
6.1.5.2	Zusammenspiel Rad – Schiene systemübergreifend	42
6.2	Streckennetz (Trassierungsparameter)	46
6.2.1	Lichtraum - Gleisabstand.....	46
6.2.2	Trassierung im Grundriss	51
6.2.3	Trassierung im Aufriss.....	53
6.2.4	Einrichtungsbetrieb – Zweirichtungsbetrieb	55
6.2.5	Kombinationen.....	56
6.3	Fahrzeuge	58
6.3.1	Fahrzeugabmessungen.....	58
6.3.2	Fahrzeugmassen.....	62
6.3.3	Fahrzeuanforderungen	64
6.3.3.1	Fahrzeuggeschwindigkeit.....	64
6.3.3.2	Rahmenfestigkeit.....	64
6.3.3.3	Zug- / Stoßeinrichtungen (Kupplungen).....	66
6.3.3.3.1	Vorhandene Kupplungssysteme	66
6.3.3.3.2	Kombinationen.....	67
6.3.4	Ergänzende Fahrzeugausstattung.....	68
6.3.4.1	Ausrüstung für den Straßenverkehr	68
6.3.4.2	Fahrgastinformation	69
6.3.4.3	Entwerter - Fahrscheinautomaten.....	70
6.3.4.4	WC-Anlagen.....	71
6.4	Bahnsteige.....	72
6.4.1	Bahnsteigabmessungen	75
6.4.2	Einstiegsverhältnisse	81
6.4.2.1	Fahrzeugseitige Maßnahmen	84
6.4.2.1.1	Ausfahrbare Trittstufen	85
6.4.2.1.2	Bewegliche Rampen	86
6.4.2.1.3	Klapptrittstufen.....	86
6.4.2.1.4	Hebevorrichtungen – Hublifte (fahrzeuggebunden)	87

6.4.2.2	Bahnsteigseitige Maßnahmen.....	88
6.4.2.2.1	Hebevorrichtungen – Hublifte (bahnsteiggebunden).....	90
6.4.2.2.2	Niedrigbahnsteige (außerhalb des gemeinsamen Lichtraums).....	91
6.4.2.2.3	Vorbaubahnsteige.....	92
6.4.2.2.4	Bahnsteige mit Gleisverschlingung.....	93
6.4.2.2.5	Profilbahnsteige.....	94
6.4.2.2.6	Separierte Bahnsteige.....	95
6.4.3	Bahnsteigkombinationen.....	96
6.5	Antrieb - Traktion.....	101
6.5.1	Stromsysteme.....	102
6.5.2	Fahrleitungsanlagen.....	103
6.5.3	Kombinationen.....	105
6.5.3.1	Gleichstrom unterschiedlicher Spannungen.....	106
6.5.3.1.1	Kombination Gleichstromfahrleitungen.....	108
6.5.3.1.2	Kombination Gleichstromfahrleitung - Stromschiene.....	108
6.5.3.2	Gleichstrom – Wechselstrom.....	110
6.5.3.2.1	Kombination Gleichstromfahrleitung - Wechselstromfahrleitung.....	111
6.5.3.2.2	Kombination Wechselstromfahrleitung – Stromschiene.....	113
6.5.3.3	Gleichstrom – Dieselbetrieb.....	114
6.5.3.4	Neuelektrifizierung mit Gleichstrom.....	114
6.5.3.5	Weitere Kombinationen.....	115
6.5.3.5.1	Fahrleitungsunabhängige Konzepte.....	115
6.5.3.5.2	Streckenseitige Maßnahmen.....	115
6.6	Sicherungssysteme.....	117
6.6.1	Grundsätze der Sicherungstechnik.....	117
6.6.1.1	Zugsicherung.....	117
6.6.1.2	Zugbeeinflussung.....	118
6.6.1.2.1	Punktförmige Zugbeeinflussung – Fahrsperrn.....	118
6.6.1.2.2	Linienzugbeeinflussung (LZB).....	118
6.6.1.2.3	Sicherheitsfahrerschaltung (Sifa) – „Totmanneinrichtung“.....	119
6.6.1.3	Kommunikationsanlagen.....	119
6.6.2	Vorhandene Sicherungs- und Signalsysteme.....	119
6.6.3	Kombinationen.....	128
6.6.3.1	Zugsicherung.....	128
6.6.3.2	Zugbeeinflussung.....	129
6.6.3.3	Kommunikation.....	130

7	Zusammenfassung.....	131
7.1	Fahrweg.....	131
7.2	Trassierungsparameter.....	133
7.3	Fahrzeuge	134
7.4	Bahnsteige.....	135
7.5	Traktion.....	136
7.6	Sicherungssysteme	137
7.7	Resümee	138
8	Literaturverzeichnis	139
9	Abbildungsverzeichnis.....	150
10	Tabellenverzeichnis.....	152

1 Zielsetzung

Mit der gegenständlichen Arbeit soll ein Überblick geschaffen werden, welche technischen Voraussetzungen für einen möglichen Einsatz von Zweisystemfahrzeugen im Netz der Wiener Linien gegeben sind.

Damit soll aufgezeigt werden, inwieweit derartige Verkehrssysteme, die im Ausland bereits sehr erfolgreich eingesetzt werden, und unter den Begriffen „Karlsruher Modell“ bzw. „tram-train“ bekannt wurden, auf die Verhältnisse im Wiener Raum übertragen werden können.

Es werden nur die technischen Grundlagen, sowie die damit verbundenen rechtlichen Bedingungen eines Einsatzes von Zweisystemfahrzeugen betrachtet. Überlegungen bezüglich der Wirtschaftlichkeit eines derartigen Verkehrs werden im Rahmen dieser Arbeit nicht angestellt. Auch verkehrliche oder rein betriebliche Aspekte werden nicht untersucht.

Die Aussagen gelten im Prinzip auch für die denkbare Kombination von mehr als zwei Systemen (Mehrsystemfahrzeuge). Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden diese Kombinationsmöglichkeiten aber nicht eingehender betrachtet.

Die Ausführungen bleiben auf die Kombination schienengebundener innerstädtischer Verkehrsmittel untereinander bzw. mit dem Vollbahnsystem in und im Umland Wiens beschränkt. Nischenprodukte wie zum Beispiel Duobusse und Spurbussysteme sowie Zweisystemfahrzeuge für den internationalen Eisenbahnverkehr bleiben hier unberücksichtigt.

2 Einleitung

2.1 Grundsätzliche Überlegungen

Als Maßnahme gegen die wachsenden Verkehrsprobleme in den Wiener Randbezirken und im Wiener Umland wird von verschiedensten Seiten immer wieder der Ausbau des öffentlichen Verkehrs propagiert.

Da die Errichtung eigenständiger neuer Schnellverkehrssysteme (vor allem der Ausbau der U-Bahn) an ihre wirtschaftlichen Grenzen stößt, werden zunehmend Verbesserungen durch die Nutzung bestehender Infrastrukturen angeregt.

Der durchschlagende Erfolg moderner Stadtbahnsysteme nach dem sogenannten „Karlsruher Modell“, bei dem Zweisystemfahrzeuge innerstädtisch auf Straßenbahntrassen durch Fußgängerzonen fahren, und am Stadtrand auf Vollbahngleise übergehen, um ins Umland zu verkehren, ruft regelmäßig Forderungen seitens Politik und Medienwelt sowie auch von Fachleuten auf den Plan, derartiges auch in Wien zu installieren.

Gleichfalls werden gerne Anleihen in der Wiener Verkehrsgeschichte genommen, wo eine Verknüpfung innerstädtischer Verkehrssysteme mit dem Umland dank der Wiener Stadtbahn¹ und einiger Dampfstraßenbahnlinien mehrfach gegeben war.

Kennzeichnend für all diese Systeme ist vor allem die für Benutzer vorteilhafte Verringerung der Umsteigzwänge.

¹ Der Begriff „Stadtbahn“ im Sinne der „Wiener Stadtbahn“ bezeichnete ursprünglich ein innerstädtisches Vollbahnsystem, das nach Elektrifizierung 1925 nach den Prinzipien eines U-Bahn-Betriebs betrieben wurde. Er unterscheidet sich damit wesentlich von dem modernen Begriff der „Stadtbahn“, wie er für Schnellstraßenbahnen auf teilweise eigenen Trassen verwendet wird. [1]

2.2 Umgesetzte Projekte

In den letzten Jahren wurden eine Reihe unterschiedlichster Projekte zur Einführung eines Zweisystembetriebs erfolgreich umgesetzt. [1] [2] [3] Dabei wurden verschiedenartige Ansätze zur Systemverknüpfung angewandt:

- Verknüpfung bestehender Straßenbahnen mit Regionalbahnen
 - Stadtbahn Karlsruhe
 - RegioTram Kassel
 - City-Bahn Chemnitz,
 - Straßenbahn Nordhausen
- Neue Straßenbahnen mit Verknüpfung bestehender Regionalbahnen
 - Saarbahn Saarbrücken
 - Stadtbahn Heilbronn
- Führung von Regionalbahnen direkt in Stadtzentren
 - Vogtlandbahn Zwickau
- Verknüpfung bestehender U-Bahnen mit Straßenbahnen
 - Sneltram Amsterdam („Amstelveenlijn“)
- Verknüpfung bestehender U-Bahnen mit Regionalbahnen
 - Hamburg² (S-Bahn nach Stade)

² Die S-Bahn Hamburg entspricht hinsichtlich ihrer Ausgestaltung (vollständig eigene Trasse, Gleichstrombetrieb mit Stromschiene, Hochbahnsteige, usw.) einer klassischen U-Bahn.

3 Problemstellung

Aufgrund der getrennten Betriebsführung der verschiedenen schienengebundenen Verkehrssysteme haben sich diese jedoch auch unterschiedlich entwickelt, so dass nunmehr in Wien fünf verschiedene Schienenverkehrssysteme zu unterscheiden sind.

1. Vollbahn (ÖBB)
2. U-Bahn mit Stromschiene (U1/U2/U3/U4)
3. U-Bahn mit Oberleitung (U6)
4. Wiener Lokalbahnen
5. Straßenbahn

Die Lokalbahnlinie Wien-Oper – Baden-Josefsplatz wird als eigenes System betrachtet, obwohl sie eigentlich bereits eine Kombination aus Vollbahn und Straßenbahn darstellt, und bei strenger Auslegung der Definition bereits mit Zweisystemfahrzeugen betriebe wird.

Die direkte Übertragung eines der erfolgreichen Vorzeigeprojekte auf Wiener Verhältnisse ist jedoch nicht möglich, da die diversen Zweisystembetriebe für ihre jeweiligen, genau abgegrenzten, Einsatzbereiche optimiert sind.

Infolge der unterschiedlichen Entwicklung der in Wien vorhandenen Verkehrssysteme sind nunmehr verschiedenste Voraussetzungen zu erfüllen, um einen Übergang von Fahrzeugen auf die unterschiedlichen Systeme zu ermöglichen.

Im Rahmen der vorliegenden Diplomarbeit werden die Unterschiede der einzelnen Systemkomponenten untersucht. Es werden Unvereinbarkeiten zwischen den einzelnen Systemen aufgezeigt und mögliche Lösungsansätze, die sich in ähnlich gelagerten Einsatzbereichen bereits bewährt haben, angeführt, um systemübergreifenden Eisenbahnverkehr implementieren zu können.

4 Begriffsbestimmungen und Abkürzungen

Nachfolgend sollen einige Begriffe definiert werden, die zum Teil zwar allgemein geläufig sind, in der gegenständlichen Arbeit jedoch streng auseinander gehalten werden sollen, um wiederholte genauere Bezeichnungen einzusparen.

- AC Wechselstrom (alternating current)
- BGBl. Bundesgesetzblatt
- BK Bahnsteigkante
- BOK Bahnsteigoberkante
- DB Dienstbehef
- DC Gleichstrom (direct current)
- DV Dienstvorschrift
- EIU Eisenbahninfrastrukturunternehmen
- ETCS European Train Control System
- EVU Eisenbahnverkehrsunternehmen
- FOK Fahrzeugfußbodenoberkante
- GFT gemeinsame Fahrflächentangente, entspricht SO
- GSM-R Global System for Mobile Communication-Railway
- HGV Hochgeschwindigkeitsverkehr
- IBIS integriertes Bordinformationssystem
- i.d.F. in der Fassung
- Indusi induktive Zugsicherung
- LNT leichte Nahverkehrstriebwagen
- LZA Lichtzeichenanlage
- LZB Linienzugbeeinflussung

-
- OL Oberleitung
 - ORE Office for Research and Experiments
 - ÖBB Österreichische Bundesbahnen
 - PZB punktförmige Zugbeeinflussung
 - RVE Richtlinien und Vorschriften für das Eisenbahnwesen
 - SIFA Sicherheitsfahrerschaltung
 - SOK Schienenoberkante
 - Stadtbahn a) „Wiener Stadtbahn“
b) moderne Mischform von Straßenbahn und U-Bahn
 - St&H Stern & Hafferl AG
 - StVO Straßenverkehrsordnung
 - TSI Technische Spezifikationen für die Interoperabilität
 - UIC Union internationale des chemins de fer
(Internationaler Eisenbahnverband)
 - U-Strab Unterpflasterstraßenbahn
 - VETAG vehicle tagging system (Meldungsübertragungssystem)
 - VLSA Verkehrslichtsignalanlage
 - Vollbahn Haupt- und Nebenbahnen (gem. Eisenbahngesetz § 1)
 - WL Wiener Linien Ges.m.b.H. & Co. KG
 - WLB Wiener Lokalbahnen AG
 - ZOV Zusatzbestimmung zur Oberbauvorschrift

Bei der Angabe von Fahrzeugtypen wird generell auf die Angabe einzelner Unterbauarten (z.B. Typen T/T₁, U/U₁/U₂) grundsätzlich verzichtet, sofern es nicht explizit erforderlich ist.

5 Rechtliche Voraussetzungen

5.1 Rechtssystematik

Die grundlegenden rechtlichen Belange des Eisenbahnwesens sind in Österreich im Eisenbahngesetz 1957 (BGBl. 60/1957, i.d.F. BGBl. 125/2006) [4] geregelt.

Mit den letzten Novellierungen des Eisenbahngesetzes wurden die einschlägigen Rechtsakte der europäischen Union (Richtlinien) umgesetzt.

Auf der Grundlage des Eisenbahngesetzes wurden zahlreiche weitere Gesetze und Verordnungen erlassen, die Planung, Bau und Betrieb der verschiedenen Schienenbahnen regeln.

EU - Richtlinien	Vollbahnen (Haupt- und Nebenbahnen)		Straßenbahnen (Straßen- und U-Bahnen)
	EU Richtlinie 96/48/EG		
	EU Richtlinie 2001/16/EG		
Gesetze	Eisenbahngesetz (EisenbahnG 1957)		
	EBG	BGStG	StVO 1960 <i>(für straßenabhängige Bahnen)</i>
	HochleistungsG	UnfalluntersuchungsG	
	PrivatbahnG		
Verordnungen	EisbVO	E-Kr VO	StrabVO
	TFVO 1999	SchLV	
		SchIV	
		VgVFb	
		VgB	
Betriebsvorschriften	Dienstvorschriften		Betriebsvorschriften
	Dienstanweisungen		

Abb. 1 – Rechtssystematik Eisenbahnwesen

Rechtsnormen		Gültig für	
		Haupt- und Nebenbahnen	Straßenbahnen
Richtlinien des Europäischen Parlaments			
96/48/EG	Interoperabilität des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems [5]	(✓)	-
2001/16/EG	Interoperabilität des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems [6]	✓	-
Gesetze			
EisenbahnG	Eisenbahngesetz 1957 [4]	✓	✓
EBG	Eisenbahnbeförderungsgesetz [7]	✓	-
HIG	Hochleistungsstreckengesetz [8]	(✓)	-
PrivbG	Privatbahngesetz 2004 [9]	✓	-
BGStG	Bundes-Behindertengleichstellungsgesetz [10]	✓	✓
Unfallunt.G.	Unfalluntersuchungsgesetz [11]	✓	(✓)
Verordnungen			
E-Kr VO	Eisenbahnkreuzungsverordnung [12]	✓	✓
SchLV	Schienenfahrzeug-Lärmzulässigkeitsverordnung [13]	✓	✓
SchIV	Schienenverkehrslärm-Immissionsschutzverordnung [14]	✓	✓
	Verordnung über geringfügige Veränderungen an Fahrbetriebsmitteln [15]	✓	✓
TFVO	Triebfahrzeugführer-Verordnung [16]	✓	-
StrabVO	Straßenbahnverordnung 1999 [17]	-	✓
EisbVO	Eisenbahnverordnung 2003 [18]	✓	-
VgB	Verordnung geringfügiger Baumaßnahmen 2004 [19]	✓	✓

Tab. 1 – Eisenbahngesetze

In den folgenden Kapiteln werden die für die Verknüpfung von Eisenbahnen und speziell den Zweisystembetrieb relevanten Regelungen und deren Unterschiede näher dargestellt.

5.2 Gliederung der Bahnen

Gemäß § 1 Eisenbahngesetz [4] wird unterschieden in

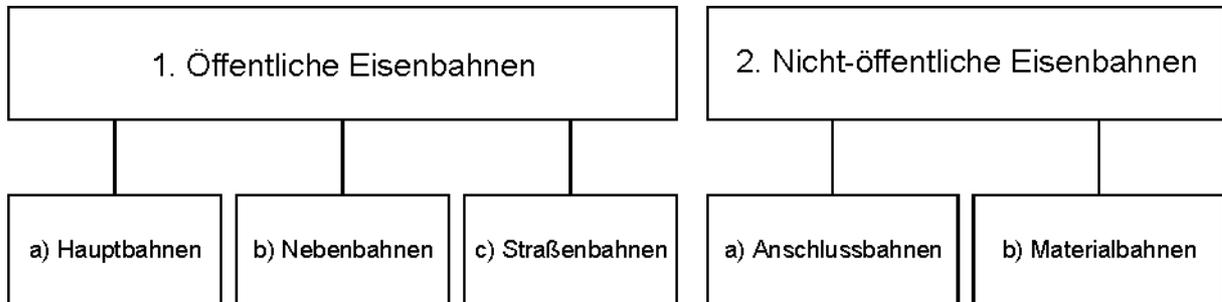


Abb. 2 – Einteilung der Eisenbahnen gem. § 1 Eisenbahngesetz

Öffentliche Eisenbahnen (§ 2) dienen dem allgemeinen Personen-, Reisegepäck- oder Güterverkehr (also dem Öffentlichen Verkehr) und werden in Haupt-, Neben- und Straßenbahnen unterteilt.

Als Hauptbahnen werden gem. § 4(1) Schienenbahnen größerer Verkehrsbedeutung bezeichnet, die entweder per Verordnung zu Hauptbahnen oder gemäß Hochleistungstreckengesetz [8] zu Hochleistungstrecken erklärt werden.

Nebenbahnen gem. § 4(2) sind öffentliche Schienenbahnen, die weder Haupt- noch Straßenbahnen sind. Hier wird weiter unterschieden in vernetzte (mit Wagenübergang auf andere Eisenbahnen ohne weitere Hilfsmittel) und nicht vernetzte Nebenbahnen (§ 1a).

Straßenbahnen sind für den öffentlichen Verkehr innerhalb eines Ortes, und werden gem. § 5 in straßenabhängige Bahnen (teilweise im Verkehrsraum von Straßen) und straßenunabhängige Bahnen (ausschließlich auf eigenem Bahnkörper) unterteilt.

Eine weitere Gliederung erfolgt für Eisenbahnunternehmen im Bereich von Haupt- oder vernetzten Nebenbahnen in

- a) Eisenbahninfrastrukturunternehmen (§ 1a), die dem Bau und Betrieb von Haupt- und vernetzten Nebenbahnen dienen,
- b) Eisenbahnverkehrsunternehmen (§ 1b), die Eisenbahnverkehrsleistungen auf der Schieneninfrastruktur von Eisenbahninfrastrukturunternehmen erbringen, und die Traktion sicherstellen,
- c) Integrierte Eisenbahnunternehmen (§ 1c), die sowohl Eisenbahninfrastrukturunternehmen als auch Eisenbahnverkehrsunternehmen sind

Die Entscheidung, als welche der im § 1 genannten Eisenbahnen eine Eisenbahn gilt, hat der Bundesminister für Verkehr, Innovation und Technologie zu treffen (§ 11). Die in dieser Arbeit näher behandelten Schienenbahnen sind folgenden Kategorien zuzuordnen:

<i>Eisenbahnsystem</i>	<i>Einordnung gemäß Eisenbahngesetz</i>
• Vollbahnen	Haupt- oder vernetzte Nebenbahn
• U-Bahn mit Stromschiene	straßenunabhängige Straßenbahn
• U-Bahn mit Oberleitung	straßenunabhängige Straßenbahn
• Wiener Lokalbahnen	vernetzte Nebenbahn
• Straßenbahn	straßenabhängige Straßenbahn

Tab. 2 – Einteilung Eisenbahnsysteme

5.3 Genehmigungen

Einen wesentlichen Abschnitt des Eisenbahngesetzes [4] nehmen die rechtlichen Voraussetzungen für die Erlangung der erforderlichen Genehmigungen einer Eisenbahn ein, die gemäß § 13 (1) von der Behörde erteilt werden.

Für alle Angelegenheiten der Nebenbahnen und Straßenbahnen ist als Behörde der Landeshauptmann zuständig (§12 (2)). Die Zuständigkeit für Hauptbahnen sowie für

Fragen der Konzession liegt beim Bundesminister für Verkehr, Innovation und Technik (§ 12 (3)).

Die für die einzelnen Teilbereiche des Eisenbahnbetriebs erforderlichen Genehmigungen sind in nachstehender Tabelle aufgelistet:

Teilbereich	Hauptbahnen und vernetzte Nebenbahnen	Straßenbahnen und nicht vernetzte Nebenbahnen
Bau und Betrieb von Eisenbahnen	Konzession gem. §14 (außer bei bundeseigenen Haupt- und Nebenbahnen)	Konzession gem. §14
Erbringung von Verkehrsleistungen	Verkehrsgenehmigung gem. §15	Konzession gem. §14
bei Beschränkung auf Personenverkehrsleistungen im Stadt- oder Vorortverkehr und Güterverkehrsleistungen im Regional-, Stadt- oder Vorortverkehr	Verkehrskonzession gem. §16	
Bau von Eisenbahnanlagen	Baugenehmigung gem. §31	Baugenehmigung gem. §31
Inbetriebnahme von Schienenfahrzeugen	Bauartgenehmigung gem. §32	Bauartgenehmigung gem. §32
Bau Eisenbahntechnischer Sicherungsanlagen	Bauartgenehmigung gem. §33	Bauartgenehmigung gem. §33
Inbetriebnahme von Eisenbahnanlagen	Betriebsbewilligung gem. §34	Betriebsbewilligung gem. §34
Inbetriebnahme von Schienenfahrzeugen	Betriebsbewilligung gem. §34	Betriebsbewilligung gem. §34
Ausübung des Zugangs zu Schieneninfrastruktur und die erbringende Eisenbahnverkehrsleistung durch ein EVU	Sicherheitsbescheinigung Teil A & B gem. §37	
Vorkehrungen zur Gewährleistung der Sicherheit durch ein EVU	Genehmigung der Vorkehrungen gem. §37a	
Betrieb von Bahnen & Schienenfahrzeugen durch ein EIU	Sicherheitsgenehmigung gem. §38	
Einführung eines Sicherheitsmanagementsystems	Zertifizierung gem. §39c	

Tab. 3 – Genehmigungen

Die angeführten Genehmigungen berechtigen ein Eisenbahnunternehmen, die Eisenbahn nach Maßgabe der Rechtsvorschriften, der Konzessionen, Genehmigungen und Bewilligungen zu bauen und zu betreiben, sowie Verkehr auf der Eisenbahn zu erbringen (§ 18). Dabei sind die Sicherheit, Ordnung und die Erfordernisse des Betriebs und Verkehrs zu berücksichtigen (§ 19).

5.4 Verknüpfung von Schienenbahnen

Durch die letzten Novellierungen des Eisenbahngesetzes wurde dem freien Zugang zur Schieneninfrastruktur in Österreich ein hoher Stellenwert eingeräumt (§§ 53a ff.).

Gem. § 53a Eisenbahngesetz hat ein Eisenbahnunternehmen für die Verknüpfung seiner Eisenbahn mit einer anderen den Anschluss oder die Mitbenützung seiner Schieneninfrastruktur sowie seiner für den Betrieb notwendigen Anlagen durch andere Eisenbahnunternehmen gegen angemessenen Kostenersatz und branchenübliches Entgelt diskriminierungsfrei einzuräumen.

Im § 53a wird grundsätzlich keine Unterscheidung zwischen Haupt-, Neben- oder Straßenbahnen getroffen. Die detaillierten Regelungen des Zugangs zum Schienenverkehrsmarkt (§ 54ff.) beziehen sich jedoch ausdrücklich auf das Gebiet der Haupt- und vernetzten Nebenbahnen. Eine Verknüpfung von Straßenbahnen mit Haupt- und Nebenbahnen wird nicht näher geregelt.

Eisenbahninfrastrukturunternehmen haben Schienennetz-Nutzungsbedingungen zu erstellen (§ 59), in denen die Anforderungen ersichtlich sind, die ein zugangsberechtigtes Eisenbahnverkehrsunternehmen erfüllen muss, um Zugang zum Schienennetz zu erhalten.

Weitere umfangreiche Regelungen betreffen die Zuweisung von Zugtrassen, das anzuwendende Benützungsentgelt und die Wettbewerbsaufsicht (Schienen-Control Kommission; § 74ff).

5.5 Bestimmungen für Vollbahnen (Haupt- und Nebenbahnen)

Die Anforderungen an die Sicherheit, Ordnung und die Erfordernisse des Betriebs der Haupt- und Nebenbahnen sind in der Eisenbahnverordnung 2003 [18] festgehalten.

Darin sind jedoch vorwiegend allgemeine Anforderungen enthalten:

„§ 3 Betriebsanlagen und Fahrzeuge müssen so beschaffen sein, dass sie den Anforderungen der Sicherheit und Ordnung genügen. Diese Bedingungen gelten als erfüllt, wenn Betriebsanlagen und Fahrzeuge gemäß den Bestimmungen dieser Verordnung und den von der Behörde erteilten Genehmigungen gebaut sind und betrieben werden.“

Konkrete Regelungen hinsichtlich der technischen Ausführung von Eisenbahnanlagen sind nicht definiert.

Diesbezüglich wird auf allgemeine *„technische Richtlinien, Regelwerke, Standards oder Normen“* (§ 4 (6)) bzw. die technischen Spezifikationen für die Interoperabilität (TSI) des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems (für die Teilsysteme des österreichischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems) verwiesen.

Der Verweis auf die TSI ist bereits im Eisenbahngesetz [4] selbst enthalten, wobei hier sowohl auf die TSI für das Hochgeschwindigkeitsbahnnetz (§ 86ff.), als auch diejenigen für das konventionelle Eisenbahnsystem (§ 103ff.) verwiesen wird. Letztere sind allerdings noch nicht für alle Teilsysteme erlassen. Bis zur Erstellung der TSI-Richtlinien sind die vom Bundesminister für Verkehr, Innovation und Technologie veröffentlichten gebräuchlichen österreichischen Normen und technischen Spezifikationen heran zu ziehen (§ 111).

Weiters in der Eisenbahnverordnung [18] geregelt ist die Erstellung von Dienstvorschriften (§ 7) durch das Eisenbahnunternehmen, sowie von diese näher konkretisierende Dienstanweisungen (§ 8).

Die einzig konkrete Regelung, die in der EisbVO explizit angeführt ist, bezieht sich auf die Verwendung von Signalen (§ 20, bzw. Anlage 1).

Von der Behörde können gem. § 23 EisbVO Ausnahmen zugelassen werden, wenn vom Eisenbahnunternehmen nachgewiesen wird, dass diese die Erfordernisse der Sicherheit und Ordnung des Betriebs zumindest gleichwertig erfüllen, bzw. weitergehende Maßnahmen vorgeschrieben werden, wenn dies im Hinblick auf die Sicherheit und Ordnung des Betriebs erforderlich ist.

5.6 Bestimmungen für Straßenbahnen (U-Bahnen und Straßenbahnen)

Im Gegensatz zur für Vollbahnen gültigen Eisenbahnverordnung enthält die ebenfalls auf der Grundlage des Eisenbahngesetzes erlassene Straßenbahnverordnung [17] neben den allgemeinen Anforderungen an den Bau von Betriebsanlagen und Fahrzeugen, wie den exakt gleich wie in Eisenbahnverkehrsordnung formulierten

„§ 3 Betriebsanlagen und Fahrzeuge müssen so beschaffen sein, dass sie den Anforderungen der Sicherheit und Ordnung genügen. Diese Bedingungen gelten als erfüllt, wenn Betriebsanlagen und Fahrzeuge gemäß den Bestimmungen dieser Verordnung und den von der Behörde erteilten Genehmigungen gebaut sind und betrieben werden.“

auch umfangreiche Vorschriften zu deren detaillierten Ausführung.

Im Hinblick auf die Verknüpfung von Straßenbahnen mit Vollbahnen ist folgende relevante Regelung relevant:

§ 15 (3) StrabVO Straßenbahnstrecken dürfen Strecken anderer öffentlicher Eisenbahnen nicht höhengleich kreuzen.

Ein Anschluss anderer Eisenbahnen auch an Straßenbahnen (vgl. Eisenbahngesetz § 53a) ist jedoch nicht ausgeschlossen.

Auf die wesentlichen Vorschriften wird in den entsprechenden Kapiteln im Abschnitt 6 verwiesen.

Während für die meisten Betriebsanlagen (Streckenführung, Oberbau, Umgrenzung des lichten Raumes, etc.) in der StrabVO recht allgemein gehaltene Vorgaben gemacht werden, ist die Ausführung der Signalanlagen (§ 20, § 54, Anlage 2) sehr

detailliert vorgeschrieben. Auch die Ausgestaltung von Haltestellen (§ 30) und deren Erschließung (§ 31, 32) weist sehr stringente Vorgaben auf.

Für die Gestaltung der Fahrzeuge werden in der StrabVO [17] umfassende Regelungen getroffen, die bis in den Bereich der Fahrgastinformation und Fahrzeugbeschriftung reichen.

Hinsichtlich der Bremsen wird gefordert, dass Straßenbahnfahrzeuge mit 2 von einander unabhängigen Bremsen, die von der Fahrleitungsspannung unabhängig sind, und einer zusätzlichen Feststellbremse auszustatten sind (§ 36 StrabVO). Bei Ausfall einer Betriebsbremse müssen mit den verbliebenen Bremsen zumindest die Bremsverzögerungen der nachfolgenden Tabelle erreicht werden:

Mindestverzögerung bei Ausfall einer Bremse		
V [km/h]	Bremsverzögerung a [m/s ²]	Bremsweg s [m]
20	0,77	20
30	0,87	40
40	0,95	65
50	1,03	94
60	1,06	131
70	1,07	177
80	1,07	230
90	1,08	290
100	1,09	355

Tab. 4 – Mindestverzögerung beim Ausfall einer Bremse gem. StrabVO Anlage 1, Tabelle 1

Die Feststellbremse ist als Federspeicherbremse auszubilden und muss ein Abrollen eines mit max. Nutzlast stillstehenden Fahrzeugs auf der größten im Streckennetz vorhandenen Steigung sicher verhindern (§ 36 (6)). Personenfahrzeuge müssen eine Sicherheitsfahrerschaltung haben, die bei Ausfall des Fahrzeugführers selbsttätig eine Bremsung bis zum Stillstand bewirkt (§ 39 (2)).

Zusätzlich zu den allgemeinen Bestimmungen zur Ausrüstung von Straßenbahnfahrzeugen schreibt die StrabVO weitere Vorschriften für straßenabhängige Bahnen vor.

So schreibt die StrabVO für Fahrzeuge straßenbahnabhängiger Bahnen maximale Fahrzeugabmessungen vor:

§ 34 (2) Auf straßenbündigem Gleiskörper im Verkehrsraum öffentlicher Straßen darf der Lichtraumbedarf in Gleisbogen auf Grund der bogengeometrischen Ausragung der Fahrzeuge auf jeder Seite um höchstens 0,65 m größer sein als der Lichtraumbedarf in der Geraden.

(3) Fahrzeuge straßenabhängiger Bahnen dürfen folgende Abmessungen nicht überschreiten

1. Breite im Höhenbereich

*a) bis 3,4 m über Schienenoberkante 2,65 m,
b) oberhalb von 3,4 m über Schienenoberkante 2,25 m;
über die Seitenwände hinausragende Fahrtrichtungsanzeiger, Meldeleuchten, Rückblickspiegel, geöffnete Türen und ausgefahrene Trittstufen rechnen nicht zur Fahrzeugbreite.*

2. Höhe über Schienenoberkante bis Oberkante des abgezogenen Stromabnehmers 4,0 m.

Auch die maximale Zuglänge von Zügen, die am Straßenverkehr teilnehmen ist gem. § 58 StrabVO mit maximal 75 m Länge begrenzt.

Fahrzeuge straßenbahnabhängiger Bahnen (außer Dienstfahrzeuge) müssen mit den Betriebsbremsen bei einer Gefahrenbremsung mindestens nachfolgende Werte erreichen:

Mindestverzögerung bei Gefahrenbremsung		
V [km/h]	Bremsverzögerung a [m/s ²]	Bremsweg s [m]
20	1,71	9
30	2,04	17
40	2,29	27
50	2,47	39
60	2,57	54
70	2,73	69

Tab. 5 – Mindestverzögerung bei Gefahrenbremsung gem. StrabVO Anlage 1, Tabelle 2

Eine Betriebsbremse muss bei diesen Fahrzeugen unabhängig vom Kraftschluss zwischen Rad und Schiene wirken (§ 36 (4) StrabVO).

Im Sichtbereich des Fahrzeugführers muss zumindest auf der rechten Seite ein Rückblickspiegel vorhanden sein (§ 46 (4) StrabVO).

5.7 Vergleich zu deutschen Vorschriften

Im Unterschied zur österreichischen Rechtssystematik mit einem übergeordneten Eisenbahngesetz sowohl für Vollbahnen, als auch für Straßenbahnen, und nachgeordneter Unterteilung auf Verordnungsebene, weist die deutsche Gesetzgebung bereits auf der Ebene der Gesetze eine Trennung zwischen Vollbahnen und Straßenbahnen auf.

Die Belange von Haupt- und Nebenbahnen werden im Allgemeinen Eisenbahngesetz (AEG) [20] geregelt. Nähere Bestimmungen, die zum teil sehr detaillierte technische Vorgaben enthalten sind in der Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO) [21] geregelt.

Die Agenden der Straßenbahnen hingegen sind auf Gesetzesebene im Personenbeförderungsgesetz (PbefG) [22] enthalten. Auf dieser Grundlage wurden nähere technische Vorgaben in der Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen (Straßenbahn-Bau- und Betriebsordnung – BOStrab) [23] verordnet.

Für die Umsetzung der in Deutschland vorhandenen Zweisystembetriebe ist zudem die Verlautbarung des Bundesministeriums für Verkehr betreffend „Besondere Bedingungen für das Verkehren von Leichten Nahverkehrstriebwagen (LNT) im Mischbetrieb mit Regelfahrzeugen der Eisenbahnen des öffentlichen Verkehrs“ [24] von Bedeutung, die für die Zulassung von Stadtbahnfahrzeugen auf Haupt- und Nebenbahnen maßgebend ist.

6 Technische Voraussetzungen

Im folgenden Kapitel werden die wesentlichen technischen Voraussetzungen erläutert, die erfüllt werden müssen, um Zweisystemfahrzeuge in den verschiedenen im Wiener Raum anzutreffenden Eisenbahnsystemen einsetzen zu können.

Dazu werden die technischen Anforderungen der einzelnen Systeme betrachtet und deren Gemeinsamkeiten und Unterschiede analysiert.

In einem weiteren Schritt werden Lösungsansätze zur möglichen Kombination von jeweils zwei Systemen entwickelt bzw. anhand bereits umgesetzter Beispiele, vorwiegend aus dem deutschen Raum, dargestellt.

Es gibt im Raum Wien folgende Eisenbahnsysteme, die für einen Zweisystembetrieb grundsätzlich geeignet erscheinen:

- Vollbahn
- U-Bahn mit Stromschienenbetrieb (Linien U1-U4)
- U-Bahn mit Oberleitungsbetrieb (Linie U6)
- WLB (Wiener Lokalbahnen)
- Straßenbahn

Die WLB stellt bei strenger Definition eigentlich schon einen Zweisystembetrieb zwischen Vollbahn und Straßenbahn dar. Aufgrund zahlreicher eigener, von den Parametern der Vollbahn bzw. Straßenbahn abweichender, Parameter wird die WLB im Rahmen dieser Arbeit als fünftes System betrachtet.

Die für einen Zweisystembetrieb relevanten Anforderungen an die Eisenbahntechnik werden gegliedert in die Teilsysteme:



Abb. 3 – Übersicht technische Voraussetzungen

6.1 Fahrweg – Rad/Schiene-System

Die zentrale Prämisse für den Einsatz von Zweisystemfahrzeugen ist die Kompatibilität des Fahrwegs. Dazu müssen die im folgenden Kapitel beschriebenen Komponenten des Rad/Schiene-Systems für einen Fahrzeugübergang zwischen zwei Eisenbahnsystemen geeignet sein.

- Spurweite
- Schienenprofile
- Weichen – Kreuzungen
- Radsätze und Radprofile

6.1.1 Spurweite

Eine wesentliche Voraussetzung für den Einsatz von Fahrzeugen auf unterschiedlichen Eisenbahnnetzen ist eine gemeinsame Spurweite.

Entscheidendes Kriterium neben der Nennspurweite ist die sich aus geplanten Spurerweiterungen und Toleranzen ergebende tatsächlich auftretende minimale und maximale zulässige Spurweite im Netz. Die Vergleichbarkeit der Spurweiten wird durch teilweise unterschiedliche Definitionen bzw. Messkantenanordnungen zur Bestimmung der Spurweite erschwert.

a) Vollbahnen - ÖBB

Die Spurweite ist gemäß Dienstvorschrift der ÖBB (DV B 52, Pkt. 2.1) definiert als der kleinste Abstand der Innenflächen der Schienenköpfe im Bereich von 0 bis 14 mm unter der Schienenoberkante (SO) [25]. Diese Definition ist erforderlich, um die Einbauneigung der Schienen sowie der Abrundung der Schienenköpfe einbeziehen zu können.

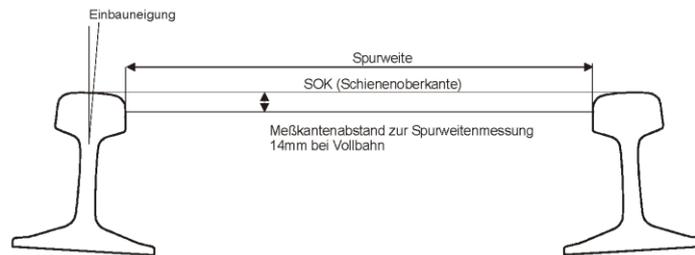


Abb. 4 – Definition Spurweite [26]

Die Regelspurweite beträgt bei den ÖBB 1.435 mm bei Normalspur und 760 mm bei Schmalspurbahnen. [25] [27]

Weitere in Österreich bei Vollbahnen bzw. Schmalspurbahnen gebräuchliche Spurweiten sind z.B. 1.000 mm (Stern & Hafferl, Stubaitalbahn, Zahnradbahnen), 900 mm (Linzer Straßenbahn, Florianerbahn, künftig Pöstlingbergbahn), 600 mm (diverse Material- und Feldbahnen). In Wien und im Wiener Umland wird bei öffentlichen Eisenbahnen einheitlich die Regelspur von 1.435 mm verwendet, daher kann die weitere Betrachtung auf diese Spurweite beschränkt werden.

In engen Bögen wird die Spurweite durch Abrücken der Innenschiene gemäß Tab. 6 vergrößert:

Bogenhalbmesser in m	Spurerweiterung in mm
herab bis einschl. 200	0
Übergang (min. 2,50m lang)	5
unter 200 bis einschl. 150	10
unter 150 bis einschl. 120	15
unter 120	20

Tab. 6 – Spurerweiterung bei kleinen Bögen (Normalspur)³ [25]

Die zulässigen Abweichungen von der vorgeschriebenen Spurweite im Betrieb betragen bei Normalspur -5 mm bis +35 mm. Das bedeutet, die Spurweite kann zwischen 1.430 mm (zuzüglich Spurerweiterung) und 1.470 mm betragen. [25]

³ Spurerweiterungen von 5 mm werden nur zur Herstellung eines schrittweisen Übergangs von Gleisabschnitten ohne Spurerweiterung zu solchen mit 10 mm Spurerweiterung angeordnet.

b) Wiener Linien

Die Wiener Linien unterscheiden hinsichtlich der Definition der Spurweite nicht zwischen Straßenbahnbetrieb und den beiden U-Bahnsystemen. Bei Straßenbahnen gem. Eisenbahngesetz (also Straßenbahnen und U-Bahnen) ist die Spurweite in der Oberbauvorschrift für Straßenbahnen (OVST 57 [28]) definiert.

Die Spurweite ist das lichte Maß zwischen den Schienenköpfen, gemessen 9 mm unter der Oberkante der Schiene und senkrecht zur Gleisachse, wenn der Ausrundungsradius des Schienenkopfes max. 10 mm beträgt. Bei größeren Schienenkopfausrundungsradien ist die Spurweite gleich wie bei Vollbahnen, als der kleinste Abstand der Innenflächen der Schienenköpfe im Bereich von 0 bis 14 mm unter der Schienenoberkante (SO), definiert.

