

DIPLOMARBEIT
MASTER'S THESIS

*Fahrdynamische Einflussfaktoren des
Übergangsbogens am Beispiel der Wiener Straßenbahn.*

AUSGEFÜHRT ZUM ZWECHE 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.
DORIS TUNA**

E2302 – INSTITUT FÜR VERKEHRSWISSENSCHAFTEN,
FORSCHUNGSBEREICH FÜR EISENBAHNWESEN, VERKEHRSWIRTSCHAFT UND
SEILBAHNEN
EINGEREICHT AN DER TECHNISCHEN UNIVERSITÄT WIEN
FAKULTÄT FÜR BAUINGENIEURWESEN
VON

IVAN FLUCKIGER
MATR.: 0828323

STUDENT DER INSA STRASBOURG, FRANKREICH

WIEN, IM JUNI 2009

IVAN FLUCKIGER

Danksagung

In diesem Teil möchte ich mich bei allen die mir fachlich bei der Vorbereitung meiner Diplomarbeit beigestanden haben bedanken.

Besonders möchte ich ein großes Dankeschön an meine Diplomarbeitsbetreuerin Univ. Ass. Dipl.-Ing. Doris **Tuna** und an Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr.tech. Norbert **Ostermann** für die Ermöglichung dieser Arbeit weitergeben. Sie haben mir erlaubt, diese Diplomarbeit an der Technischen Universität Wien auszuarbeiten.

Ich möchte auch ein großes Dankeschön an Herrn Wolfgang **Rollinger** richten. Er hat mir das Thema dieser Diplomarbeit vorgeschlagen.

Frau Dipl.-Ing. Doris **Tuna** und Herr Wolfgang **Rollinger** waren stets für mich da und sehr geduldig, trotz meiner großen Schwierigkeiten mit der deutschen Sprache.

Ich bedanke mich bei Herrn Professor Pierre **Regenass**, meinem französischen Tutor, der mir während dieser Periode hilfreich zur Seite gestanden hat. Dankeschön auch an Herrn Professor Robert **Troester**, meinen deutschsprachigen Professor, er hat mir die Technische Universität Wien als Ort für meine Diplomarbeit vorgeschlagen.

Mein Dank gilt auch Herrn Dipl.-Ing. Dr. techn. Josef **Zaussinger**, der mir zahlreichen Daten zur Verfügung gestellt hat.

Natürlich möchte ich mich bei meinen Eltern, Fabienne und Philippe **Fluckiger** bedanken. Sie haben mir meine Ausbildung ermöglicht.

Weiters möchte ich Sandra **Kreindl** ein großes Dankeschön aussprechen. Diese freundliche, österreichische Studentin war für mich sehr wertvoll um meine Diplomarbeit in einem ziemlich korrektem Deutsch zu schreiben.

Allen anderen, die mir während meines Studiums und während des Schreibens meiner Diplomarbeit geholfen haben und die hier nicht namentlich erwähnt wurden,

sei ein **großes herzliches Dankeschön**

gewidmet.

Abstract

The city of Vienna owns a highly developed rapid-transit. It is composed of undergrounds, tramways, buses and the rapid-transit rail system. The tramway rapid-transit comprises new tramway vehicles named ULF (Ultra Low Floor) and traditional tramway vehicles.

The traditional tramway vehicles have got high steps which make it difficult for wheelchair users, people with a stroller, or old people to get on the tram. The city of Vienna has decided to replace the old vehicles with more recent ones to provide better accessibility for passengers.

The ULF is one of the most recent tramway vehicles in the world. It has technical particularities like its ultra low floor. Resulting from this, the chassis is constructed with an innovative method which influences the wheels drive.

Compared to a traditional tram, the characteristics of the ULF create a considerably higher amount of rails wear in the junction bend.

The main aim of this master thesis is to examine the impact of the routes geometric characteristics on rails wear in the junction bend.