Die Wiener Linien verwenden einheitlich die Regelspurweite von 1.435 mm. Die Spurerweiterung darf 27 mm nicht übersteigen, zulässige Spurverengungen infolge des Betriebs sind mit max. 2 mm begrenzt. [28] Das bedeutet, die Spurweite kann zwischen 1.433 mm und 1.462 mm betragen.

c) Wiener Lokalbahnen

Bei den Wiener Lokalbahnen werden für den eisenbahnmäßig betriebenen Streckenabschnitt (Schedifkaplatz – Leesdorf) die Bestimmungen der Vollbahnen gemäß ÖBB DV B 52 und für die straßenbahnmäßig betriebenen Strecken (Wien Oper – Schedifkaplatz und Leesdorf – Baden Josefsplatz) die OVSt 57 angewandt. [29]

Die Spurweite mit Regelwert 1.435 mm darf ein Maß von 1.430 mm bis 1.470 mm aufweisen. [29]

6.1.2 Schienenprofile

Grundsätzlich werden bei den heute gebräuchlichen Eisenbahnschienen zwei unterschiedliche Schienenarten unterschieden:

Die einfache Breitfußschiene (Vignolschiene) und als Sonderform die Rillenschiene für den Einsatz in Fahrbahnen. [26]

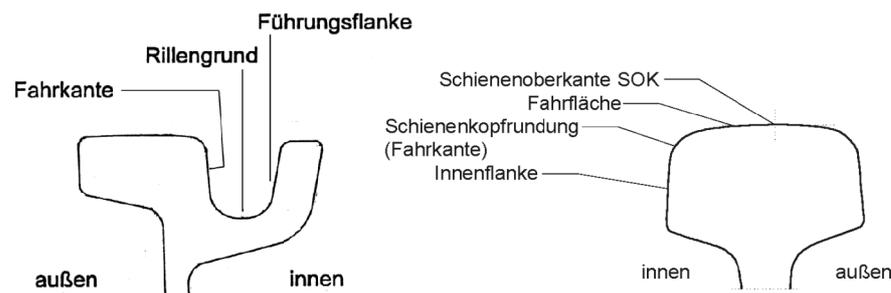


Abb. 5 – Schienenkopf Rillenschiene - Vignolschiene [26]

In Zusammenhang mit den Schienenprofilen (Gestaltung des Schienenkopfes) sind auch die Abmessungen der Rillen (Rillenbreite und –tiefe) zu betrachten.

Rillen treten in Vignolgleisen zwischen der Fahrschiene und eventuell zusätzlich vorhandenen Leiteinrichtungen auf. Die mögliche Rillenbreite wird dabei durch die Erfordernisse der zuverlässigen Spurführung begrenzt. Daneben sind Rillen auch in mit Straßenfahrzeugen befahrbaren Gleisen im Zuge von Eisenbahnkreuzungen, Mattengleisen oder im Mischverkehr befahrenen Straßen anzutreffen. Hierbei sind die Rillenbreiten so gering zu halten, dass eine Gefährdung des Straßenverkehrs durch ein Hineingeraten der Räder in zu große Rillen, speziell beim Befahren von Gleisen in Längsrichtung vermieden wird.

a) ÖBB - Vollbahnen

In Österreich werden im Bereich des Vollbahnnetzes fast ausschließlich Breitfußschienen (Vignolschienen) eingebaut. Lediglich bei Bahnübergängen und in Mattengleisen (Ladegleise) kommen auch Rillenschienen zur Anwendung. Zum Einsatz gelangen hauptsächlich Schienenprofile der Typen S 49, UIC 54E und UIC 60. In

untergeordneten Strecken und vor allem in Nebengleisen liegen verbreitet noch diverse ältere und leichtere Schienenprofile. [26] [27]

Die Schienenkopfausrundung zwischen Schienenlauffläche und Schienenkopfflanke ist bei den oben angeführten Schientypen mit 13 mm ausgeführt. Die Schienen werden im Gleis mit einer Neigung von 1:20 oder 1:40 (nach innen geneigt) eingebaut. In Weichen werden die Schienen gerade und ohne Neigung verwendet.

Schienenprofile - Vollbahn		S49	UIC 54E	UIC 60	Ph 37a
Schientyp		Vignol			Rillen
Gewicht	[kg/m]	49,43	53,81	60,34	66,91
Schienekopfbreite	[mm]	70	70	74,3	135
Fahrkopfbreite	[mm]	67	67	72	60
Schienenhöhe	[mm]	149	161	172	180
Schienekopfausrundung	[mm]	13	13	13	k.A.
Rillenbreite	[mm]	-	-	-	60,6
Rillentiefe	[mm]	-	-	-	k.A.
Einbauneigung		1:20/1:40	1:20/1:40	1:20/1:40	k.A.

Tab. 7 – Abmessungen Schienenprofile Vollbahn [30] [31]

In Gleisen, die mit Straßenfahrzeugen befahrbar sein sollen (z.B. Eisenbahnkreuzungen, Mattengleise), werden Rillenschienen (z.B. Profil Ph 37a) verwendet. Alternativ werden die Rillen durch eigene, an übliche Vignolprofile angeschraubte, Spurrillenschienen hergestellt.

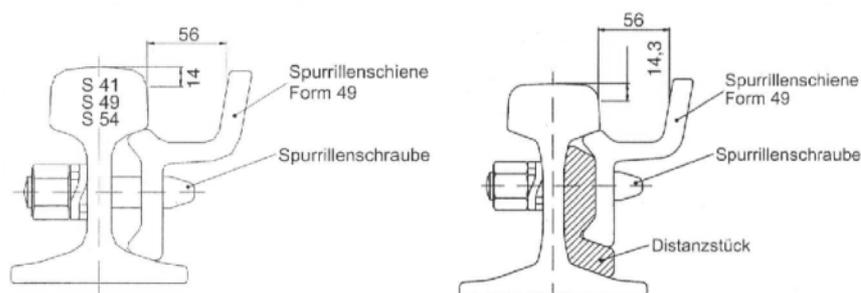


Abb. 6 – Profil S 41, S 49, S 54 bzw. UIC 60 mit Spurrillenschiene Form 49 [32]

Die Rillenbreite muss gemäß Oberbauvorschrift DV B 51 ZOV 7, Tafel 7/2 mindestens 45 mm, die Rillentiefe mindestens 38 mm betragen. [33]

b) Wiener Linien

Bei straßenunabhängigen Bahnen (U-Bahn, U-Strab) werden wie bei der Vollbahn Vignolschienengleise eingebaut. Vereinzelt sind Vignolgleise auch bei selbstständigen Gleiskörpern der Straßenbahn in Verwendung. Eingesetzt werden heute nahezu ausschließlich Profile vom Typ S 48-U. Dieses Profil wurde eigens für die Wiener U-Bahn aus dem Profil S 49 entwickelt, und unterscheidet sich von diesem hauptsächlich durch die Breite des Schienenfußes. Das U-Bahnprofil wurde wegen der punktuellen Umstellung der Stadtbahn auf U-Bahnbetrieb gewählt. [34] [35]

Die Schienen werden mit einer Neigung von 1:20 gegen die Innenseite eingebaut.

Bei der U-Bahn wird in Gleisbögen mit Halbmessern < 300 m ein Leitschieneoberbau mit einem an der Bogeninnenseite liegenden Leitschieneprofil U 69 ausgeführt. Die Rillenweite zwischen Fahr- und Leitschiene beträgt 35 mm. Die Leitschieneoberkante liegt 12 mm über der Oberkante der Fahrschiene. [34] [35]

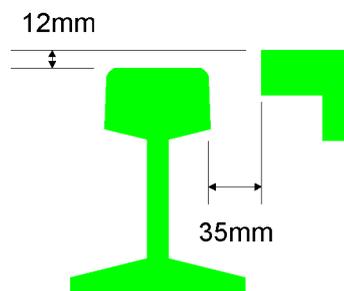


Abb. 7 – Leitschieneoberbau (Bogeninnenseite)

Die Gleisanlagen straßenabhängiger Bahnen werden zumeist in Rillenschienenbauweise ausgeführt. Wie im Weichenbereich der U-Strab werden Rillenschienen teilweise auch in den Betriebsbahnhöfen der U-Bahn mit Oberleitungsbetrieb verwendet.

Schienenprofile - Wiener Linien		S 48-U	Ri 60	210/95+80	210/95+80a
Schientyp		Vignol		Rillen	
Gewicht	[kg/m]	48,33	60,48	59,48	63,22
Schienenkopfbreite	[mm]	69,6	113	112	122
Fahrkopfbreite	[mm]	67	56	58,4	58,4
Schienenhöhe	[mm]	149	180	210	210
Schienenkopfausrundung	[mm]	13	10	8	8
Rillenbreite	[mm]	-	36	34,1	34,9
Rillentiefe	[mm]	-	47	40	40
Einbauneigung		1:20	-	1:175	1:175

Tab. 8 – Abmessungen Schienenprofile Wiener Linien [36]

Zum Einsatz gelangen vorwiegend Rillenschienen der Type 210/95+80 bzw. 210/95+80a (in Bögen <400 m). Die Rillenbreite beträgt ca. 34 mm bzw. 35 mm. Die Rillentiefe beträgt 40 mm. Die Ausrundung zwischen Schienenlauffläche und Schienenkopfflanke ist mit 8 mm ausgeführt. [36] In geringem Ausmaß sind auch andere Rillenschienenprofile wie z.B. die Type Ri 60 mit einer Rillenbreite von 36 mm, einer Rillentiefe von 47 mm sowie einem Kopfausrundungsradius von 10 mm vorzufinden. [36]

Schienenkopfausrundungsradien von 8 bzw. 10 mm bei Rillenschienen und 13 mm bei Vignolgleisen werden sowohl bei der U-Bahn (mit Oberleitungsbetrieb), als auch bei der Straßenbahn nebeneinander verwendet.

Die Rillenbreite bei Rillenschienen, die in die Fahrbahn eingebettet sind, ist gemäß OVSt 57 mit max. 45 mm (in Bögen 60 mm) bei abgenützten Schienen begrenzt, damit Straßenfahrzeuge die Gleise gefahrlos befahren können. [28] Die Rillentiefe muss mindestens so groß sein, dass der Spurkranz nicht am Rillengrund auffährt. Eine Ausnahme besteht für den Spurkranzaufbau bei Flachrillenweichen und -kreuzungen, wo eine Mindestrillentiefe von 10 mm bei Bogenkreuzungen bzw. 8 mm bei geraden Kreuzungen einzuhalten ist. [28]

c) Wiener Lokalbahnen

Die Wiener Lokalbahnen verwenden auf ihren eisenbahnmäßig befahrenen Strecken überwiegend Vignolgleise der Type S 49 mit einer Einbauneigung von 1:20. In Nebengleisen sind stellenweise noch ältere Profile S 33 (1:40 geneigt) vorhanden. [37]

Im Straßenraum gelegene Streckenabschnitte der Wiener Lokalbahnen sind mit Rillenschienen ausgerüstet. Im straßenbahnmäßig befahrenen Abschnitt in Baden kommen wie bei den Wiener Linien Rillenschienen der Type 210/95+80 bzw. versuchsweise Ri 60 zum Einsatz. In Streckenabschnitten, die von Güterzügen befahren werden, finden heute überwiegend Vignolgleise mit Gleistragplatten, stellenweise aber auch ältere Rillenschienen mit Breittrille (Profil Ph 37a) Verwendung. [37]

6.1.3 Weichen – Kreuzungen

Weichen ermöglichen das Abzweigen und Zusammenführen von Gleisen. Nebeneinander verlaufende Gleise können mittels Weichen miteinander verbunden werden. Wenn Gleise andere Gleise kreuzen, sind Kreuzungen einzubauen. Eine Kombination von Weiche und Kreuzung stellt die Kreuzungsweiche dar.

Eine Weiche besteht aus drei Hauptteilen [38]:

- Zungenvorrichtung mit Stellvorrichtung
- Zwischenschienenteil
- Herzstück mit Radlenkeinrichtung

Bei Kreuzungen entfallen die Zungen.

Damit der Spurkranz die Weiche bzw. Kreuzung durchlaufen kann, muss die Fahrkante zwischen Flügelschienen und Herzstück unterbrochen werden. Es entsteht ein planmäßig führungsloser Bereich, die Herzstücklücke. Die Führung des Radsatzes im Herzstück muss auf alternative Weise, entweder durch Radlenker oder die Führungsflanken der Rillenschienen, gewährleistet werden. Bei Sonderbauformen von Weichen mit beweglichen Herzstücken oder Flügelschienen wird die Herzstücklücke durch bewegliche Weichenteile verschlossen. Diese Konstruktionen weisen keine Herzstücklücke auf. Radlenker können daher entfallen, die Spurführung erfolgt analog zu normalen Gleisabschnitten ohne Weichen.

Die Breite der Radlenkerrille beträgt 38 mm, die Herzrille weist eine Breite von 42 mm auf. [31] Der Leitkantenabstand beträgt 1.355 mm und die Leitweite 1.397 mm. [31]

Die Herzstückspitze ist gegenüber den Fahr- und Flügelschienen um 8-10 mm abgesenkt. [31] [38] Die Laufflächen der Räder rollen in diesem Bereich auf der Flügelschiene. Hier werden die Vertikalkräfte übertragen. Die Herzstückspitze übernimmt lediglich die seitliche Führung des Spurkranzes.

b) Weichen U-Bahn

Hinsichtlich Gleissystem wird von den Wiener Linien nicht zwischen U-Bahn mit Stromschienenbetrieb bzw. U-Bahn mit Oberleitungsbetrieb unterschieden.

Weichen und Kreuzungen der U-Bahn entsprechen weitgehend den Vollbahnweichen der Form B (S 49), wobei die Herzrille und Radlenkerrille mit einer Breite von 30 mm gegenüber den Vollbahnweichen verengt ausgeführt ist. [34] [35] [40]



Abb. 10 – Gleismaße Weichenbereich U-Bahn

Der Leitkantenabstand beträgt bei der U-Bahn 1.375 mm, die Leitweite 1.405 mm. [40]

c) Weichen Wiener Lokalbahnen

Die Wiener Lokalbahnen setzen auf ihrem Vignol-Streckennetz eine Sonderbauform von Weichen mit beweglichen Flügelschienen ein. [37] [41] [42]

Durch den Einbau beweglicher Flügelschienen (oder beweglicher Herzstücke) kann die Unterbrechung der Fahrkante vermieden werden. Die Lücke der Fahrkante wird durch die beweglichen Teile im Herzstückbereich geschlossen. Die Radlenker entfallen bei derart ausgestatteten Weichen.

In Rillenschienenabschnitten werden dieselben Weichensysteme wie bei der Straßenbahn der Wiener Linien eingesetzt.

d) Weichen Straßenbahn

Die Weichen der Wiener Straßenbahnen sind grundsätzlich aus Rillenschienen hergestellt. Auch die Weichen der U-Strab (Unterpflasterstraßenbahn) sind als Rillenschienenweichen ausgeführt, obwohl dort die anschließenden Gleise aus Vignolschienen bestehen. [34]

Rillenschienenweichen gibt es prinzipiell in zwei Ausführungen:

- Tiefrillenweichen
- Flachrillenweichen

Die Funktionsweise von Tiefrillenweichen ist analog zu derjenigen der Vollbahnweichen. Im Bereich der Herzlücke rollt das Rad auf einer der Flügelschiene entsprechenden Stahlfläche. Die seitliche Führung wird durch die gegenüberliegende Fahrrihle gewährleistet.

In Wien finden jedoch mit wenigen Ausnahmen nur Flachrillenweichen Verwendung. Bei diesen ist die Rille im Herzstückbereich derart flach ausgeführt, dass der Spurkranz am Grund der Rille aufläuft. Die Vertikalkräfte werden über die Flachrille in die Schiene übertragen. Zur Vermeidung übermäßiger Abnutzungen werden daher beim Einsatz von Flachrillenweichen Radsätze mit abgeflachten Spurkranzkuppen, die eine größere Auflagefläche am Rillengrund bieten, eingesetzt. Das Herzstück dient

nur zur Führung des Spurkranzes. Die Funktion des Radlenkers übernimmt die dem Herzstück gegenüberliegende Fahrrihle.



Abb. 11 – Gleismaße Weichenbereich Straßenbahn (Flachrille)

Die Rillenweite beträgt ca. 33 mm. Der Leitkantenabstand beträgt bei den in Wien eingesetzten Straßenbahnweichen ca. 1.369 mm, die Leitweite ca. 1.402 mm. [40]

6.1.4 Radsätze und Radprofile

Die Radsätze von Eisenbahnen sind in der Regel aus zwei über eine starre Achse verbundene Räder zusammengesetzt⁴.

Die Radprofile der Eisenbahnräder bestehen im wesentlichen aus einer Lauffläche, einem Übergangsbereich und einem innenliegenden Spurkranz. Die Lauffläche ist näherungsweise kegelförmig mit einer Kegelneigung von 1:20 oder 1:40, bei Straßenbahnen selten auch zylindrisch, ausgebildet. Der Spurkranz dient der seitlichen Führung des Rades und ist als steiler Kegel ausgebildet. Den Übergangsbereich zwischen Lauffläche und Spurkranzflanke bildet eine im einfachsten Fall kreisförmige Hohlkehle.

⁴ Moderne Spurführungskonzepte weisen mitunter Losräder auf. In diesem Fall wird die Funktion der starren Achse durch steuerungstechnische Maßnahmen ersetzt.

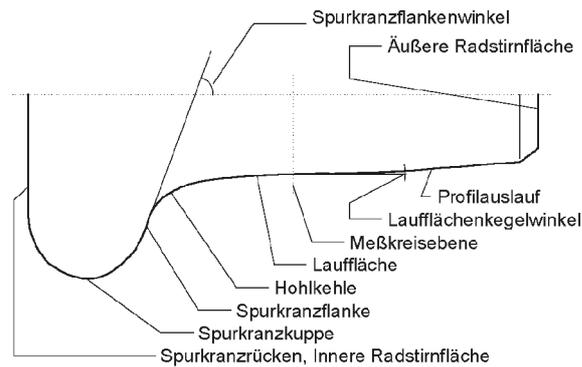


Abb. 12 – Radprofil [26]

Durch diese Profilanordnung und die starre Verbindung der Räder ist es möglich, dass die im Gleisbogen unterschiedlichen Laufwege der beiden Räder durch eine Querverschiebung des Radsatzes und den daraus folgenden unterschiedlichen Radien in den Schienenaufstandspunkten der beiden Räder ausgeglichen werden. Dadurch ergibt sich ein relativ verschleißoptimierter Lauf im Gleisbogen. [26]

Die starre Verbindung der Räder und die annähernd kegelförmige Ausbildung der Radprofile ist auch für den typischen Sinuslauf der Radsätze im Gleis verantwortlich.

Im Bereich der Spurkranzflanke ergibt sich bereits durch geringe seitliche Verschiebungen ein großer Radienunterschied und damit eine große Rückstellkraft, wodurch die Entgleisungssicherheit erhöht wird. Die Spurkranzsteilheit q_R ist auch ein Maß für die Entgleisungssicherheit.

Neben der Lauffläche, Hohlkehle und Spurkranzflanke ist auch der Spurkranzrücken für die Spurführung wesentlich. Im Bereich von Herzstücken bei Weichen und Kreuzungen muss die fehlende seitliche Führung des Rades in der Herzstücklücke durch die Führung des Spurkranzrückens des gegenüberliegenden Rades im Radlenker ersetzt werden. Die gleiche Funktion übernimmt der Spurkranzrücken in engen Bögen beim Einsatz von Leitschienenoberbauweisen.

Bei Flachrillenweichen (vorwiegend bei Straßenbahnen) wird auch die Spurkranzkuppe zur Spurführung herangezogen, wobei das Rad den Bereich der Flachrille ausschließlich auf der Spurkranzkuppe rollend passiert. Aus diesem Grund weisen Straßenbahnräder oftmals abgeflachte Kuppen auf.

Die wesentlichen Abmessungen der Radprofile sind die Spurkranzhöhe, die Spurkranzdicke bzw. Spurkranzbreite und die Radbreite. Als Radsatzabmessungen sind vor allem das Spurmaß, sowie für die Spurführung im Herzstückbereich das Radsatzleitmaß und die Aufkeilweite (Abstand der Radrücken) entscheidend.

Gemessen werden Spurmaß und Spurkranzdicke in der Regel 10 mm unterhalb der Messkreisebene, bei den Wiener Linien jedoch 9 mm unterhalb der Messkreisebene. Eine Angleichung der Messverfahren der Wiener Linien ist künftig vorgesehen.

6.1.4.1 verwendete Radsätze und Radprofile

a) Radsatz und Radprofil Vollbahnen

Die europäischen Eisenbahnen verwenden vorwiegend verschleißoptimierte Radreifenprofile, die in den einzelnen Ländern unterschiedlich genormt sind. Weit verbreitet ist das Profil UIC-ORE S1002 bzw. DIN 5573, das in einem UIC-Merkblatt (UIC 518) zur Anwendung empfohlen wird. [26] [43] [44] Dieses Radprofil mit einer Radbreite von 135 mm wird auch in Österreich als Regelprofil eingesetzt.

Neben Spurkranzdicke S_d und Spurkranzhöhe S_h sind für Radsätze am Netz der ÖBB auch Grenzwerte für die Spurkranzsteilheit q_R , definiert als horizontaler Abstand der Profilkurve, gemessen 10 mm unterhalb der Messkreisebene und 2 mm unterhalb der Spurkranzkuppe, gefordert.

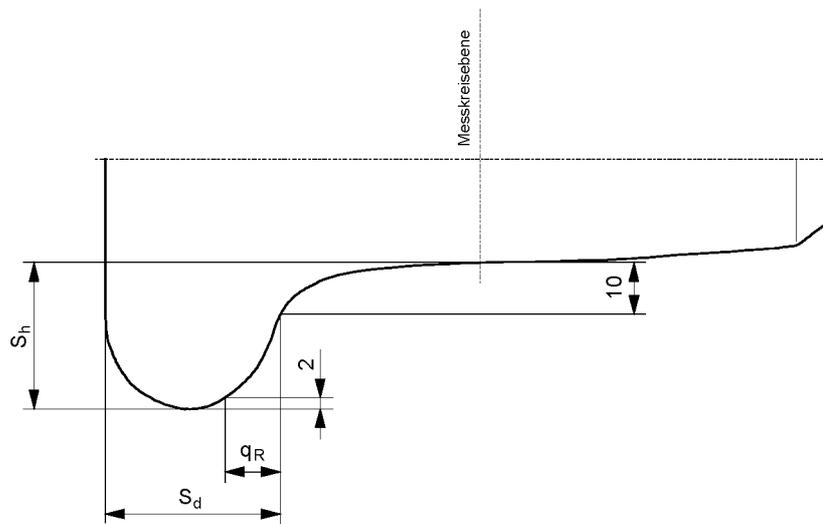


Abb. 13 – Maße Radprofil [26]

Die Spurkranzbreite bzw. Spurkranzdicke beträgt ca. 33 mm (zulässiges Grenzmaß min. 22 mm bis max. 33 mm), bei einer Spurkranzhöhe von 28 mm (min. 26 mm bis max. 36 mm). Die Spurkranzsteilheit muss min. 6,5 mm betragen. [26] [45]

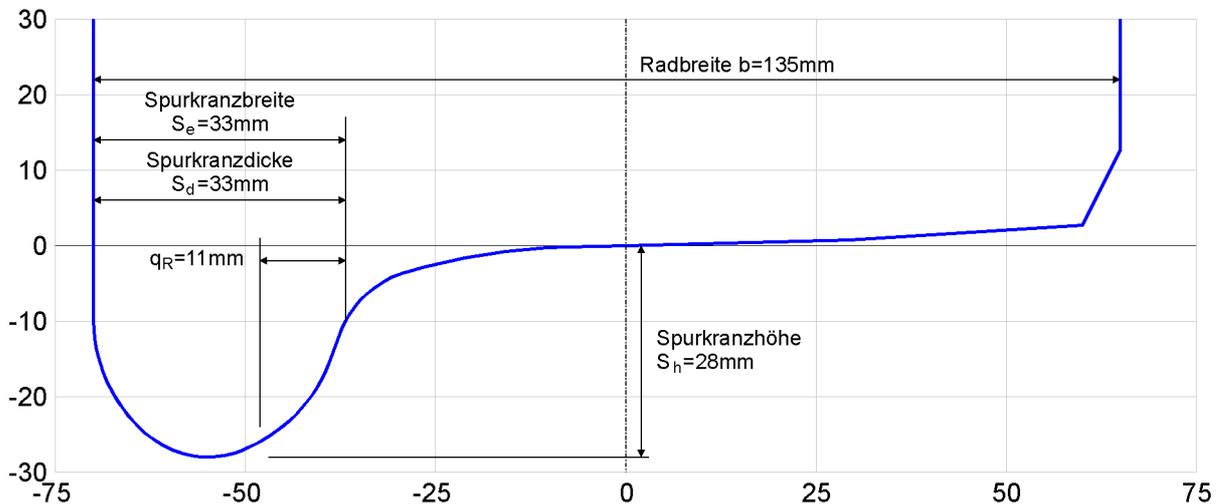


Abb. 14 – Radprofil Vollbahn

Das Spurmaß wird mit ca. 1.425 mm, das Radsatzleitmaß mit ca. 1.393 mm angegeben. Die Aufkeilweite beträgt bei der Vollbahn 1.360 mm. [26]



Abb. 15 – Radsatz Vollbahn

b) Radsatz und Radprofil U-Bahn

Für die U-Bahnfahrzeuge der Typen U bzw. V wird ein Radprofil mit einer Radbreite von 126 mm eingesetzt. Die Spurkranzbreite beträgt ca. 27,2 mm (min. 19 mm), die Spurkranzdicke ca. 26,7 mm (min. 8 mm), bei einer Spurkranzhöhe von 26 mm (min. 24 mm). [40]

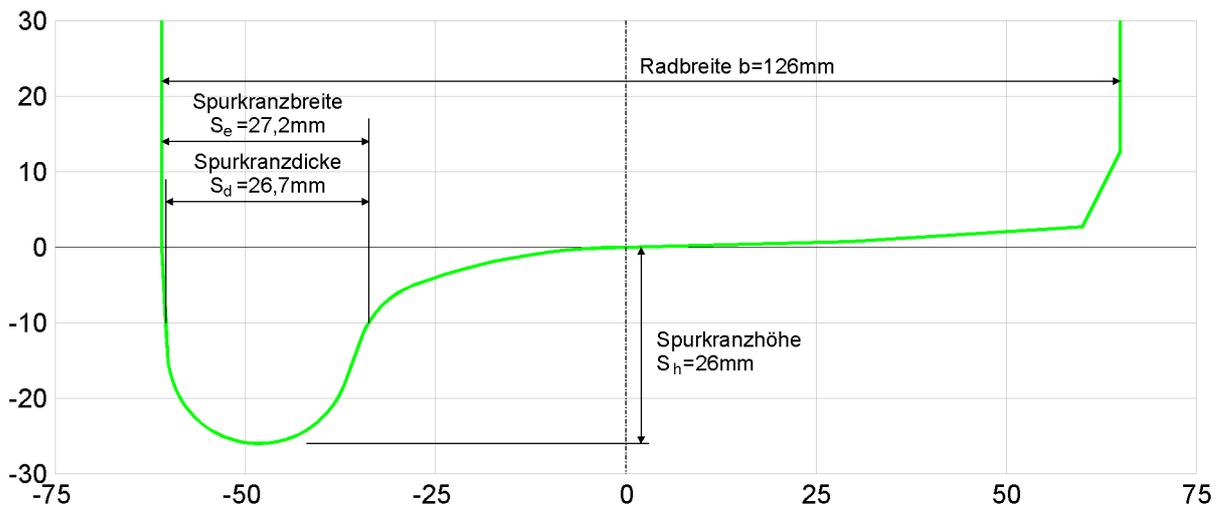


Abb. 16 – Radprofil U-Bahn

Das Spurmaß wird mit ca. 1.432 mm, das Radsatzleitmaß mit ca. 1.405 mm angegeben. Die Aufkeilweite beträgt bei der U-Bahn mit Stromschiene 1.378 mm. [40]



Abb. 17 – Radsatz U-Bahn

c) Radsatz und Radprofil U-Bahn mit Oberleitungsbetrieb

Für die U-Bahnfahrzeuge der Type T wird ein Radprofil mit einer Radbreite von 110 mm eingesetzt. Die Spurkranzbreite beträgt ca. 23,3 mm, die Spurkranzdicke rd. 20,7 mm (min. 13 mm), bei einer Spurkranzhöhe von 25 mm (min. 22 mm). [40]

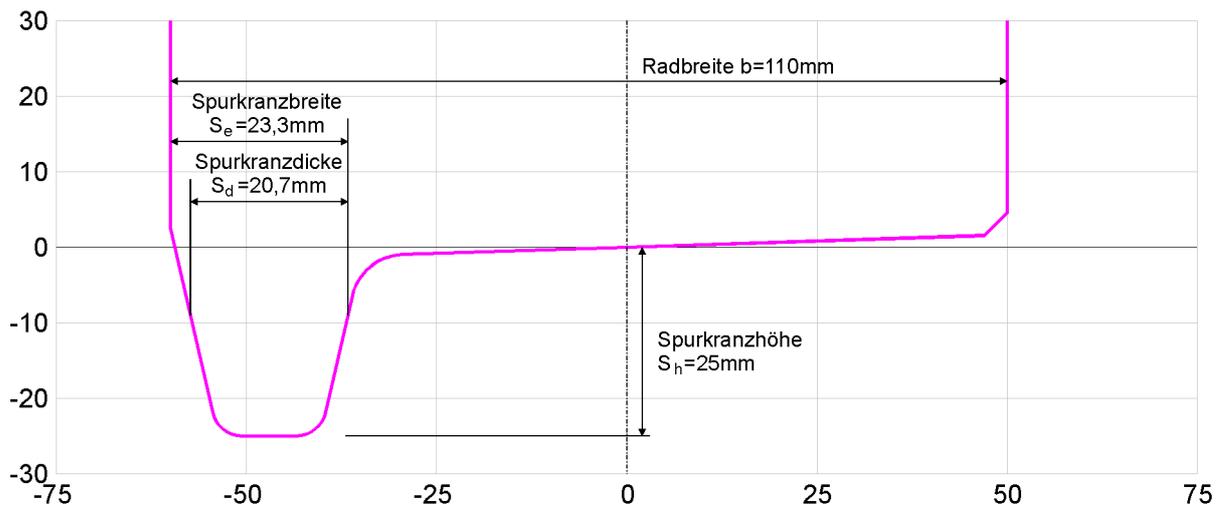


Abb. 18 – Radprofil U-Bahn mit Oberleitungsbetrieb (Type T)

Das Spurmaß wird mit ca. 1.426 mm, das Radsatzleitmaß mit ca. 1.403 mm angegeben. Die Aufkeilweite beträgt bei der U-Bahn mit Oberleitungsbetrieb 1.380 mm. [40]



Abb. 19 – Radsatz U-Bahn mit Oberleitungsbetrieb (Type T)

d) Radsatz und Radprofil Wiener Lokalbahnen

Das eigene Streckennetz der Wiener Lokalbahnen ist für Vollbahn-radsätze gem. UIC 518 zugelassen. Für Abschnitte, die im straßenbahnmäßigen Betrieb befahren werden, werden Radprofile gemäß Beilage 1 der Standardsicherheitsbescheinigung der Wiener Lokalbahnen mit einer Radbreite von 110 mm eingesetzt. [29]

Die Spurkranzbreite beträgt ca. 26,4 mm (min. 19 mm), die Spurkranzdicke ca. 23,3 mm (min. 19 mm), bei einer Spurkranzhöhe von 24,1 mm (min. 20 mm). [29]

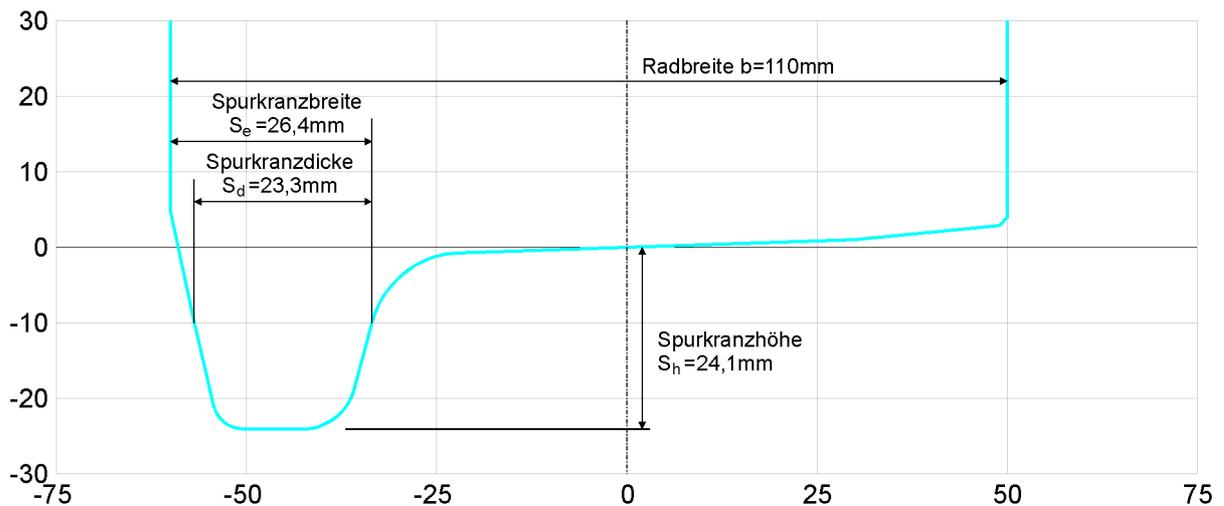


Abb. 20 – Radprofil WLB

Das Spurmaß für Radsätze für den straßenbahnmäßigen Betrieb beträgt ca. 1.433 mm, das Radsatzleitmaß ca. 1.406,5 mm. Die Aufkeilweite für den Einsatz im straßenbahnmäßigen Betrieb wird mit 1.380 mm angegeben. [40]

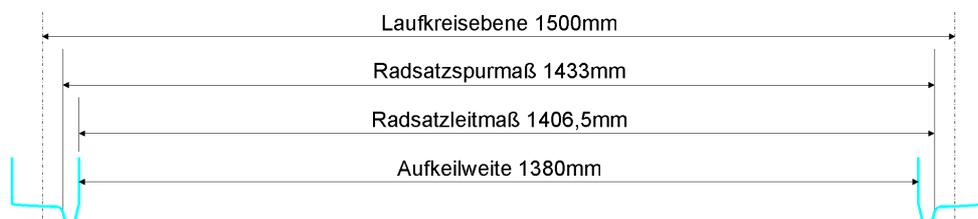


Abb. 21 – Radsatz WLB

e) Radsatz und Radprofil Straßenbahn

Die Wiener Linien setzen bei der Straßenbahn zwei unterschiedliche Radtypen ein.

Die Neubaufahrzeuge der Typen Ulf A & B sind mit Losradsätzen mit Übergangsprofilen entsprechend der U-Bahn mit Oberleitungsbetrieb (Type T) ausgestattet.

Für die älteren Hochflurfahrzeuge der Straßenbahn (Typen E_x/c_x) verwenden die Wiener Linien ein Radprofil mit einer Radbreite von 87,5 mm. Die Spurkranzbreite gleich Spurkranzdicke beträgt 21,5 mm (min. 8 mm), bei einer Spurkranzhöhe von 20 mm (min. 14 mm). [40]

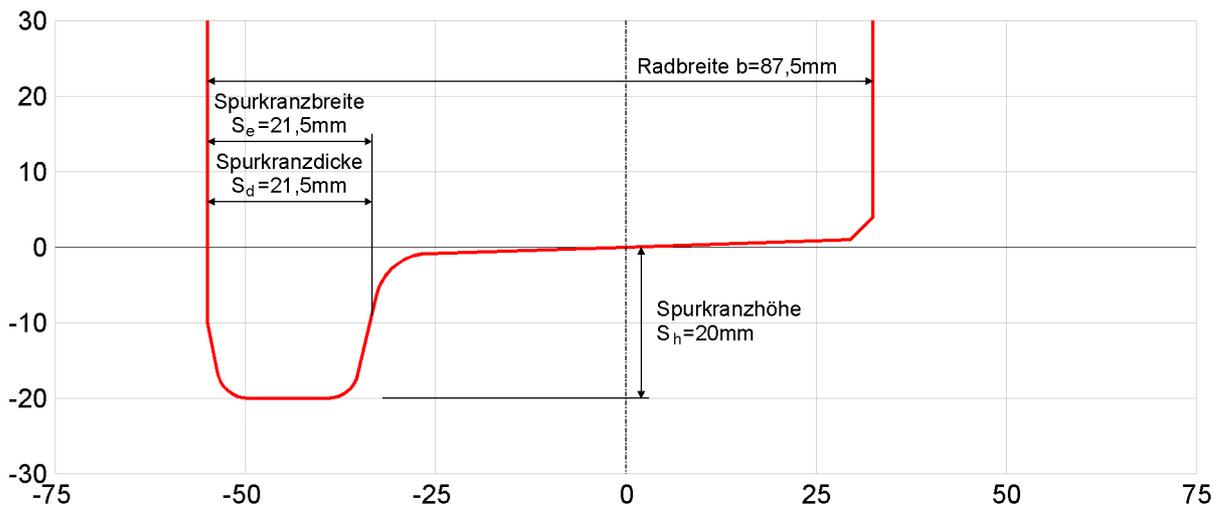


Abb. 22 – Radprofil Straßenbahn (Typen E_x/c_x)

Das Spurmaß wird bei der Straßenbahn mit 1.433 mm, das Radsatzleitmaß mit 1.411,5 mm angegeben. Die Aufkeilweite beträgt bei der Straßenbahn 1.390 mm.

[40]



Abb. 23 – Radsatz Straßenbahn (Typen E_x/c_x)

6.1.4.2 Vergleich Radsätze und Radprofile

Der Vergleich der verschiedenen Radprofile zeigt die deutlichen Unterschiede der einzelnen Konfigurationen, die bei der Beurteilung der Einsatzmöglichkeiten der Radprofile auf unterschiedlichen Gleissystemen zu beachten sind.

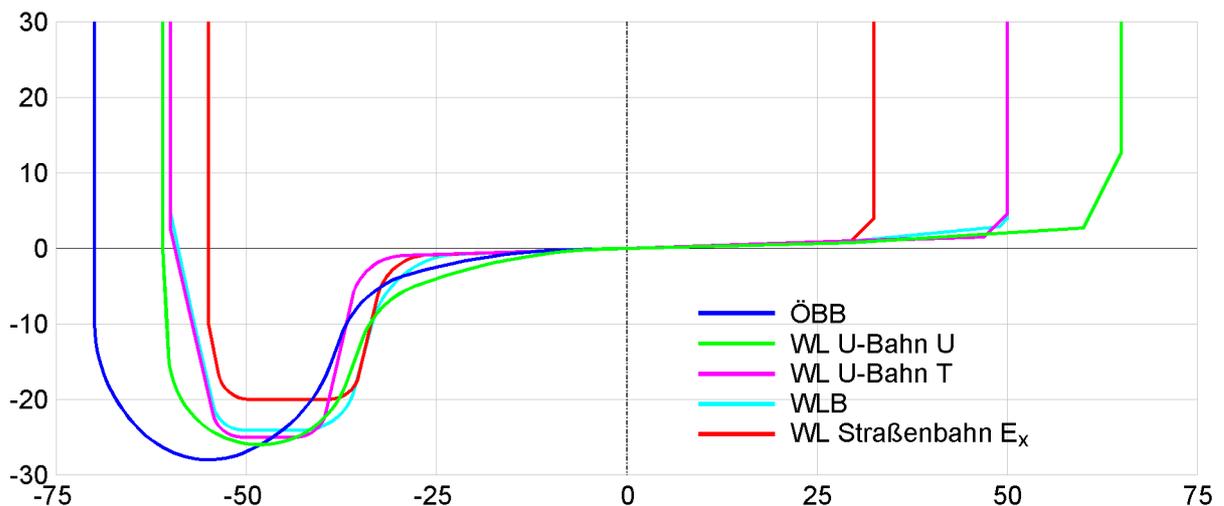


Abb. 24 – Vergleich Radprofile

Die Überlagerung der Radprofile der verschiedenen Eisenbahnsysteme zeigt sehr deutliche Unterschiede in der Ausbildung der einzelnen Profile.

Daraus leiten sich auch signifikante Unterschiede hinsichtlich der Abmessungen der Radsätze ab, die für die Befahrbarkeit der Gleissysteme maßgebend sind (Radsatzspurmaß, Radsatzleitmaß, Aufkeilweite).

6.1.5 Zusammenspiel Rad – Schiene

Gleismaße und Radsatzmaße müssen so aufeinander abgestimmt sein, dass eine sichere Spurführung und größtmögliche Laufruhe erzielt werden. [46]

Wesentliche abzustimmende Maßpaare sind:

- Spurweite – Radsatzspurmaß (Spurspiel)
- Leitweite– Radsatzleitmaß (Führung in Herzstücklücke)
- Leitkantenabstand – Aufkeilweite (Befahrbarkeit Radlenker/Flügelschienen)

Beim Spurspiel und der Differenz Leitkantenabstand – Aufkeilweite müssen die Maße so gewählt werden, dass kein Zwängen der Radsätze auftritt.

Leitkantenabstand und Radsatzleitmaß sind so aufeinander abzustimmen, dass ein Anfahren an die Herzstückspitze vermieden werden kann. Bei geringen Fahrgeschwindigkeiten darf dabei ein gewisses Verdrängungsmaß in Kauf genommen werden. [46]

6.1.5.1 Zusammenspiel Rad – Schiene innerhalb der einzelnen Systeme

Die maßgebenden Gleis- und Radsatzmaße für die einzelnen untersuchten Eisenbahnsysteme sind in Tab. 9 dargestellt.

Fahrweg		Vollbahn	U-Bahn	U-Bahn mit Oberleitung	WLB		Straßenbahn	
Radreifenprofil		UIC S1002	U	T	WLB		A/B/T	E/c
Laufkreisdurchmesser	m	1500	1500	1500	1500		1500	
Radsatzspurmaß	s	1425	1432	1426	1433		1426	1433
Radsatzleitmaß	l	1393	1405	1403	1406,5		1403	1411,5
Aufkeilweite	r	1360	1378	1380	1380		1380	1390
Radbreite		135	126	110	110		110	87,5
Spurkranzbreite	e	33	27,2	23,3	26,4		23,3	21,5
Spurkranzdicke	d	33	26,7	20,7	23,3		20,7	21,5
Spurkranzhöhe	h	28	26	25	24,1		25	20
Gleis		ÖBB	U-Bahn	U-Bahn	ÖBB	Str.b.	Straßenbahn	
Spurweite		1435	1435	1435	1435		1435	
Rillenweite	min	38	30	30	38	33	33	
Leitweite	L	1397	1405	1405	1397	1402	1402	
Leitkantenabstand	K	1355	1375	1375	1355	1369	1369	
Rad-Schiene-Kombination								
Spurspiel		10	3	9	2		9	2
Spiel Leitweite-Leitmaß	L-l	4	0	2	-9,5	-4,5	-1	-9,5
Spiel Leitkante-Aufkeilw.	r-K	5	3	5	25	11	11	21

Tab. 9 – Übersicht Gleismaße - Radsatzmaße

a) Vollbahn

Das Spurspiel bei der Vollbahn weist ein Maß von 10 mm auf. Die Differenz zwischen Leitweite und Radsatzleitmaß beträgt ca. 4 mm, zwischen Leitkantenabstand und Aufkeilweite ca. 5 mm.

b) U-Bahn

Die U-Bahn weist ein Spurspiel von 3 mm auf. Die Differenz zwischen Leitweite und Radsatzleitmaß beträgt nominell 0 mm, zwischen Leitkantenabstand und Aufkeilweite ca. 3 mm.

c) U-Bahn mit Oberleitung

Bei der U-Bahn mit Oberleitungsbetrieb macht das Spurspiel 9 mm aus. Die Differenz zwischen Leitweite und Radsatzleitmaß beträgt ca. 2 mm, zwischen Leitkantenabstand und Aufkeilweite ca. 5 mm.

d) Wiener Lokalbahnen

Die Wiener Lokalbahn weist ein Spurspiel von 2 mm auf. Die Differenz zwischen Leitweite und Radsatzleitmaß beträgt im eisenbahnmäßigen Betrieb ca. -9,5 mm, im straßenbahnmäßigen Betrieb ca. -4,5 mm. Die Differenz zwischen Leitkantenabstand und Aufkeilweite beträgt im eisenbahnmäßigen Betrieb ca. 25 mm, im straßenbahnmäßigen Betrieb ca. 11 mm. Das Befahren von Weichen (mit unterbrochener Fahrkante) ist nur mit geringen Geschwindigkeiten sicher möglich.

e) Straßenbahn

Die Straßenbahn weist ein Spurspiel von 9 mm (Typen A/B) bzw. 2 mm (Typen E_x/C_x) auf. Die Differenz zwischen Leitweite und Radsatzleitmaß beträgt ca. -1 mm bzw. -9,5 mm, zwischen Leitkantenabstand und Aufkeilweite ca. 11 mm bzw. 21 mm. Weichen können nur mit geringen Geschwindigkeiten sicher befahren werden.

6.1.5.2 Zusammenspiel Rad – Schiene systemübergreifend

a) Kombination U-Bahn – Straßenbahn

Der systemübergreifende Einsatz von Fahrzeugen zwischen U-Bahn und Straßenbahn ist hinsichtlich des Zusammenspiels des Rad-Schiene-Systems bereits umgesetzt.

Sowohl die U-Bahngarnituren der Type T, als auch die Straßenbahnfahrzeuge der Typen Ulf A & B weisen dieselben Abmessungen bezüglich Radsatz und Radprofil auf.

Diese Eigenschaft wird auch für die Überstellung von U-Bahnfahrzeugen über das Straßenbahnnetz in die Hauptwerkstätte bzw. für die Überstellung von Straßenbahnfahrzeugen zur Räderdrehbank im Betriebsbahnhof Michelbeuern genutzt. Ebenso sind zahlreiche Hilfs- und Arbeitsfahrzeuge mit Übergangprofilen für den gemeinsamen Einsatz am Straßenbahn- und U-Bahnnetz ausgestattet.

Das Radprofil der U-Bahntypen U & V ist nicht für den Einsatz im Straßenbahnnetz tauglich, da die vorhandene Spurkranzkuppe nicht für den Einsatz auf Flachrillenweichen geeignet ist.

b) Kombination Vollbahn – Straßenbahn

Der Einsatz von herkömmlichen Vollbahnradsätzen auf Straßenbahngleisen scheitert an der zu geringen Rillenweite bzw. Leitweite. Der Spurkranzrücken würde an der Führungsflanke der Rillenschienen aufklettern und entgleisen.

Die Straßenbahnradsätze hingegen können auf Vollbahngleisen nicht verwendet werden, da die Radbreite zu gering und das Radsatzleitmaß zu groß ist. Durch die zu geringe Radbreite kann die Führung des Rades im Herzstückbereich der Vollbahnweichen nicht von der Flügelschiene übernommen werden, das Rad fällt in die Rille. Andererseits besteht die Gefahr von Entgleisungen an Weichen durch ein Aufsteigen des Straßenbahnradsatzes am Herzstück.

Zudem sind die Spurkranzhöhe, Spurkranzdicke und Spurkranzsteilheit der Straßenbahnradsätze für einen Einsatz am Netz der ÖBB zu gering.

Für den Einsatz von Zweisystemfahrzeugen Vollbahn – Straßenbahn ist die Entwicklung eines Übergangspfils erforderlich. Als Vorbild können dazu die Profile dienen, die für die Zweisystemfahrzeuge in Karlsruhe oder Kassel entwickelt wurden. [43] [47]

Dabei wird der Umstand ausgenutzt, dass die Führungsflanken der Rillenschienen knapp unter der Schienenoberkante (SOK) liegen, die Radlenker der Vollbahnweichen jedoch bis zu 20 mm über die SOK reichen.

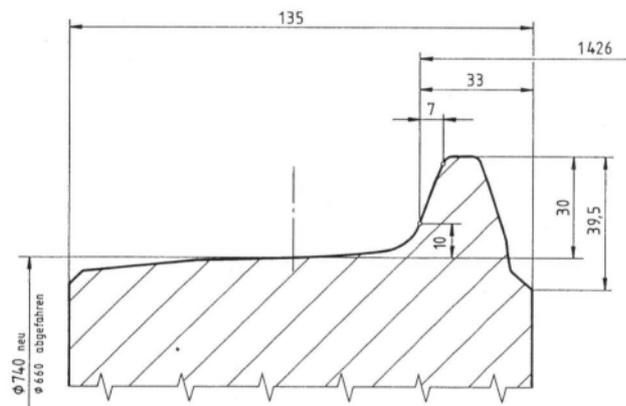


Abb. 25 – Radprofil Karlsruhe [47]

Bei diesen Übergangspfils ist daher die innere Radstirnfläche nicht gerade ausgebildet, sondern weist oberhalb der Lauffläche eine Stufe auf. Damit kann der Spurkranz ausreichend schmal gehalten werden, um in die üblichen Rillenschienen zu passen. Die Verdickung des Spurkranzes oberhalb der Schienenoberkante zur Gleisachse hin erlaubt die erforderliche Verringerung der Aufkeilweite, so dass der Radsatz durch die Radlenker der Vollbahnweichen zuverlässig geführt werden kann.

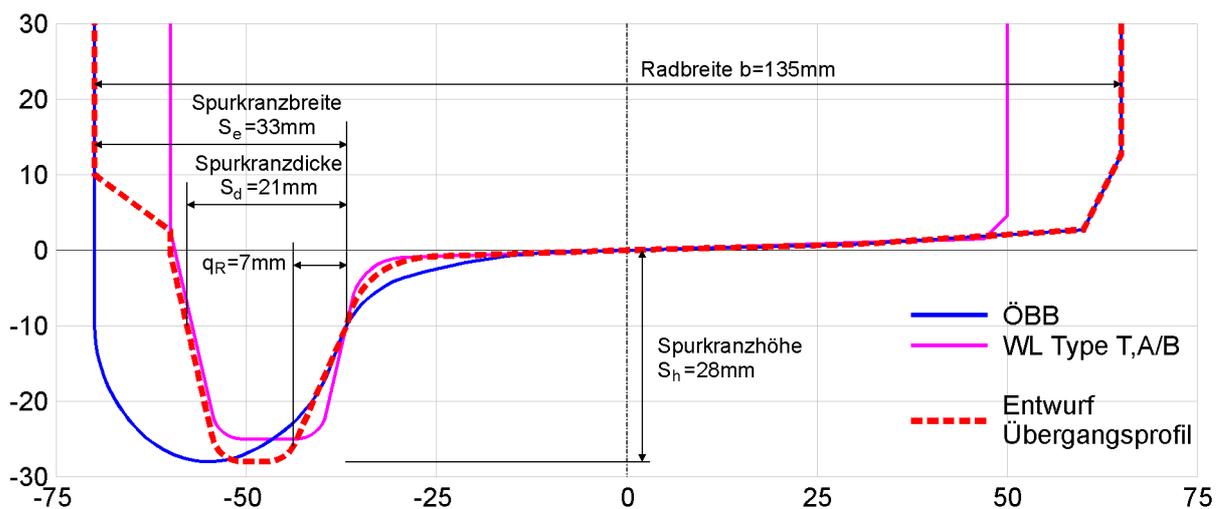


Abb. 26 – fiktiver Entwurf Übergangsp Profil Vollbahn – Straßenbahn

Bei einem derartigen Übergangsp Profil können jedoch nur begrenzte Werte für die Spurkranzsteilheit q_R und Breite der Spurkranzkuppe erzielt werden. Daraus resultiert ein erhöhter Erhaltungsaufwand der Radsätze (verstärktes Abdrehen der Radsätze, erhöhter Verschleiß), insbesondere beim Befahren zahlreicher Flachrillenweichen.

c) Kombination Vollbahn – U-Bahn

Der Einsatz von herkömmlichen Vollbahn-radsätzen auf U-Bahngleisen scheitert an der zu geringen Leitweite bzw. Rillenweite. Vollbahn-radsätze würden an den Radlenkern bzw. Flügelschienen der Weichen aufklettern und entgleisen.

Umgekehrt ist die Verwendung von U-Bahn-radsätzen auf Vollbahngleisen aufgrund des zu großen Radsatzleitmaßes nur eingeschränkt möglich. Hier besteht Entgleisungsgefahr durch ein mögliches Aufsteigen des Radsatzes am Herzstück. Ein Befahren ist nur in Ausnahmefällen und mit eingeschränkter Geschwindigkeit möglich.

Der Einsatz eines Übergangsp Profils mit abgestufter innerer Radstirnfläche wie im Falle der Kombination von Vollbahn- und Straßenbahngleisen ist bei der Verbindung von Vollbahn und U-Bahn ebenfalls nicht möglich, da bei beiden Gleissystemen Radlenker 20 mm oberhalb der Schienenoberkante eingesetzt werden, die aber unterschiedliche Rillenweiten aufweisen.

Es wäre daher ein Übergangsprofil erforderlich, das gleichzeitig für einen Leitkantenabstand von 1.355 mm und 1.375 mm ohne Einschränkungen geeignet sein müsste. Derartige Übergangsprofile sind derzeit nicht verbreitet.

Ein alternativer Lösungsansatz, um die Befahrbarkeit mit beiden Radsätzen zu gewährleisten, ist in Form von gleisseitigen Maßnahmen gegeben. Dazu ist der Einbau von Weichen mit beweglichen Herzstücken oder Flügelschienen auf den gemeinsam befahrenen Streckenabschnitten denkbar. In diesem Fall sind noch ergänzende Optimierungen der Rillenweite in Abschnitten mit Leitschienenoberbau notwendig, um sowohl die Befahrbarkeit mit Vollbahn-radsätzen als auch möglichst geringen Verschleiß bei U-Bahn-radsätzen zu gewährleisten.

Für einen umfassenderen Einsatz von übergangsfähigen Fahrzeugen Vollbahn – U-Bahn wäre es vorteilhaft, das Gleissystem der U-Bahn mittel- bis langfristig völlig auf Vollbahnstandard umzustellen. Hierbei sind jedoch erhebliche logistische Probleme bei der Umstellung zu bewältigen, da innerhalb kürzester Zeit sowohl das Gleissystem umzustellen ist, als auch die Radsätze sämtlicher Fahrzeuge getauscht werden müssten. Während der Übergangsphase müssen erhebliche Verkehrseinschränkungen in Kauf genommen werden. Zusätzlich können bei bestehenden Fahrzeugen Unvereinbarkeiten mit geänderten Radsatzabmessungen auftreten, die vor einer derartigen Umstellung umfassendere Fahrzeugumbauten bedingt.

6.2 Streckennetz (Trassierungsparameter)

Die Streckennetze der einzelnen Eisenbahnsysteme weisen aufgrund der Entstehungsgeschichte, der unterschiedlichen Einsatzgebiete und den divergierenden Randbedingungen grundlegende Unterschiede auf.

Die Trassierungsparameter unterscheiden sich wesentlich in Bezug auf:

- Lichtraum (Gleisabstand)
- Trassierung im Grundriss
- Trassierung im Aufriss
- Einrichtungsbetrieb – Zweirichtungsbetrieb

6.2.1 Lichtraum - Gleisabstand

Der Lichtraum ist ein von Einbauten freizuhaltenen Bereich des Verkehrsraums einer Eisenbahn. Dazu wird ein Lichtraumprofil definiert, das so bemessen sein muss, dass das größtmögliche Fahrzeug einschließlich seiner Ladung unter Berücksichtigung aller aus der Kinematik abzuleitenden Randbedingungen sowie zu unterstellender Lagefehler des Fahrwegs ohne Gefahr des Anpralls an bauliche Anlagen sicher verkehren kann. [38]

Der Gleisabstand ist definiert als der horizontale Abstand zwischen den Achsen benachbarter Gleise (Gleismitten). [38] In engen und überhöhten Bögen sind die Gleisabstände entsprechend den notwendigen Erweiterungen des Lichtraums größer ausgeführt.

a) Lichtraumprofil Vollbahnen

Der Regellichtraum der ÖBB ist in den Zusatzbestimmungen zur Oberbauvorschrift DV B 51 ZOV 7, Tafel 7/2 (für Vollspur) [33] geregelt.

Für künftige Neu- und Ausbauten sind als Richtlinien die Richtlinien und Vorschriften für das Eisenbahnwesen (RVE) anzuwenden. Da diese großteils jedoch erst in

Erarbeitung sind, sowie die vorhandenen Strecken überwiegend nach den alten Vorschriften ausgeführt wurden, wird für die gegenständliche Ausarbeitung auf die bisherigen Oberbauvorschriften zurück gegriffen.

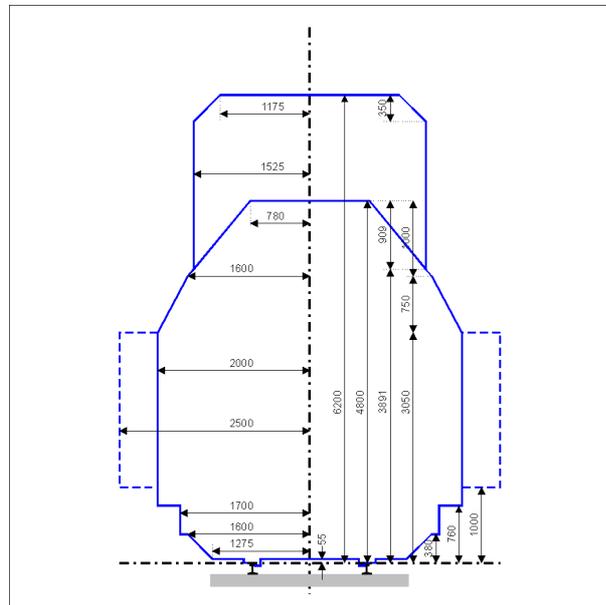


Abb. 27 – Lichtraumprofil Vollbahn

Auf nicht elektrifizierten Strecken entfällt der für den Stromabnehmer freigehaltene Bereich zwischen 4,80 m und 6,20 m Höhe.

Bei Bogenradien < 250 m sind die Breiten an der Bogeninnenseite und Bogenaußenseite gemäß Tafel 7/4 zu vergrößern. [33]

Der Gleisabstand ist in der Oberbauvorschrift B 53 [48] festgelegt und beträgt in der Regel 4,00 m, mindestens aber 3,50 m. In Bögen mit Radien kleiner als 250 m sind erhöhte Gleisabstände einzuhalten.

b) Lichtraumprofil U-Bahn

Für die U-Bahn sind die Abmessungen des lichten Raums in der Vorschrift über Abstände und Abmessungen für Gleisanlagen mit Stromschienen bei U-Bahnen geregelt. [49]

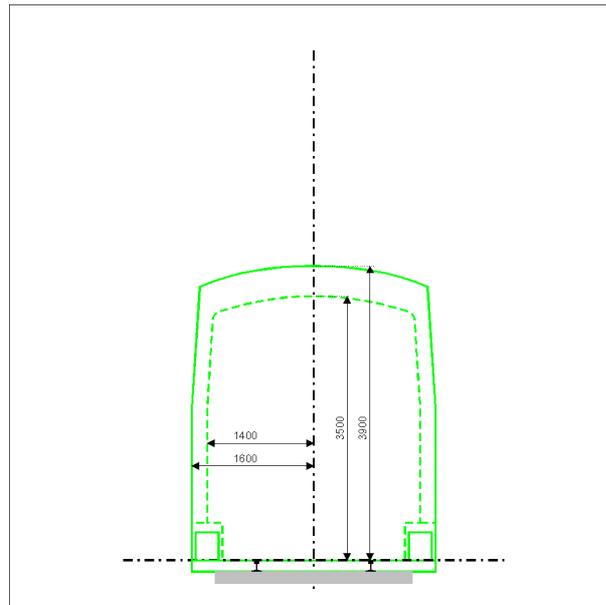


Abb. 28 – Lichtraumprofil U-Bahn

In Bögen sind die Breiten innen und außen entsprechend der Auslenkung des Wagenkastens um bis zu jeweils ca. 0,37 m (bei $R = 50$ m) zu vergrößern.

Der Regelabstand der Gleise ist bei der U-Bahn mit 3,20 m festgelegt. [35] Der minimale Gleisabstand beträgt 3,10 m. [49]

c) Lichtraumprofil U-Bahn mit Oberleitungsbetrieb

Der Lichtraumbedarf der U-Bahn mit Oberleitungsbetrieb wurde für das U-Bahn-Fahrzeug Type „T“ der Wiener Linien bemessen. Das Lichtraumprofil ist in der Vorschrift über Abstände und Abmessungen für Gleisanlagen der Wiener Linien mit U-Bahn-Oberleitungsbetrieb (U-Bahn-Linie U6) definiert. [50]

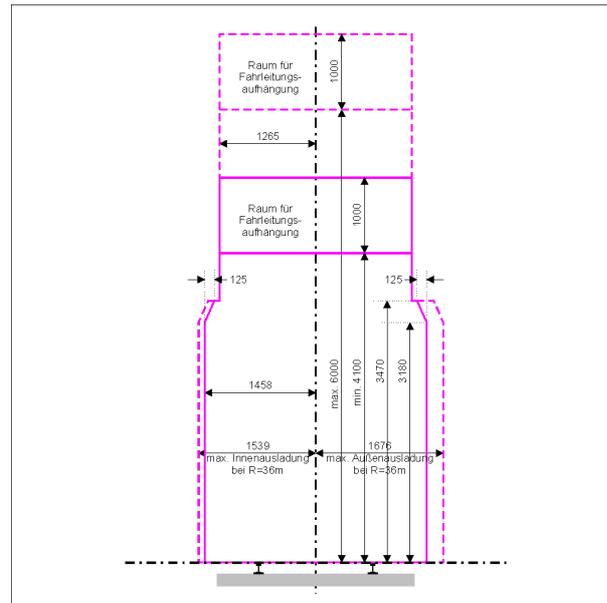


Abb. 29 – Lichtraumprofil U-Bahn mit Oberleitungsbetrieb

Die lichte Höhe ist abhängig von der Höhenlage der Fahrleitung, die min. 4,10 m und max. 5,90 m über SOK liegt.

Der Regelgleisabstand ist wie bei der U-Bahn mit Stromschiene mit 3,20 m ausgeführt. Der kleinste theoretische Gleisabstand der U-Bahn mit Oberleitungsbetrieb beträgt auf Touren- und Betriebsgleisen 2,82 m. [50]

d) Lichtraumprofil Wiener Lokalbahnen

Die WLB setzen auf ihren Strecken zwei unterschiedliche Lichtraumprofile ein.

Der eisenbahnmäßig betriebene Streckenabschnitt zwischen Schedifkaplatz und Leesdorf ist wie bei der Vollbahn gemäß der ÖBB DV B 51 ZOV 7 [33] [51] ausgebildet, wobei der Lichtraum Einschränkungen für Bahnsteigkanten (200 mm über SOK 1,32 m von der Gleisachse bzw. 300 mm über SOK 1,40 m von der Gleisachse entfernt) aufweist. Der Gleisabstand beträgt mindestens 3,70 m. [29]

Auf den straßenbahnmäßig betriebenen Stadtstrecken in Wien und Baden gelten die Bestimmungen der Oberbauvorschriften für Straßenbahnen (OVST 57). [28] [29]

e) Lichtraumprofil Straßenbahn

Der Lichtraumbedarf ist in der Vorschrift über Abstände und Abmessungen für Gleisanlagen der Wiener Linien mit Straßenbahnbetrieb festgelegt. [52]

Es werden zwei unterschiedliche Lichtraumprofile verwendet, deren Anwendung davon abhängt, ob die Strecke für Überstellungsfahrten von U-Bahn-Fahrzeugen (U-Bahn mit Oberleitungsbetrieb) in die Zentralwerkstätte genutzt wird oder nicht. Für die Wiener Lokalbahnen sind keine gesonderten Lichtraumprofile eingerichtet. Die Fahrzeuge der WLB sind am gesamten Netz der Wiener Straßenbahn zugelassen, wobei aber örtliche Begegnungsverbote beachtet werden müssen. [37]

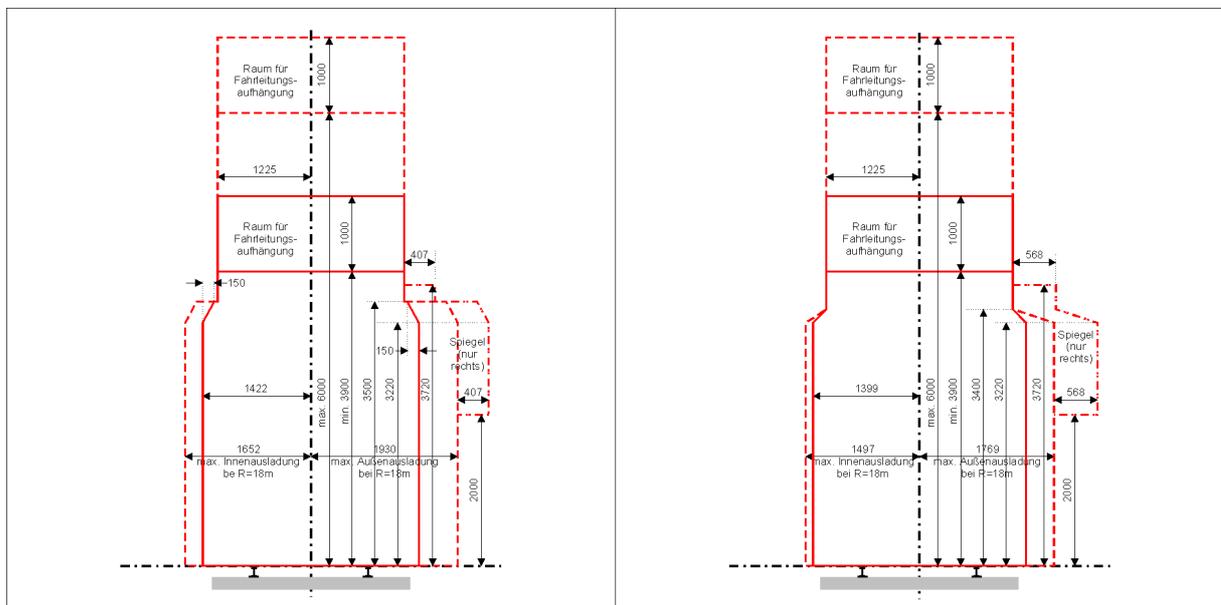


Abb. 30 – Lichtraumprofil Straßenbahn mit bzw. ohne Überstellfahrten

Die lichte Höhe ist abhängig von der Höhenlage der Fahrleitung, die min. 3,90 m und max. 6,00 m über SOK liegt.

Das Regelmaß für den Gleisabstand beträgt sowohl auf Strecken mit als auch ohne Überstellungsfahrten 3,00 m. Der kleinste theoretische Gleisabstand ist auf Strecken ohne Überstellfahrten mit mindestens 2,61 m und auf Strecken mit Überstellfahrten mit mindestens 2,82 m limitiert. [52]

6.2.2 Trassierung im Grundriss

Die Ausbaugeschwindigkeit ist die angestrebte Höchstgeschwindigkeit, die bei optimalen Trassierungsverhältnissen erreicht werden kann. Im Hinblick auf die Attraktivität des Verkehrsangebots und die Fahrplangestaltung sollten die eingesetzten Fahrzeuge nach Möglichkeit für die Ausbaugeschwindigkeit ausgelegt sein.

Die Mindestbogenhalbmesser müssen von den eingesetzten Fahrzeugen problemlos im Betrieb bewältigt werden. Dabei darf der lichte Raum nicht über das vorgesehene Erweiterungsmaß des lichten Raums hinaus überschritten werden.

Im allgemeinen sind bei allen Eisenbahnen zwischen Streckengleisen unterschiedlicher Krümmung Übergangsbögen angeordnet. In untergeordneten Gleisen (Bahnhofs- und Betriebsgleisen) wird meist auf Übergangsbögen verzichtet. In den Übergangsbögen werden die unterschiedlichen Überhöhungen der anschließenden Gleise ausgeglichen.

a) Vollbahnen

Die höchstzulässige Geschwindigkeit ist bei der Vollbahn streckenabhängig und beträgt für den Nah- und Regionalverkehr im Raum Wien max. 120 – 160 km/h. [53]

Im Netz der ÖBB zugelassene Fahrzeuge müssen die minimalen Bogenhalbmesser gemäß Tab. 10 einwandfrei befahren können. [44]

Bogenradien	
Kleinsten Bogenradius in Streckengleisen	
elektrifizierte Strecken	R = 140m
nicht elektrifizierte Strecken mit Personenverkehr	R = 112m
nicht elektrifizierte Strecken ohne Personenverkehr	R = 100m
Kleinsten Bogenradius in Neben- und Werkstättengleisen	
	R = 100m

Tab. 10 – Mindestbogenhalbmesser bei der ÖBB

Zusätzlich müssen Gegenbögen ohne Zwischengerade mit einem Radius von $R = 190 \text{ m}$ bewältigt werden. [44]

Die maximal zulässige Überhöhung beträgt $\ddot{u}_{\max} = 160 \text{ mm}$. [25]

b) U-Bahn

Die U-Bahn wurde auf eine Ausbaugeschwindigkeit von 80 km/h ausgelegt.

Für Neubaustrecken beträgt der kleinste Bogenhalbmesser 303 m. Im Bereich der ehemaligen Stadtbahnstrecken (Wientallinie, Donaukanallinie; heute Linie U4) sind kleinere Bogenradien von ca. 150 m vorhanden. Der Mindestradius beträgt 100 m und tritt in Betriebsgleisen, sowie ausnahmsweise in den Streckengleisen der Linie U2 im Abschnitt Rathaus – Schottentor auf. [35] [54] [55]

Die maximal zulässige Überhöhung beträgt $\ddot{u}_{\max} = 150$ mm. [35] [54]

c) U-Bahn mit Oberleitungsbetrieb

Die Ausbaugeschwindigkeit der U-Bahn mit Oberleitungsbetrieb beträgt 80 km/h. Aufgrund der dafür nicht geeigneten Fahrzeuge der älteren Typen E₆/C₆ werden bis zu deren vollständigem Ersatz durch Neubaufahrzeuge jedoch nur 60 km/h erreicht. [55]

Die Trassierungsparameter entsprechen weitgehend jenen der U-Bahn. Der Mindestbogenradius beträgt im Streckenbereich ca. 100 m. Im Bahnhofsbereich sind Radien von bis zu ca. 26 m vorhanden. [50] Auf Überstellfahrten am Straßenbahnnetz in die Zentralwerkstätte müssen Radien bis zu 18 m bewältigt werden können. [52]

d) Wiener Lokalbahnen

Die Streckenhöchstgeschwindigkeit beträgt bei den Wiener Lokalbahnen 80 km/h.

Als Mindestradien werden für die eisenbahnmäßig betriebene Strecke 100 m und für die straßenbahnmäßig betriebenen Stadtstrecken 19,28 m angegeben. [29]

e) Straßenbahn

Die Höchstgeschwindigkeit der Straßenbahn beträgt in Wien 60 km/h (auf speziell ausgewiesenen Streckenabschnitten). [34] [56]

Als Mindestbogenhalbmesser ist ein Regemaß von 20 m anzustreben. In Ausnahmefällen sind Radien bis zu mindestens 18 m zulässig. [28] [52]

Überhöhungen sind bei Gleisen, die in der Straßenfahrbahn eingebettet sind, aus Rücksicht auf das Straßenprofil nur bedingt ausgeführt. Auf eigenen Gleiskörpern dürfen die Überhöhungen wie bei der U-Bahn mit $\ddot{u}_{\max} = 150 \text{ mm}$ ausgeführt werden. [28]

6.2.3 Trassierung im Aufriss

Die auftretenden Neigungen sind begrenzt, damit die eingesetzten Fahrzeuge auch in Steigungsstrecken ausreichend beschleunigen können bzw. in Gefällestrecken sicher und innerhalb eines adäquaten Bremswegs zum Stillstand gebracht werden können.

Neigungswechsel werden grundsätzlich mit Kreisbögen ausgerundet. Die Ausrundungsradien müssen von allen Fahrzeugen ohne Überschreitung des Lichtraums befahren werden können.

a) Vollbahn

Die größte zulässige Neigung wird für jede Strecke gesondert festgelegt und soll die größten Neigungen der anschließenden Strecken nicht überschreiten. [48] Im Raum Wien treten Neigungen bis zu 28 ‰ (Unterwerfungsbauwerk Floridsdorf) auf. [53]

Für die Fahrzeugzulassung wird die Befahrbarkeit folgender Ausrundungsradien gefordert.

Kuppen- und Wannenzradien - Mindestwerte	
für das gesamte Streckennetz gilt:	
Kuppenradius	R = 500m
Wannenradius	R = 500m
für die Befahrbarkeit von Ablaufbergen und Gleisbremsen:	
Kuppenradius	R = 250m
Wannenradius	R = 300m

Tab. 11 – Mindestkuppen- und -wannenzradien bei der ÖBB [44]

Die im Vollbahnnetz der ÖBB vorhandenen Neigungsbrüche werden mit großzügigeren Kuppen- und Wannenzugradien von mindestens $R_{\min} = 2.000$ m ausgerundet. [25] [53]

b) U-Bahn

Die zulässige Längsneigung der U-Bahn ist mit 40 ‰ begrenzt. [35] [57]

Neigungswechsel werden mit Kreisbögen mit einem Mindestradius von $R_{\min} = 1.500$ m ausgerundet. [35] [54]

c) U-Bahn mit Oberleitungsbetrieb

Die zulässige Längsneigung der U-Bahn mit Oberleitungsbetrieb wurde gegenüber der U-Bahn auf 45 ‰ erhöht, um die Otto-Wagner-Brücken über die Wienzeile in die Trasse einbinden zu können. [55]

Die Ausrundung der Neigungswechsel erfolgt wie bei der U-Bahn mit einem Mindestradius von $R_{\min} = 1.500$ m. [35] [54]

d) Wiener Lokalbahnen

Die eisenbahnmäßig betriebene Strecke weist eine maximale Längsneigung von 22,9 ‰ auf. Auf den straßenbahnmäßig betriebenen Stadtstrecken werden bis zu 50 ‰ erreicht.

Die Neigungswechsel (Kuppen und Wannenzugradien) sind mit Mindestradien von 2.000 m (eisenbahnmäßige Strecke) bzw. 300 m (straßenbahnmäßige Stadtstrecke) ausgerundet. [29]

e) Straßenbahn

Die größten Steigungen werden im Straßenbahnnetz der Wiener Linien mit 65 ‰ erreicht. [34] [58]

Die Ausrundung der Neigungswechsel erfolgt, wenn der Unterschied zwischen zwei aufeinanderfolgender Neigungen größer als 2,5 ‰ ist. Die minimalen Ausrundungsradien betragen 300 m. [28] [29]

6.2.4 Einrichtungsbetrieb – Zweirichtungsbetrieb

Eisenbahnsysteme werden heute vorwiegend im Zweirichtungsbetrieb betrieben. Das bedeutet, dass die Fahrzeuge für Vorwärts- und Rückwärtsfahrt gleichermaßen geeignet sind und ein Wenden der Fahrzeuge an Endstationen nicht erforderlich ist. Damit können aufwendige Wendeanlagen an Zugausgangsbahnhöfen bzw. Zugsbahnhöfen, wie etwa Drehbühnen oder Gleisdreiecke entfallen.

Voraussetzung dafür sind neben beidseitigen Führerständen an Triebfahrzeugen oder betrieblich fest gekuppelten Fahrzeugeinheiten auch Türen an beiden Wagen-seiten. Diese sind jedoch für den freizügigen Einsatz der Fahrzeuge an Bahnsteigen, die je nach Konfiguration des Bahnhofes beidseitig des Gleises angeordnet sein können, ohnedies notwendig.

Auch Straßenbahnsysteme waren ursprünglich grundsätzlich für den Zweirichtungsbetrieb ausgebildet. Erst ab Mitte der Fünfzigerjahre wurde die Wiener Straßenbahn schrittweise auf Einrichtungsbetrieb umgestellt. [59] Gründe für die Umstellung waren das durch den Wegfall der Türen auf der linken Fahrzeugseite höhere Sitzplatzangebot und die durch den Entfall eines Führerstandes billigeren Fahrzeuge.

Damit stellt die Wiener Straßenbahn unter den untersuchten Eisenbahnsystemen in Wien eine Besonderheit dar. Die Triebfahrzeuge haben nur an einer Front einen Führerstand und können daher nur in eine Richtung fahren (abgesehen von Rangierfahrten). [60] Damit gibt sich aber der Zwang, an jeder Stelle, wo gewendet werden soll, eine Schleifenanlage zu errichten. In Ausnahmefällen (z.B. Betriebsstörungen) kann auch mit Hilfe des Rangierfahralters über Gleisdreiecke gewendet werden. Zudem ist das Ein- und Aussteigen ausschließlich auf der rechten Fahrzeugseite möglich, was bei der Anordnung der Haltestellen zu berücksichtigen ist (siehe auch Kapitel 6.4 Bahnsteige).

6.2.5 Kombinationen

Um Fahrzeuge auf unterschiedlichen Netzen einsetzen zu können, müssen sie für die jeweiligen Trassierungsparameter geeignet sein.

Dabei sind die jeweils strengeren Minimal- bzw. Maximalwerte zu erfüllen.

Trassierungsparameter		Vollbahn	U-Bahn	U-Bahn mit Oberleitung	WLB		Straßenbahn
					1)	2)	
Lichtraum							
min. Breite	[m]	4,00	3,20	~2,92	4,00	~2,80	~2,80
min. Höhe	[m]	4,80	3,90	4,10	4,60	3,95	3,90
Gleisabstand							
Regelwert	[m]	4,00	3,20	3,20	4,00	3,00	3,00
Ausnahmewert	[m]	3,50	3,10		3,70		2,82/2,61
Geschwindigkeitsniveau							
Ausbaugeswindigkeit	[km/h]	120-160	80	80 (60)	80	60	60
Mindestradius							
Regelwert	[m]	140	100	100	100	20	20
Ausnahmewert	[m]	100		25,718		19,28	18
Neigungsverhältnisse							
maximale Längsneigung	[‰]	28	40	45	23	50	65
Ausrundungsradien							
Wanne/Kuppe (min.)	[m]	2.000 (500)	1.500	1.500	2.000	300	300
1) eisenbahnmäßig betriebener Abschnitt; 2) straßenbahnmäßig betriebener Abschnitt							

Tab. 12 – Übersicht Trassierungsparameter

Die jeweiligen Umgrenzungen des Lichtraums sind nur bedingt kompatibel. Selbst beim größten Lichtraum des Vollbahnprofils werden im untersten Bereich knapp oberhalb der Schienenoberkante nicht die Anforderungen der U- bzw. Straßenbahn erfüllt.

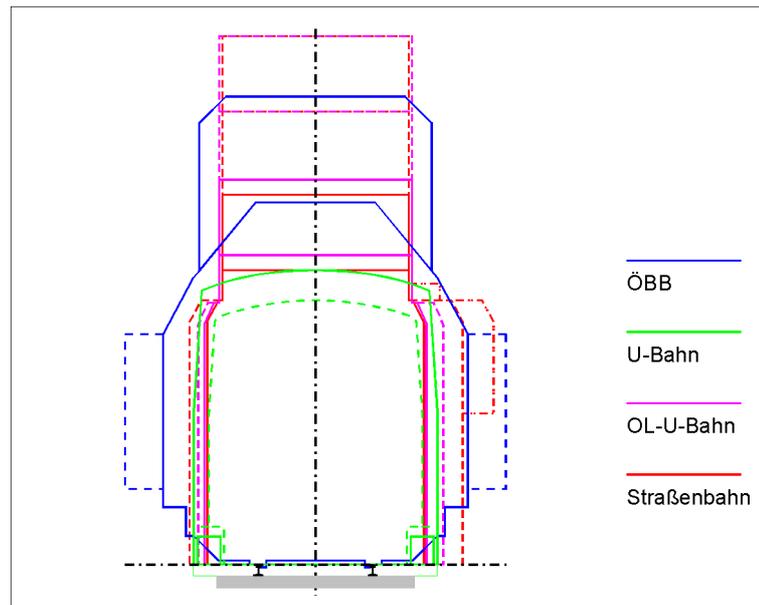


Abb. 31 – Überlagerung Lichtraumprofile

Ein Fahrzeugübergang ist nur dann uneingeschränkt möglich, wenn entweder die Fahrzeugabmessungen so begrenzt sind, dass beide Lichtraumanforderungen erfüllt sind, oder die gemeinsam befahrene Strecke ein Lichtraumprofil aufweist, das der gemeinsamen Umhüllenden der kombinierten Lichtraumprofile entspricht.

Die Vollbahn, beide U-Bahn-Systeme, sowie die Wiener Lokalbahnen sind für einen Zweirichtungsbetrieb geeignet. Das Straßenbahnnetz der Wiener Linien ist hingegen für den Einrichtungsbetrieb ausgelegt. Der Einsatz von Zweirichtungsfahrzeugen im Einrichtungsbetrieb ist ohne Einschränkungen möglich. Umgekehrt können Einrichtungsfahrzeuge jedoch wegen fehlender Wendemöglichkeiten und nur einseitig vorhandenen Fahrzeurtüren nicht im Zweirichtungsbetrieb eingesetzt werden.

6.3 Fahrzeuge

Im Schienenpersonennahverkehr werden heute nahezu ausschließlich Triebwagen-garnituren eingesetzt. Wesentlich unterscheiden sich die derzeit eingesetzten Fahrzeuge hinsichtlich:

- Fahrzeugabmessungen (Länge, Umgrenzung)
- Fahrzeugmasse (Achslasten)
- Fahrzeuganforderungen (Geschwindigkeit, Rahmenfestigkeit, Kupplungen)
- Fahrzeugausstattung (Beleuchtung, Fahrgastinformationssysteme)

In diesem Kapitel werden die Anforderungen aufgelistet, die bei der Entwicklung von Zweisystemfahrzeugen berücksichtigt werden müssen, um einen Fahrzeugübergang auf andere Eisenbahnsysteme zu ermöglichen.

6.3.1 Fahrzeugabmessungen

Durch die Anforderungen des vorhandenen Lichtraumprofils werden die maximal möglichen Fahrzeugabmessungen in der Breite und Höhe begrenzt.

Zusätzlich sind Obergrenzen für die Abmessungen straßenabhängiger Bahnen (WLB und Straßenbahn) mit max. 4,00 m Höhe und 2,65 m Breite gesetzlich in § 34 (3) der StrabVO festgelegt. [17]

Bei Fahrzeugen, die über eine Oberleitung mit Fahrstrom versorgt werden, werden bei der Ermittlung der max. Fahrzeughöhe die Stromabnehmer in Senklage (in eingefahrenem Zustand) berücksichtigt.

Bei der Festlegung der maximalen Breite eines Fahrzeugs ist auch der Achsabstand bzw. der Drehzapfenabstand bei Drehgestellfahrzeugen zu berücksichtigen. Zwar sind in den einzelnen Lichtraumprofilen bei engen Radien seitliche Erweiterungen vorgesehen, um den Überhang langer Fahrzeuge in diesen Bögen einzurechnen. Diese Erweiterungen sind jedoch auf ein gewisses Maß beschränkt. Steigt der Achs- bzw. Drehzapfenabstand über das zugrunde gelegte Maß hinaus an, so muss die

Fahrzeugbreite entsprechend verringert werden, um das Fahrzeugumgrenzungsprofil nicht zu überschreiten. Für straßenabhängige Bahnen ist dieser seitliche Überhang außerdem gesetzlich gemäß § 34 (2) StrabVO auf max. 0,65 m gegenüber dem Lichtraumbedarf in der Geraden begrenzt. [17]

Soll ein Fahrzeug auf Strecken mit unterschiedlichen Lichtraumprofilen zum Einsatz gelangen, muss das Fahrzeug die Anforderungen aller genutzten Lichtraumprofile einhalten können.

Die maximal mögliche Zuglänge wird einerseits durch die Länge der vorhandenen Abstell- und Wendegleise, andererseits vor allem durch die Bahnsteiglänge (siehe Kapitel 6.4) bestimmt. Zudem können örtliche Besonderheiten (z.B. Gürtelquerung der Straßenbahn) Einschränkungen bedingen. Vorhandene Werkstatteinrichtungen (z.B. Hebebühnen, Schiebebühnen) können zudem die maximal mögliche Fahrzeuglänge einschränken.

Beim Einsatz von Zweisystemfahrzeugen ist für die maximale Zuglänge jeweils die kürzere zulässige Zuglänge der beiden befahrenen Systeme maßgebend. Für straßenabhängige Bahnen wie die Straßenbahn und WLB ist die Zuglänge zudem gesetzlich begrenzt, da gem. StrabVO § 58 Züge, die am Straßenverkehr teilnehmen, nicht länger als 75 m sein dürfen [17].

a) Abmessungen Vollbahn

Bei Fahrzeugen, die am Vollbahnnetz der ÖBB eingesetzt werden sollen, muss die Fahrzeugbegrenzung gemäß UIC 505-1 erfüllt sein. [44]

Nach der Fahrzeugbegrenzungslinie G1 [26] [27] [38] [21] dürfen Eisenbahnfahrzeuge bis zu 3,29 m breit sein. Aufgrund des seitlichen Überhangs in Bögen werden jedoch deutlich schmalere Fahrzeuge eingesetzt.