In the first place, this paper presents the ULF as well as the geometric characteristics of the junction bend used in the Vienna's rapid-transit. Chapter 5 opens with a data analysis of a study conducted by the transport organisation "Wiener Linien". Secondly, it proposes measures in order to prevent the rails from wearing out.

Inhaltverzeichnis

Danksagung	2
Abstract	3
Inhaltverzeichnis	4
Kurzfassung	6
1 Grundlagen	7
1.1 Allgemeines	7
1.2 Vergleich zwischen Berlin, Wien und Straßburg	7
1.2.1 Merkmale der Städte	7
1.2.2 Merkmale des öffentlichen Verkehrs	7
1.2.3 Merkmale der Straßennetze	9
1.2.4 Merkmale der Fahrzeuge	9
1.2.4.1 Wiener Straßenbahn	10
1.2.4.2 Straßburger Straßenbahn	13
1.2.4.3 Berliner Straßenbahn	14
1.3 Die Spurführung von Schienenbahnen	16
1.3.1 Allgemeines	16
1.3.2 Schienen	16
1.3.2.1 Formen	16
1.3.2.2 Wahl der Schienenform	18
1.3.2.3 Rad / Schiene – Profilmerkmale	19
1.3.2.4 Das Spurspiel [35]	20
1.3.2.5 Der Anfahrwinkel (α) [35]	20
1.3.2.6 Das Entgleisen [35]	20
1.3.2.7 Das Aufklettern [35]	20
1.3.2.8 Das Aufsteigen [35]	21
1.3.2.9 Maßbezeichnungen [35]	21
1.3.3 Die Spurführung	25
1.3.4 Der Querruck	25
1.3.5 Die Seitenbeschleunigung	25
1.3.6 Vergleich der Formeln	28
1.3.7 Die Überpufferung	33
2 Übergangsbogenformen	34
2.1 Allgemeines	34
2.1.1 Trassierungselement - Übergangsbögen	34
2.1.2 Abkürzungen	34
2.2 Übergangsbögen	35
2.2.1 Allgemeines	35
2.2.2 Klothoide	37
2.2.3 Kubische Parabel	38

2.2.4	Verhältnisse zwischen Übergangsbögen und Rampen	38
2.3	Der Wiener Bogen – Schwerpunktsnahe Trassierung	40
3	Fahrwerks des ULFs	41
3.1	Allgemeines über die Niederflurtechnik.....	41
3.2	Herkömmliches Straßenbahnfahrwerk	43
3.2.1	Der Radsatz.....	43
3.2.2	Die Federung	44
3.3	Das Portalfahrwerk der ULF Straßenbahn.....	44
3.3.1	Allgemeines	44
3.3.2	Das Portalfahrwerk.....	44
3.3.3	Die Räder	46
3.3.4	Portalfahrwerkfederung.....	46
3.3.5	Fahrwerkssteuerung der ULF Straßenbahn	47
4	Tatsächliche Radstellung für der ULF	50
4.1	Allgemeines	50
4.2	Der Verschleiß der Schienen.....	50
4.3	Die Studie – Übergangskurven für Straßenbahnen.....	50
4.3.1	Allgemeines	50
4.3.2	Örtlichkeiten der Messungen.....	51
4.3.3	Die Kurven	51
4.3.4	Ergebnisse	51
4.3.5	Ergebnisse nach Außen- und Innenschiene getrennt	52
4.3.6	Vergleich mit der Geometrie.....	53
4.3.6.1	Grundlagen - Messungen.....	53
4.3.6.2	Wagramer Straße – Erzherzog Karl-Straße	54
4.3.6.3	Erzherzog Karl-Straße – Konstanziagasse	58
4.3.6.4	Konstanziagasse – Langobardenstraße.....	62
4.3.6.5	Aumannplatz	66
4.3.6.6	Troststraße - Neilreichgasse	67
4.3.6.7	Zusammenfassung der Differenz zwischen M1 und M3.....	71
5	Zusammenfassung /Conclusion / Resümee	72
	Abbildungsverzeichnis.....	76
	Tabellenverzeichnis	78
	Literaturverzeichnis.....	80

Kurzfassung

Das Thema dieser Diplomarbeit ist die Betrachtung von verschiedenen Möglichkeiten der Gestaltung von Übergangsbögen aus fahrdynamischer Sicht, aber auch unter Bezugnahme auf Abnutzungserscheinungen an den Schienen.