Die aktuellen Regional- und Nahverkehrstriebwagen sind ca. 2,90 m breit (2.872 mm bei Reihe 4020 [61], 2.925 mm bei Reihe 4024 [62] bzw. 2.830 mm bei Reihe 5022 [63]). Die Höhe der Fahrzeuge beträgt bis zu ca. 4,30 m (Reihe 4020).

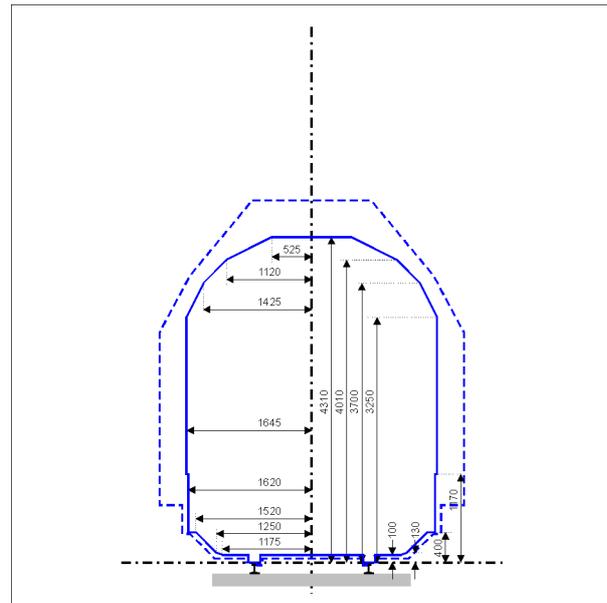


Abb. 32 – Fahrzeugbegrenzungslinie G1

Bei der Vollbahn ist die maximal zulässige Zuglänge streckenabhängig und durch die vorhandenen Gleislängen der Bahnhofsgleise bestimmt. Für den Nahverkehr (Schnellbahn, Regionalbahnen) sind vorrangig die gegenüber den Gleislängen geringeren Bahnsteiglängen maßgebend, wobei in Wien sowie im Wiener Umland zumeist Züge mit einer Länge von ca. 150 m (Doppelgarnitur Nahverkehrstriebwagen), zumindest aber 70 m (Einfachgarnitur Nahverkehrstriebwagen) einsetzbar sind. [53]

Auf untergeordneten Nebenstrecken können die Zuglängen durch kürzere Bahnsteige von 60 m oder gar 50 m (Regionaltriebwagen) begrenzt sein. [53]

b) Abmessungen U-Bahn

Die derzeit eingesetzten U-Bahntriebwagen weisen eine Breite von 2,80 m (Type U) bzw. 2,85 m (Type V) und eine Höhe von 3,50 m auf. [35] [60]

Die U-Bahn wurde hinsichtlich der Länge von Bahnsteigen und Abstellanlagen auf Züge aus drei Doppeltriebwagen der Type U bzw. einen 6-Wagenzug der Type V mit einer Länge von jeweils ca. 110 m ausgelegt. [35] [60] [65]

c) Abmessungen U-Bahn mit Oberleitungsbetrieb

Die für die Bemessung des Lichtraumprofils herangezogenen Fahrzeuge (Type T) sind 2,65 m breit und 3,60 m hoch. [60] [66]

Analog zu U-Bahn sind die Anlagen der U-Bahn mit Oberleitungsbetrieb für ca. 110 m lange Züge bemessen. Ein Vierwagenzug aus Niederflurtriebwagen ist ca. 108 m lang. [60]

d) Abmessungen WLB

Die Personentriebwagen der WLB weisen eine Breite von bis zu 2,50 m (Reihe 400) und eine max. Höhe von 3,62 m (Reihe 100) auf. [67] Trotz der gegenüber den Straßenbahnfahrzeugen größeren Breite sind die Fahrzeuge der WLB am gesamten Netz der Wiener Linien zugelassen. Es sind allerdings in zahlreichen Bögen abseits der Stammstrecke Oper – Schedifkaplatz Begegnungsverbote zu beachten. [37]

Die maximale Länge für Personenzüge ist bei der WLB aufgrund der Bahnsteiglängen mit max. 60 m (Doppelgarnitur Gelenktriebwagen) begrenzt. [29] Diese Zuglänge wird auch auf dem Wiener Straßenbahnabschnitt eingesetzt, wobei hierzu alle Haltestellen auf diesem Abschnitt als Doppelhaltestellen ausgeführt sind.

e) Abmessungen Straßenbahn

Die Breite der von den Wiener Linien eingesetzten Straßenbahnfahrzeuge beträgt maximal 2,40 m, bei einer max. Höhe von 3,67 m (Ulf). [60] [68]

Die Wiener Linien setzen Straßenbahnzüge mit einer maximalen Länge von ~ 35 m (Ulf B bzw. E1+c4) ein. [60] Diese Begrenzung ergibt sich aus der bei zahlreichen Linien erforderlichen Querung des Gürtels, wo ein Straßenbahnzug zwischen den beiden Richtungsfahrbahnen Platz finden muss.

6.3.2 Fahrzeugmassen

Die Fahrzeugmassen der eingesetzten Fahrzeuge müssen so auf die vorhandenen Oberbaukonstruktionen abgestimmt sein, dass die bei den höchstzulässigen Fahrgeschwindigkeiten auftretenden Kräfte von den Gleisanlagen zuverlässig aufgenommen werden können. Im innerstädtischen Bereich sind zudem die Körperschallemissionen von Bedeutung, die unter anderem von den Fahrzeugmassen abhängig sind.

Maßgebende Werte sind hier die zulässige Achslast, sowie das Metergewicht. Für die aktuell eingesetzten Fahrzeuge sind die entsprechenden Werte in Tab. 13 angeführt.

System	Fahrzeug	Fahrzeugmasse		Achsen	mittl. Achslast		Fahrzeuglänge [m]	mittl. Meterlast	
		leer [t]	besetzt [t]		leer [t]	besetzt [t]		leer [t/m]	besetzt [t/m]
Vollbahn	ET 4020	62,3	78,1	4	15,6	19,5	23,3	2,67	3,35
	ET 4024	116,0	138,6	10	11,6	13,9	66,9	1,73	2,07
	VT 5022	70,7	89,1	6	11,8	14,9	41,7	1,70	2,14
U-Bahn	Typ U	54,0	72,0	8	6,8	9,0	36,8	1,47	1,96
	Typ V	28,9	45,8	4	7,2	11,5	18,3	1,58	2,51
OL-U-Bahn	Typ E ₆	28,0	35,3	6	4,7	5,9	19,7	1,42	1,79
	Typ T	34,0	48,6	6	5,7	8,1	27,3	1,25	1,78
WLB	Reihe 100	37,0	47,0	8	4,6	5,9	26,8	1,38	1,76
	Reihe 400	35,0	47,0	6	5,8	7,8	26,9	1,30	1,74
Straßenbahn	Typ E ₁	22,5	33,7	6	3,8	5,6	20,3	1,11	1,66
	Typ E ₂	24,5	31,8	6	4,1	5,3	19,1	1,28	1,67
	Typ A	29,5	40,8	4	7,4	10,2	24,2	1,22	1,68
	Typ B	42,5	58,5	6	7,1	9,7	35,5	1,20	1,65

Tab. 13 – Fahrzeugmassen, Achslasten und Metergewichte

Triebwagen der Vollbahn weisen Achsfahrmassen zwischen ca. 14 t und 20 t auf. [61] [62] [63] Bei lokbespannten Zügen werden je nach Masse der Lokomotive noch höhere Achsfahrmassen erreicht.

Die modernen Triebwagen können am gesamten Netz der ÖBB (Streckenklasse A, Achsfahrmasse max. 16 t, Meterlast max. 5,0 t/m [44]) eingesetzt werden. Für manche Fahrzeuge der Vollbahn ist das Einsatzgebiet auf entsprechend ausgebaute Strecken (z.B. Rh 4020 min. Streckenklassen C2 der ÖBB [44]) begrenzt.

Die Triebwagen der U-Bahn mit Stromschiene weisen Achslasten von ca. 9 t (Typ U) bis 11,5 t (Typ V) auf. [55] [69] Bei der U-Bahn mit Oberleitungsbetrieb betragen die Achslasten ca. 6 t (Typ E₆) bis 8 t (Typ T). [66] [70]

Die Wiener Lokalbahnen setzen Fahrzeuge mit Achslasten von ca. 6 t. bzw. 8 t ein. [67]

Die Achsmassen der Straßenbahnfahrzeuge der Wiener Linien liegen im Bereich von über 5 t bis knapp über 10 t. [64] [70] [71]

Die Fahrzeuge der Wiener Linien (inkl. WLB) sind demnach durch relativ geringe Unterschiede zwischen den einzelnen Systemen hinsichtlich der Achslasten gekennzeichnet. Es zeigen sich deutlichere Unterschiede aufgrund des Fahrzeugalters, wobei neuere Fahrzeuge durchwegs schwerer sind. Sämtliche Achsmassen der U-Bahn, WLB und Straßenbahnfahrzeuge liegen damit unter dem Wert für Sonderfahrzeuge von 14 t Achslast [29] [34] [55], für die das Gleisnetz der Wiener Linien ausgelegt ist, was einen Fahrzeugübergang zwischen U-Bahn und Straßenbahn (bzw. WLB) hinsichtlich der Fahrzeugmassen erlaubt.

Zum Vergleich werden nachfolgend noch die maßgebenden Werte von einigen Zweisystemfahrzeugen angeführt, die bereits im mehrjährigen Regelbetrieb eingesetzt werden. Als Beispiel dienen die Zweisystemfahrzeuge aus Karlsruhe (GT8-100D/2S-M), Saarbrücken (Stadtbahn Saarbrücken) und Kassel (RegioCitadis dieselelektrisch bzw. RegioCitadis elektrisch-AC/elektrisch-DC). [72] [73] [74]

System	Fahrzeug	Fahrzeugmasse		Achsen	mittl. Achslast		Fahrzeuglänge [m]	mittl. Meterlast	
		leer [t]	besetzt [t]		leer [t]	besetzt [t]		leer [t/m]	besetzt [t/m]
Karlsruhe	GT8	58,5	76,4	8	7,3	9,6	36,8	1,59	2,08
Saarbrücken		55,0	68,5	8	6,9	8,6	37,1	1,48	1,85
Kassel	RC DE	59,0	75,9	8	7,4	9,5	36,8	1,60	2,06
	RC EE	63,0	80,8	8	7,9	10,1	37,5	1,68	2,16

Tab. 14 – Fahrzeugmassen, Achslasten und Metergewichte - Zweisystemfahrzeuge

Die Fahrzeuge weisen eine Achslast von ca. 9 t – 10 t auf, und liegen damit in der selben Größenordnung wie die aktuellen Straßenbahnfahrzeuge der Type Ulf A & B.

Hinsichtlich der auftretenden Fahrzeugmassen ist demnach die Entwicklung eines Zweisystemfahrzeugs analog den angeführten Beispielen für den Übergang vom Vollbahnnetz auf das Netz der Wiener Straßenbahn bzw. U-Bahn machbar.

6.3.3 Fahrzeuganforderungen

6.3.3.1 Fahrzeuggeschwindigkeit

Bezüglich der Fahrzeughöchstgeschwindigkeit lassen sich drei Klassen angeben, für die heutige Nahverkehrsschienenfahrzeuge ausgelegt sind.

Geschwindigkeiten von 120 – 160 km/h werden ausschließlich von Vollbahnfahrzeugen erreicht. [53] [61] [62] [63]

Die Fahrzeuge der U-Bahn sowie diejenigen der Wiener Lokalbahnen erreichen bis zu 80 km/h. [29] [35] [55] [69]

Für die Wiener Straßenbahnfahrzeuge reicht derzeit eine Höchstgeschwindigkeit von 60 km/h aus, wobei die aktuellen Neubaufahrzeuge (Typen Ulf A & B) bereits für 70 km/h geeignet sind. [56] [68]

Zweisystemfahrzeuge sind demnach für mindestens 80 km/h auszulegen. Sollen entsprechend geeignete Vollbahnstrecke befahren werden, ist eine Fahrzeughöchstgeschwindigkeit von 120 – 160 km/h, zumindest aber von 100 km/h anzustreben.

6.3.3.2 Rahmenfestigkeit

Für die Rahmenfestigkeit (aufnehmbare Längsdruckkraft) von Schienenfahrzeugen lassen sich mehrere Klassen angeben, die nach UIC-Merkblättern bzw. Europäischer Norm EN 12663 [76] eingeteilt sind.

Wagen und Lokomotiven	Triebzug-einheiten	U- und S-Bahnfahrzeuge	leichte U- und Stadtbahnfzge	Straßenbahn-fahrzeuge	Güterwagen	Güterwagen (kein Abrollen)
2000 kN	1500 kN	800 kN	400 kN	200 kN	2000 kN	1200 kN

Tab. 15 – Druckfestigkeiten von Schienenfahrzeugen lt. EN 12663 [76]

Für Vollbahnen gelten Festigkeitsanforderungen von 2.000 kN für Lokomotiven, Personen- und Güterwagen und von 1.500 kN für Triebzugeinheiten. [43] [61] [75] [76]

Die Wiener U-Bahnfahrzeuge und die Fahrzeuge der Wiener Lokalbahnen weisen eine Rahmenfestigkeit entsprechend der EN-Kategorie „leichte U- und Stadtbahnfahrzeuge“ von min. 400 kN auf. [37] [76]

Bei den Straßenbahnfahrzeugen ist die Druckfestigkeit mit 200 kN beschränkt. [77]

Beim Mischbetrieb unterschiedlicher Fahrzeugarten auf dem selben Eisenbahnsystem können daher Fahrzeuge mit Längsdruckfestigkeiten von 200 kN bis 2.000 kN aufeinander treffen. Dieser doch erhebliche Unterschied bis zum 10-fachen kann bei Unfällen Sicherheitsprobleme zur Folge haben, da bei einem Zusammenprall von steifen und weniger steifen Fahrzeugen schwere Deformationen der schwächer dimensionierten Fahrzeuge unvermeidlich sind.

Gesetzlich sind in Österreich für den Mischbetrieb keine Einschränkungen bezüglich unterschiedlicher Rahmenfestigkeiten normiert. So verkehren auf dem Netz der Wiener Lokalbahnen Nahverkehrstriebwagen mit 400 kN Längsdruckfestigkeit zusammen mit Güterzügen mit für 2.000 kN Längsdruckfestigkeit ausgelegten Lokomotiven und Wagen ohne betriebliche Einschränkungen. [37] Ebenso hat sich am Straßenbahnnetz der Mischbetrieb von Straßenbahnfahrzeugen mit 200 kN und Lokalbahnfahrzeugen der WLB mit 400 kN langjährig bewährt.

Für die Zulassung von leichten Nahverkehrstriebwagen auf dem Vollbahnnetz kann darüber hinaus auf die deutschen LNT-Richtlinien [24] verwiesen werden, die fahrzeugseitige, fahrwegseitige und betriebliche Voraussetzungen definieren, unter denen ein Einsatz von leichten Nahverkehrstriebwagen (LNT) als gleich sicher angesehen werden kann wie der Einsatz von Regelfahrzeugen. Damit ist ein Stand der Technik definiert, der Ausnahmen gemäß dem deutschen allgemeinen Eisenbahngesetz (AEG) [20] und der Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO) [21] ermöglicht. Mit Bezug auf das deutsche Regelwerk lassen sich damit auch Ausnahmen gemäß EisenbahnG 1957 argumentieren.

Die wesentlichen Voraussetzungen für den Fahrzeugeinsatz gemäß LNT-Richtlinien bestehen fahrzeugseitig aus einer Bremsanlage, die den Anforderungen der BO-Strab [23] entspricht (die nahezu ident mit jenen der StrabVO [17] sind). Fahrzeug- und fahrwegseitig wird das Vorhandensein von Zugbeeinflussungs- und Zugfunkanlagen gefordert. Bei Erfüllung dieser Bedingungen können leichte Nahverkehrstriebwagen mit bis zu 100 km/h auf Strecken mit einer Streckenhöchstgeschwindigkeit von max. 160 km/h eingesetzt werden. [24]

6.3.3.3 Zug- / Stoßeinrichtungen (Kupplungen)

Zur Bildung von Zugverbänden ist das Vorhandensein von passenden Kupplungseinrichtungen Voraussetzung. Neben den mechanischen Anforderungen (Übertragung von Zug- und Druckkräften) müssen die Kupplungen auch pneumatische und elektrische Verbindungen für Brems- und Steuerleitungen herstellen.

6.3.3.3.1 Vorhandene Kupplungssysteme

a) Kupplung Vollbahn

Das bei der Vollbahn vorwiegend verwendete UIC-genormte Kupplungssystem besteht aus seitlichen Puffen (Druckkräfte) sowie einem mittig angeordneten Zughaken mit Schraubkupplung (Zugkräfte). Die übrigen Verbindungen werden über Kabel und Bremsschläuche hergestellt. [26]

Bei modernen Triebwagengarnituren finden vermehrt vollautomatische Mittelpufferkupplungen Anwendung, welche die Übertragung von Zug- und Stoßkräften vereinen. Eingesetzt wird das System Scharfenberg, wobei die Kupplungen 1040 mm über SOK angebracht sind. [61]

Die Mittelpufferkupplungen sind mit den üblichen UIC-Kupplungen nicht kompatibel. Es gibt zwar Übergangskupplungen zwischen beiden Systemen, die im Störfall eine Verbindung zum Abschleppen einer Garnitur erlauben, aber nicht für den Regelbetrieb geeignet sind.

b) Kupplung U-Bahn

Die U-Bahn-Doppeltriebwagen verfügen über eine vollautomatische Scharfenbergkupplung für die mechanische, pneumatische und elektrische Verbindung der Fahrzeuge. Die Kupplung ist 680 mm über SOK angebracht. [35] [60]

c) Kupplung U-Bahn mit Oberleitungsbetrieb

Die Fahrzeuge der U-Bahn mit Oberleitungsbetrieb weisen ebenfalls eine Scharfenbergkupplung auf, die aber im Gegensatz zur U-Bahn mit Stromschiene in einer Höhe von 525 mm über SOK montiert ist. [60] Die Übertragung der Steuerbefehle zwischen den Fahrzeugen erfolgt über Lichtwellenleiter. [55]

d) Kupplung Wiener Lokalbahnen

Die Wiener Lokalbahnen nutzen ebenfalls eine Scharfenbergkupplung. Die Kupplung ist wie bei der U-Bahn mit Oberleitungsbetrieb 525 mm über SOK angebracht. Die Steuerbefehle werden allerdings im Gegensatz zur U-Bahn mit Oberleitungsbetrieb konventionell elektrisch übertragen. [41] [42]

e) Kupplung Straßenbahn

Bei der Wiener Straßenbahn werden einfache Trichterkupplungen verwendet, die 525 mm über SOK angebracht sind. [60] Die Beiwagen sind über eine zusätzliche elektrische Kabelverbindung an die Triebwagen angeschlossen.

Die neueste Fahrzeuggeneration (Typ Ulf A & B) ist nicht mehr für Beiwagenbetrieb vorgesehen. Es sind daher - abgesehen von Notkupplungen für das Abschleppen liegen gebliebener Züge - auch keine Kupplungen vorhanden.

6.3.3.3.2 Kombinationen

Die derzeit vorhandenen Kupplungssysteme können durchwegs nicht miteinander verbunden werden. Ein Kuppeln von Zweisystemfahrzeugen mit anderen Fahrzeugen ist allerdings nicht zwingend erforderlich, solange keine Zugverbände gemeinsam mit Zweisystemfahrzeugen gebildet werden sollen.

Ein Einsatz von Fahrzeugen mit unterschiedlichen Kupplungssystemen am selben Netz ist möglich und wird bei der ÖBB, den WLB sowie auch im Straßenbahnnetz der Wiener Linien angewandt.

6.3.4 Ergänzende Fahrzeugausstattung

Als Folge der Voraussetzungen der jeweiligen Einsatzgebiete sind die Fahrzeuge der verschiedenen Eisenbahnsysteme mit zusätzlichen ergänzenden Ausstattungsmerkmalen versehen.

6.3.4.1 Ausrüstung für den Straßenverkehr

An Fahrzeuge, die am Straßenverkehr teilnehmen (Fahrzeuge straßenabhängiger Bahnen), werden weitaus strengere Anforderungen an das Bremssystem gestellt, als an Bahnen, die auf getrennten Gleistrassen verkehren. Der Grund liegt an der Betriebsweise, wonach der Verkehrsweg nicht signalgesichert ist, sondern auf Sicht gefahren wird. In Verbindung mit der gemeinsamen Nutzung des Gleiskörpers mit anderen Verkehrsteilnehmern ist zur Senkung der Unfallhäufigkeit ein erhöhtes Bremsvermögen vorzusehen.

Die Betriebsbremsen von Fahrzeugen straßenabhängiger Bahnen müssen daher gemäß StrabVO § 36 (5) bei einer Gefahrenbremsung erhöhte Bremsverzögerungen erreichen, wie sie in der StrabVO, Anlage 1, Tabelle 2 festgelegt sind. [17]

Mindestverzögerung bei Gefahrenbremsung		
V [km/h]	Bremsverzögerung a [m/s ²]	Bremsweg s [m]
20	1,71	9
30	2,04	17
40	2,29	27
50	2,47	39
60	2,57	54
70	2,73	69

Tab. 16 – Mindestverzögerung bei Gefahrenbremsung [17]

Außerdem muss bei Fahrzeugen straßenabhängiger Bahnen gemäß StrabVO § 36 (5) eine Betriebsbremse vom Kraftschluss zwischen Rad und Schiene unabhängig sein (Schienenbremse), um auch bei widrigsten Verhältnisse ein sicheres Anhalten zu gewährleisten. [17]

Darüber hinaus müssen Straßenbahnfahrzeuge, die am Straßenverkehr teilnehmen (straßenabhängige Bahnen), gem. StrabVO [17] mit folgenden weiteren Zusatzeinrichtungen ausgerüstet sein:

- Sandstreueinrichtungen, die auf die ersten gebremsten Räder wirken (§ 37)
- Läuteeinrichtung zur Abgabe akustischer Warnsignale (§ 41 (1))
- Fahrtrichtungsanzeiger (§ 41 (2))
- Warnblinkanlage (§ 41(3))
- Scheinwerfer für symmetrisches Abblendlicht (§ 42 (1) Z.3)
- Bremsleuchten und Rückstrahler an der Fahrzeugrückseite (§ 42 (2))
- Bahnräumer, die auch gegen seitliche Hindernisse wirken (§ 43 (2))
- Rückblickspiegel zumindest auf der in Fahrtrichtung rechten Seite (§ 46 (4))

Bei straßenunabhängigen Bahnen (U-Bahnen) bzw. Vollbahnen sind die genannten Einrichtungen nicht vorgeschrieben.

Für einen beabsichtigten Einsatz am Straßenbahnnetz sind Zweisystemfahrzeuge demnach mit den aufgelisteten Einrichtungen auszurüsten.

6.3.4.2 Fahrgastinformation

Gemäß § 48 StrabVO müssen alle Personenfahrzeuge von Straßen- und U-Bahnen über Informationseinrichtungen für Fahrgäste verfügen. [17]

Eine Fahrzielanzeige muss jeweils an der Stirnseite eines Personenzugs und der Einstiegsseite jedes Fahrzeugs angebracht sein. Die der Einstiegsseite gegenüberliegende Fahrzeugseite, sowie die Rückseite des letzten Fahrzeugs jedes Zugs muss beleuchtete Linienbezeichnungen aufweisen.

Bei der Wiener U-Bahn bzw. U-Bahn mit Oberleitungsbetrieb können die angeführten Einrichtungen entfallen, da die Informationen an jeder Haltestelle mittels Bahnsteiganzeigen ersichtlich sind (Ausnahmebestimmung § 48 (5) der StrabVO).

Fahrzeuge, die am Straßenbahnnetz eingesetzt werden sollen, sind darüber hinaus mit Haltewunschtasten auszurüsten, da Haltestellen nur bei Bedarf eingehalten werden. Bei der U-Bahn sind derartige Tasten entbehrlich, da keine Bedarfshalte im U-Bahnnetz vorhanden sind.

Für Vollbahnfahrzeuge, die ja nicht den Vorschriften der StrabVO unterliegen, sind diesbezüglich keine Regelungen festgeschrieben. Fahrgastinformationssysteme und Haltewunschtasten sind bei einigen Fahrzeugtypen, jedoch nicht flächendeckend, vorhanden.

Für den systemübergreifenden Einsatz von Zweisystemfahrzeugen müssen entweder sämtliche bediente Haltestellen mit Bahnsteiganzeigen ausgestattet oder entsprechende Informationseinrichtungen und ggf. Haltewunschtasten in den Fahrzeugen nachgerüstet werden, sofern diese nicht ohnedies bereits vorhanden sind.

6.3.4.3 Entwerter - Fahrscheinautomaten

Bei Vollbahnen ist für den Verkauf und die Kontrolle von Fahrausweisen vereinzelt noch Zugbegleitpersonal vorhanden. Auf geringer frequentierten Nebenstrecken übernimmt manchmal der Triebfahrzeugführer diese Aufgaben, oder es sind Automaten für den Fahrkartenverkauf in den Fahrzeugen montiert. Zusätzlich sind in den meisten Bahnhöfen und Haltestellen Schalter oder Automaten für den Fahrkartenverkauf vorhanden.

Die Fahrzeuge der Wiener Linien und der Wiener Lokalbahnen sowie einzelne Schnellbahnlinien verkehren unbegleitet (schaffnerloser Betrieb). Beim schaffnerlosen Betrieb müssen bei Fahrtantritt Fahrausweise von den Fahrgästen selbstständig erworben bzw. markiert werden können. In den Stationen der Schnellbahn und U-Bahn (inkl. U-Bahn mit Oberleitungsbetrieb) sind dazu Fahrausweisautomaten und Entwerter montiert.

Die Wiener Lokalbahnen haben sowohl die Fahrzeuge (für den Betrieb am Wiener Straßenbahnnetz) als auch die eigenen Haltestellen (Abschnitt Schedifkaplatz – Baden-Josefsplatz) mit Fahrausweisautomaten und Entwertern ausgerüstet.

Die Haltestellen der Straßenbahn wurden aufgrund deren großen Anzahl und der schrittweise erfolgten Umstellung auf Schaffnerlosbetrieb nicht mit Fahrausweisautomaten und Entwertern ausgestattet. Daher sind diese Einrichtungen im Fahrzeuginneren sämtlicher Straßenbahnfahrzeuge angebracht.

Für den systemübergreifenden Einsatz von Zweisystemfahrzeugen müssen entweder sämtliche bediente Haltestellen mit Fahrausweisautomaten und Entwertern ausgerüstet sein oder entsprechend geeignete Geräte in den eingesetzten Fahrzeugen installiert werden.

6.3.4.4 WC-Anlagen

Personenfahrzeuge der Vollbahn sind aufgrund der oft langen Fahrzeiten in der Regel mit zumindest einer WC-Anlage pro Fahrzeuggarnitur ausgestattet. Bei einzelnen Fahrzeugen (z.B. Schmalspurtriebwagen Reihe 5090) wurde in der Vergangenheit jedoch bisweilen auf WC-Anlagen verzichtet.

Bei beiden in Wien vorhandenen U-Bahn-Systemen sind entsprechende Einrichtungen in den Haltestellen vorhanden.

WLB und Straßenbahn verfügen grundsätzlich über keine WC-Anlagen. Lediglich in vereinzelt Haltestellen sind Toiletten vorzufinden.

Für den Einsatz eines Zweisystemfahrzeugs stellt das Vorhandensein einer WC-Anlage keine zwingende Voraussetzung dar. Gegebenenfalls sind vereinzelt Bahnhöfe bzw. Haltestellen mit WC-Anlagen auszustatten, insbesondere Zugsbahnhöfe, an denen das Fahrpersonal Ausgleichs- und Pausenzeiten einzuhalten hat.

6.4 Bahnsteige

Bahnsteige dienen dem Ein- und Aussteigen der Fahrgäste in die Fahrzeuge. Eine weitere Funktion erfüllen Bahnsteige als Aufenthaltsfläche für auf ihre Züge wartende Personen.

Die Bahnsteige müssen so angeordnet sein, dass sie nicht in das Lichtraumprofil hinein ragen, um einen unbeschränkten Verkehr am Bahnsteiggleis zu ermöglichen.

Gleichsam ist dafür Sorge zu tragen, dass wartende Personen am Bahnsteig von durchfahrenden Zügen nicht gefährdet werden können.

Hinsichtlich der Benutzbarkeit sind die Bahnsteige derart auszubilden, dass die Fahrgäste leicht und bequem in das Fahrzeug ein- und aussteigen können. Darüber hinaus ist die barrierefreie Gestaltung neuer Bahnsteiganlagen seit 1. Jänner 2006 gemäß Bundes-Behindertengleichstellungsgesetz (BGStG) [10] vorgeschrieben.

Ein niveaugleicher Ein- und Ausstieg ist für behinderte und mobilitätseingeschränkte Personen besonders wichtig, aber wegen der Verringerung der erforderlichen Fahrgastwechselzeiten auch aus betrieblicher Sicht von Vorteil. Dazu sind möglichst geringe Höhendifferenzen zwischen Fahrzeugfußboden und Bahnsteigoberkante anzustreben.

Ein annähernd niveaugleicher Einstieg kann auf zweierlei Art optimal erreicht werden:

1. *Hochbahnsteige*: werden bei der Wiener U-Bahn eingesetzt
2. *Niederflurfahrzeuge*: werden in Wien bei der U-Bahn mit Oberleitungsbetrieb, den Wiener Lokalbahnen und der Straßenbahn eingesetzt

Als Kompromiss, der vor allem bei der Umrüstung bereits bestehender Verkehrssysteme aus wirtschaftlichen Gründen oft unvermeidlich ist, werden Mittelflurfahrzeuge und mittelhohe Bahnsteige verwendet, wie beispielsweise bei den ÖBB mit dem Einsatz von Doppelstockwagen bzw. den neuen Triebwagengarnituren der Reihen 4023/4024 (Talent) und 5022 (Desiro).

Ein weiteres Kriterium für eine barrierefreie Anlage der Bahnsteigkante ist der waagrechte Spalt zwischen Bahnsteigkante und Trittbrett des Fahrzeugs.

Für Straßenbahnen im Sinne des Eisenbahngesetzes (das sind Straßenbahnen und U-Bahnen) sind in der Straßenbahnverordnung (StrabVO) zusätzliche Anforderungen definiert. Der Bahnsteig soll gemäß § 30 (9) nicht höher liegen als der Fahrzeugfußboden in seiner tiefsten Lage. Weiters ist die zulässige horizontale Spaltbreite in der Türmitte gemäß § 30 (8) mit 0,25 m begrenzt. [17]

Diese Forderungen dienen dazu, um im Gefahrenfall (Evakuierung eines Fahrzeugs) eine Stolpergefahr beim Aussteigen zu verhindern, sowie die Gefahr von Stürzen zwischen Fahrzeug und Bahnsteigkante zu verringern. Beide angeführten Forderungen sind in der Eisenbahnverordnung (EisbVO) [18] nicht enthalten, und gelten daher nur für Straßenbahnen im Sinne des Eisenbahngesetzes. Es erscheint jedoch zweckmäßig, diese Randbedingungen nach Möglichkeit bei sämtlichen Eisenbahnen mit Personenbeförderung einzuhalten.

Für die barrierefreie Benutzbarkeit der Bahnsteige ist gemäß RVS 03.02.12 (Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau) ein stufenloser Einstieg mit Spaltbreiten und Reststufenhöhe von jeweils max. 5 cm anzustreben. [78]

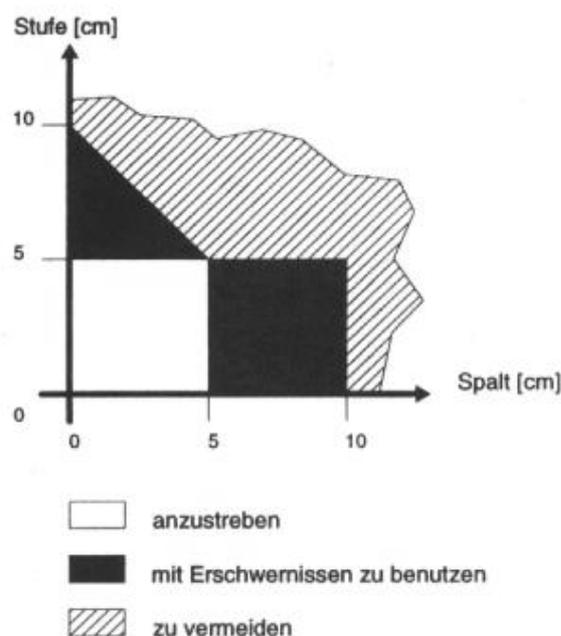


Abb. 33 – Empfohlene Reststufenhöhe und Spaltbreite [78]

Aufgrund der vielfältigen Randbedingungen wie Federwegen, Bauleranzen, Toleranzen betreffend der Abnutzung von Fahrzeug (Radreifenabnutzung) und Fahrweg (Gleislagefehler, Schienenkopfabnutzung), u.a. können die Forderungen der RVS 03.02.12 [78] nach geringen Spaltbreiten und Reststufenhöhen nur in begrenztem Ausmaß erfüllt werden. Bei verschiedenen deutschen Verkehrsunternehmen treten Höhentoleranzen von bis zu 12 cm auf. [79] Eine Verringerung der zulässigen Toleranzen hat eine Erhöhung des Erhaltungsaufwands zur Folge und ist daher nur bedingt umzusetzen.

Dazu kommen größere horizontale Abstände bei Bahnsteigen in Bögen durch die erforderliche Erweiterung des Lichtraumprofils in Bögen sowie den Überhang des Fahrzeugs im Bogen bei Anordnung der Türen zwischen den Drehgestellen (bzw. Fahrwerken).

Die Einhaltung der Grenzwerte der RVS erfordert auch die Festlegung einer einheitlichen Bahnsteighöhe sowie eines einheitlichen Abstands der Bahnsteigkante von der Gleisachse. Aufgrund der historischen Entwicklung der verschiedenen Eisenbahnsysteme sind einheitliche Bahnsteigabmessungen derzeit nur bei den beiden U-Bahnsystemen vorhanden. Bei Vollbahn, Wiener Lokalbahnen und Straßenbahn ist eine weitgehende Vereinheitlichung im Hinblick auf das Behindertengleichstellungsgesetz bis zum Ablauf der darin enthaltenen Übergangsfrist (lt. § 19 (3) BGStG bis zum 31. Dezember 2015 [10]) zu erwarten. Eine vollständige Vereinheitlichung ist aus technischen Gründen (z.B. Bahnsteige in engen oder überhöhten Bögen) nicht umsetzbar.

Bei derzeit in Wien in Betrieb stehenden Fahrzeugen sind Einstiegshöhen von bis zu ca. 90 cm (z.B. Fahrbahnniveau – Fußbodenhöhe Straßenbahntyp E [60], 25 cm-Bahnsteig – Fußbodenhöhe Schnellbahntriebwagen Reihe 4020 [61]) zu überwinden. Dieser Höhenunterschied wird durch mehrere Stufen bewältigt, wobei hier Stufenhöhen bis zu ca. 40 cm vorkommen (z.B. Fahrbahnniveau – unterste Trittstufe Beiwagentyp $c_{2/3}$ [60]). Die Stufenhöhe im Einstiegsbereich beträgt auch bei neueren Straßenbahnfahrzeugen (Typen E_2 & c_5) bis zu ca. 21 cm. [60] Eisenbahnfahrzeuge weisen sogar noch höhere Stufen bis ca. 27,5 cm (Reihe 4020) auf [61].

Barrierefreie Einstiege sind demnach zur Zeit nicht überall vorhanden.

Können die geforderten Grenzwerte gemäß RVS bahnsteigseitig nicht eingehalten werden, sind zusätzliche fahrzeugseitige Maßnahmen (wie z.B. Rollstuhlrampen oder Hublifte) vorzusehen, um barrierefreie Einstiege zu gewährleisten. Dabei müssen nicht zwangsläufig sämtliche Fahrzeugeinstiege barrierefrei ausgestaltet sein. Es muss aber bei zumindest einem Einstieg pro Zugverband an allen Halten ein barrierefreier Zugang gewährleistet sein.

Bei der Kombination der bestehenden Wiener Schienenpersonennahverkehrssysteme sind einheitliche Abmessungen von Bahnsteighöhe und Abstand der Bahnsteigkante zur Gleisachse nur in Ausnahmefällen umzusetzen. Es sind daher auf jeden Fall ergänzende fahrzeugseitige Maßnahmen vorzusehen, um die geforderte Barrierefreiheit zu erzielen.

Dennoch werden auch die Verhältnisse der bestehenden nicht barrierefreien Einstiegssituationen verglichen und als Basis für die mögliche Kombination verschiedener Bahnsteigausbildungen herangezogen. Als betrieblich vertretbare Maße werden der Beurteilung zur möglichen Kombination von Bahnsteigen die im Bestand auftretenden Stufenhöhen und Bahnsteigspalte zugrunde gelegt, auch wenn dadurch für gewisse Nutzergruppen bereits Erschwernisse auftreten und die Barrierefreiheit nicht an allen Einstiegen gegeben ist.

6.4.1 Bahnsteigabmessungen

a) Bahnsteige Vollbahn

Im Vollbahnnetz der ÖBB werden seit einigen Jahren Bahnsteige grundsätzlich in einer Höhe von 55 cm über SOK errichtet.

Der Regelabstand der Bahnsteigkanten zur Gleisachse beträgt in Geraden 1,655 m. Bei den mehrheitlich zum Einbau gelangenden einteiligen (nicht korrigierbaren) Bahnsteigkanten beträgt der Regelabstand 1,665 m. Der Regelabstand wird unter der zulässigen Verkleinerung der Breitenmaße des Lichtraums gem. ZOV 7, Pkt. 9 und 10 ausgeführt, wobei das Gleis festgelegt werden muss. [33] [80]

In Gleisbögen bis zu einem Radius von 500 m ist der Abstand um bis zu 20 mm zu erhöhen. In Bögen mit $R < 500$ m sind Bahnsteige mit 38 cm Höhe zu verwenden.

Im Netz der ÖBB sind noch zahlreiche ältere Bahnsteige mit Bahnsteighöhen von 38 cm, 25 cm oder gar nur 15 cm über SOK vorhanden. Der Regelabstand der niedrigen Bahnsteigkanten beträgt 1,600 m (in Geraden). In Bögen mit $R < 250$ m ist der Abstand gem. ZOV 7 zu erhöhen. [48] [80]

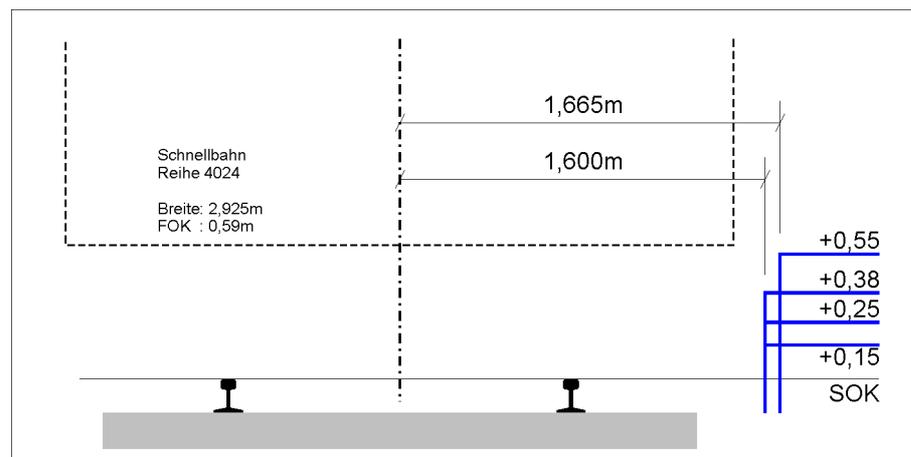


Abb. 34 – Bahnsteigtypen ÖBB

Die Bahnsteiglänge beträgt im höherrangigen Nahverkehr (Schnellbahnverkehr) zumeist min. 150 m (Schnellbahn-Doppelgarnitur). Eine Verlängerung der Bahnsteige auf 210 m ist in Vorbereitung. Auf einigen Strecken mit geringerem Fahrgastaufkommen sind die Bahnsteiglängen auf 70 m (Schnellbahn-Einfachgarnitur) beschränkt. Auf Nebenstrecken können auch noch kürzere Bahnsteige von 60 m oder gar 50 m (Regionaltriebwagen, z.B.: Schweinbarther Kreuz) vorkommen. [53]

Die Bahnsteige können je nach örtlichen Gegebenheiten der betroffenen Bahnhöfe und Haltestellen auf beiden Seiten des befahrenen Gleises liegen.

Da ein Umbau der alten Bahnsteige sehr kostenintensiv, sowie teilweise aufgrund der Anlageverhältnisse überhaupt nur sehr schwierig möglich ist, muss auch längerfristig noch davon ausgegangen werden, dass niedrige Bahnsteige im Netz vorkommen werden. Die gemäß Behindertengleichstellungsgesetz [10] geforderte Barrierefreiheit muss bei diesen Bahnsteigen durch fahrzeugseitige Maßnahmen sichergestellt werden.

b) Bahnsteige U-Bahn

Bei der U-Bahn beträgt die Bahnsteighöhe einheitlich 95 cm über SO. [57]

Die Bahnsteigkante ist 1,500 m von der Gleisachse entfernt.

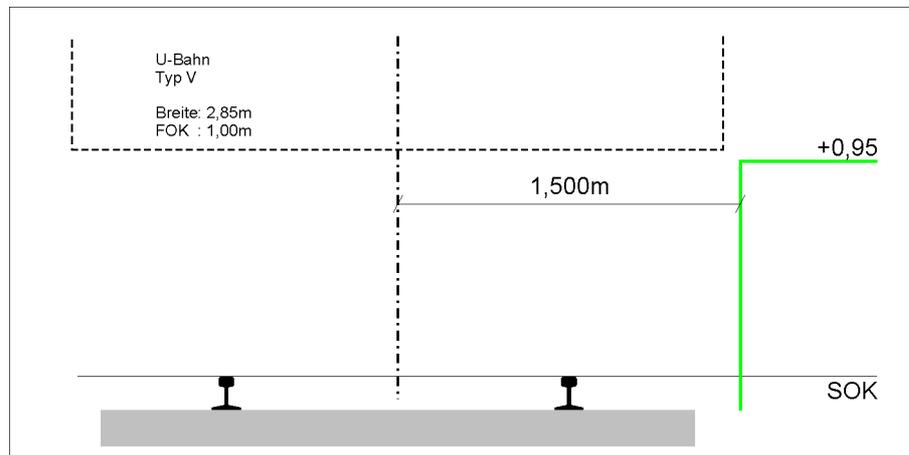


Abb. 35 – Regelbahnsteig U-Bahn

Die Länge der Bahnsteige wird mit ca. 115 m angegeben.

Die Bahnsteige im U-Bahn-Netz sind sowohl als Seitenbahnsteige als auch als Mittelbahnsteige ausgebildet.

c) Bahnsteige U-Bahn mit Oberleitungsbetrieb

Die Bahnsteige liegen bei der U-Bahn mit Oberleitungsbetrieb 32 cm über SO. [50]

Der Abstand der Bahnsteigkante von der Gleisachse ist in der Geraden mit 1,435 m festgeschrieben. In Außenbögen wird der Abstand bei Bogenradien zwischen 100 m und 250 m um bis zu 50 mm vergrößert.

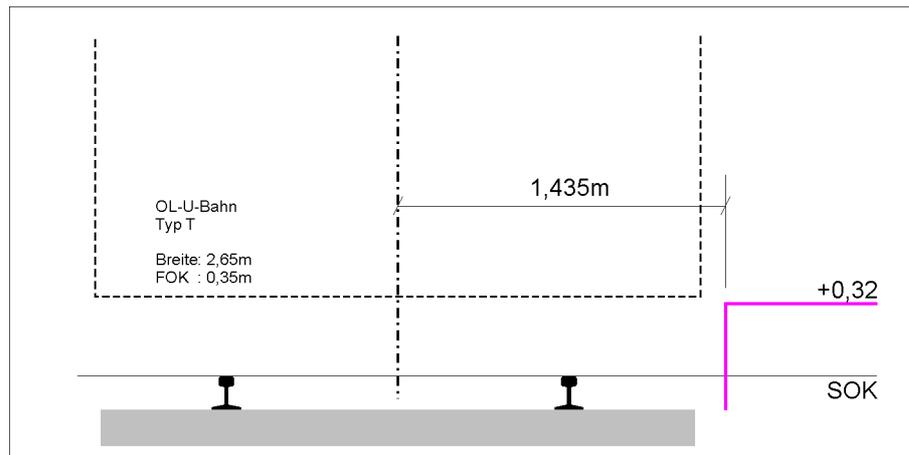


Abb. 36 – Regelbahnsteig U-Bahn mit Oberleitungsbetrieb

Die Bahnsteiglänge beträgt mindestens 115 m.

Es sind sowohl Seitenbahnsteige als auch Mittelbahnsteige im Netz der U-Bahn mit Oberleitungsbetrieb vorhanden.

d) *Bahnsteige Wiener Lokalbahnen*

Die Wiener Lokalbahnen verwenden auf ihrem Streckennetz zwei unterschiedliche Bahnsteigformen. [29]

Bei den meisten Bahnsteigen liegen die Bahnsteigoberkanten 20 cm über SOK in einem Abstand von 1,320 m von der Gleisachse.

Vereinzelt wurden höhere Bahnsteige errichtet. Deren Bahnsteigkanten liegen 30 cm über SOK und 1,400 m von der Gleisachse entfernt. Eine netzweite Umstellung der Bahnsteige auf diese Ausführung ist derzeit nicht aktuell. [37]

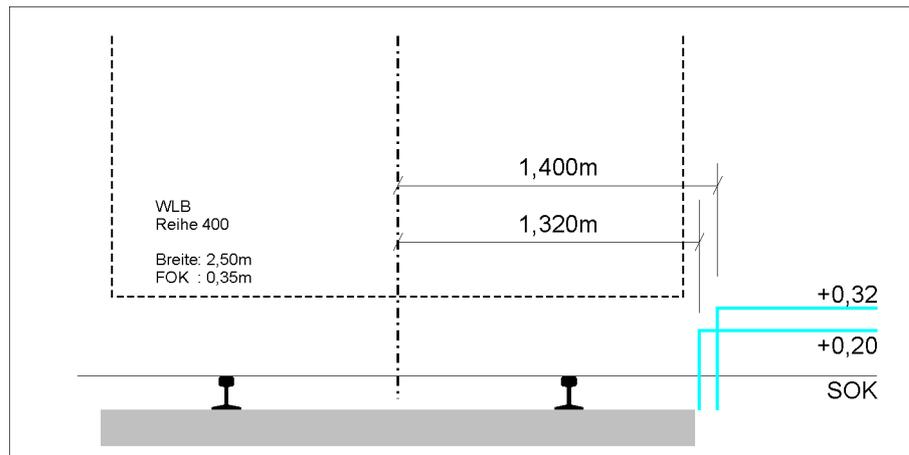


Abb. 37 – Bahnsteigtypen WLB

Die Bahnsteige weisen eine einheitliche Länge von 60 m auf.

Je nach örtlicher Gegebenheit der Haltestellen können die Bahnsteige auf beiden Seiten des Gleises angeordnet sein.

Die Bahnsteigkanten der WLB liegen innerhalb des Lichtraumprofils lt. Tafel 7/2 gemäß ÖBB DV B 51 ZOV 7. [33] [51] Diese Einschränkung ist in der Standard-sicherheitsbescheinigung ausgewiesen. [29]

Im Abschnitt Wien-Oper – Schedifkaplatz werden großteils die Haltestellen der Straßenbahn mitbenutzt. Dazu sind sämtliche im Regelbetrieb bediente Haltestellen als Doppelhaltestellen ausgebildet.

e) Bahnsteige Straßenbahn

Bei der Straßenbahn werden die Bahnsteigoberkanten 15 cm über SOK errichtet. [52]

Der Abstand der Bahnsteigkante von der Gleisachse ist in der Geraden mit 1,300 m festgesetzt.

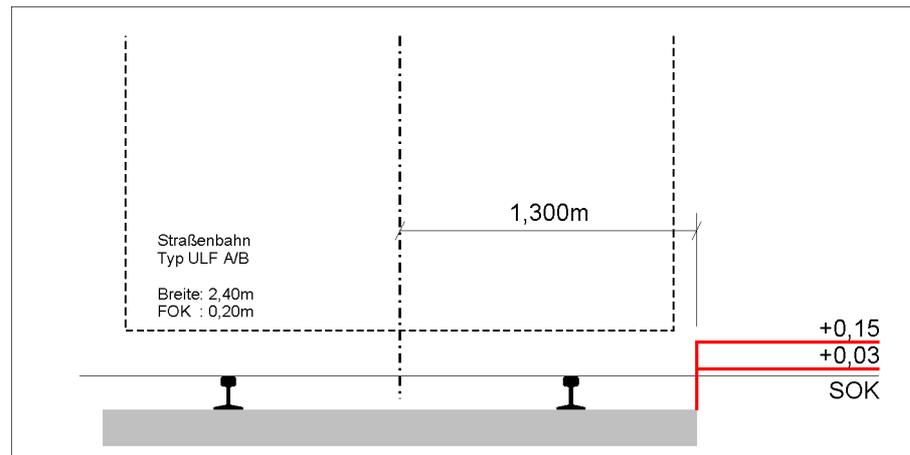


Abb. 38 – Bahnsteigtypen Straßenbahn

Die Bahnsteige von Einfachhaltestellen werden i.d.R. mit einer Länge 37,50 m ausgeführt. Doppelhaltestellen sind 75,00 m lang. Beim ausschließlichen Einsatz kürzerer Fahrzeuge (Solotriebwagen Typ E, Ulf A) sind davon abweichend manche Haltestellen einiger Linien auch mit kürzeren Bahnsteigen ausgestattet, wobei in diesem Fall die Bahnsteiglänge um min. 2,00 m länger als die Fahrzeuglänge ausgeführt ist.

Die Bahnsteige sind ausschließlich auf der rechten Seite (in Fahrtrichtung gesehen) angelegt. Es können daher Einrichtungsfahrzeuge mit nur einseitig angeordneten Türen eingesetzt werden.

Bei Haltestellen in sehr engen Bögen können keine Bahnsteige errichtet werden, da der lt. StrabVO [17] geforderte maximale Abstand zwischen Bahnsteigkante und Trittstufe in Türmitte von 25 cm nicht eingehalten werden kann. Das tritt bei Radien unter 24 m in Innenbögen bzw. 40 m in Außenbögen auf. In diesen Fällen erfolgt der Einstieg, genauso wie bei noch nicht mit Bahnsteigkanten ausgestatteten Haltestellen, direkt von der Fahrbahn (entspricht etwa der SO) bzw. von max. 3 - 5 cm hohen Bahnsteigen. [52]

6.4.2 Einstiegsverhältnisse

Der Vergleich der vorhandenen Bahnsteiganlagen der unterschiedlichen Wiener Schienenpersonennahverkehrssysteme zeigt sehr deutliche Unterschiede hinsichtlich der maßgebenden Bahnsteigabmessungen.

Bahnsteigabmessungen	Vollbahn	U-Bahn	U-Bahn mit Oberleitung	WLB	Straßenbahn
Bahnsteighöhe					
Höhe Regelbahnsteig [m]	0,55	0,95	0,32	0,20	0,15
andere gebräuchliche Bahnsteighöhen [m]	0,38 (0,15) 0,25			0,30	0,03
Abstand Bahnsteigkante - Gleisachse					
Abstand Regelbahnsteig [m]	1,665	1,500	1,435	1,320	1,300
andere Bahnsteige [m]	1,600			1,400	
Bahnsteiglänge					
Länge Regelbahnsteig [m]	150	115	115	60	37,5
min. Bahnsteiglänge [m]	(45) 70				26,5
max. Bahnsteiglänge [m]	>210				75

Tab. 17 – Übersicht Bahnsteigabmessungen

Zur Beurteilung, ob ein barrierefreier Einsatz der aktuellen Fahrzeugtypen an den vorhandenen Bahnsteigen möglich ist, werden die Stufenhöhen und Spaltmaße bei der Kombination der einzelnen Bahnsteigsysteme mit den jeweiligen in Tab. 18 angeführten Fahrzeugtypen ausgewertet. [62] [69] [66] [67] [68]

Niederflurfahrzeuge	Vollbahn	U-Bahn	U-Bahn mit Oberleitung	WLB	Straßenbahn
Fahrzeugtyp	Reihe 4024	Typ V	Typ T	Reihe 400	Typ ULF A/B
Fussbodenhöhe (FOK) [m]	0,59	1,00	0,35	0,35	0,20
Fahrzeugbreite [m]	2,925	2,850	2,650	2,500	2,400
Fahrzeu glänge [m]	Einfachgarnitur ~67	6-Wagen-Zug ~110	4-Wagen-Zug ~108	Einfachgarnitur ~27	Typ ULF B ~35

Tab. 18 – aktuell eingesetzte (Niederflur)fahrzeuge

Hinsichtlich der Bahnsteiglängen können die einzelnen Bahnsteiganlagen ohne Schwierigkeiten kombiniert werden. Der jeweils kürzeste zu bedienende Bahnsteig ist bezüglich der Bahnsteige für die maximale Zuglänge maßgebend.

aktuelle Niederflurfahrzeuge an bestehenden Bahnsteigen			Vollbahn		U-Bahn		U-Bahn mit Oberleitung		WLB		Straßenbahn	
Fahrzeugreihe/-typ			Reihe 4024		Typ V		Typ T		Reihe 400		Typ Ulf A/B	
Fußbodenhöhe / Fahrzeugbreite			590	2.925	1.000	2.850	350	2.650	350	2.500	200	2.400
Bahnsteig	Höhe	Abstand	Einstiegshöhe / Bahnsteigspalt									
			[alle Maße in mm; gerundet]									
Vollbahn	550	1.665	40	203	450	240	-200	340	-200	415	-350	465
	380	1.600	210	138	620	175	-30	275	-30	350	-180	400
	250	1.600	340	138	750	175	100	275	100	350	-50	400
	150	1.600	440	138	850	175	200	275	200	350	50	400
U-Bahn	950	1.500	-360	38	50	75	-600	175	-600	250	-750	300
U-Bahn mit Oberleitung	320	1.435	270	-28	680	10	30	110	30	185	-120	235
WLB	300	1.400	290	-63	700	-25	50	75	50	150	-100	200
	200	1.320	390	-143	800	-105	150	-5	150	70	0	120
Straßenbahn	150	1.300	440	-163	850	-125	200	-25	200	50	50	100
	0	-	590	-	1.000	-	350	-	350	-	200	-

derzeit im Betrieb vorkommende Fahrzeug/Bahnsteigkombinationen sind **fett und kursiv** dargestellt

Tab. 19 – Einstiegshöhe / Bahnsteigspalt

Die Auswertung der auftretenden Einstiegshöhen bzw. Spaltmaße beim Einsatz der aktuellen Niederflurfahrzeuge zeigt, dass die gemäß RVS 03.02.12 [78] für die Barrierefreiheit empfohlenen Werte von max. je 5 cm sogar innerhalb der einzelnen Eisenbahnsysteme nicht eingehalten werden. Selbst die laut RVS nur mit Erschwernissen zu benutzenden Reststufenhöhen bzw. Spaltbreiten von jeweils max. 10 cm sind nur innerhalb der beiden U-Bahn-Systeme bzw. bei mit Bahnsteigen ausgestatteten Straßenbahnhaltestellen gegeben.

Einstiegsverhältnisse, bei denen sich negative Einstiegshöhen ergeben, wo also der Fahrzeugfußboden unter der Bahnsteigoberkante liegt, sind im Bereich von Straßenbahnen (lt. Eisenbahngesetz, also inkl. U-Bahnen) zu vermeiden, da diese gemäß § 30 (9) bzw. § 34 (4) StrabVO nicht zulässig sind. [4] [17] Beim Betrieb als Vollbahn sind Fußbodenhöhen unterhalb der Bahnsteigoberkante gemäß aktueller Rechtslage einsetzbar

Negative Werte für den Bahnsteigspalt treten auf, wenn das Fahrzeug die Bahnsteigkante überragt. Dieser Fall ist betrieblich ungünstig, da das zur Gefährdung wartender Personen führen kann. Zudem bedingt eine derartige Kombination eine Einschränkung des einsetzbaren Fahrzeugprofils.

		Fahrzeug				
		Vollbahn	U-Bahn	U-Bahn mit OL	WLB	Straßenbahn
		Reihe 4024	Typ V	Typ T	Reihe 400	Typ ULF A/B
Bahnsteig	Vollbahn					
		barrierefrei mit Maßnahmen	Maßnahmen erforderlich	Maßnahmen erforderlich	Maßnahmen erforderlich	Maßnahmen erforderlich
	unzulässig (FOK<BOK)	weitgehend barrierefrei	unzulässig (FOK<BOK)	unzulässig (FOK<BOK)	unzulässig (FOK<BOK)	
	U-Bahn mit OL					
		ragt über BK BF mit Maßnahmen	Maßnahmen erforderlich	weitgehend barrierefrei	barrierefrei mit Maßnahmen	unzulässig (FOK<BOK)
	ragt über BK Maßnahmen erf.	ragt über BK Maßnahmen erf.	ragt über BK BF mit Maßnahmen	barrierefrei mit Maßnahmen	barrierefrei mit Maßnahmen	
	WLB					
		ragt über BK Maßnahmen erf.	ragt über BK Maßnahmen erf.	ragt über BK BF mit Maßnahmen	barrierefrei mit Maßnahmen	barrierefrei mit Maßnahmen
	ragt über BK Maßnahmen erf.	ragt über BK Maßnahmen erf.	ragt über BK BF mit Maßnahmen	barrierefrei mit Maßnahmen	barrierefrei mit Maßnahmen	
	Straßenbahn					
		ragt über BK Maßnahmen erf.	ragt über BK Maßnahmen erf.	ragt über BK BF mit Maßnahmen	barrierefrei mit Maßnahmen	barrierefrei mit Maßnahmen
ragt über BK Maßnahmen erf.	ragt über BK Maßnahmen erf.	ragt über BK BF mit Maßnahmen	barrierefrei mit Maßnahmen	barrierefrei mit Maßnahmen		

Abkürzungen: BK Bahnsteigkante BF barrierefrei FOK Fahrzeugfußbodenoberkante BOK Bahnsteigoberkante

Abb. 39 – Einsatz vorhandener Niederflurfahrzeuge an bestehenden Bahnsteigen

Die Verwendung bestehender Fahrzeugtypen an „fremden“ Bahnsteigen ist aufgrund der sehr stark differierenden Spezifikationen der Bahnsteiganlagen der verschiedenen Eisenbahnsysteme ist nur in wenigen Einzelfällen und unter Einschränkungen möglich.

Die angestrebten idealen Einstiegsverhältnisse (vgl. RVS 03.02.12 [78]) sind bei den vorhandenen Unterschieden der Bahnsteigkonstruktionen nicht zu erzielen. Hier

können nur so weit wie möglich Annäherungen an die gewünschten minimalen Stufenhöhen und Spaltbreiten angestrebt werden.

Die geforderte Barrierefreiheit kann in sämtlichen Kombinationsfällen nur durch ergänzende Maßnahmen erzielt werden. Sie muss an jeder bedienten Haltestelle für mindestens einen Einstieg je Zugverband gewährleistet sein. An den übrigen Einstiegen dürfen größere Spaltenbreiten und Stufenhöhen zugelassen werden. Als vertretbares Maß können die derzeit im Betrieb vorkommenden maximalen Werte von ca. 20 cm Spaltbreite und ca. 35 cm Stufenhöhe angesetzt werden. Können auch diese Werte nicht eingehalten werden, sind für alle Einstiege ergänzende Maßnahmen zur Verbesserung der Einstiegsverhältnisse vorzusehen.

Um die Bahnsteigproblematik beim Einsatz von Zweisystemfahrzeugen zu bewältigen, gibt es prinzipiell folgende zwei Lösungsansätze:

1. fahrzeugseitige Maßnahmen (z.B. bewegliche Trittstufen, Rampen)
2. bahnsteigseitige Maßnahmen (z.B. Profilbahnsteige)

Zumeist ist eine Kombination von sowohl fahrzeugseitigen, als auch bahnsteigseitigen Maßnahmen zielführend.

6.4.2.1 Fahrzeugseitige Maßnahmen

Da Zweisystemfahrzeuge ohnehin neu angeschafft werden müssen, ist bei deren Konstruktion die Berücksichtigung der Anforderungen an die vorhandenen Bahnsteigabmessungen durch die Ausstattung der Fahrzeuge mit beweglichen Trittstufen, Rampen, oder ähnlichen Einrichtungen, mit verhältnismäßig geringem Aufwand möglich. Beispielhaft sollen einige fahrzeugseitige Maßnahmen angeführt werden, die bereits erfolgreich und langjährig bei zahlreichen Betrieben im Einsatz sind:

- Ausfahrbare Trittstufen
- Bewegliche Rampen
- Klapptrittstufen
- Hebevorrichtungen – Hublifte (fahrzeuggebunden)

Der Einsatz von zusätzlichen Maßnahmen wie z.B. beweglichen Trittstufen oder Rampen ist jedoch immer mit betrieblichen Nachteilen wie erhöhten Kosten und Störungsanfälligkeit, sowie um den Zeitbedarf des Aus- und Einfahrens der Stufen bzw. Rampen verlängerte Haltestellenaufenthalte verbunden.

6.4.2.1.1 *Ausfahrbare Trittstufen*

Bei geringen Stufenhöhen aber zu großen Spaltbreiten zwischen Bahnsteig und Fahrzeug können ausfahrbare Trittstufen verwendet werden, die über eine passende Kinematik als Schiebetritte (z.B. Reihe 5022 [63]), Schwenktritte (z.B. Karlsruhe [72]) oder Klapptritte (z.B. Typ V [69], Saarbahn [73]) bewegt werden.

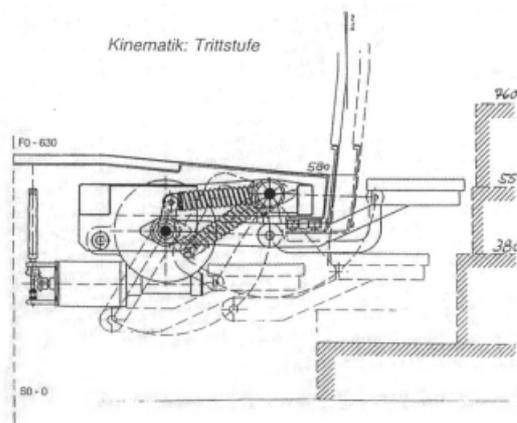


Abb. 40 – Kinematik IBEG-Trittstufe, Verkehrsbetriebe Karlsruhe [72]

Die Schiebetritte können so ausgebildet werden, dass sie unmittelbar an die Bahnsteigkante heran reichen, so dass nahezu kein Spalt verbleibt. Damit können mit Stufenhöhen bis zu 5 cm „günstige“, mit verbleibenden Reststufenhöhen von max. 10 cm zumindest „mit Erschwernissen zu benutzende“ barrierefreie Einstiegsverhältnisse lt. RVS erzielt werden. [78]

Schwenktritte werden auch bei den Wiener Straßenbahnfahrzeugen E_2 und c_5 eingesetzt, wodurch die Stufenhöhen gegenüber den Vorgängertypen verringert werden konnten. [70] Im erweiterten Sinn entsprechen auch die seit der Ertüchtigung der U-Bahn mit Oberleitung (Linie U6) für den Einsatz der 2,65 m breiten T-Garnituren an den Stadtbahnwagen E_6 und c_6 angebrachten Trittbretter ausfahrbaren Trittbrettern. Wegen des ausschließlichen Einsatzes auf der für 2,65 m breite Fahrzeuge adaptierten U6-Strecke konnten die Trittstufen in diesem Fall aber fix

montiert werden. Aufgrund der verbleibenden Einstiegsstufen ist in beiden angeführten Fällen allerdings keine Barrierefreiheit gegeben.

6.4.2.1.2 Bewegliche Rampen

Einen weiteren Entwicklungsschritt neben ausfahrbaren Trittstufen stellen bewegliche Rampen dar. Diese erlauben neben der Überbrückung des Bahnsteigspalts auch die Überwindung von Einstiegsstufen. Der Einsatz von Rampen wird jedoch aufgrund des erforderlichen Aufwands meist auf einen Einstieg pro Fahrzeug oder Zug beschränkt. Die übrigen Einstiege sind in diesem Fall nicht barrierefrei zugänglich.

Rampen sind derzeit als elektrisch bediente Ausfahrrampen (Typ Ulf A/B), händisch ausklappbare Rampen (Typ Ulf A/B), oder als manuell zu bedienende Auflegerampen (Reihe 4024, „Talent“) im Einsatz.

Elektrisch bediente Rampen haben sich im Alltagsbetrieb als ziemlich störungsanfällig erwiesen. [79] Händisch zu bedienende Rampen sind zuverlässiger, bedingen jedoch entweder zusätzliches Begleitpersonal im Fahrzeug, oder signifikant verlängerte Haltestellenaufenthalte, wenn der Triebfahrzeugführer zusätzlich die Rampe bedienen muss.

Aufgrund von Einschränkungen der einsetzbaren Rampenlänge (vorhandene Bahnsteigbreiten bzw. Manipulationsfreundlichkeit der Rampen) und der zulässigen Rampenneigung (max. 10% lt. Ö-Norm B 1600, Teil 1 [81]) ist die maximal überwindbare Einstiegshöhe begrenzt. Eine Stufenhöhe von mehr als ca. 10 - 20 cm ist nur mit überproportional großem Aufwand zu bewältigen.

6.4.2.1.3 Klaptrittstufen

Bei größeren Höhenunterschieden zwischen Fahrzeugfußboden und unterschiedlich hohen Bahnsteigoberkanten werden bei bestehenden Betrieben oftmals Klaptrittstufen im Fahrzeuginneren eingesetzt. Der Fahrzeugfußboden unterhalb der Einstiegstüren wird derart beweglich ausgebildet, dass er bei Hochbahnsteigen eben oder bei Niedrigbahnsteigen stufenförmig eingesetzt werden kann. Der bewegliche Teil des Bodens ist freizuhalten und wird deswegen üblicherweise mittels Trittkontakten überwacht. [82]

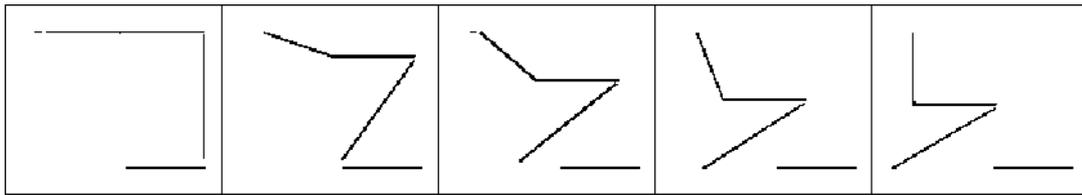


Abb. 41 – Funktionsprinzip Klaptrittstufen (üstra TW 6000 [82])

Eingesetzt werden innenliegende Klaptrittstufen z.B. in Hannover [82] [83] oder Stuttgart [84] [85].

Eine behindertengerechte Ausbildung der Einstiege ist damit jedoch nicht gegeben. Diese kann nur durch zusätzliche Hebevorrichtungen (Hublifte) gewährleistet werden.

6.4.2.1.4 Hebevorrichtungen – Hublifte (fahrzeuggebunden)

Für die Überwindung von Stufenhöhen größeren Ausmaßes, die mit Rampen nicht mehr bewältigt werden können (über ca. 20 cm), sind für die barrierefreie Gestaltung der Einstiege zusätzliche Hebevorrichtungen erforderlich, die z.B. als fahrzeugseitige Hublifte vorgesehen werden können. [86]

Wie im Falle von Rampen sind Hebevorrichtungen oder Hublifte meist nur bei einem Einstieg pro Fahrzeugseite und Zugverband vorhanden.

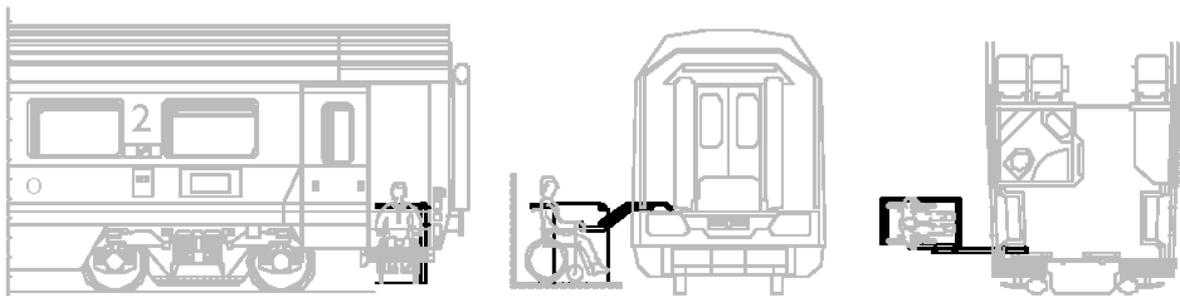


Abb. 42 – Hublift [86]

Anders als bei Rampen tritt bei Hubliften allerdings das Problem auf, dass der Einstieg während des Einsatzes des Hublifts für andere Fahrgäste nicht benutzbar bleibt. Dadurch und vor allem aufgrund der notwendigen Manipulationszeiten für die Hublifte ergeben sich verlängerte Haltestellenaufenthalte.

Die unterschiedlich langen Fahrgastwechselzeiten (mit bzw. ohne Einsatz des Hublifts an einer Haltestelle) können sich speziell im innerstädtischen Verkehr mit dichten Zugfolgen betrieblich ungünstig auswirken (Verspätungen, ungleichmäßige Zugfolgen).

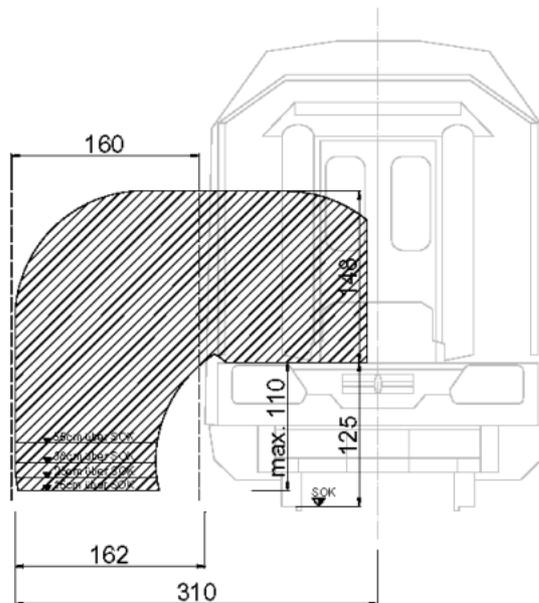


Abb. 43 – Schwenkbereich Hublift [86]

Als großer Vorteil fahrzeuggebundener Hublifte ist deren großer Schwenkbereich anzusehen, der einen freizügigen Einsatz an nahezu allen Bahnsteighöhen zulässt und gleichzeitig die auftretenden Spaltbreiten abdecken kann.

6.4.2.2 Bahnsteigseitige Maßnahmen

Als Alternative oder Ergänzung zu fahrzeugseitigen Maßnahmen können bahnsteigseitige Maßnahmen gesetzt werden, um beim Einsatz von Zweisystemfahrzeugen barrierefreie Einstiegsverhältnisse zu schaffen.

Eine grundsätzliche Änderung der maßgebenden Abmessungen bzw. Lage der Bahnsteigkanten hat jedoch Auswirkungen auf die Einstiegskonfigurationen beim Einsatz herkömmlicher Fahrzeuge. Als Folge ergeben sich Einschränkungen oder sogar Inkompatibilitäten für den freizügigen Fahrzeugeinsatz des Ausgangssystems, womit derartige Maßnahmen nur in einem sehr begrenzten Einsatzbereich zielführend sein können.

Ihren zweckmäßigen Einsatzbereich finden bahnsteigseitige Maßnahmen dort, wo vorhandene Bahnsteigsysteme ergänzt werden können, oder vollständig ersetzt werden sollen. Ein Ersatz der Bahnsteigsysteme ist dann sinnvoll, wenn auf einem Streckenabschnitt die Bedienung der Haltestellen komplett auf Zweisystemfahrzeuge umgestellt werden soll. Durchfahrende Züge ohne Verkehrshalt bzw. Güterzüge sollen diesen Streckenabschnitt aber weiterhin benutzen können. Der ideale Anwendungsbereich liegt daher bei der Nutzung von Vollbahnstrecken für den Zweisystembetrieb.

Sowohl bei der Ergänzung, als auch beim Ersatz der Bahnsteige für den Zweisystembetrieb ist darauf zu achten, dass die künftigen Bahnsteige nicht in das Lichtraumprofil reichen, sofern keine Einschränkungen für den Betrieb der Strecke in Kauf genommen werden wollen.

Bei mehreren Betrieben wurden bereits folgende Maßnahmen zur Anpassung vorhandener Bahnsteige an neue Fahrzeugkonzepte in die Praxis umgesetzt:

- Hebevorrichtungen – Hublifte (bahnsteiggebunden)
- Niedrigbahnsteige (außerhalb des gemeinsamen Lichtraums)
- Vorbaubahnsteige
- Bahnsteige mit Gleisverschlingung
- Profilbahnsteige
- Separierte Bahnsteige

Aufgrund der Anforderungen des Lichtraumprofils sind bei manchen bahnsteigseitigen Maßnahmen dennoch zusätzliche fahrzeugseitige Maßnahmen (z.B. Schiebetritte) für die Herstellung barrierefreier Einstiegsverhältnisse erforderlich.

6.4.2.2.1 Hebevorrichtungen – Hublifte (bahnsteiggebunden)

Analog zu fahrzeuggebundenen Hebevorrichtungen ist zur Überwindung größerer Stufenhöhen auch der Einsatz bahnsteiggebundener Hublifte ein erprobtes Mittel zur Herstellung barrierefreier Einstiegsverhältnisse.

Eingesetzt werden Bahnsteighebelifte bei den ÖBB an größeren Bahnhöfen, um Rollstuhlfahrer in Reisezugwagen zu verladen. [87]



Abb. 44 – Bahnsteig-Hebelift [87]

Wesentlicher Nachteil der Bahnsteig-Hebelifte ist, dass diese Vorrichtungen am Bahnsteig zum richtigen Einstieg gebracht werden müssen, oder aber - im Falle ortsfester Anlagen - die Zugreihung und Lage des barrierefreien Einstiegs exakt eingehalten werden müssen. Dazu sind Einschränkungen beim Einsatz von Doppelgarnituren bzw. bei der Ausrichtung von Zweirichtungsfahrzeugen zu beachten.

Zur Bereitstellung der Hebelifte ist eigenes Bedienpersonal vorzusehen, womit der Einsatz an kleinen Unterwegshaltestellen nahezu ausgeschlossen werden kann.

Wie bei fahrzeugbezogenen Hubliften ist der Einstieg während des Einsatzes des Hublifts für andere Fahrgäste nicht benutzbar.

Analog den fahrzeugbezogenen Hubliften haben die notwendigen Manipulationszeiten für die Hebelifte verlängerte Haltestellenaufenthalte zur Folge, die sich speziell im innerstädtischen Verkehr mit dichten Zugfolgen betrieblich ungünstig auswirken können (Verspätungen, ungleichmäßige Zugfolgen).

6.4.2.2 Niedrigbahnsteige (außerhalb des gemeinsamen Lichtraums)

Bei einem Einsatz von Niederflurfahrzeugen auf Vollbahnstrecken bietet sich die Errichtung spezieller Niedrigbahnsteige an.

Wenn die Höhe der Bahnsteigoberkante geringer ausgeführt wird, kann als Folge der speziellen Ausbildung des Lichtraumprofils der Vollbahn im unteren Randbereich [33] die Bahnsteigkante näher an das Gleis gerückt werden als bei herkömmlichen Bahnsteigen, ohne in den Lichtraum der Vollbahn zu ragen. Entweder die Bahnsteighöhe oder der Abstand der Bahnsteigkante von der Gleisachse werden dabei gemäß den Maßen der Regelbahnsteige der U-Bahn mit Oberleitungsbetrieb, WLB bzw. Straßenbahn ausgeführt. Der minimal zulässige Abstand der Bahnsteigkante bzw. die maximal möglichen Bahnsteighöhen, die sich aus den Anforderungen des Lichtraumprofils der Vollbahn [33] ergeben, sind in Tab. 20 angeführt.

Niedrigbahnsteige	U-Bahn mit Oberleitung		WLB		Straßenbahn	
	Regelhöhe	Regelabstand	Regelhöhe	Regelabstand	Regelhöhe	Regelabstand
Bahnsteig						
Abstand Bahnsteigkante [m]	1,540	1,435	1,520	1,400	1,370	1,300
Bahnsteighöhe [m]	0,320	0,215	0,300	0,180	0,150	0,080
Fahrzeug	Typ T		Reihe 400		Typ ULF A/B	
Einstiegsspalt [m]	0,215	0,110	0,270	0,150	0,170	0,100
Einstiegsstufe [m]	0,030	0,135	0,050	0,170	0,050	0,120

Tab. 20 – Einsatzbereich Niedrigbahnsteige

Damit lassen sich für U-Bahn mit Oberleitungsbetrieb, WLB und Straßenbahn Einstiegsverhältnisse erzielen, die in Verbindung mit Schiebetritten bzw. fahrzeugbezogenen Rampen eine barrierefreie Benutzung zulassen.

Für die Hochflurfahrzeuge der U-Bahn sind Niedrigbahnsteige wegen der verbleibenden Reststufenhöhe kein sinnvoller Lösungsansatz. Auch beim Halt von Vollbahnfahrzeugen an Niedrigbahnsteigen ergeben sich hohe Reststufen, die keine Barrierefreiheit erlauben.

Der ideale Einsatzbereich für die beschriebenen Niedrigbahnsteige findet sich dort, wo Vollbahnstrecken durch Stadt- und Straßenbahnen genutzt werden, wobei die jeweiligen Haltestellenanlagen jedoch ausschließlich von der Stadt- bzw. Straßen-

bahn bedient werden sollen, Vollbahnzüge hingegen an diesen Haltestellen durchfahren.



Abb. 45 – Bahnsteig Chemnitz [88]

Ein entsprechendes Konzept wurde bei der Chemnitzer Citybahn (Chemnitz – Stollberg) mit 20 cm hohen Bahnsteigen in 1,430 m Abstand von der Gleisachse umgesetzt. [88]

Da die Bahnsteigkante von durchfahrenden Vollbahnzügen überragt wird, sind ergänzende Maßnahmen (Lautsprecherdurchsagen, Geschwindigkeitsbegrenzungen, Hinweistafeln) vorzusehen, um zu nahe an der Bahnsteigkante wartende Fahrgäste vor herannahenden Zügen zu warnen.

6.4.2.2.3 Vorbaubahnsteige

Ein ähnliches Ergebnis wie bei Niedrigbahnsteigen wird durch die Anordnung von Vorbaubahnsteigen erzielt, wie sie z.B. auf der Straßenbahnlinie Kassel – Baunatal eingesetzt werden. [43] [89]

Hier werden die Bahnsteige der Straßenbahn in Normhöhe ausgeführt, aber so weit von der Gleisachse abgerückt, dass sie außerhalb des Lichtraums einer sonst nur im Güterverkehr betriebenen Eisenbahnstrecke liegen. Der Spalt zu den Einstiegen der Straßenbahnfahrzeuge wird durch podestartige Vorbauten jeweils im Bereich der Einstiegstüren verringert. Die Vorbauten sind wiederum so niedrig ausgebildet, dass sie unterhalb der Begrenzung des Lichtraums der Vollbahn liegen. Damit können mit Hilfe von fahrzeuggebundenen Schiebetritten vollständig barrierefreie Einstiegs-

verhältnisse geschaffen werden. Durch die Vorbauten können Einstiege ohne Schiebetritte aber zumindest für nicht in ihrer Mobilität eingeschränkte Fahrgäste benutzt werden.



Abb. 46 – Vorbaubahnsteig Kassel [89]

Durch die örtliche Begrenzung der Vorbauten und deren abgesetzte Oberflächen-gestaltung soll gewährleistet werden, dass die Vorbauten nur beim Einfahren von Straßenbahnzügen betreten werden und dadurch eine Gefährdung von wartenden Fahrgästen bei der Durchfahrt von großprofiligen Güterzügen vermieden wird.

6.4.2.2.4 Bahnsteige mit Gleisverschlingung

Der gemeinsame Einsatz von unterschiedlich breiten Fahrzeugen am selben Gleis bedingt einen für das breitere Lichtraumprofil dimensionierten Abstand der Bahnsteigkante von der Gleisachse. Um dennoch Fahrzeuge mit schmalerem Umgrenzungsprofil an den Bahnsteigen einsetzen zu können, ist das örtlich begrenzte seitliche Verschwenken des Gleises zur Bahnsteigkante hin eine bereits bewährte Lösung.

Im Bereich des Bahnsteigs wird dazu ein Vierschienengleis errichtet, wobei die Achse des zusätzlichen Schienenpaars parallel und so weit vom Stammgleis abgerückt verläuft, dass die schmälere Fahrzeuge mit optimalem Spalt am Bahnsteig halten können. Die Bahnsteighöhe ist nicht begrenzt, und kann hinsichtlich der eingesetzten Fahrzeugbauart optimiert werden. Vor und nach dem Bahnsteig sind für die Anbindung der Gleisverschlingung je eine spezielle Weichenkonstruktion erforderlich, die jedoch ohne Herzstück auskommt. Zugleich müssen zusätzliche Sicherungseinrichtungen eingerichtet werden, die verhindern, dass ein großprofiliges Fahrzeug

auf das zum Bahnsteig hin verschwenkte Gleis gelangt. Außerdem ist die geeignete Lage der Fahrleitung über dem Vierschienengleisabschnitt zu berücksichtigen und ggf. eine Sonderkonstruktion (doppelter Fahrdraht) anzuordnen.



Abb. 47 – Bahnsteig mit Gleisverschlingung (Baunatal-Stadtmitte) [89]

Derartige Bahnsteigausbildungen werden z.B. in Kassel bei der Baunatalbahn [43] [89] und der Lossetalbahn [43] angewendet, wo sonst nur im Güterverkehr betriebene Eisenbahnstrecken im Wechsel mit Straßenbahnfahrzeugen befahren werden.

Ein wesentlicher Vorteil dieser Bahnsteigform liegt darin, die Bahnsteige zumindest für den Einsatz von Stadtbahnfahrzeugen hinsichtlich der behindertengerechten Ausgestaltung optimieren zu können, zusätzlich aber auch eine (eingeschränkte) Bedienung für Vollbahnfahrzeuge zu erlauben.

6.4.2.2.5 Profilbahnsteige

Um auch für ein Betriebskonzept, das den Einsatz von Fahrzeugen mit unterschiedlichen Einstiegshöhen vorsieht, optimale Einstiegsverhältnisse für mobilitätseingeschränkte Fahrgäste sicherstellen zu können, ist es zumeist unabdingbar, jeweils eigene Bahnsteige für jedes Fahrzeugkonzept zu errichten. Bei Profilbahnsteigen werden Bahnsteige mit unterschiedlichen Bahnsteighöhen unmittelbar hintereinander angeordnet. Voraussetzung dafür ist, dass beide Bahnsteige außerhalb des gemeinsamen Lichtraumprofils liegen.

Die Fahrzeuge halten an dem für ihre jeweilige Einstiegshöhe geeigneten Bahnsteigabschnitt. Verbleibende Bahnsteigspalte müssen mit zusätzlichen Schiebetritten überbrückt werden.

Zur Anwendung gelangen derartige Bahnsteige z.B. in Stuttgart⁵ [85]. Hier ist zum Teil auch eine Abwandlung des Profilbahnsteigs vorzufinden, wo am selben Gleis ein Mittelbahnsteig für Hochflurfahrzeuge mit einem Seitenbahnsteig für Niederflureinstiege kombiniert wird.