Besonders interessant ist dies in Zusammenhang mit dem Einsatz von Einzelrädern bei Straßenbahnfahrzeugen – was in Wien ein spezielles Anliegen ist, da Abnutzungserscheinungen durch den Einsatz des Wiener Niederflurfahrzeugs „ULF“ („Ultra Low Floor“) vermehrt auftreten. Ein Vergleich und die Betrachtung ähnlicher Fahrzeuge in diesem Zusammenhang werden in dieser Arbeit analysiert.

Zuerst besteht diese Diplomarbeit aus einem Vergleich zwischen den technischen Regeln der folgenden Länder im Bereich des Baus der Straßenbahnen: Österreich, Deutschland und Frankreich.

In Deutschland sind die Regeln immer gleich. In Österreich und in Frankreich findet man verschiedene Regelungen bezogen auf die jeweiligen Städte.

Aus diesem Grund wird sich die Diplomarbeit auf die Berliner, Wiener und Straßburger Straßenbahnen konzentrieren.

Die Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen besteht aus vielen Teilen, zum Beispiel: die Streckenführung, der Bahnkörper, der Oberbau, die Energieversorgungsanlagen.

Die folgenden Abschnitte des Straßenbahnbaus sind für die Studie wichtig: die technischen Regeln für die Spurführung von Schienenbahnen, Merkmale des Fahrzeugs (Gewicht, Bremseinrichtungen, zulässige Geschwindigkeit usw.).

Um die Regeln zu vergleichen, stützt sich die Diplomarbeit auf folgende Bestimmungen:

- BOStrab (Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen) - Deutschland
- VDV (Verband Deutscher Verkehrsunternehmen) – Deutschland
- Straßenbahnverordnung 2000 - Österreich

Eine Beschreibung der technischen Hauptcharakteristiken der ULF Straßenbahn wird erläutert, indem das ULF-Fahrwerk mit dem Fahrwerk der konventionellen Straßenbahnen verglichen wird.

Das Verschleißverhalten der Schienen durch Befahrung von ULF-Straßenbahnen wird anhand von Messdaten untersucht und daraus resultierend werden Maßnahmen vorgeschlagen.

1 Grundlagen

1.1 Allgemeines

Im Zuge des Vergleiches der drei verschiedenen Straßenbahnen werden die wesentlichen Merkmale der Straßenbahnnetze und auch die technischen Fahrzeugeigenschaften dargestellt. Diese Angaben sind für die Studie notwendig.

Dieser Vergleich zeigt, dass die Straßenbahnen in den untersuchten Städten an Bedeutung gewinnen. Berlin, Wien und Straßburg messen dem Straßenbahnnetz hohe Bedeutung zu.

Die Übersetzung ins Deutsch-Französische im technischen Bereich bereitet manchmal Probleme. In diesem Fall werden die französischen Wörter mit gesundem Menschenverstand übersetzt.

1.2 Vergleich zwischen Berlin, Wien und Straßburg

Die folgenden Tabellen zeigen die wichtigsten Merkmale der Städte und ihren Straßenbahnnetzen.