Aufgrund des vermehrten Platzbedarfs sind Profilbahnsteige speziell für Haltestellen in Hoch- oder Tunnellagen weniger geeignet und insbesondere für die Nachrüstung von Mittelbahnsteigen problematisch. Nachteile sind neben dem erhöhten Platzbedarf und den zusätzlichen Kosten für den verlängerten Bahnsteig vor allem in betrieblicher Hinsicht gegeben, da erhöhte Aufmerksamkeit auf die Fahrgastinformation zu legen ist, damit den Fahrgästen rechtzeitig angezeigt wird, an welchem Bahnsteigabschnitt der nächste Zug hält.

6.4.2.2.6 Separierte Bahnsteige

Die aufwändigste Lösung, die auch den größten Platzbedarf aufweist, ist eine vollständige Trennung der Bahnsteiganlagen für die zu kombinierenden Eisenbahnsysteme. Es werden für jede im Zweisystembetrieb bediente Zugangsstelle eigene Bahnsteiggleise für jedes System angeordnet.

Der Vorteil der getrennten Bahnsteige zeigt sich jedoch in der Möglichkeit, für beide betroffenen System die Regelbahnsteigabmessungen und damit weitgehend barrierefreie Einstiege anbieten zu können. Nachteilig sind neben dem Flächenverbrauch der Bedarf an aufwändigen Weichen- und Sicherungsanlagen sowie Fahrgastinformationssystemen, sodass getrennte Bahnsteige nur in seltenen Fällen und bei größeren Anlagen zur Ausführung gelangen.

⁵ Im Regelbetrieb bis zur vollständigen Umstellung des schmalspurigen Straßenbahnnetzes auf normalspurigen Stadtbahnbetrieb Ende 2007, seither im Museumsbetrieb.

6.4.3 Bahnsteigkombinationen

Für den Einsatz von Zweisystemfahrzeugen besteht eine wesentliche Voraussetzung darin, Haltestellen mit unterschiedlichen Bahnsteigkonfigurationen mit ein und dem selben Fahrzeug bedienen zu können. Da für einen etwaigen Einsatz in Wien Zweisystemfahrzeuge ohnedies neu zu beschaffen sind, können die Anforderungen hinsichtlich der vorhandenen Bahnsteigkonfigurationen bei den maßgebenden Abmessungen künftiger Zweisystemfahrzeuge berücksichtigt werden.

In der nachfolgenden Aufstellung werden daher einerseits Vorschläge für die maßgebenden Abmessungen neu zu entwickelnder Zweisystemfahrzeuge angeführt, und andererseits zusätzliche Maßnahmen aufgelistet, die für den Einsatz dieser Fahrzeuge an Bahnsteigen von jeweils zwei verschiedenartigen Eisenbahnsystemen erforderlich sind.

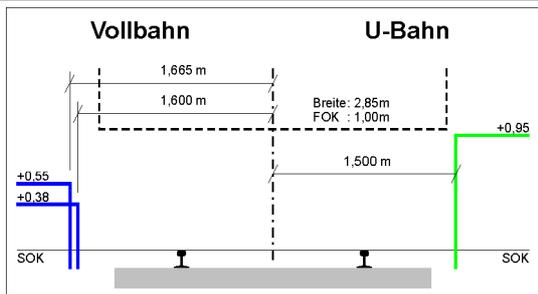
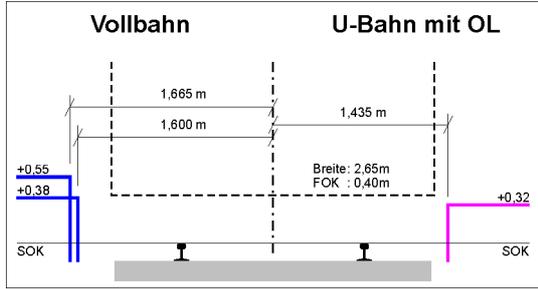
Eine Kombination von mehr als zwei Bahnsteigsystemen wäre grundsätzlich denkbar, ist naturgemäß jedoch komplexer, und soll hier nicht untersucht werden.

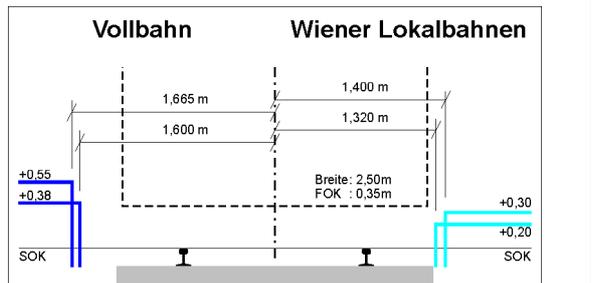
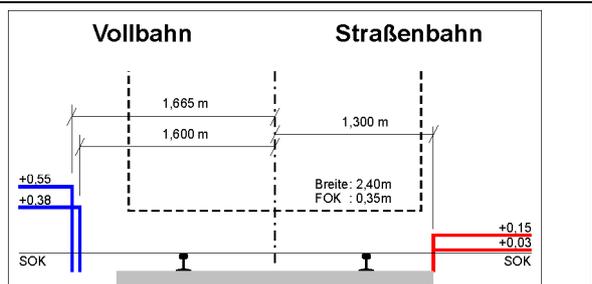
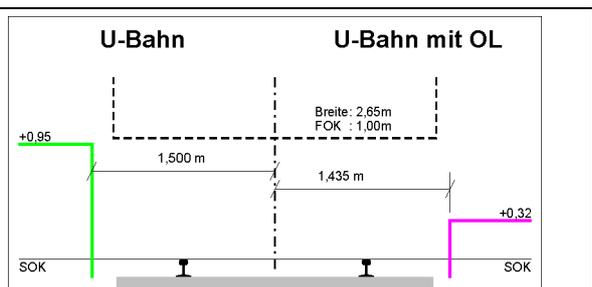
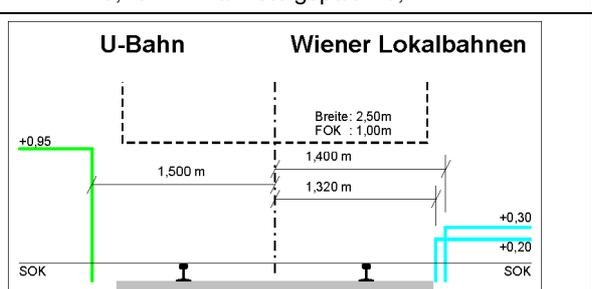
Zur Verringerung der unumgänglichen Anforderungen an die Fahrzeuge wird als Vereinfachung vorausgesetzt, dass bei Benutzung von Vollbahnen der Fahrzeugeinsatz auf Streckenabschnitte mit Bahnsteighöhen von mindestens 38 cm begrenzt bleibt. Diese Annahme erscheint zulässig, da mit der Einführung eines Zweisystembetriebs eine Modernisierung der bedienten Zugangsstellen und eine Erhöhung etwaiger noch vorhandener Bahnsteige mit 15 cm oder 25cm Höhe zu erwarten ist. Davon ausgenommen sind neu errichtete Niedrigbahnsteige gemäß Abschnitt 6.4.2.2.2 bzw. 6.4.2.2.3 in Kombination mit Niederflurfahrzeugen.

Eine weitere Vereinfachung ist die Beschränkung auf 15 cm-Bahnsteigkanten bei Straßenbahnen, die für im Zweisystembetrieb bediente Haltestellen zumindest für einen barrierefreien Einstieg je Zug vorausgesetzt werden.

Die Festlegung der maßgebenden Fahrzeugabmessungen für die möglichen Kombinationen der vorhandenen Eisenbahnsysteme hinsichtlich der Bahnsteige wird anhand folgender Grundsätze definiert:

- *max. Zuglänge:* maximale Zuglänge desjenigen Eisenbahnsystems mit der kürzeren Bahnsteiglänge
- *Fahrzeugbreite:* maximale Fahrzeugbreite desjenigen Eisenbahnsystems mit dem schmäleren Lichtraumprofil
- *Fußbodenhöhe:* Fußbodenhöhe mit den geringsten auftretenden Reststufenhöhen, unter Berücksichtigung der Anforderungen gemäß § 30 (9) bzw. § 34 (4) StrabVO (Fußbodenoberkante höher als Bahnsteigoberkante für U-Bahnen und Straßenbahnen) [17]

<p>Vollbahn / U-Bahn</p> <p>Zuglänge: ~110 m</p> <p>Fahrzeugbreite: 2,85 m</p> <p>Fußbodenhöhe: 1,00 m über SO</p> <p>Maßnahmen Vollbahn: Hublift (barrierefreie Einstiege) & Klapptritte oder Bahnsteige mit Gleisverschlingung</p> <p>Maßnahmen U-Bahn: keine</p>	 <p>0,45 / 0,62 m Einstiegshöhe 0,05 m 0,24 / 0,18 m Bahnsteigspalt 0,08 m</p>
<p>Vollbahn / U-Bahn mit Oberleitung</p> <p>Zuglänge: ~110 m</p> <p>Fahrzeugbreite: 2,65 m</p> <p>Fußbodenhöhe: 0,40 m über SO</p> <p>Maßnahmen Vollbahn: Rampe (barrierefreie Einstiege) & Schiebetritte</p> <p>Maßnahmen U-Bahn mit OL: keine</p>	 <p>-0,15 / 0,02 m Einstiegshöhe 0,08 m 0,34 / 0,28 m Bahnsteigspalt 0,11 m</p>

<p>Vollbahn / Wiener Lokalbahnen</p> <p>Zuglänge: ~60 m</p> <p>Fahrzeugbreite: 2,50 m</p> <p>Fußbodenhöhe: 0,35 m über SO</p> <p>Maßnahmen Vollbahn: Rampe (barrierefreie Einstiege) & Schiebetritte</p> <p>Maßnahmen WLB: Rampe (barrierefreie Einstiege)</p>	 <p>-0,20 / -0,03 m Einstiegshöhe 0,05 / 0,15 m</p> <p>0,42 / 0,35 m Bahnsteigspalt 0,15 / 0,07 m</p>
<p>Vollbahn / Straßenbahn</p> <p>Zuglänge: ~35 m</p> <p>Fahrzeugbreite: 2,40 m</p> <p>Fußbodenhöhe: 0,35 m über SO</p> <p>Maßnahmen Vollbahn: Rampe (barrierefreie Einstiege) & Schiebetritte</p> <p>Maßnahmen Straßenbahn: Rampe (barrierefreie Einstiege)</p>	 <p>-0,20 / -0,03 m Einstiegshöhe 0,20 / 0,32 m</p> <p>0,47 / 0,40 m Bahnsteigspalt 0,10 m / -</p>
<p>U-Bahn / U-Bahn mit Oberleitung</p> <p>Zuglänge: ~110 m</p> <p>Fahrzeugbreite: 2,65 m</p> <p>Fußbodenhöhe: 1,00 m über SO</p> <p>Maßnahmen U-Bahn: Schiebetritte</p> <p>Maßnahmen U-Bahn mit OL: Hublift (barrierefreie Einstiege) & Klapptritte</p>	 <p>0,05 m Einstiegshöhe 0,68 m</p> <p>0,18 m Bahnsteigspalt 0,11 m</p>
<p>U-Bahn / Wiener Lokalbahnen</p> <p>Zuglänge: ~60 m</p> <p>Fahrzeugbreite: 2,50 m</p> <p>Fußbodenhöhe: 1,00 m über SO</p> <p>Maßnahmen U-Bahn: Schiebetritte</p> <p>Maßnahmen WLB: Hublift (barrierefreie Einstiege) & Klapptritte</p>	 <p>0,05 m Einstiegshöhe 0,70 / 0,80 m</p> <p>0,25 m Bahnsteigspalt 0,15 / 0,07 m</p>

<p>U-Bahn / Straßenbahn</p> <p>Zuglänge: ~35 m</p> <p>Fahrzeugbreite: 2,40 m</p> <p>Fußbodenhöhe: 1,00 m über SO</p> <p>Maßnahmen U-Bahn: Schiebetritte</p> <p>Maßnahmen Straßenbahn: Hublift (barrierefreie Einstiege) & Klapptritte</p>	<p>0,05 m Einstiegshöhe 0,85 / 1,00 m 0,30 m Bahnsteigspalt 0,10 m / -</p>
<p>U-Bahn mit OL / Wiener Lokalbahnen</p> <p>Zuglänge: ~60 m</p> <p>Fahrzeugbreite: 2,50 m</p> <p>Fußbodenhöhe: 0,35 m über SO</p> <p>Maßnahmen U-Bahn mit OL: Schiebetritte</p> <p>Maßnahmen WLB: Rampe (barrierefreie Einstiege)</p>	<p>0,03 m Einstiegshöhe 0,05 / 0,15 m 0,19 m Bahnsteigspalt 0,15 / 0,07 m</p>
<p>U-Bahn mit OL / Straßenbahn</p> <p>Zuglänge: ~35 m</p> <p>Fahrzeugbreite: 2,40 m</p> <p>Fußbodenhöhe: 0,35 m über SO</p> <p>Maßnahmen U-Bahn mit OL: Schiebetritte</p> <p>Maßnahmen Straßenbahn: Rampe (barrierefreie Einstiege)</p>	<p>0,03 m Einstiegshöhe 0,20 / 0,35 m 0,24 m Bahnsteigspalt 0,10 m / -</p>
<p>Wiener Lokalbahnen / Straßenbahn</p> <p>Zuglänge: ~35 m</p> <p>Fahrzeugbreite: 2,40 m</p> <p>Fußbodenhöhe: 0,20 m über SO</p> <p>Maßnahmen WLB: Rampe (barrierefreie Einstiege)</p> <p>Maßnahmen Straßenbahn: keine</p>	<p>-0,10 / 0,00 m Einstiegshöhe 0,05 / 0,20 m 0,20 / 0,12 m Bahnsteigspalt 0,10 m / -</p>

Tab. 21 – Fahrzeuganforderungen für bestehende Bahnsteige

Voraussetzung für den systemübergreifenden Einsatz an bestehenden Bahnsteigen ist weiters die Verwendung von Zweirichtungsfahrzeugen bzw. Fahrzeugen mit beidseitiger Türanordnung. Derzeit verkehrt ausschließlich die Straßenbahn mit Einrichtungsfahrzeugen, die übrigen Schienenverkehrssysteme weisen beidseitig angeordnete Bahnsteige auf. Ausnahmen können auf wenigen, zufällig ausschließlich mit Seitenbahnsteigen ausgestatteten, Streckenabschnitten auftreten.

Hinsichtlich der max. Zuglänge bleiben bei der Straßenbahn Doppelhaltestellen unberücksichtigt. Wenn eine Ausstattung der gesamten von Zweisystemfahrzeugen befahrenen Straßenbahnstrecke mit Doppelhaltestellen gewährleistet ist, kann die Zuglänge auf ~75 m verdoppelt werden. Bei Vollbahnen werden bezüglich der Zuglängen Bahnsteige mit einer Länge von min. 140 m zugrunde gelegt. Sollten Strecken mit kürzeren Bahnsteigen in den Zweisystembetrieb integriert werden (z.B. Vorortelinie S 45 mit ~70 m langen Bahnsteigen), ist die Zuglänge entsprechend zu begrenzen.

6.5 Antrieb - Traktion

Für innerstädtischen Schienenpersonennahverkehr wird wegen der geringen Emissionen (Lärm, Abgas) nahezu ausschließlich Elektrotraktion verwendet. Eingesetzt werden vorwiegend Gleichstromsysteme mit Spannungen zwischen ca. 500 V und 1.000 V. Vorteil der geringen Spannungen sind die kleineren Schutzabstände zu spannungsführenden Teilen (Fahrleitung, Stromabnehmer), sowie, dass das Mitführen eines Transformators am Fahrzeug entbehrlich ist (Gewichtseinsparung). Nachteil sind die geringen Distanzen zwischen den erforderlichen Stromeinspeisungsstellen und die größeren Querschnitte der Fahrleitung, um die Leitungsverluste gering zu halten.

Für hochwertigen Schnellbahn- bzw. Regionalverkehr auf Vollbahnstrecken wird hauptsächlich Elektrotraktion eingesetzt. Durch die gemeinsame Nutzung der Schienenwege mit der Vollbahn muss deren Wechselstromsystem übernommen werden. Nachteil ist, dass auch leichte Triebwagengarnituren mit verhältnismäßig schweren Transformatoren ausgestattet werden müssen.

Auf geringer frequentierten Strecken gelangt vorzugsweise Dieseltraktion zum Einsatz. Für die Energiezufuhr sind bei Dieseltraktion keine ortsfesten Einrichtungen entlang der Strecke notwendig. Dieseltriebfahrzeuge können auch uneingeschränkt auf elektrifizierten Strecken unterschiedlicher Stromsysteme eingesetzt werden. Durch die Menge des mitgeführten Treibstoffs ist jedoch der Einsatzradius der Fahrzeuge begrenzt. Weiters sind Tankanlagen in den für Dieselbetrieb genutzten Traktionsstandorten vorzuhalten.

Die vorhandenen Eisenbahnsysteme unterscheiden sich wesentlich hinsichtlich der elektrischen Anlagen in den Komponenten:

- Stromsystem
- Fahrleitungsanlagen

Für den Übergang von Triebfahrzeugen zwischen unterschiedlichen Eisenbahnsystemen müssen die dazugehörigen Bestandteile für die jeweiligen Stromsysteme bzw. Fahrleitungsanlagen ertüchtigt werden.

6.5.1 Stromsysteme

a) Stromsystem Vollbahn

Das Streckennetz der ÖBB in und im Umkreis von Wien ist größtenteils elektrifiziert. Zum Einsatz gelangt Einphasenwechselstrom mit einer Spannung von 15 kV und einer Frequenz von 16,7 Hz. Die zulässige Toleranz beträgt ca. +20% / -30%. [53] [72] [73]

Die Energiezufuhr erfolgt über eine Fahrleitung über dem Gleis (Oberleitung), die über allen zu befahrenen Gleisen durchgehend vorhanden sein muss.

Einige Strecken mit geringerer Verkehrsbedeutung, die teilweise nur für Güterverkehr genutzt werden, sind nicht elektrifiziert. Auf diesen Strecken wird der Betrieb mit Dieseltriebfahrzeugen abgewickelt.

b) Stromsystem U-Bahn

Die Wiener U-Bahn wird mit Gleichstrom in einer Nennspannung von 750 V angetrieben. Die zulässige Toleranz beträgt +20% / -30%. Die Spannung, mit der die Züge versorgt werden, liegt zwischen 525 V und 900 V. [57]

Die Stromversorgung der U-Bahnzüge erfolgt über eine seitliche, von unten abgegriffene Stromschiene. [55]

c) Stromsystem U-Bahn mit Oberleitungsbetrieb

Das Stromsystem der U-Bahn mit Oberleitungsbetrieb ist ident mit dem der U-Bahn.

Der Unterschied besteht lediglich in der Stromversorgung mittels Oberleitung anstatt via Stromschiene. [55]

d) Stromsystem Wiener Lokalbahnen

Die Wiener Lokalbahnen verwenden Gleichstrom in einer Nennspannung von 850 V. Die Fahrleitungsspannung weist einen Spielraum von 420 – 1.000 V auf. [29]

Die Stromversorgung erfolgt über eine Oberleitung.

e) Stromsystem Straßenbahn

Die Straßenbahn in Wien weist Gleichstrombetrieb mit einer Nennspannung von 600 V auf. Bei einer Toleranz von ca. +20% / -30% beträgt der zulässige Spannungsbereich ca. 420 - 720 V. [29] [41] [60]

Die Energie wird über eine Oberleitung zugeführt.

6.5.2 Fahrleitungsanlagen

a) Fahrleitung Vollbahn

Die Fahrleitung der Vollbahn ist als nachgespannte Kettenfahrleitung ausgebildet.

Die Höhe des Fahrdrahts beträgt in der Regel 5,00 – 5,75 m über SO. [27] Auf einzelnen Strecken werden geringere Mindesthöhen bis ca. 4,80 m erreicht. [53] Der Fahrdraht ist nicht parallel über der Gleisachse verlegt, sondern pendelt in einem Bereich von +/- 40 cm beidseitig von der Gleisachse (Zick-Zack-Verlegung), um eine gleichmäßigere Abnutzung der Stromabnehmerschleifleiste zu gewährleisten. Bei Hochleistungstrecken beträgt die Pendelweite +/- 30 cm; teilweise werden auch +/- 35 cm ausgeführt. [27] [53]

Die Stromabnehmer sind mit zwei min. 1.030 mm breiten Schleifleisten ausgestattet und weisen ein Profil gem. UIC 608 Anlage 4a, und eine Wippenbreite von 1.950 mm auf. Der Arbeitsbereich der Stromabnehmer erstreckt sich in einer Höhe zwischen 4,70 m und 6,50 m über SO. [44] [53] [90]

b) Stromschiene U-Bahn

Die Stromversorgung der U-Bahnzüge erfolgt über eine seitliche Stromschiene. Die Stromabnahme erfolgt von unten.

Die Stromschiene liegt seitlich 1.345 mm von der Gleisachse entfernt und 220 mm über der Schienenoberkante. [55] Zum Einsatz gelangen ein Weicheisenprofil mit einem Querschnitt von ca. 7.640 mm² oder ein Stahl-Aluminium-Verbundprofil mit einem Querschnitt von ca. 5.146 mm². [55]

Zur Stromabnahme dienen der U-Bahn beidseitige, seitlich an den äußeren Drehgestellen jedes Doppeltriebwagens angebrachte Stromabnehmer. [35]

c) Fahrleitung U-Bahn mit Oberleitungsbetrieb

Die Oberleitung der U-Bahnlinie U6 ist als Kettenfahrleitung mit Gewichtsnachspannung ausgebildet.

Die Normalhöhe des Fahrdrahts auf freier Strecke beträgt 5,00 - 5,50 m über GFT (gemeinsame Fahrflächentangente, entspricht der SO). Die maximale Höhe liegt 5,90 m, die minimale Höhe in Tunneln 4,10 m über GFT. [50] Der Zick-Zack-Verlegung wird mit +/- 40 cm ausgeführt. Fahrleitung und Trageil bestehen aus einer Kupfer-Silber-Legierung mit einem Gesamtquerschnitt von 270 mm². [55]

Die Pantographen tragen einen Schleifbügel mit einem Profil gem. Wiener Linien und einer Breite von 1.700 mm. [60]

d) Fahrleitung Wiener Lokalbahnen

Die Fahrleitungsanlage der Lokalbahnen ist im eisenbahnmäßig befahrenen Abschnitt als nachgespannte Kettenfahrleitung ausgebildet.

Die Fahrdrathöhe liegt zwischen 4,60 m und 5,70 m über SO. Die Pendelweite der Zick-Zack-Verlegung beträgt +/- 40 cm. [29]

Im straßenbahnmäßig befahrenen Abschnitt der Lokalbahnen in Baden wird eine Einfachfahrleitung bzw. Doppelfahrleitung (eingleisige Abschnitte) verwendet. Die minimale Fahrdrathöhe beträgt 3,95 m, bei ebenfalls +/- 40 cm Ausladung der Zick-Zack-Verlegung. [29]

Die Schleifbügel sind gemäß den Anforderungen der Wiener Linien ausgebildet. [29]

e) Fahrleitung Straßenbahn

Die Wiener Straßenbahn ist mit einer Einfachfahrleitung ausgestattet.

Die Normalhöhe des Fahrdrahts auf freier Strecke beträgt 5,00 - 5,50 m über GFT. Die maximale Höhe liegt 6,00 m, die minimale Höhe in Tunneln 4,10 m, in Ausnahmefällen 3,90 m über GFT. [52] Die Pendelweite der Zick-Zack-Verlegung beträgt +/- 40 cm. [29]

Die Schleifbügel gem. Wiener Linien weisen eine Breite zwischen 1.600 mm (bei älteren, nur noch im Museumsbetrieb befindlichen Fahrzeugen) und 1.700 mm (bei aktuellen Fahrzeugen) auf, wobei das Schleifstück ca. 1.100 mm lang ist. [60]

6.5.3 Kombinationen

Damit ein Triebfahrzeug in unterschiedlichen Netzen betrieben werden kann, muss es unter den nachfolgend zusammengefassten Stromsystemen und Fahrleitungsanlagen traktionsfähig sein.

Antrieb - Traktion	Vollbahn	U-Bahn	U-Bahn mit Oberleitung	WLB	Straßenbahn
Stromsystem					
Stromart	AC	DC	DC	DC	DC
Frequenz [Hz]	16,7	-	-	-	-
Nennspannung [V]	15.000	750	750	850	600
Mindestspannung [V]	10.500	525	525	420	420
Maximalspannung [V]	18.000	900	900	1.000	720
Fahrleitung					
Stromversorgung	Oberleitung	Stromschiene	Oberleitung	Oberleitung	Oberleitung
Minimalhöhe über SO [m]	4,80	0,22	4,10	3,95	3,90
Maximalhöhe über SO [m]	5,75	0,23	5,90	5,70	6,00
Abstand von Gleisachse [cm]	+/- 30/35/40	134,5	+/- 40	+/- 40	+/- 40
Stromabnehmer	Pantograph	seitlich	Pantograph	Pantograph	Pantograph
Wippenbreite [mm]	1.950	-	1.700	1.700	1.700

Tab. 22 – Übersicht Stromsysteme und Fahrleitungskennwerte

Aufgrund der vorliegenden Dominanz des Gleichstromsystems empfiehlt sich als Ausgangsbasis für die Entwicklung geeigneter Zweisystemfahrzeuge ein Triebwagen eines Gleichstromsystems, der um entsprechende Komponenten für den Einsatz unter fremden Energieanlagen ergänzt wird. Für den Einsatz in unterschiedlichen Stromsystemen gibt es bereits für folgende Kombinationen in der Praxis erprobte Zweisystemfahrzeuge:

- Gleichstrom unterschiedlicher Spannungen
- Gleichstrom - Wechselstrom
- Gleichstrom mit zusätzlichem Dieselantrieb

Des Weiteren ist die Elektrifizierung von bisher mit Dieselantrieb befahrenen Strecken mit einer Gleichstromfahrleitung für den Übergang von Stadtbahnfahrzeugen auf eine Überlandstrecke ein bereits mehrfach erfolgreich angewandtes Verfahren, wie Beispiele aus Karlsruhe, Kassel, Chemnitz, u.a. zeigen.

Ein kompletter Dieselbetrieb auch auf innerstädtischen Strecken, insbesondere bei der Benutzung von Tunnelstrecken (U-Bahn, U-Strab) ist aufgrund der damit verbundenen Emissionen (Abgase, Lärm) wenig erstrebenswert.

Ein ebenso nicht zielführender Lösungsansatz besteht in der Verwendung eigener Triebfahrzeuge für ein fremdes Strom- bzw. Fahrleitungssystem, die an den Systemübergängen vorgespannt werden. Wegen des hohen betrieblichen Aufwands wird diese Lösung für den innerstädtischen Verkehr nicht weiter verfolgt.

6.5.3.1 Gleichstrom unterschiedlicher Spannungen

Ein Einsatz von Gleichstromfahrzeugen auf Stromsystemen mit unterschiedlichen Nennspannungen ist eine verhältnismäßig einfache Kombination und in Wien tagtäglich geübte Praxis.

So verkehren die Triebwagengarnituren der WLB auf der WLB-Strecke unter der Nennspannung von 850 V und gehen nahtlos auf die innerstädtischen Straßenbahnstrecken mit einer Nennspannung von 600 V über. Gleichfalls werden Überstell-

ungsfahrten der für 750 V ausgelegten U6-Garnituren in die Hauptwerkstätte über das mit 600 V betriebene Straßenbahnnetz durchgeführt.

Wird ein für höhere Spannungen ausgelegtes Fahrzeug mit zu geringer Spannung versorgt, kann ein Leistungsabfall auftreten. Da Straßenbahnstrecken mit geringerer Geschwindigkeit befahren werden als die U-Bahn- oder WLB-Strecke, macht sich die geringere Leistung lediglich bei der Anfahrbeschleunigung leicht negativ bemerkbar. Bei Fahrzeugen mit Rückspeisemöglichkeit der Bremsenergie in die Fahrleitung sind bei einem Einsatz unter geringerer Nennspannung Maßnahmen vorzusehen, dass die Spannung nicht über die max. zulässigen Toleranzwerte der Nennspannung des gerade befahrenen Netzes ansteigt. Ein Einsatz von Fahrzeugen mit geringerer Nennspannung unter höheren Spannungen ist aus Sicherheitsgründen und hinsichtlich der Lebensdauer der elektrischen Einrichtungen der Fahrzeuge (Dimensionierung der Isolatoren, Motoren,...) zu vermeiden.

Für die verhältnismäßig geringen Spannungsunterschiede zwischen den in Wien vorhandenen Gleichstromnetzen von 600 V, 750 V bzw. 850 V reichen die zulässigen Spannungstoleranzen zumeist aus. Fahrzeuge, die regelmäßig in unterschiedlichen Netzen eingesetzt werden sind für entsprechend große zulässige Toleranzen zu dimensionieren, wie das bei den Fahrzeugen der WLB (Reihe 100 & 400) geschehen ist. Alternativ können die auftretenden Spannungsschwankungen innerhalb der einzelnen Netze durch z.B. zusätzliche Stromeinspeisungsstellen verringert werden, so dass die Extremwerte der auftretenden Spannungen im Gesamtnetz die zulässigen Fahrzeugtoleranzen nicht über- bzw. unterschreiten.

Bei höheren Spannungsunterschieden der zu verbindenden Gleichstromnetze (z.B. 600 V und 1.500 V)⁶ lassen sich Fahrzeuge durch umschaltbare Schaltungskonfigurationen (Serien- bzw. Parallelschaltung) für die unterschiedlichen Stromsysteme adaptieren.

⁶ Spannungsunterschiede in dieser Größenordnung treten im Bereich Wien derzeit nicht auf.

Ein Beispiel dafür ist z.B. die niederländische RandstadRail, die unter Nutzung von Straßenbahn- (600 V-Gleichstromsystem), Eisenbahn- (1.500 V-Gleichstromsystem) und Metrostrecken Den Haag und Zotermeer verbindet. [74]

6.5.3.1.1 Kombination Gleichstromfahrleitungen

Die vorhandenen Fahrleitungen der drei in Wien angewendeten Gleichstromsysteme (U-Bahn mit OL, WLB, Straßenbahn) weisen ähnliche Parameter hinsichtlich Höhenlage und seitliche Abweichung (Fahrleitungs-Zick-Zack) auf.

Die Pantographen aller drei Systeme weisen eine 1.700 mm breite Wippe auf und sind untereinander kompatibel, sofern die Arbeitshöhe auf die höchste und niedrigste Lage abgestimmt wird.

Die Trennung der Gleichstromsysteme ist aufgrund der relativ geringen Spannungsunterschiede durch eine einfache Systemtrennstelle mit Fahrleitungstrenner möglich.



Abb. 48 – Trennstelle Gleichstromfahrleitung [88]

6.5.3.1.2 Kombination Gleichstromfahrleitung - Stromschiene

Hinsichtlich des Stromsystems ist auch eine Kombination der U-Bahn mit Stromschiene und der U-Bahn mit Oberleitungsbetrieb, Lokalbahn oder Straßenbahn möglich. Problematisch ist dabei jedoch die Kombination der Stromschiene mit der Fahrleitung. Übergangsfähige Fahrzeuge müssen dazu mit beiden Stromabnahmesystemen ausgestattet werden.

Die Stromabnehmer für die Stromschiene müssen dazu so gestaltet werden, dass ein Berühren spannungsführender Teile ausgeschlossen ist, wenn die Fahrzeuge auf

nicht völlig getrennt von jeglichem übrigen Verkehr geführten Strecken betrieben werden.

Die Pantographen für die Stromabnahme aus der Fahrleitung müssen im Stromschienenbetrieb innerhalb des Lichtraumprofils der U-Bahn mit Stromschiene liegen.

Fahrzeuge mit einer solchen Konfiguration werden z.B. in Amsterdam auf der Stadtbahnlinie 51 („Amstelveenlinie“) eingesetzt. Bei Betrieb im Oberleitungsabschnitt werden die seitlichen Stromabnehmer eingefahren; im Tunnelabschnitt der Metro wird der Dachstromabnehmer abgesenkt, und die seitlichen Stromabnehmer wieder ausgefahren. Die Lösung ist aber nicht ohne weiteres auf Wiener Verhältnisse übertragbar, da die Fahrzeughöhe der Amsterdamer Metro 3,80 m über SOK beträgt. [91]

Bei der Wiener U-Bahn darf der Dachstromabnehmer in der abgesenkten Lage max. 3,50 m über SOK liegen. Bei der vorgegebenen Fußbodenhöhe von 1,00 m und einer minimalen Fahrgastraumhöhe von 1,95 m (gem. § 34 (5) StrabVO [17]) stehen daher max. 0,55 m für die Dachkonstruktion und Stromabnehmer zur Verfügung. Angesichts üblicher Bauhöhen der Pantographen von ca. 0,55 – 0,60 m [90] ist zur Einhaltung der Fahrzeugumgrenzung eine Sonderkonstruktion in Niedrigbauweise für die Stromabnehmer oder ein Entfall des Fahrgastraums unterhalb der Pantographen erforderlich.

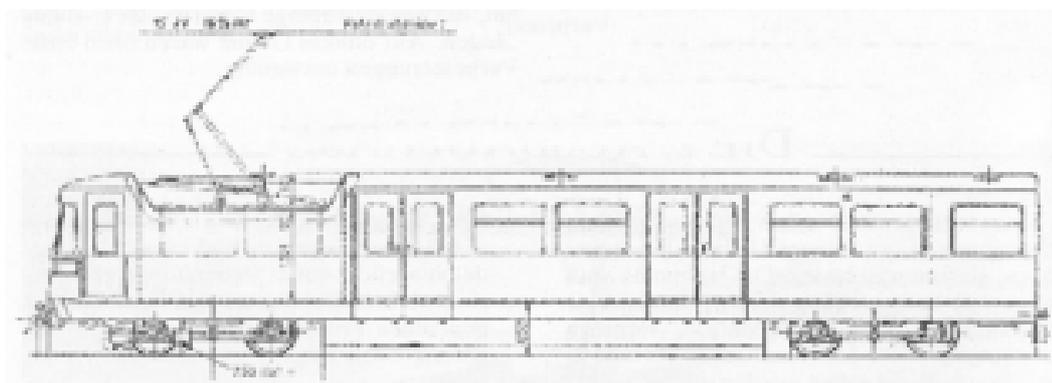


Abb. 49 – Entwurfsskizze eines Zweisystem-Triebwagens für die S/U 3 [92]

Aus den 1980er Jahren stammt eine Entwurfsskizze für einen Zweisystemtriebswagen (für eine angedachte Verbindung der U-Bahnlinie U3 mit der Flughafenschnellbahn) mit ca. 1,75 m Innenraumhöhe. [92]

Die Systemtrennstelle für den Übergang von Stromschiene auf Oberleitung kann auf freier Strecke erfolgen, oder in den Bereich einer Haltestelle gelegt werden, wo der Systemwechsel (Anheben des Pantographs und Einziehen der Seitenstromabnehmer bzw. umgekehrt) ohne zusätzlichen Zeitverlust während der Fahrgastwechselzeit vorgenommen werden kann. [1] [91]

6.5.3.2 Gleichstrom – Wechselstrom

Für den Einsatz von Fahrzeugen sowohl unter Gleich- als auch Wechselstrom ist von großem Vorteil, dass Wechselstromfahrzeuge aus regelungstechnischen Gründen mit Gleichstromzwischenkreisen ausgestattet sind, über welche die Fahrmotore angesteuert werden. In älteren Fahrzeugen wurden Gleichstrommotore verwendet, moderne Fahrzeugkonzepte sehen in der Regel ergänzende Wechselrichter und Drehstrommotore vor.

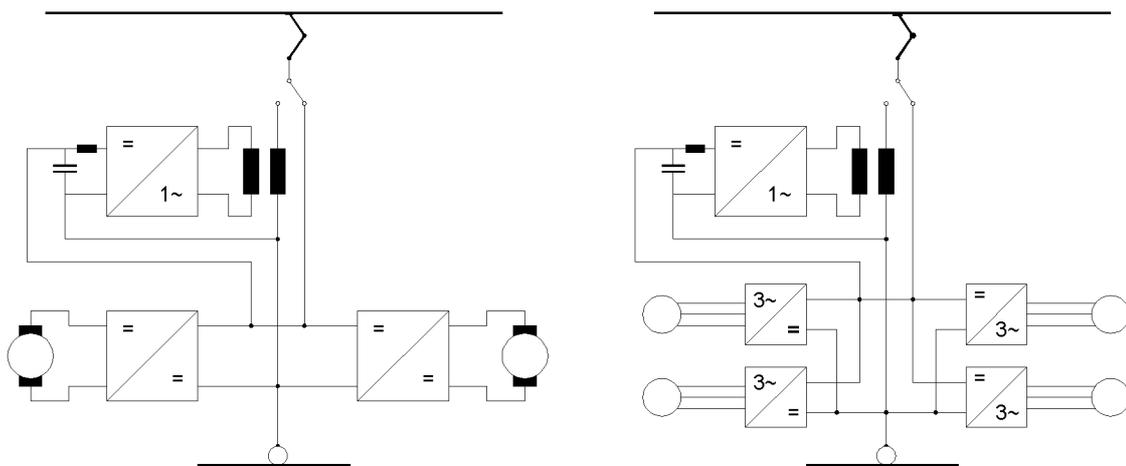


Abb. 50 – Prinzipschaltbild Zweisystemfahrzeuge Karlsruhe mit Gleichstrommotoren (links) bzw. Drehstrommotoren (rechts) [93]

Der Gleichstromkreis kann daher im Gleichstrombetrieb direkt aus der Fahrleitung gespeist werden, wogegen der Strom im Wechselstrombetrieb über einen Transformator, Gleichrichter und Glättungseinrichtungen im Fahrzeug aufbereitet wird.

Erste Einsätze von Fahrzeugen sowohl für Gleich- als auch Wechselstrom waren in Karlsruhe bereits ab 1911 auf der Albtalbahn (550 V DC und 8,8 kV 25 Hz AC) im Einsatz. [94] In Österreich wurden beispielsweise auf der mit 800 V DC

elektrifizierten Lokalbahn Lambach - Haag im Hausruck im Abschnitt Lambach - Neukirchen ab Elektrifizierung der Westbahn 1950 Gleichstromfahrzeuge auch unter der Wechselstromfahrleitung eingesetzt. Dazu wurde ursprünglich ein Gleichrichterwagen mitgeführt, der dem Triebfahrzeug auf der Wechselstromstrecke den nötigen Gleichstrom lieferte. Ab 1989 waren dann Zweisystemtriebwagen für beide Stromsysteme ausgestattet. [95]

Erste Versuchsfahrten mit einem Stadtbahnfahrzeug mit Zweisystemausrüstung für 15 kV AC 16,7 Hz und 750 V DC wurden ab 1986 in Karlsruhe unternommen. [47] Das dortige Konzept sieht die Erweiterung eines üblichen Straßenbahntriebwagens (Stadtbahnwagentyp B) um ein zusätzliches Mittelteil, das die nötigen elektrischen Zusatzeinrichtungen aufnimmt, vor. Die elektrische Gleichstromausrüstung der beiden Endteile wird unverändert vom Straßenbahnwagen übernommen. Im Mittelteil wird das zusätzliche Netzteil, bestehend aus Transformator, Gleichrichter, Glättungseinrichtung sowie dem Systemwahlschalter untergebracht. Die Einrichtungen sind unter dem Fußboden bzw. am Dach situiert, sodass der Fahrgastraum ohne Einschränkungen benutzbar bleibt. Seit 1992 verkehren derartige Fahrzeuge zwischen Karlsruhe und Bretten im Regelbetrieb sowohl unter 15 kV AC als auch 750 V DC. Die Umschaltung zwischen 15 kV AC und 750 V DC erfolgt an den Systemgrenzen vollautomatisch mittels eines Spannungsfühlungssystems.

Das gleiche Konzept wurde mittlerweile sehr erfolgreich ausgeweitet (u.a. bis Heilbronn, Baden-Baden, Pforzheim) [93] [96] und von Stadtbahnbetrieben in Saarbrücken (1997) [47] und Kassel (Vorlaufbetrieb mit Zweisystem-Stadtbahnfahrzeugen auf DB-Gleisen seit 2004, ab 2006 Stadtbahnbetrieb) [74] übernommen. Ähnlich wurde in Hamburg mit der Einführung des Zweisystem-S-Bahnbetriebs Ende 2007 vorgegangen. Hier wurde der Mittelwagen eines dreiteiligen S-Bahntriebzugs für Gleichstrombetrieb mit Stromschiene mit zusätzlicher Wechselstromausrüstung für den Einsatz unter 15 kV AC adaptiert. [3]

6.5.3.2.1 Kombination Gleichstromfahrleitung - Wechselstromfahrleitung

Die wesentlichen Parameter (Fahrdrathöhe, Fahrleitungs-Zick-Zack) der Vollbahn- oberleitung liegen innerhalb der Grenzwerte der vorhandenen Gleichstromfahr- leitungen. Die mechanische Kompatibilität der Fahrleitungen ist demnach gegeben.

Obgleich die seitlichen Auslenkungen des Fahrdrachts bei Vollbahn, U-Bahn, WLB und Straßenbahn mit max. +/- 40 cm gleich groß sind, entsprechen die 1.700 mm breiten Wippen nicht den Anforderungen der ÖBB nach 1.950 mm breiten Wippen gemäß UIC 608. Die Verwendung der breiteren UIC-Wippen auf den Strecken der Gleichstrombahnen erfordert wiederum eine seitliche Erweiterung des Lichtraumprofils im Bereich der Stromabnehmer.

Für die systemübergreifenden Verwendung der Pantographen ist entweder eine Zulassung des Bügelprofils der Wiener Linien auf den Strecken der ÖBB zu erwirken, oder das Lichtraumprofil auf der Gleichstromstrecke zu erweitern. Gelingt beides nicht, muss für jedes System ein eigener Pantograph montiert werden.

Infolge des großen Spannungsunterschieds zwischen Vollbahn und Gleichstrombahnen ist besonderes Augenmerk auf die Ausgestaltung der Systemwechselstelle zu legen.

Dieses Problem wurde ebenfalls in Karlsruhe durch die Anordnung einer Systemwechselstelle mit einem spannungslosen, geerdeten Abschnitt zwischen Gleich- und Wechselstromfahrleitung gelöst. Die Länge des geerdeten Abschnitts ist abhängig von der gefahrenen Geschwindigkeit und bei Mehrfachtraktion auch vom Abstand der am Fahrdracht anliegenden Stromabnehmer und beträgt 60 – 140 m. [47] [94]

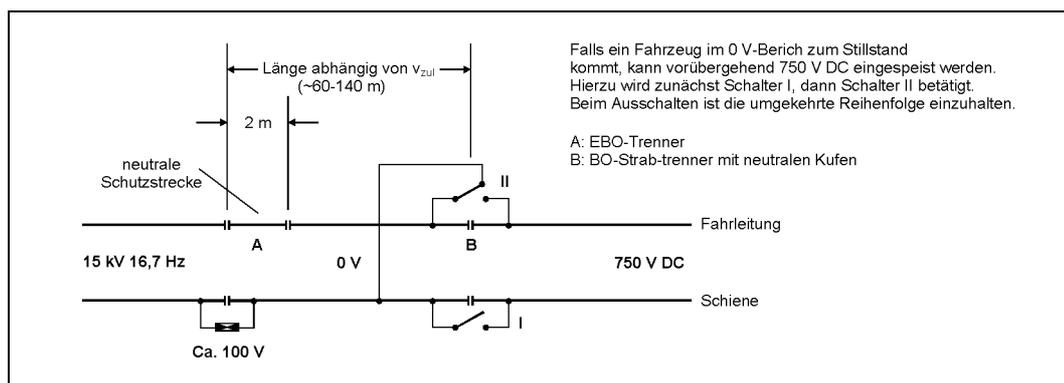


Abb. 51 – Schema Systemwechselstelle 15 kV AC / 750 V DC (Karlsruhe) [94]

Bei Einfahrt eines Fahrzeugs in den spannungslosen Abschnitt wird der Fahrzeugtrenner automatisch ausgeschaltet, und erst bei Erkennen der neuen Spannung durch das Fühlersystem wird der richtige Leistungsschalter eingeschaltet. Durch die

Länge des neutralen Abschnitts kann unter voller Fahrt eine Sicherheitsüberprüfung vorgenommen werden, die bei Nichtanspringen des Fahrzeugtrenners den Stromabnehmer abzieht, um Schäden am Fahrzeug zu vermeiden. Das Fahrzeug muss sich dazu für ca. 7 sek. im neutralen Abschnitt befinden. [47] [94] Alternativ dazu kann die Systemwahl auch durch streckenbezogene Einrichtungen (z.B. Permanentmagneten) erfolgen, wie z.B. bei der Lokalbahn Lambach – Haag. [95]

Der stromlose Abschnitt wird mit Schwung befahren. Die Anordnung der Systemwechselstelle ist daher außerhalb von Zwangspunkten (Haltestellen, Signale, Kreuzungen) zu wählen, die das Rollen beeinträchtigen könnten. Idealerweise liegt die Systemwechselstelle in leichtem Gefälle ($> 2 ‰$), damit ein im spannungslosen Abschnitt liegenbleibender Zug ohne Fremdhilfe aus diesem Bereich heraus rollen kann.

6.5.3.2.2 Kombination Wechselstromfahrleitung – Stromschiene

Bei der Kombination einer Wechselstromfahrleitung mit einer Stromschiene für Gleichstrom sind übergangsfähige Fahrzeuge mit beiden Stromabnahmesystemen auszustatten.

Wie schon in Kapitel 6.5.3.1.2 ausgeführt, müssen die Stromabnehmer für die Stromschiene im Oberleitungsbetrieb gegen unbeabsichtigtes Berühren geschützt sein, und die Pantographen für die Stromabnahme aus der Fahrleitung im Stromschienenbetrieb innerhalb des Lichtraumprofils der U-Bahn mit Stromschiene liegen.

Ein Teil der Fahrzeugflotte der S-Bahn Hamburg wurden für den Einsatz unter Wechselstromfahrleitung mit Pantographen auf den Mittelwagen ausgestattet. [3] Auch hier wurde der Umstand genutzt, dass die Fahrzeuge der S-Bahn ca. 3,77 m hoch sein dürfen. [97]

Die Übertragung des Konzepts auf Wiener Verhältnisse erfordert (wie unter Pkt. 6.5.3.1.2 angeführt) die Lösung des Problems der mit 3,50 m eingeschränkten Bauhöhe von Fahrzeugen für den Betrieb auf der U-Bahn mit Stromschiene.

Die Systemtrennstelle für den Übergang von Stromschiene auf Oberleitung wird vorzugsweise in den Bereich einer Haltestelle gelegt, kann aber auch wie in Hamburg auf freier Strecke erfolgen. Die Umschaltung der Stromsysteme erfolgt

vollautomatisch gleichzeitig mit der Umstellung von Oberleitungs- auf Stromschienenbetrieb.

6.5.3.3 Gleichstrom – Dieselbetrieb

Auf nicht elektrifizierten Strecken, auf denen eine Elektrifizierung mit einer Gleichstromfahrleitung aus anlagebedingten Gründen nicht möglich bzw. nicht wirtschaftlich ist, stellt der Einsatz von Diesel-Hybridfahrzeugen einen ökonomischen Lösungsansatz dar. Für den fahrdrahtunabhängigen Einsatz von Gleichstromfahrzeugen müssen die Fahrzeugmotoren über eine fahrzeuginterne Stromversorgung gespeist werden.

Ein erstes Versuchsfahrzeug wurde 1995 in Nordhausen durch den Einbau eines handelsüblichen Stromerzeugungsaggregats in einen Straßenbahntriebwagen entwickelt. Seit 2004 verkehren drei Garnituren der neuen Nordhausener Niederflurstraßenbahnfahrzeuge (Combino Duo), mit weiterentwickelten Aggregaten („ultra kompaktes Antriebssystem“ im Fahrgastraum) im Regelbetrieb. Das Umschalten zwischen Oberleitungs- und Dieselantrieb erfolgt bei stehendem Fahrzeug innerhalb von ca. 20 sek., wobei sichergestellt ist, dass der Dieselmotor nicht läuft, wenn der Stromabnehmer an der Fahrleitung anliegt. [98]

Einen weiteren Entwicklungsschritt stellt das Hybridfahrzeug der „RegioTram“ Kassel dar, das seit Mitte 2005 im Einsatz steht. Bei diesem Fahrzeug werden die Motor-Generatoreinheiten am Fahrzeugdach situiert, wodurch der Fahrgastraum uneingeschränkt nutzbar bleibt. [74]

6.5.3.4 Neuelektrifizierung mit Gleichstrom

Für den Einsatz von Gleichstrombahnen auf bisher nicht elektrifizierten Strecken ist die Elektrifizierung mit dem für die anschließende Stadtstrecke verwendeten Stromsystem eine günstige Option. Beispiele für derartige Lösungen finden sich zwischen Köln und Bonn (KBE-Rheinuferbahn) [93], in Kassel (Baunatal) [89] und in Chemnitz (Strecke Stollberg – Chemnitz) [88].

Probleme bei der Elektrifizierung von Bahnen mit einer Gleichstromfahrleitung können sich durch den vorhandenen Lichtraum ergeben, der eventuell im Bereich

von Tunneln und Unterführungen nicht für die Anordnung einer Fahrleitung ausreicht. Abhilfe schaffen kann bei derartigen Problemen neben der kostenträchtigen Erweiterung von Tunnelprofilen und Brücken die Errichtung spezieller Tunnelfahrleitungen und das Absenken der Schienenoberkante durch den Einsatz spezieller Oberbaukonstruktionen (Y-Stahlschwellen). Beide Maßnahmen kamen bei der Elektrifizierung der AVG-Stadtbahnstrecke zwischen Pforzheim und Bad Wildbach (Enztalbahn) zum Einsatz. [99]

Bei langen Überlandabschnitten ist zur Vermeidung zu großer Spannungsverluste eine Erhöhung der Gleichspannung zu überprüfen, wodurch gegebenenfalls auch die Zahl der Gleichrichter-Unterwerke verringert werden kann.

6.5.3.5 Weitere Kombinationen

6.5.3.5.1 Fahrleitungsunabhängige Konzepte

Eine Kombination eines Gleichstromantriebs mit einem Batteriespeicher für den Umlandverkehr wurde in Karlsruhe getestet, kam aber nicht über das Versuchsstadium hinaus, was vor allem an der Masse und geringem Speichervermögen heute verfügbarer Batteriesätze liegt. [47]

Der durchgehende Einsatz von Dieselfahrzeugen auf innerstädtischen Schienentrassen ist zwar technisch möglich, wird aufgrund von Lärm- und Abgasemissionen jedoch nur in Ausnahmefällen angewandt. Als Beispiel sei hier die seit 2000 bestehende Weiterführung der Regiosprinter der Vogtlandbahn über eine Stadtbahntrasse in die Zwickauer Innenstadt angeführt. [100]

6.5.3.5.2 Streckenseitige Maßnahmen

Die Umstellung von innerstädtischen Strecken auf Hochspannungswechselstrom (15 kV AC) ist aufgrund der größeren erforderlichen Schutzabstände zumeist nur mit beträchtlichen Umbaumaßnahmen möglich, und daher nur in Ausnahmefällen praktikabel. Bei im Straßenraum geführten Bahnen sind so hohe Spannungen schon aus Sicherheitsgründen zu vermeiden.

Eine Möglichkeit, um das Befahren von Wechselstromabschnitten durch Gleichstromfahrzeuge zu gewährleisten, ist die Fahrleitung im gemeinsam benutzten Abschnitt

wechselweise mit unterschiedlichen Spannungen zu speisen. Diese Methode wird bei den ÖBB in Grenzbahnhöfen (z.B. Spielfeld-Strass) angewendet. Wegen des hohen Aufwands hinsichtlich der Schaltungstechnik und der Anzahl der unentbehrlichen Trennstellen ist dieser Lösungsansatz aber nur bei örtlich sehr begrenzten Einsatzbereichen sinnvoll.

Eine grundsätzlich denkbare Option ist die Ausstattung einer Strecke mit einer Stromschiene zusätzlich zu einer Oberleitung (Gleich- oder Wechselstrom)⁷. Dabei liegt die Stromschiene jedoch innerhalb des Lichtraumprofils von Straßenbahn, U-Bahn mit Oberleitungsbetrieb und Vollbahn.

Diese Anordnung wurde im Jahr 1980 während der Umstellungsphase der Unterpflasterstraßenbahn der Zweierlinie (E₂, G₂, H₂) auf U-Bahnbetrieb (U2) zeitlich begrenzt praktiziert, wobei allerdings die Stromschiene stromlos geschaltet war. [101]



Abb. 52 – Wiener U-Strab während der Umstellung auf U-Bahn [101]

Für einen Regelbetrieb lässt sich diese Variante in Wien allerdings nicht umsetzen, zumal mittlerweile größere Fahrzeugbreiten bei Straßenbahnen zu berücksichtigen sind.

⁷ Wegen der im Notfall erforderlichen Evakuierung der Fahrzeuge ist vorauszusetzen, dass die Stromschiene nur auf der in Fahrtrichtung linken Seite angeordnet ist.

6.6 Sicherungssysteme

6.6.1 Grundsätze der Sicherungstechnik

6.6.1.1 Zugsicherung

Als Folge der Spurgebundenheit der Eisenbahnfahrzeuge, ist es bei Eisenbahnen ohne Verringerung des Sicherheitsniveaus möglich, die sonst im Verkehrswesen übliche Grundforderung, wonach die Sichtweite größer sein muss als der Bremsweg, aufzuheben. Abgesehen von Straßenbahnen, die sich den Verkehrsraum mit anderen Verkehrsteilnehmern teilen, fahren Schienenbahnen in der Regel „auf Signal“. Diese Betriebsform bedingt das Vorhandensein einer Zugsicherung, die zwei Aufgaben erfüllt [102]:

1. Abstandshaltung der Züge
2. Fahrwegsicherung

Zur Abstandshaltung wird der Fahrweg in Zugfolgeabschnitte eingeteilt, wobei der Grundsatz gilt, dass sich pro Zugfolgeabschnitt jeweils nur ein Zug befinden darf. Die Einfahrt in einen Zugfolgeabschnitt wird durch ein Signal gedeckt.

Die Fahrwegsicherung erfolgt über die gegenseitige Abhängigkeit von Weichen und Signalen, wodurch Fahrstraßen freigegeben und feindliche (kreuzende bzw. einmündende) Fahrwege ausgeschlossen werden. Wesentlich für die Fahrwegsicherung ist die Gleisfreimeldung, die entweder durch technische Einrichtungen (Achszähler, Gleisstromkreise) oder durch Augenschein (Zugschlussignal) erfolgt.

Die Stellvorrichtungen für Weichen und Signale sind in Stellwerken zusammengefasst. Je nach verwendeter Technik werden mechanische, elektro-mechanische und elektronische Stellwerke unterschieden. In die Stellwerkstechnik können auch Eisenbahnkreuzungssicherungsanlagen eingebunden werden. Diese können aber auch unabhängig von den übrigen Sicherungsanlagen zugesteuert und zugüberwacht werden.

6.6.1.2 Zugbeeinflussung

Durch die Zugsicherungsanlagen alleine ist nicht garantiert, dass die Fahrbefehle vom Fahrpersonal richtig umgesetzt werden. Dazu sind ergänzende technische Einrichtungen nötig, die den Triebfahrzeugführer überwachen und gegebenenfalls Fehlhandlungen selbsttätig korrigieren.

6.6.1.2.1 Punktförmige Zugbeeinflussung – Fahrsperrn

Gegen das Überfahren „Halt“ zeigender Signale bzw. zur Überwachung der örtlich zulässigen Geschwindigkeit werden induktive oder punktförmige Zugbeeinflussung (Indusi oder PZB) bzw. magnetische Fahrsperrn eingesetzt.

Im Gleis angeordnete Magneten beeinflussen beim Überfahren elektrische Spulen am Fahrzeug („Fahrzeugmagneten“). Dadurch wird eine Reaktion des Fahrzeugs hervorgerufen, die beispielsweise eine automatische Zwangsbremmung beim Überfahren eines Haltesignals auslöst.

6.6.1.2.2 Linienzugbeeinflussung (LZB)

Eine kontinuierliche Form der Überwachung der Fahrzeuggeschwindigkeit bietet die Linienzugbeeinflussung (LZB). Hierbei werden über einen zwischen den Schienen verlegten Kabellinienleiter und eine Fahrzeugantenne Zielentfernung, Zielgeschwindigkeit und zulässige Geschwindigkeit an das Fahrzeug übertragen. Vom Bordrechner werden anhand der Zugdaten (Bremsausmaß, Länge) eine Bremskurve und daraus eine Sollgeschwindigkeit ermittelt, und am Führerstand angezeigt. [103] Ortsfeste Signale können damit entfallen. Die Sollgeschwindigkeit wird vom Fahrzeugrechner überwacht; damit übernimmt die LZB auch die Zugbeeinflussung. [103]

Die wesentlichen Vorteile der LZB sind höhere Leistungsfähigkeit bei gleichzeitig kürzeren Blockabschnitten und höhere zulässige Geschwindigkeiten (> 160 km/h), da ein Erkennen örtlicher Signale nicht notwendig ist.

6.6.1.2.3 Sicherheitsfahrschaltung (Sifa) – „Totmanneinrichtung“

Zur Überwachung der Dienstfähigkeit des Triebfahrzeugführers wird bei Fahrzeugen, die im Einmannbetrieb (ohne zweiten Mann am Führerstand oder Schaffner bei Straßenbahnen) geführt werden, die Sicherheitsfahrschaltung (Sifa) oder „Totmanneinrichtung“ eingesetzt.

Ein Pedal oder Taster muss bei dieser Vorrichtung in regelmäßigen Abständen betätigt werden. Wird der Abstand überschritten, ertönt ein Warnsignal bzw. leuchtet ein Warnlicht auf. Bei weiterem Ausbleiben einer Reaktion durch den Triebfahrzeugführer bringt die Sifa bzw. „Totmanneinrichtung“ den Zug selbsttätig zum Halten. [102]

6.6.1.3 Kommunikationsanlagen

Als Ergänzung zu ortsfesten Signalanlagen werden im modernen Eisenbahnbetrieb zusätzliche Funksysteme zur Kommunikation zwischen Triebfahrzeugführer und Leitstelle eingesetzt. Damit können zusätzliche Informationen an das Fahrzeug übermittelt werden. Der Einsatz dieser Systeme ermöglicht neben schnelleren Informationen im Störfall auch eine verbesserte Betriebssteuerung.

Auf untergeordneten Strecken kann das Funksystem auch Aufgaben der Zug-sicherung übernehmen (Zugleitbetrieb). [104]

6.6.2 Vorhandene Sicherungs- und Signalsysteme

a) Sicherungssystem Vollbahn

Im Streckennetz der ÖBB gibt es kein einheitliches Stellwerksystem, sondern sind je nach verkehrlicher Bedeutung und geschichtlicher Entwicklung zahlreiche unterschiedliche Anlagen zur Fahrwegsicherung im Einsatz.

Im hochrangigen Netz sind vorwiegend elektronische Stellwerke oder Spurplanstellwerke installiert. Die Stellwerke können jeweils besetzt sein, oder fernbedient werden. Daneben sind im Netz noch ältere Stellwerkstypen vorzufinden, die

mechanisch oder elektromechanisch funktionieren. Die Gleisfreimeldung erfolgt mittels automatischer Gleisfreimeldeanlagen, die unabhängig von der Fahrzeugausstattung durch das Erkennen von Achsen am Gleis mittels Achszählern oder Isolierabschnitten funktionieren, oder durch Augenschein durch örtliche Fahrdienstleiter bzw. Zugführer.

Zur Übertragung der Fahrbefehle an den Triebfahrzeugführer werden Lichtsignale (Haupt- und Vorsignale) verwendet.

Bestimmte Nebenstrecken sind mit speziellen vereinfachten Betriebsführungssystemen wie Zugleitbetrieb oder signalisiertem Zugleitbetrieb ausgestattet.

Bei Strecken, die mit dem üblichen Haupt- und Vorsignalsystem gesichert sind, wird als Zugbeeinflussungssystem die punktförmige Zugbeeinflussung (PZB), früher als Induktive Zugbeeinflussung (Indusi) bezeichnet, gemäß ÖBB DB 823 verwendet. [44] Bei der Indusi werden Gleismagneten mit drei unterschiedlichen Frequenzen (500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz) verwendet. Die Gleismagneten sind in Fahrtrichtung unmittelbar rechts neben der rechten Schiene des Gleises angeordnet. [103]

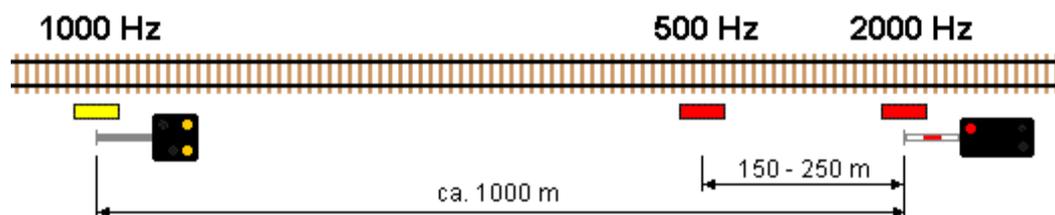


Abb. 53 – Anordnung Gleismagneten PZB 60/90 (Indusi) [103]



Abb. 54 – PZB 60/90 (Indusi) Gleismagnet [eigenes Foto]

Das Passieren eines 1000 Hz-Magnets am „Vorsicht“ zeigenden Vorsignal muss der Triebfahrzeugführer mittels Wachsamkeitstaste quittieren, und eine Bremsung einleiten, sonst erfolgt eine Zwangsbremsung. Beim 500 Hz-Magnet (rd. 150 – 250 m vor dem Hauptsignal, nicht überall vorhanden) erfolgt eine Zwangsbremsung, wenn eine bestimmte Geschwindigkeit überschritten wird. Beim Überfahren des 2000 Hz-Magnets unmittelbar am haltzeigenden Hauptsignal erfolgt eine sofortige Zwangsbremsung. [102] Stehen die Signale auf „Frei“ werden die Gleismagneten durch Kurzschließen unwirksam gemacht. Es stehen derzeit zwei Bauformen (PZB 60 und die neuere PZB 90) in Verwendung, die sich nur fahrzeugseitig und im Betriebsprogramm unterscheiden. Je nach Bauform der PZB und Betriebsart können unterschiedliche Geschwindigkeiten und Bremskurven überwacht werden, die alle über die gleichen drei Bauarten von Gleismagneten ausgelöst werden. [103]

Hochleistungsstrecken werden laufend mit Linienzugbeeinflussung (LZB) ausgestattet. Von den ÖBB wird ein Langschleifensystem mit max. 12,7 km langen Schleifen eingesetzt. Ein Kabel liegt in Gleismitte, das andere in der inneren Kehle eines Schienenfußes (ORE Typ B3 [102]), wobei die Kabel alle 100 m gekreuzt werden.



Abb. 55 – Linienleiter ÖBB mit Kreuzungsstelle [103]

Über die Anzahl der überfahrenen Kreuzungsstellen werden die Positionen der Fahrzeuge bestimmt, und die Züge adressiert. [103] Durch die Anzeige und Überwachung der Sollgeschwindigkeit im Führerstand werden die Aufgaben der Signalisierung und Zugbeeinflussung übernommen.

Zukünftig werden die Aufgaben der Zugsicherung und Zugsteuerung bei den europäischen Bahnen vom European Train Control System (ETCS) übernommen werden, das schrittweise und in verschiedenen Ausbaustufen (Level 1 – 4) eingeführt werden soll. [105] Neu zugelassene Fahrzeugtypen müssen grundsätzlich für die Erfordernisse des ETCS vorbereitet sein. [44]

Für die Zulassung im ÖBB-Netz sind Triebfahrzeuge außerdem mit einer Sicherheitsfahrerschaltung (Sifa) gem. UIC 641 auszustatten. [44]

Zur Sicherung von Eisenbahnkreuzungen kommen ferngesteuerte oder zuggesteuerte Sicherungsanlagen zum Einsatz. Nur vereinzelt sind noch ortsbediente Anlagen vorhanden. Die zuggesteuerten Eisenbahnkreuzungssicherungsanlagen werden unabhängig von Fahrzeugeinrichtungen durch Überfahren von Gleiskontakten ein- und ausgeschaltet.

Auf den meisten, jedoch nicht flächendeckend auf allen, Strecken im Vollbahnnetz der ÖBB ist Zugfunk installiert. Es wird ein Analog-Streckenfunksystem im 450 MHz-Band gem. UIC 751-3 verwendet. Für Verschiebfunk ist ein zusätzliches analoges Funksystem im 4 m-Band (Frequenzen ~80,000 MHz) vorhanden. Als künftiger Standard wurde ein Digitales Funksystem nach dem GSM-R Standard definiert, das sich in der Einführungsphase (Pilotstrecke Wels – Passau) befindet. [44] [106]

b) Sicherungssystem U-Bahn

Das Grundnetz der Wiener U-Bahn ist mit einem relaisbasierten Stellwerkssystem in Spurplantechnik (SpDrS-U) ausgestattet. Für die zweite Ausbaustufe (Linie U3 & U6) kamen weiterentwickelte Relaisstellwerke der Type MSU (modulares Stellwerk für U-Bahnen) zur Anwendung. [55] Im Zuge der in Bau befindlichen dritten Ausbaustufe der U-Bahn werden elektronische Stellwerkssysteme (ESTW) eingesetzt. Sämtliche Stellwerkstypen sind fernsteuerbar und werden in der Regel von der zentralen Leitstelle in Erdberg fernbedient. [55] Zur Gleisfreimeldung werden tonfrequente Gleisstromkreise verwendet. [57] Dadurch können Isolierstöße im Gleis entfallen. [102]

Um die Zugfolgezeiten zu minimieren (min. 70 sek. [35]) und dadurch die Leistungsfähigkeit der U-Bahn optimieren zu können, ist die U-Bahn mit einer kontinuierlichen

Zugbeeinflussung ausgestattet. Zum Einsatz gelangt eine Linienzugbeeinflussung im Kurzschleifensystem der Type LZB 503 bzw. deren ähnliche Nachfolgetype LZB 513. Beide Systeme sind untereinander kompatibel, sodass sowohl Fahrzeuge mit der moderneren LZB auf Altstrecken, als auch ältere Fahrzeuge auf Strecken mit modernerer Streckenausrüstung uneingeschränkt verkehren können. [55] Die Fahrbefehle (Geschwindigkeitswerte) werden kontinuierlich als Impulstelegramm über zwei parallel im Abstand von 40 cm im Gleis verlegte, mindestens 72 m lange Linienleiterschleifen in den Fahrerstand übertragen und dort angezeigt. [57]



Abb. 56 – Linienleiter U-Bahn mit Kreuzungsstelle [eigenes Foto]

Die Züge fahren und bremsen automatisch, lediglich der Abfahrtsbefehl ist vom Fahrer zu geben. Es ist jedoch auch eine händische Steuerung möglich, wobei die an den Zug signalisierte momentane Maximalgeschwindigkeit nicht überschritten werden kann. Zur Verringerung der Wendezeit sind die Züge für fahrerloses Wenden ertüchtigt.

Bei Störungen der Signaleinrichtung kann der gestörte Abschnitt in Handfahrt mit verringerter Geschwindigkeit (auf Sicht, max. 25 km/h bei „Ersatzsignal“ bzw. 15 km/h bei „Fahrterlaubnissignal“) befahren werden. [65]

Die U-Bahn-Triebwagen sind mit einer „Totmanneinrichtung“ ausgestattet, die bei Handfahrt die Fahrtauglichkeit des Fahrers überwacht. Bei Automatikfahrt ist diese Einrichtung überbrückt. [65]

Die U-Bahn ist mit Ausnahme der Betriebsbahnhöfe durchgehend kreuzungsfrei. Betriebsgleisverbindungen zu anderen Strecken sind in das Sicherungssystem einbezogen.

Eine Funkanlage ermöglicht die Kommunikation von jeder Stelle des Netzes mit der Leitstelle. Das Tunnelfunksystem der U-Bahn ist Teil des Betriebsfunksystems der Wiener Linien, das neben den Tunnelstrecken auch den Obertagefunk der oberirdischen U-Bahnstrecken, sowie von Straßenbahn und Autobus bedient. [55] Es stehen 5 Kanäle im 2 m-Band zur Verfügung, die über abstrahlende Koaxkabeln und Verstärker arbeiten. Zusätzlich gibt es örtliche Rangierfunksysteme im 70 cm-Band. [55] [57]

c) Sicherungssystem U-Bahn mit Oberleitungsbetrieb

Die Sicherung der Fahrwege der U-Bahn mit Oberleitungsbetrieb erfolgt mittels Relaisstellwerken der Type MSU. [55] Die Gleisfreimeldung erfolgt durch das Tonfrequenzgleisfreimeldesystem, das auch bei den Strecken der U-Bahn mit Stromschiene zum Einsatz gelangt.

Die U-Bahn mit Oberleitungsbetrieb ist im Gegensatz zu den übrigen Strecken der Wiener U-Bahn nicht mit einer LZB ausgestattet. Der Grund dafür liegt in den vom Vorläuferbetrieb der Wiener Stadtbahn übernommenen Fahrzeugtypen E₆/C₆, die nur mit erheblichen Kosten für einen LZB-Betrieb aufrüstbar gewesen wären. [107]

Die Strecke der U-Bahn mit Oberleitungsbetrieb ist mit Lichtsignalen und punktförmiger Zugbeeinflussung ausgerüstet. Als Lichtsignale kommen Hauptsignale zum Einsatz, die an Stellen mit kurzen Sichtweiten auf die Signale durch zusätzliche Vorsignale ergänzt werden. Die Betriebsbahnhöfe sind sicherungstechnisch nicht erfasst; in ihnen wird auf Sicht gefahren.

Die Zugbeeinflussung erfolgt mittels einer magnetischen Fahrsperrung. An Signalstandorten ist rechtsseitig zwischen den Schienen ein Permanent-Gleismagnet angeordnet, der bei unerlaubtem Überfahren durch die korrespondierenden Fahrzeugempfangseinrichtungen eine Zwangsbremmung auslöst. Bei frei zeigendem Signal wird der Magnet durch eine Löschsule unwirksam gemacht. [107]



Abb. 57 – magnetische Fahrsperrung U-Bahn mit Oberleitungsbetrieb [eigenes Foto]

Bei Störungen kann eine Weiterfahrt auf Sicht, mit max. 15 km/h, erlaubt werden (Ersatzsignal), wobei die Wirkung des Fahrzeugmagnets durch eine fahrzeugseitige Einrichtung (Schaltung „Ers-v15“) überbrückt wird. [107]

Die Fahrzeuge der U-Bahn mit Oberleitungsbetrieb verfügen über eine „Totmanneinrichtung“. [70]

Die Strecke weist keine niveaugleichen Eisenbahnkreuzungen auf. Betriebsgleisverbindungen zu den übrigen U-Bahnstrecken und zur WLB sind in die Sicherungsanlage einbezogen. Die Gleisverbindung zum Straßenbahnnetz ist direkt in den Betriebsbahnhof (Michelbeuern) eingebunden).

Die Funkanlage der U6 entspricht derjenigen, die bei den übrigen U-Bahnstrecken verwendet werden. [55]

d) Sicherungssystem Wiener Lokalbahnen

Die Strecke der Wiener Lokalbahnen zwischen Schedifkaplatz und Baden Josefsplatz ist mit Sicherungsanlagen (Gleisbildstellwerke) ausgerüstet. Als Gleisfreimeldeanlagen werden fahrzeugunabhängig funktionierende 50 Hz-Gleisstromkreise und Tonfrequenz-Gleisstromkreise mit 9,5 – 14,5 kHz verwendet. [29]

Die Fahrbefehle werden mittels Lichtsignalen (Hauptsignale ohne Vorsignale) angezeigt.

Signalabhängige Zugbeeinflussungseinrichtungen wie LZB und Indusi sind nicht installiert. Eine Nachrüstung einer Zugbeeinflussung ist vorgesehen und erfolgt in Abstimmung mit einer künftigen Sicherungsanlage der Wiener U-Strab-Strecke. [37]

Für den Einmannbetrieb sind die Triebfahrzeuge der WLB mit einfacher SIFA ausgerüstet. [29] [37]

Zahlreiche Eisenbahnkreuzungen sind mit Eisenbahnkreuzungssicherungsanlagen (vorwiegend LZA) ausgestattet, die durch das Triebfahrzeug mittels Meldungsübertragungssystem VETAG oder Radsensoren geschaltet werden. [29] [37]

Die Strecke Philadelphiabrücke - Baden Josefsplatz ist für Zugfunk (Tetra-Funksystem) eingerichtet. Zusätzlich ist für Verschiebfunk ein analoges Funksystem (Frequenzen 446,400 und 446,450 MHz) installiert. [29]

Im straßenbahnmäßig befahrenen Abschnitt Wien Oper – Schedifkaplatz gelangen bei den WLB dieselben Stellvorrichtungen (VETAG) wie bei der Straßenbahn zur Anwendung. Der Betriebsfunk der Wiener Linien ist in den Triebwagen der WLB jedoch nicht installiert. [37]

e) Sicherungssystem Straßenbahn

Bei der Straßenbahn im allgemeinen Straßenraum wird der Fahrweg nicht gesichert. Es sind demnach auch keine Sicherungsanlagen vorhanden. Es gilt das Prinzip des Fahrens auf Sicht. Der Fahrzeugführer ist für die richtige Einstellung des Fahrwegs, also die Stellung der Weichen, selbst verantwortlich.

Die Weichen werden automatisch durch das Straßenbahnfahrzeug oder durch den Fahrer ferngestellt. Vereinzelt sind für untergeordnete Betriebsgleise noch händisch zu stellenden Weichen im Netz vorhanden. Die Fernsteuerung der Weichen erfolgt durch das VETAG-System. Dabei wird bei Annäherung des Fahrzeugs an eine Weiche über eine Fahrzeugantenne ein Signal ausgesendet, das vom Empfangsgerät der Weiche aufgenommen wird, und einen entsprechenden Stellvorgang auslöst. Das Fahrzeugsignal wird durch das IBIS-Gerät automatisch generiert, oder über Tasten vom Fahrzeugführer erzeugt.

Lediglich im Bereich der U-Strab ist das Fahren auf Sicht gem. StrabVO § 52 (2) Z.2.b nicht zulässig. Hier ist zur Zeit eine Sicherungsanlage mit Nachfahr-signalen, jedoch ohne Zugbeeinflussung, vorhanden. Abschnitte mit Streckenhöchst-geschwindigkeiten über 70 km/h, die gem. § 52 (2) Z.2.a ebenfalls eine Zugsicherung erfordern, sind in Wien zur Zeit nicht vorhanden. [34]

In den Straßenbahnfahrzeugen ist eine „Totmanneinrichtung“ installiert, die als Sicherheitsfahr-schaltung gemäß §39 (2) StrabVO [17] fungiert. [108]

Die Straßenbahnfahrzeuge verfügen über ein digitales Funksystem. Die Kommunika-tion erfolgt über eine für Straßenbahn- und Autobusbetrieb gemeinsame Funkleit-zentrale, die jedoch getrennt von der Leitstelle der U-Bahn betrieben wird. [59] Das Funksystem dient neben dem Sprachfunk auch der Datenkommunikation für das Rechnergesteuerte Betriebsleitsystem (RBL). Das Rechnergesteuerte Betriebs-leitsystem besteht aus einem zentralen Leitreechner und jeweils einem Bordrechner (IBIS – Integriertes Bord-Informationen-System) in jedem RBL-Fahrzeug, die über Datenfunk in Verbindung stehen. Über das RBL wird zyklisch der Standort der Fahrzeuge abgefragt, um Abweichungen vom Fahrplan zu erkennen und gegebenen-falls geeignete Maßnahmen setzen zu können. Ebenso können codierte Anweis-ungen an die Fahrzeuge übermittelt werden, um z.B. Anweisungen zu Ablenkungen oder Kurzführungen an die Fahrer zu übermitteln. [59]

An Verkehrslichtsignalanlagen (VLSA) gelten die Signale gem. StVO, wenn nicht eigene Fahrsignale für die Straßenbahn gem. Anlage 2, Pkt. 3 StrabVO [17] angeordnet sind. Zugbeeinflussung durch die Fahrsignale ist keine vorhanden. Zahlreiche VLSA können durch die Straßenbahn beeinflusst werden. Die An- und Abmeldung für die Straßenbahnphasen erfolgt vorwiegend über ortsfeste Fahrleit-ungskontakte. Mit dem Ausbau des Rechnergesteuerten Betriebsleitsystems können An- und Abmeldungen künftig auch mittels Datenfunk über die Bordrechner an die Signalanlagen geschickt werden. [59]

6.6.3 Kombinationen

Für den freizügigen Einsatz eines Fahrzeugtyps auf unterschiedlichen Eisenbahnsystemen müssen die Fahrzeuge für die jeweils vorhandenen Sicherungssysteme ausgerüstet sein. Ein Einsatz von Fahrzeugen ohne taugliche Sicherungssysteme ist zwar in Ausnahme- und Störungsfällen möglich, hat jedoch erhöhten Aufwand (z.B. zusätzliches Fahrpersonal) oder betriebliche Einschränkungen (z.B. deutliche Geschwindigkeitsbeschränkungen) zur Folge.

Sicherungstechnik	Vollbahn	U-Bahn	U-Bahn mit Oberleitung	WLB	Straßenbahn
Zugsicherung					
Fahrwegsicherung	ja	ja	ja	teilweise	nein
Fahrwegsteuerung (automatisch, fahrzeugseitig)	-	-	-	VETAG	VETAG
Zugbeeinflussung					
Linienzugbeeinflussung	Langschleifen (teilweise)	Kurzschleifen (LZB 503/513)	-	-	-
punktförmige Zugbeeinflussung	Indusi PZB 60/90	-	magnetische Fahrsperren	-	-
Sicherheitsfahrerschaltung	SIFA	Totmann	Totmann	SIFA	Totmann
Kommunikation					
Funkeinrichtung	ÖBB Zug- & Verschiebfunk	WL-Funk (U-Bahn)	WL-Funk (U-Bahn)	WLB Zug- & Verschiebfunk	WL-Funk (Straßenbahn)

Tab. 23 – Übersicht Sicherungssysteme

6.6.3.1 Zugsicherung

Die derzeit verwendeten Einrichtungen für die Zugsicherung sind überwiegend fahrwegabhängig. Die Art und sicherungstechnische Ausstattung der Fahrzeuge für die Sicherung des Fahrwegs ist vom Infrastrukturbetreiber vorgegeben.

Die vorhandenen Einrichtungen für die automatische Gleisfreimeldung funktionieren derart, dass jedes Fahrzeug mit elektrisch verbundenen Radpaaren erkannt wird und daher beliebige Fahrzeuge eingesetzt werden können. Für die Gleisfreimeldung durch Augenschein ist lediglich der Einsatz der jeweiligen Zugschlussignale Voraussetzung.

Eine Einschränkung besteht nur hinsichtlich der Eisenbahnkreuzungen der WLB. Da das Einschalten der Lichtzeichenanlagen mittels VETAG funktioniert, müssen Fahr-

zeuge für den Einsatz auf der WLB-Strecke mit einer entsprechenden VETAG-Vorrichtung ausgestattet sein.

Ebenso müssen alle Fahrzeuge, die das Straßenbahnnetz befahren mit einer VETAG-Vorrichtung ausgerüstet sein, da die Stellung der Weichen sowohl automatisch als auch händisch über dieses System vorgenommen wird.

6.6.3.2 Zugbeeinflussung

Die derzeit eingesetzten Zugbeeinflussungssysteme aller in Wien vorkommenden Eisenbahnsysteme sind untereinander nicht derart kompatibel, dass fahrzeugseitige Einrichtungen zu fahrwegseitigen Einrichtungen eines fremden Systems passen.

Die beiden eingesetzten LZB-Systeme unterscheiden sich wesentlich in der Anordnung der Linienleiter und Antennen, sowie in der Art der Fahrzeugortung.

PZB / Indusi und die magnetischen Fahrsperrern der U6 weisen zwar ähnliche Funktionsprinzipien auf, jedoch können durch die Indusi im Gegensatz zur magnetischen Fahrsperrern mit Hilfe der verschiedenen Frequenzen zusätzliche Informationen an das Fahrzeug übertragen werden. Eine weitere Inkompatibilität ist durch die unterschiedliche Lage der Magneten gegeben.

Für den Einsatz von Fahrzeugen auf fremden Netzen muss daher jedes Fahrzeug mit den zusätzlichen Einrichtungen der jeweiligen Zugbeeinflussungssysteme ausgerüstet werden. Lediglich ein Fahrzeugeinsatz am Netz der Straßenbahn und WLB erfordert keine Zusatzeinrichtungen, da dort derzeit keine Zugbeeinflussung vorhanden ist.

Die Sicherheitsfahrerschaltung (Sifa) bzw. Totmanneinrichtung weisen die gleiche Wirkungsweise auf und unterscheiden sich nur in der Ansprechzeit. Die beiden Einrichtungen sind untereinander austauschbar. Fahrzeuge mit einfacher SIFA werden von den WLB ohne Einschränkungen am Straßenbahnnetz eingesetzt.

6.6.3.3 Kommunikation

Ebenso wenig systemübergreifend kompatibel wie die Zugbeeinflussungsanlagen sind die einzelnen Funksysteme der verschiedenen Eisenbahnsysteme. Lediglich die Wiener Linien verwenden für U-Bahn und Straßenbahn ein einheitliches Funksystem, das jedoch über getrennte Leitzentralen betrieben wird.

Bei einem Zweisystemfahrzeugeinsatz außerhalb des Netzes der Wiener Linien müssen jeweils passende Funkgeräte für beide befahrenen Eisenbahnsysteme installiert werden.

7 Zusammenfassung

Anhand eines praktischen Anwendungsbeispiels sollen die technischen Grundlagen für den Einsatz von Zweisystemfahrzeugen bei den Wiener Linien zusammengefasst werden.

Als denkbare Einsatzgebiete in Wien bzw. im Wiener Umland Beispiel wurden in den letzten Jahren zahlreiche Ideen kolportiert:

- Verlängerung der U-Bahnlinie U6 über die Strecke der WLB nach Wiener Neudorf bzw. Mödling
- Verlängerung der U-Bahnlinie U4 oder U6 über die Franz-Josefs-Bahn nach Klosterneuburg
- Verlängerung der U-Bahnlinie U4 über die Westbahn nach Purkersdorf
- Verlängerung der U-Bahnlinie U6 in straßenbahnmäßigem Betrieb nach Stammersdorf bzw. Strebersdorf
- Verlängerung der Straßenbahnlinie 60 über die Kaltenleutgebner Bahn nach Waldmühle bzw. Liesing

Für die beispielhafte Betrachtung wird die Idee einer Verlängerung der Kaltenleutgebner Bahn nach Waldmühle bzw. Liesing ausgewählt.

7.1 Fahrweg

Der wesentlichste Parameter für einen einfachen Fahrzeugübergang zwischen unterschiedlichen Eisenbahnsystemen, die Spurweite, ist bei allen auftretenden Betrieben ident. Es gibt zwar geringe Unterschiede in den Messanordnungen, die aber angesichts der zulässigen Spurerweiterungen bzw. Spurerengungen keine relevanten Auswirkungen haben.

Im Bereich des Vignolschienenoberbaus werden bei allen Systeme sehr ähnliche Schienenprofile eingesetzt. Deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Bahnen

treten bei den Rillenweiten auf; sowohl im Bereich von Rillenschienen bzw. Bahnübergängen, als auch bei der Anordnung von Leitschienen im Gleis.

Ganz wesentliches Kriterium für die Befahrbarkeit von Eisenbahnnetzen ist die Führung der Radsätze im Herzstückbereich von Weichen und Kreuzungen. Hier treten aufgrund der Geometrie sehr große Unterschiede zwischen den einzelnen Bahnsystemen auf, die auch entscheidende Auswirkungen auf die Anforderungen an Radsätze (Radbreite, Spurkranzkuppe, Leitmaß, Aufkeilweite) haben. Gemeinsamkeiten finden sich hier lediglich bei den beiden U-Bahnsystemen, Gleise und Weichen identisch ausgeführt werden.

Entsprechend der unterschiedlichen Ausbildungsformen der Gleismaße unterscheiden sich auch die derzeit eingesetzten und auf das jeweilige System optimierten Radprofile und Radsatzprofile stark von einander.