1.2.1 Merkmale der Städte




	Berlin 	Wien 	Straßburg 
Einwohner	3 430 453	1 687 271	272 975
Ballungsraum	4 940 000	2 300 000	713 393
Fläche [km ²]	891,85	414,89	78,26
Dichte [Einwohner/km ²]	3 846,45	4 066,79	3 488,05

Tabelle 1.2.1. Merkmale der Städte [1], [2] und [3]

1.2.2 Merkmale des öffentlichen Verkehrs

Das Berliner Straßenbahnnetz ist eines der ältesten und größten der Welt. In Straßburg befindet sich ein neues Netz, welches das Größte in Frankreich ist. Die Straßburger Straßenbahn ist seit ihrem Ausbau das Symbol der Erneuerung der Straßenbahn in ganz Europa. Der Modal Split (siehe Abb. 1-1) bezogen auf Wien zeigt, dass das öffentliche Verkehrsnetz von mehr als einem Drittel des Verkehrsteilnehmers benutzt wird.

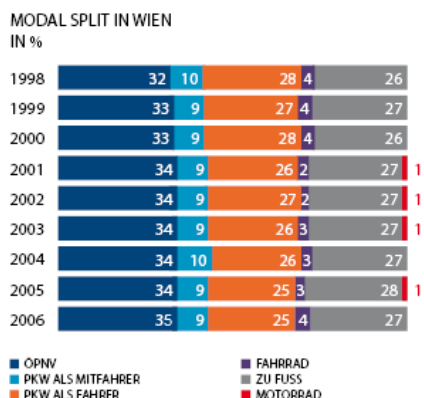


Abbildung 1-1: Modal-Split von Wien (1998 - 2006) [4]

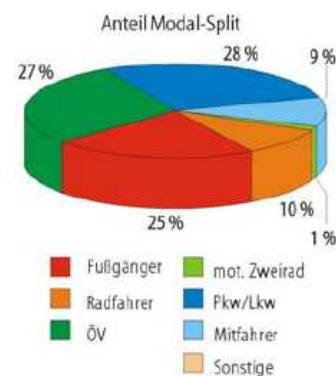


Abbildung 1-2: Modal-Split von Berlin (2007) [5]

Modal-Split

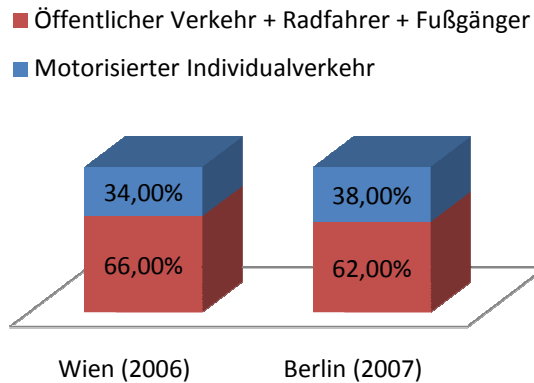


Abbildung 1-3: Zusammenfassung der Abbildungen 1-1 und 1-2 bezogen auf die Jahre 2006 und 2007 [4] und [5]

Die Abbildung des Modal-Splits von Berlin und Wien zeigt, dass der motorisierte Verkehr in Berlin vermehrt als in Wien benutzt wird. Daraus folgen unterschiedliche Einflusspotenziale bezogen auf die Straßengestaltung, das Verkehrsverhalten und die Umwelt.

Beide Städte besitzen U-Bahnen, Straßenbahnen, Schnellbahnen und Busse. Die Wiener Straßenbahnfahrzeuge befördern mehr Fahrgäste als die Berliner, obwohl Berlin mehr Einwohner hat. Die Erklärung dafür ist, dass nur ungefähr die Hälfte der Fläche von Berlin mit dem Straßenbahnnetz ausgerüstet ist.

In dieser Arbeit liegt der Fokus allerdings nur auf dem Vergleich der Straßenbahnnetze um einen anschaulichen Vergleich ziehen zu können.