Für ein zu entwickelndes Zweisystemfahrzeug ist daher ein eigenes Übergangsprofil erforderlich. Dabei sind jedoch zwangsläufig Kompromisse bezüglich Laufeigenschaften und Verschleißoptimierung in Kauf zu nehmen.

Für die Verknüpfung von Straßenbahn und U-Bahn ist dieses Profil bereits vorhanden, und wird sowohl bei den U-Bahnfahrzeugen der Type T, als auch den Straßenbahnfahrzeugen der Typen Ulf A & B eingesetzt. Für den Fahrzeugübergang zur Vollbahn fehlen derartige Profile noch.

Für einen räumlich begrenzten Einsatzbereich kann der Einbau von speziellen Weichen ohne Fahrkantenunterbrechung die Entwicklung eines Radsatzübergangsprofils entbehrlich machen. Dieser Weg wurde von den WLB gewählt, um ihre Vollbahnabschnitte mit Straßenbahnfahrzeugen befahren zu können.

Für das angedachte Anwendungsbeispiel der Verlängerung der Straßenbahnlinie 60 nach Liesing bzw. Waldmühle empfiehlt sich der Einbau von Weichen mit beweglichen Flügelschienen auf der bestehenden Vollbahnstrecke.

Zusammen mit der Verwendung von Radsätzen analog den von den WLB verwendeten, ist ein Befahren sowohl des Straßenbahnabschnitts, als auch der adaptierten Vollbahnbereiche möglich.

7.2 Trassierungsparameter

Jedes in dieser Arbeit betrachtete Eisenbahnsystem (mit Ausnahme der WLB) weist ein eigenes Lichtraumprofil auf. Deren Parameter sind derart unterschiedlich, dass kein Lichtraumprofil vollständig von einem anderen umschlossen wird. Für den Einsatz von Übergangsfahrzeugen bedeutet das, dass deren Fahrzeugumgrenzung auf die jeweiligen Schnittflächen des Profils abgestimmt werden muss.

Bei den Trassierungsparametern in Grund- und Aufriss ist es hingegen so, dass die Vollbahn grundsätzlich strengere Kriterien aufweist als die U-Bahn und diese wiederum strengere als die Straßenbahn. Hier sind die jeweils geringeren Grenzwerte für die Auslegung von Zweisystemfahrzeugen maßgebend.

Eine betriebliche Besonderheit stellt der Einrichtungsbetrieb der Straßenbahn dar, der bei jeder Verknüpfung mit einem der anderen Systeme, die alle im Zweirichtungsbetrieb laufen, aufgegeben werden muss.

Künftige Zweisystemfahrzeuge für den Einsatz auf einer verlängerten Straßenbahnlinie 60 sowohl auf das Lichtraumprofil der Vollbahn, als auch Straßenbahn abgestimmt werden.

Hinsichtlich der Trassierungsparameter sind nur die Werte der Straßenbahn zu berücksichtigen, da im Fall der Kaltenleutgebner Bahn mit der Höchstgeschwindigkeit der Straßenbahn das Auslangen gefunden werden kann.

Die Fahrzeuge müssen allerdings für Zweirichtungsbetrieb eingerichtet werden, um doppelte Bahnsteiganordnungen und Umkehrschleifen am Vollbahnabschnitt einzusparen.

7.3 Fahrzeuge

Als Folge der unterschiedlichen Lichtraumprofile unterscheiden sich auch die Fahrzeugbreiten und -höhen der einzelnen Eisenbahnsysteme stark von einander. Zudem sind auch - vorwiegend bedingt durch die Bahnsteiglängen - verschiedene Zuglängen vorhanden. Übergangsfähige Fahrzeuge müssen für die jeweils kleineren Abmessungen einhalten, um uneingeschränkt eingesetzt werden zu können.

Hinsichtlich der Fahrzeugmassen (Achslast, „Metergewicht“) weisen abgesehen von den deutlich schwereren Vollbahnfahrzeugen alle Fahrzeuge ähnliche Größenordnungen auf, die eher vom Entwicklungszeitraum, als vom Einsatzgebiet abhängig sind. Bei der Entwicklung von Zweisystemfahrzeugen ist darauf zu achten, dass die erforderlichen Zusatzeinrichtungen nicht zu große Zusatzmassen bedingen. Beispiele vorhandener Zweisystemfahrzeugen zeigen aber, dass selbst die Massen aktueller Straßenbahnfahrzeuge unterschritten werden können.

Das zulässiger Geschwindigkeitsniveau neuer Fahrzeug liegt bei den Stadtverkehrssystemen bei etwa 80 km/h. Lediglich für den Einsatz auf Vollbahnen ist eine höhere Geschwindigkeit vorzusehen.

Mit den Fahrzeugmassen in engem Zusammenhang steht die Rahmenfestigkeit, für die ebenfalls geringe Unterschiede zwischen den Systemen mit Ausnahme der deutlich steiferen Vollbahnfahrzeuge zu vermerken sind. Ein Mischbetrieb von unterschiedlich festen Fahrzeugen ist, eventuell mit gewissen betrieblichen Vorkehrungen (vgl. WLB bzw. deutsche LNT-Richtlinie [24]), aber vertretbar.

Ein Kuppeln von Zweisystemfahrzeugen mit anderen Fahrzeugen ist nicht erforderlich, wäre aufgrund der inkompatiblen Kupplungssysteme auch nicht möglich.

Für einen Einsatz von Zweisystemfahrzeugen auf dem Straßenbahnnetz sind zusätzliche Fahrzeugausstattungen (Ausrüstung für den Straßenverkehr, Fahrgastinformationssysteme, Entwerter und Fahrkartenautomaten) zu berücksichtigen.

Fahrzeuge für den Verkehr auf der verlängerten Straßenbahnlinie 60 können eine Länge von bis zu 35 m bei einer Breite von 2,40 m und einer Höhe von ca. 3,70 m und eine maximale Geschwindigkeit von 70 - 80 km/h ausweisen.

Als Rahmenfestigkeit empfiehlt sich zumindest 400 kN einzuhalten. Ein bestimmtes Kupplungssystem ist nicht vorzusehen.

Allerdings sind sämtliche Ausrüstungen für den Straßenverkehr gemäß StrabVO [17] zu gewährleisten, sowie die Fahrzeuge mit Entwertern und Fahrkartenautomaten auszustatten.

7.4 Bahnsteige

Da die Bahnsteige in erster Linie auf das Lichtraumprofil und in zweiter Linie auf den vorhandenen Fahrzeugpark abgestimmt sein müssen, haben sich für die verschiedenen Eisenbahnsysteme entsprechend unterschiedliche Standards entwickelt. Abgesehen von den beiden U-Bahnsystemen sind nicht einmal innerhalb der einzelnen Systeme einheitliche Bahnsteighöhen und Gleisabstände vorhanden. Große Ähnlichkeiten sind lediglich zwischen U-Bahn mit Oberleitungsbetrieb und einzelnen Bahnsteigen der WLB gegeben.

Vor allem im Hinblick auf die im Behinderten-Gleichstellungsgesetz geforderte Barrierefreiheit ist es nicht möglich, einen universell einsetzbaren Bahnsteigtyp zu entwickeln.

Es besteht lediglich die Möglichkeit die entsprechenden Standardbahnsteige mittels fahrzeugseitiger Maßnahmen barrierefrei benutzbar zu machen, oder die durch bahnsteigseitige Maßnahmen zu ergänzen. In den meisten Fällen ist erst eine Kombination aus fahrzeugseitigen und bahnsteigseitigen Maßnahmen zielführend.

Bisher wurden bereits unzählige Maßnahmen entwickelt und erprobt, um das Bahnsteigproblem zu lösen. Die Wahl der geeignetsten Maßnahmen ist vor allem eine wirtschaftliche Entscheidung, die jedoch auch stark von betrieblichen Aspekten (z.B. echter Mischbetrieb, oder Stadtbahnbetrieb auf Vollbahnstrecken) geprägt ist.

Da die bestehende Kaltenleutgebner Bahn zur Zeit nur im Güterverkehr bedient wird, sind keine Bahnsteige vorhanden.

Es bietet sich die Errichtung von Niedrigbahnsteigen mit einem Abstand der Bahnsteigkante von der Gleisachse von 1,300 m an, die bei einer Höhe von 8 cm außerhalb des Lichtraumprofils der Vollbahn liegen.

Da die Bahnsteigkante dem Normabstand der Straßenbahn entspricht, kann mittels einer mitgeführten Rampe ein barrierefreier Einstieg gesichert werden. Für nicht in ihrer Mobilität eingeschränkte Fahrgäste ist ein 7 cm höherer Spalt als an den Standardbahnsteigen der Straßenbahn vertretbar.

7.5 Traktion

Bezüglich der Antriebsysteme sind zwischen den vorhandenen Systemen die meisten Ähnlichkeiten festzustellen. Die U-Bahn mit Oberleitungsbetrieb, WLB und Straßenbahn werden alle mit Gleichstrom betrieben, der mittels Fahrleitung zugeführt wird. Die Spannungen der Fahrleitung unterscheiden sich zwar (750 V, 850 V bzw. 600 V), ein Fahrzeugübergang ist aber bereits derzeit möglich.

Die beiden U-Bahnsysteme verwenden zwar die gleiche Gleichstromspannung von 750 V, unterscheiden sich aber in der Stromabnahme. Eine Anpassung eines Stromschienenfahrzeugs an den Betrieb (bzw. umgekehrt) mit Fahrleitung wirft Probleme mit der Unterbringung des Pantographen auf, die nur mittels Sonderkonstruktionen zu lösen sind.

Die größten Unterschiede weist die Vollbahn auf, die entweder mit Wechselstrom (15 kV, 16,7 Hz) aus einer Fahrleitung oder mit Dieseltraktion betrieben wird. Für den Einsatz eines Fahrzeugs eines der Gleichstromsysteme auf Vollbahnen ist es daher mit zusätzlichen Aggregaten auszustatten, die den Wechselstrom auf den benötigten Gleichstrom wandeln, oder mittels Dieselgenerator selbst herstellen.

Um sich letzteres zu ersparen besteht die Alternative, nicht elektrifizierte Strecken mit einer Gleichstromfahrleitung zu überspannen.

Da die Kaltenleutgebner Bahn derzeit nicht elektrifiziert ist, bietet sich an, die Strecke mit einer Fahrleitung nach den Normalien der Wiener Straßenbahn auszustatten.

Als Stromsystem können die 600 V des Straßenbahnnetzes dienen. Bei entsprechender Auslegung der Fahrzeuge ist zur Verminderung der Leitungsverluste auch eine höhere Spannung analog zur WLB machbar.

7.6 Sicherungssysteme

Die Sicherungstechnik der einzelnen Eisenbahnsysteme weist nur geringe Übereinstimmungen auf. Zwar sind in der Stellwerkstechnik von Vollbahn und U-Bahn Gleichartigkeiten zu erkennen, die Übertragung der Fahrbefehle und insbesondere die Einrichtungen zur Zugbeeinflussung sind aber komplett unterschiedlich. Die WLB verfügt nur teilweise über Zugsicherung, jedoch keine Zugbeeinflussung. Die Straßenbahn weist überhaupt keine Einrichtungen zur Zugsicherung auf.

Einzig eine Sicherheitsfahrschaltung oder „Totmanneinrichtung“ ist in den Fahrzeugen aller Systeme vorhanden.

Straßenbahn und WLB verfügen im Gegensatz zu Vollbahn und U-Bahn über Einrichtungen zur Fahrwegsteuerung (VETAG), die Straßenbahnfahrzeuge zusätzlich über IBIS-Geräte zur Ansteuerung des Rechnergesteuerten Betriebsleitsystems.

Ebenso sind in den Fahrzeugen aller Eisenbahnsysteme Funkeinrichtungen installiert, die jedoch auch nur zwischen Fahrzeug und der eigenen Leitstelle einsetzbar ist. Eine Kommunikation zu Fahrzeugen fremder Systeme ist damit nicht möglich.

Für den Einsatz von Zweisystemfahrzeugen müssen diese mit denjenigen Einrichtungen versehen werden, die der bzw. die Infrastrukturbetreiber vorschreiben, um einen sicheren Betrieb zu gewährleisten. Daraus resultiert die Bedingung, Zweisystemfahrzeuge für jedes befahrene Eisenbahnsystem mit eigenen Zugsicherungseinrichtungen und Funkeinrichtungen auszustatten.

Für einen planmäßigen Personenverkehr ist die Kaltenleutgebner Bahn mit modernen Zugsicherungseinrichtungen (Signale, Eisenbahnkreuzungssicherungsanlagen, eventuell ferngesteuerte Ausweichen) auszustatten.

Mit den entsprechenden Fahrzeugkomponenten sind auch die Fahrzeuge zu versehen. Zusätzlich sind diese mit VETAG-Einrichtungen und IBIS-Geräten für den Einsatz auf der Straßenbahnstrecke auszustatten.

7.7 Resümee

Der Einsatz von Zweisystemfahrzeugen unter Benutzung des Gleisnetzes der Wiener Linien ist aus technischer Sicht prinzipiell möglich.

Der erforderliche Aufwand, um Zweisystemfahrzeuge einsetzen und betreiben zu können, ist jedoch erheblich.

Hier muss die Frage gestellt werden, ob der zusätzliche Aufwand in vernünftiger Relation zu einem erzielbaren Fahrgastzuwachs stehen kann.

8 Literaturverzeichnis

- [1] HERTEL, Stephan;
Vor- und Nachteile einer Systemverknüpfung
von S-, U-Bahn und Straßenbahn in Berlin;
Diplomarbeit an der TU Berlin, 2001
- [2] HONDIUS, Harry;
Stadtbahnen ohne Fahrdrabt?
stadtverkehr 2/2000 S.13-15
- [3] UHLENHUT, Achim;
Alle 42 Zweisystemtriebwagen ET 474.3 an die S-Bahn Hamburg übergeben;
Verkehr und Technik 10/2007 S.373-377
- [4] Eisenbahngesetz 1957 (EisenbahnG 1957)
BGBl. Nr. 60/1957 vom 13. Feber 1957, zuletzt geändert im
BGBl. Nr. 125/2006 vom 26. Juli 2006
- [5] Richtlinie 96/48/EG des Rates vom 23. Juli 1996 über die Interoperabilität des
transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems;
Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 235; 17.9.1996
i.d.F. Richtlinie 2007/32/EG der Kommission vom 1. Juni 2007;
Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 141; 2.6.2007
- [6] Richtlinie 2001/16/EG des Europäischen Parlaments und des Rates
vom 19. März 2001 über die Interoperabilität des konventionellen
transeuropäischen Eisenbahnsystems;
Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 110; 20.4.2001;
i.d.F. Richtlinie 2007/32/EG der Kommission vom 1. Juni 2007;
Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 141; 2.6.2007
- [7] Eisenbahnbeförderungsgesetz (EBG)
BGBl. Nr. 180/1988 vom 31. März 1988, zuletzt geändert im
BGBl. Nr. 32/2002 vom 18. Jänner 2002
- [8] Hochleistungsstreckengesetz (HIG)
BGBl. Nr. 209/2003 vom 11. April 2003, zuletzt geändert im
BGBl. Nr. 154/2004 vom 30. Dezember 2004

-
- [9] Privatbahngesetz 2004 (PrivbG)
BGBl. Nr. 39/2004 vom 30. April 2004
- [10] Bundes-Behindertengleichstellungsgesetz BGStG
BGBl. Nr. 82/2005 vom 10. August 2005
- [11] Unfalluntersuchungsgesetz
BGBl. Nr. 132/2005 vom 31. Oktober 2005
- [12] Eisenbahn-Kreuzungsverordnung 1961 (E-Kr VO 1961)
BGBl. Nr. 2/1961 vom 21. Dezember 1960, zuletzt geändert im
BGBl. Nr. 123/1988 vom 3. März 1988
- [13] Schienenfahrzeug-Lärmzulässigkeitsverordnung (SchLV)
BGBl. Nr. 414/1993 vom 25. Juni 1993
- [14] Schienenverkehrslärm-Immissionsschutzverordnung – SchIV
BGBl. Nr. 415/1993 vom 25. Juni 1993
- [15] Verordnung über geringfügige Veränderungen an Fahrbetriebsmitteln
BGBl. Nr. 548/1994 vom 15. Juli 1994
- [16] Triebfahrzeugführer-Verordnung 1999 (TFVO)
BGBl. Nr. 64/1999 vom 26. Februar 1999
- [17] Straßenbahnverordnung 1999 (StrabVO)
BGBl. II Nr. 76/2000 vom 3. März 2000, zuletzt geändert im
BGBl. Nr. 310/2002 vom 6. August 2002
- [18] Eisenbahnverordnung 2003 (EisbVO 2003)
BGBl. II Nr. 209/2003 vom 11. April 2003, zuletzt geändert im
BGBl. Nr. 104/2005 vom 20. April 2005
- [19] Verordnung geringfügiger Baumaßnahmen
BGBl. Nr. 5/2005 vom 12. Jänner 2005
- [20] Allgemeine Eisenbahngesetz (AEG);
BGBl. II S. 1563 vom 12. Mai 1967, zuletzt geändert im
BGBl. I S. 2407, 2470 vom 31. Oktober 2006;
<http://www.wedebruch.de/gesetze/betrieb/ebo1.htm>
<http://www.wedebruch.de/gesetze/betrieb/ebo2.htm>; letzter Zugriff 08.08.2008

-
- [21] Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO);
BGBl. II S. 1563 vom 12. Mai 1967, zuletzt geändert im
BGBl. I S. 2407, 2470 vom 31. Oktober 2006;
<http://www.wedebruch.de/gesetze/betrieb/ebo1.htm>
<http://www.wedebruch.de/gesetze/betrieb/ebo2.htm>
<http://www.wedebruch.de/gesetze/betrieb/eboanl.htm>; letzter Zugriff
08.08.2008
- [22] Personenbeförderungsgesetz (PbefG)
BGBl. I S. 241, vom 21. März 1961, in der Fassung der Bekanntmachung
BGBl. I S. 1690 vom 8. August 1990, zuletzt geändert im
BGBl. I S. 2407, 2445 vom 31. Oktober 2006
<http://www.wedebruch.de/gesetze/persbefg1.htm>; letzter Zugriff 08.08.2008
- [23] Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen
(Straßenbahn-Bau- und Betriebsordnung – BOStrab)
BGBl. I S 2648 vom 18. Dezember 1987, zuletzt geändert im
BGBl. I S. 2146, 2148 vom 19. September 2006
<http://www.wedebruch.de/gesetze/persbef/bostrab1.htm>
<http://www.wedebruch.de/gesetze/persbef/bostrab2.htm>
<http://www.wedebruch.de/gesetze/persbef/bostrab3.htm>;
letzter Zugriff 08.08.2008
- [24] Besondere Bedingungen für das Verkehren von Leichten
Nahverkehrstriebwagen (LNT) im Mischbetrieb mit Regelfahrzeugen der
Eisenbahnen des öffentlichen Verkehrs; Verlautbarung des (deutschen)
Bundesministeriums für Verkehr E 15/32.31.00/19 Va 95 (1) vom 24. April
1995
- [25] Dienstvorschrift B 52 Oberbau, Technische Grundsätze;
Österreichische Bundesbahnen
- [26] HAIGERMOSER, Andreas;
Vorlesungsskriptum Schienenfahrzeuge;
Ausgabe 07.2002, TU Graz
- [27] JAWORSKI, Roman;
Vorlesungsskriptum Bahnerhaltung;
Institut für Eisenbahnwesen, TU Wien

-
- [28] Oberbauvorschrift für Straßenbahnen (OVSt 57);
Hrsg.: Fachverband der Schienenbahnen; Okt. 1977
- [29] Schienennetznutzungsbedingungen 2009 (SNNB) gem. §59 EisbG;
Aktiengesellschaft der Wiener Lokalbahnen; Stand 15.03.2008;
http://www.wlb.at/media/files/2008/WLB_SNNB_2009_3611.pdf
- [30] Profile Programm – Section Programme, Profilehandbuch, Ausgabe 03.2004;
voestalpine Schienen GmbH;
http://www.voestalpine.com/schienen/de/site/downloads.ContentPar.0323.File.tmp/Profilehandbuch_Section_Programme.pdf
- [31] Oberbauhandbuch;
ThyssenKrupp GfT Gleistechnik, Stand 11.07.2007;
<http://www.oberbauhandbuch.de/oberbauhandbuch.html>
- [32] N.N;
Bahnübergänge, ;
EI – Eisenbahningenieur 3/2000 S.7
- [33] Zusatzbestimmungen zur DV B 51 Oberbauvorschrift,
ZOV 7 Umgrenzung des lichten Raums und Gleisabstand;
Österreichische Bundesbahnen
- [34] FISCHMEISTER Edgar, ROLLINGER Wolfgang;
134 Jahre Oberbau in Wien,;
Schmid Verlag, Wien 1999
- [35] U-Bahn-Bau in Wien
Festschrift anlässlich der Eröffnung der ersten Teilstrecke des
Wiener U-Bahn-Netzes am 25. Februar 1978;
Hrsg.: die Stadtbaudirektion der Stadt Wien; 1978
- [36] Zusatzbestimmungen zur Oberbauvorschrift für Straßenbahnen,
ZOVST 1 Regelformen der Oberbausysteme, Schienenprofile;
Wiener Stadtwerke – Verkehrsbetriebe, Bautechnische Gruppe; 1987
- [37] Angaben Betriebsleitung der WLB, Ing. Prandstätter;
Gespräch am 11.1.2005

-
- [38] MATTHEWS, Volker;
Bahnbau; 4. Auflage;
Teubner Studienskripten; B.G. Teubner; Stuttgart, Leipzig; 1998
- [39] Ingenieurbau Verkehr; Straße, Schiene, Luft;
Hrsg.: G. Mehlhorn, U. Köhler;
Ernst & Sohn Verlag, Berlin 2001
- [40] Situation Radsatz – Schiene, Spurspiel,
Norm/0.025, Norm/0.025.1, Norm/0.025.2, Norm/0.025.3;
Wiener Verkehrsbetriebe, Abt. Wk, 1994
- [41] WEGENSTEIN, Peter;
Streckengeschichte der Wiener Lokalbahnen;
Schienenverkehr aktuell 3-7&9/2000
- [42] N.N.;
Die Badner Bahn heute;
Eigenverlag der AG der Wiener Lokalbahnen, Wien 1985
- [43] KARR, Martin;
Mehrsystemkonzepte der Schienenbahnen in Europa:
Vertiefenarbeit am Institut für Straßen- und Eisenbahnwesen – Abteilung
Eisenbahnwesen – Universität Karlsruhe (TH);
<http://www.karr.de/veroeffentlichungen/vtint7.html>; letzter Zugriff: 21.07.2008
- [44] Anforderungskatalog an Triebfahrzeuge für die Zulassung im Netz der ÖBB;
<http://193.81.167.162/FahrzeugDB/Daten/Anforderungskatalog.pdf>
Stand: 11.07.2003
- [45] Radsatzüberwachungsblatt, DB 633; ÖBB Infrastruktur Betrieb;
http://www.railnetaustria.at/de/OneStopShop/Zulassungsstelle/Dokumente/DB-663_Anhang9_RadsatzUeberwachungsblatt.pdf; Stand: 21.07.2008
- [46] KURZ, Karl;
Richtlinien für die Spurführung von Schienenbahnen nach der Verordnung
über den Bau und Betrieb von Straßenbahnen (BOStrab);
Schriftenreihe für Verkehr & Technik Bd. 75;
Erich Schmidt Verlag; Bielefeld 1994
- [47] LUDWIG, Dieter; DRECHSLER, Georg. ;
Mit der Stadtbahn auf Bundesbahnstrecken;
ETR (Eisenbahntechnische Rundschau), 8/1991 S.489-496

-
- [48] Dienstvorschrift B 53 Die Gestaltung von Oberbauanlagen;
Österreichische Bundesbahnen
- [49] Vorschrift über Abstände und Abmessungen für Gleisanlagen mit
Stromschienen bei U-Bahnen; Neuauflage Oktober 1987;
Wiener Stadtwerke – Verkehrsbetriebe, Gruppe für U-Bahn-Anlagen
- [50] Vorschrift über Abstände und Abmessungen für Gleisanlagen der
Wiener Linien mit U-Bahn-Oberleitungsbetrieb (U-Bahn-Linie U6);
(„Lichtraum-Richtlinie“); Version 05.07.2004
- [51] Dienstvorschrift B 51 Oberbau, Technische Grundsätze;
Österreichische Bundesbahnen
- [52] Vorschrift über Abstände und Abmessungen für Gleisanlagen der
Wiener Linien mit Straßenbahnbetrieb;
(„Lichtraum-Richtlinie“); Version 18.06.2004
- [53] Standardsicherheitsbescheinigung ÖBB
Version 1.5; Stand: 01.07.2004;
http://193.81.167.162/Infra2005/Anhänge/SSB_Gesamt.pdf
- [54] Trassierungsvorschrift für die Wiener U-Bahn;
Ergänzung zur Oberbauvorschrift für Straßenbahnen (OVSt 57);
Wiener Stadtwerke – Verkehrsbetriebe, Gruppe für U-Bahn-Anlage; 1986
- [55] 3 Jahrzehnte U-Bahn-Bau in Wien;
Hrsg: Wiener Linien GmbH & Co KG,
Keller Verlag, Wien 2000
- [56] Höchstzulässige Fahrgeschwindigkeiten im Straßenbahnbetrieb;
Wiener Stadtwerke – Verkehrsbetriebe; Ausgabe 1984
- [57] MAIER, A.; VALENTA, G.; et. al.;
U-Bahn in Wien;
Hrsg: Wr. Stadtwerke Verkehrsbetriebe, Abt. Öffentlichkeitsarbeit, o.J
(ca.1982)
- [58] LENHART, Hans;
Die 10 steilsten Strecken der Wiener Straßenbahn;
Eisenbahn Österreich 1/2000 S.44

-
- [59] 100 Jahre Wiener Linien;
Hrsg.: Wiener Linien Ges.m.b.H. & Co KG;
N. J. Schmid Verlagsges.m.b.H; Wien; 2003
- [60] Typenblätter diverser U-Bahn- und Straßenbahnfahrzeuge;
Wiener Stadtwerke Verkehrsbetriebe
- [61] SCHLACHER, F; KLEIN, H;
Der elektrische Triebwagenzug Baureihe 4020 für den Nahverkehr der
Österreichischen Bundesbahnen;
Eisenbahntechnik 4/1979, S.63-78
- [62] Elektrischer Nahverkehrstriebzug Talent, ÖBB Reihe 4023/4024;
http://www.bombardier.com/index.jsp?id=1_0&lang=de&file=/de/1_0/1_0.jsp4023/4024; letzter Zugriff: 24.07.2005
- [63] Dieselmehchanischer Triebzug Desiro 5022;
Technische Information;
Siemens AG Transportation Systems, Bestell-Nr. A19100-V800-B743-V1
- [64] Technische Information,
Straßenbahnbetrieb, Autobusbetrieb, U-Bahn-Betrieb,
Wiener Linien Ges.m.b.H. & Co KG, Ausgabe 2003
- [65] Dienstvorschrift für den Fahrdienst der U-Bahn (DV – U);
Wiener Stadtwerke – Verkehrsbetriebe; 1987
- [66] Elektrische Ausrüstung des U-Bahn-Niederflurtriebfahrzeugs „T“
der Wiener Stadtwerke – Verkehrsbetriebe;
Vossloh Kiepe GmbH, Druckschrift-Nr. Kiepe 00 WN 5 DE
- [67] Personentriebwagen der WLB, Reihen 100 & 400, technische Daten
<http://www.wlb.at/wlb/ep/programView.do?channelId=-22403&displayPage=&programId=12348&pageTypeld=11128>;
letzter Zugriff: 21.07.2008
- [68] Niederflurstraßenbahn SGP ULF, Technische Information;
Konsortium Siemens Elin, Siemens SGP Verkehrstechnik
- [69] Prototypzug U-Bahn Wien V-Wagen, Technische Information;
Siemens SGP Verkehrstechnik

-
- [70] N.N;
Stadt- und Straßenbahnzug E₆/c₆, Straßenbahnzug E₂/c₅;
Hrsg: Wr. Stadtwerke Verkehrsbetriebe, Abt. Öffentlichkeitsarbeit, o.J.
(ca.1980)
- [71] Achsfahrmassen der Niederflur-Straßenbahnwagen der Stadtwerke Wien bei
ausgewählten Beladungszuständen;
http://www.mp-video.at/ULF/Serienulf_Technik/klein/Tafel_2.jpg;
letzter Zugriff: 21.07.2008
- [72] HONDIUS, Harry;
Der Mittelflur-Zweisystem-Stadtbahnwagen der AVG und der VBK;
stadtverkehr 6/1997 S.6-14
- [73] HONDIUS, Harry;
Roll-out des ersten Mittelflur-Zweisystemfahrzeuges der Saarbahn;
stadtverkehr 1/1997 S.6-12
- [74] UHLENHUT, Achim;
Zweisystem- und Hybridstadtbahnen für die Region Kassel und die
RandstadRail;
Verkehr und Technik 12/2004 S.479-484
- [75] GASSERT, Matthias;
Stadtbahnen ohne Fahrdrat – Anforderungen und Lösungsansätze;
stadtverkehr 2/2000 S.32-34
- [76] EN 12663, Festigkeitsanforderungen an Wagenkästen von
Schienenfahrzeugen;
CEN, Europäisches Komitee für Normung; Juli 2000
- [77] LASSBACHER, Ernst;
Zwei Wiener ULF zu Gast in Graz;
Eisenbahn Österreich 7/2005 S.355
- [78] RVS 02.03.12 (Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau)
Behindertengerechte Ausgestaltung Öffentlichen Personennahverkehrs
(ÖPNV); Österreichische Forschungsgesellschaft Straße und Verkehr (FSV);
Juni 2001
- [79] RÜGER, B;
Einstiegssituation und Rampen bei Fahrzeugen des ÖPNV;
Diplomarbeit an der TU Wien, Oktober 2000

-
- [80] Dienstvorschrift B 50 Oberbau, Technische Grundsätze, Punkt 13 Bahnsteige; Österreichische Bundesbahnen
- [81] Ö-Norm B 1600, Teil 1;
Bauliche Maßnahmen für körperbehinderte und alte Menschen,
allgemeine Planungsgrundlagen
- [82] Stadtbahnwagen TW 6000;
<http://www.sacha-gruenwaldt.de/tw6000.htm>; Stand: 18.09.2004
- [83] Stadtbahnwagen TW 2000/2500 – Spitzname: „Die Silberpfeile“;
<http://www.sacha-gruenwaldt.de/tw2000.htm>; Stand: 18.09.2004
- [84] RIECHERS, Daniel;
Neue Fahrzeuge für die Stuttgarter Stadtbahn;
Verkehr und Technik 6/1999 S.237-249
- [85] N.N.;
System Stadtbahn Stuttgart;
Hrsg: Stuttgarter Straßenbahnen AG; 2002
- [86] N.N.;
Bericht 10 zum Forschungswettbewerb Barrierefreiheit;
http://www.eiba.tuwien.ac.at/fileadmin/mediapool-eisenbahn/Diverse/Forschung/Forschungswettbewerb/FW_Barrierefrei_PI1.pdf; letzter Zugriff 01.09.2008
- [87] ÖBB - Angebote & Service, Gültig ab 10. Juni 2001; Prod. Nr. 3103191;
CI&M im Auftrag der ÖBB; Stand: Mai 2001
- [88] MATTHES, Heiner;
City-Bahn Chemnitz;
Verkehr und Technik 4/2004 S.122-126 und 6/2004 S.239-245
- [89] VOGT, Heinz;
Straßenbahnen auf einer Eisenbahnstrecke;
stadtverkehr 1/1996 S.24-27
- [90] GUKOW, A.; et. al.;
Fahrleitung elektrischer Bahnen; Planung Berechnung Ausführung;
B.G. Teubner; Stuttgart; 1997

-
- [91] RIECHERS, Daniel;
„Ringlijn“, die dritte Metrolinie von Amsterdam;
Verkehr und Technik 1/1998 S.15-22
- [92] Entwurfsskizze eines Zweisystem-Triebwagens für die S/U 3,
basierend auf dem U-Bahn-Doppeltriebwagen; Stand: 11.03.2005
<http://xover.htu.tuwien.ac.at/~tramway/fotokiste/show.php?group=stadtverkehr-austria-fotos&msg=7259&PHPSESSID=b5d65a149487bcdfa2f295df654dc689>
- [93] MÜLLER-HELLMANN, Adolf;
Entwicklungstendenzen bei Schienenfahrzeugen für Mischbetrieb
im BOStrab- und EBO-Bereich;
ETR (Eisenbahntechnische Rundschau) 6/1997 S.333-338
- [94] RIECHERS, Daniel;
Die Entwicklung des regionalen Stadtbahnverkehrs im Großraum Karlsruhe;
Verkehr und Technik 4/1999 S.155-162
- [95] ZWIRCHMAYR, Karl;
Die Lokalbahn Lambach – Haag und ihre neuen Triebwagen;
Schienenverkehr aktuell 10/1989 S.3-9
- [96] RIECHERS, Daniel;
Rückkehr der Straßenbahn in Heilbronn;
Verkehr und Technik 10/2001 S.411-416
- [97] S-Bahn-Triebzug ET 474.3 für die Deutsche Bahn AG;
Konsortium ET474 Alstom/Bombardier;
<http://www.niederelbe-s-bahn.de/html/fahrzeuge.html>; letzter Zugriff
30.09.2008
- [98] BLOCK, Rüdiger;
Der Duo-Combino – Niederflurtram mit Dieselhybrid-Antrieb
für den Stadt-Umland-Verkehr;
Verkehr und Technik 8/2004 S.307-313
- [99] RIECHERS, Daniel;
Stadtbahnlinie S6 nach Bad Wildbad eröffnet;
Verkehr und Technik 4/2003 S.115-122

-
- [100] Karlsruher Modell;
TransportTechnologie-Consult Karlsruhe GmbH (TTK);
<http://www.karlsruher-modell.de/de/export/zwickau01.html>;
letzter Zugriff: 20.08.2004
- [101] PRILLINGER, Horst;
Die Wiener U-Bahn, Kapitel Unterpflasterstraßenbahn; Stand: 29.09.2008
<http://homepage.univie.ac.at/horst.prillinger/metro/deutsch/ustrassenbahn.html>
- [102] FIEDLER, Joachim;
Grundlagen der Bahntechnik; Eisenbahnen, S-, U- und Straßenbahnen;
3. Aufl.;
Werner Ingenieurtexte; Werner-Verlag; Düsseldorf; 1991
- [103] Zugsicherungssysteme in Österreich – PZB (Indusi), LZB
<http://members.aon.at/sig/asr/desigazspzb.html>,
<http://members.aon.at/sig/asr/desigazslzb.html>; letzter Zugriff: 21.07.2008
- [104] PACHL, Jörn;
Systemtechnik des Schienenverkehrs; 2. Auflage;
B.G. Teubner; Stuttgart, Leipzig; 2000
- [105] SCHMIED, Peter;
ETCS-System auf der Strecke Wien – Budapest erfolgreich getestet;
Eisenbahn Österreich 1/2000 S.32-33
- [106] ÖBB-Infrastruktur Bau AG;
Digitaler Funk GSM-R; Stand: 06.10.2008
<http://www.oebb.at/bau/de/Kompetenz/Technik/Telekommunikation/Funk.jsp>
- [107] MASSER, Gerald;
Sicherungstechnische Ausrüstung der Stadtbahn und der U6;
Schienenverkehr aktuell 1/1989 S.30
- [108] KAISER; Wolfgang;
Die Wiener Straßenbahnen, Vom „Hutscherl“ bis zum „Ulf“;
GeraMond Verlag; München; 2004

9 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 – Rechtssystematik Eisenbahnwesen.....	7
Abb. 2 – Einteilung der Eisenbahnen gem. § 1 Eisenbahngesetz.....	9
Abb. 3 – Übersicht technische Voraussetzungen.....	19
Abb. 4 – Definition Spurweite [26].....	21
Abb. 5 – Schienenkopf Rillenschiene - Vignolschiene [26].....	23
Abb. 6 – Profil S 41, S 49, S 54 bzw. UIC 60 mit Spurrillenschiene Form 49 [32].....	24
Abb. 7 – Leitschienenoberbau (Bogeninnenseite).....	25
Abb. 8 – Maßbezeichnungen, Radsatz im Bereich eines einfachen Herzstückes [39].....	28
Abb. 9 – Gleismaße Weichenbereich Vollbahn.....	28
Abb. 10 – Gleismaße Weichenbereich U-Bahn.....	29
Abb. 11 – Gleismaße Weichenbereich Straßenbahn (Flachrille).....	31
Abb. 12 – Radprofil [26].....	32
Abb. 13 – Maße Radprofil [26].....	33
Abb. 14 – Radprofil Vollbahn.....	34
Abb. 15 – Radsatz Vollbahn.....	34
Abb. 16 – Radprofil U-Bahn.....	35
Abb. 17 – Radsatz U-Bahn.....	35
Abb. 18 – Radprofil U-Bahn mit Oberleitungsbetrieb (Type T).....	36
Abb. 19 – Radsatz U-Bahn mit Oberleitungsbetrieb (Type T).....	36
Abb. 20 – Radprofil WLB.....	37
Abb. 21 – Radsatz WLB.....	37
Abb. 22 – Radprofil Straßenbahn (Typen E _x /c _x).....	38
Abb. 23 – Radsatz Straßenbahn (Typen E _x /c _x).....	38
Abb. 24 – Vergleich Radprofile.....	39
Abb. 25 – Radprofil Karlsruhe [47].....	43
Abb. 26 – fiktiver Entwurf Übergangprofil Vollbahn – Straßenbahn.....	44
Abb. 27 – Lichtraumprofil Vollbahn.....	47
Abb. 28 – Lichtraumprofil U-Bahn.....	48
Abb. 29 – Lichtraumprofil U-Bahn mit Oberleitungsbetrieb.....	49

Abb. 30 – Lichtraumprofil Straßenbahn mit bzw. ohne Überstellfahrten.....	50
Abb. 31 – Überlagerung Lichtraumprofile	57
Abb. 32 – Fahrzeugbegrenzungslinie G1	60
Abb. 33 – Empfohlene Reststufenhöhe und Spaltbreite [78].....	73
Abb. 34 – Bahnsteigtypen ÖBB.....	76
Abb. 35 – Regelbahnsteig U-Bahn	77
Abb. 36 – Regelbahnsteig U-Bahn mit Oberleitungsbetrieb	78
Abb. 37 – Bahnsteigtypen WLB.....	79
Abb. 38 – Bahnsteigtypen Straßenbahn.....	80
Abb. 39 – Einsatz vorhandener Niederflurfahrzeuge an bestehenden Bahnsteigen .	83
Abb. 40 – Kinematik IBEG-Trittstufe, Verkehrsbetriebe Karlsruhe [72]	85
Abb. 41 – Funktionsprinzip Klaptrittstufen (üstra TW 6000 [82])	87
Abb. 42 – Hublift [86].....	87
Abb. 43 – Schwenkbereich Hublift [86].....	88
Abb. 44 – Bahnsteig-Hebelift [87].....	90
Abb. 45 – Bahnsteig Chemnitz [88]	92
Abb. 46 – Vorbaubahnsteig Kassel [89]	93
Abb. 47 – Bahnsteig mit Gleisverschlingung (Baunatal-Stadtmitte) [89]	94
Abb. 48 – Trennstelle Gleichstromfahrleitung [88].....	108
Abb. 49 – Entwurfsskizze eines Zweisystem-Triebwagens für die S/U 3 [92]	109
Abb. 50 – Prinzipschaltbild Zweisystemfahrzeuge Karlsruhe mit	
Gleichstrommotoren (links) bzw. Drehstrommotoren (rechts) [93]	110
Abb. 51 – Schema Systemwechselstelle 15 kV AC / 750 V DC (Karlsruhe) [94].....	112
Abb. 52 – Wiener U-Strab während der Umstellung auf U-Bahn [101].....	116
Abb. 53 – Anordnung Gleismagneten PZB 60/90 (Indusi) [103].....	120
Abb. 54 – PZB 60/90 (Indusi) Gleismagnet [eigenes Foto]	120
Abb. 55 – Linienleiter ÖBB mit Kreuzungsstelle [103]	121
Abb. 56 – Linienleiter U-Bahn mit Kreuzungsstelle [eigenes Foto].....	123
Abb. 57 – magnetische Fahrsperrung U-Bahn mit	
Oberleitungsbetrieb [eigenes Foto]	125

10 Tabellenverzeichnis

Tab. 1 – Eisenbahngesetze.....	8
Tab. 2 – Einteilung Eisenbahnsysteme	10
Tab. 3 – Genehmigungen.....	11
Tab. 4 – Mindestverzögerung beim Ausfall einer Bremse	
gem. StrabVO Anlage 1, Tabelle 1.....	15
Tab. 5 – Mindestverzögerung bei Gefahrenbremsung	
gem. StrabVO Anlage 1, Tabelle 2.....	16
Tab. 6 – Spurerweiterung bei kleinen Bögen (Normalspur) [25].....	21
Tab. 7 – Abmessungen Schienenprofile Vollbahn [30] [31].....	24
Tab. 8 – Abmessungen Schienenprofile Wiener Linien [36].....	26
Tab. 9 – Übersicht Gleismaße - Radsatzmaße	40
Tab. 10 – Mindestbogenhalbmesser bei der ÖBB.....	51
Tab. 11 – Mindestkuppen- und -wannenhalbmesser bei der ÖBB [44]	53
Tab. 12 – Übersicht Trassierungsparameter	56
Tab. 13 – Fahrzeugmassen, Achslasten und Metergewichte	62
Tab. 14 – Fahrzeugmassen, Achslasten und Metergewichte -	
Zweissystemfahrzeuge	63
Tab. 15 – Druckfestigkeiten von Schienenfahrzeugen lt. EN 12663 [76].....	64
Tab. 16 – Mindestverzögerung bei Gefahrenbremsung [17]	68
Tab. 17 – Übersicht Bahnsteigabmessungen.....	81
Tab. 18 – aktuell eingesetzte (Niederflur)fahrzeuge.....	81
Tab. 19 – Einstiegshöhe / Bahnsteigspalt	82
Tab. 20 – Einsatzbereich Niedrigbahnsteige	91
Tab. 21 – Fahrzeuganforderungen für bestehende Bahnsteige	99
Tab. 22 – Übersicht Stromsysteme und Fahrleitungskennwerte	105
Tab. 23 – Übersicht Sicherungssysteme.....	128