Abbildung 1-4: Straßburger EUROTRAM im „Homme de Fer“ Haltestelle [6]

1.2.3 Merkmale der Straßenbahnnetze

	Berlin	Wien	Straßburg
Betreiber	Berliner Verkehrsbetriebe (BVG)	Wiener Linien GmbH & Co KG	CTS (Compagnie des Transports Strasbourgeois)
Beschäftigte	11 526	7 772	1 519
Datum der Inbetriebnahme	1929	1897	1994
Umsatz	€ 624 Mio. (2007)	€ 345,2 Mio. (2004)	€ 52,9 Mio. (2006)
Linien*	22	32	5
Baulänge [km]*	-	181,0	-
Betriebslänge [km]*	189,40 (Streckenlänge)	179,0	53
Linienlänge [km]*	293,78	227,3	39
Gesamtleislänge [km]*	430 (Gesamtlänge)	432,2	x
Haltestellen*	377	1 128	65
Betriebshöfe*	5	5	3
Fahrgäste [pro Jahr]*	173,5 Mio.	200,4 Mio.	Ungefähr 109,5 Mio.
Fahrgäste [pro Tag]*	Ungefähr 475 000	Ungefähr 549 000	300 000
Triebwagen*	333**	324***	0
Beiwagen*	56**	267***	0
Niederflurstraßenbahnen	150**	194***	94
Sonderfahrzeuge	3**	0	0
Fahrzeuge*	542**	518***	94
Spurweite [mm] *	1 435	1 435	1 435
Spannungsversorgung [V]*	750 480-800 (Tatra-Straßenbahn)	600	750
	[7]und [8]	[9], [10] und [11]	[12] und [13]

Tabelle 1.2.3. Merkmale der Straßenbahnnetze

* Anmerkung 1: Diese Angaben betreffen nur die Straßenbahnnetze der Betriebe. Die Busse und U-Bahnen sind nicht berücksichtigt.

**Anmerkung 2: Stand: April 2008

*** Anmerkung 3: Stand: Mai 2009

Anmerkung 4: Manchmal widersprechen sich verschiedene Webseiten. In diesem Fall werden die aktuelleren Informationen genommen.

Die drei Ballungsräume besitzen wichtige und große Straßenbahnnetze bezogen auf den öffentlichen Verkehr. Die straßburgische Flotte ist kleiner als die beiden Anderen, aber ihre Straßenbahnfahrzeuge können mehr Fahrgäste dank ihrer Fahrzeugkapazität befördern (siehe Kapitel 1.2.4.2). Die Straßburger Straßenbahnfahrzeuge sind die Größten weltweit.

1.2.4 Merkmale der Fahrzeuge

In den Tabellen dieses Kapitels sind die technischen Daten der unterschiedlichen Straßenbahnen angeführt. Die neuesten Straßenbahnfahrzeuge dieser drei Städte sind: Prototyp FLEXITY (Berlin);

ULF (Wien) und CITADIS (Straßburg). Es gibt unterschiedliche konstruktive Daten je Straßenbahnflotte, daraus resultieren wichtige Parameter für die Spurführung.

1.2.4.1 Wiener Straßenbahn

Die letzte Erneuerung der Wiener Straßenbahnflotte begann im Jahr 1995 und ist bis heute noch nicht vollendet. Daher verkehren im Wiener Straßenbahnnetz sowohl konventionelle Fahrzeuge als auch neue Niederflurfahrzeuge. Im Gegensatz zu den Niederflurfahrzeugen werden Züge aus konventionellen Fahrzeugen aus Triebwagen sowie Triebwagen und Beiwagen gebildet.

✓ Hochflurstraßenbahn [9]

Triebwagen

	E₁ Bombardier-Rotax, SGP	E₂ Bombardier-Rotax, SGP
Baujahre	1966 - 1976	1978 - 1990
Anzahl	203 (20.05.2009)	121 (10.12.2008)
Wagenglied	2	2
Länge [m]	20,335	19,095
Breite [m]	2,200	2,265
Höhe [m]	3,200	3,200
Leergewicht [t]	23,30	24,50
Bodenhöhe [mm]	890 (über SOK)	890 (über SOK)
Türe	4	4
Türbreite [m]	-	-
Sitzplätze	40	44
Stehplätze	65	58
Gesamtanzahl	105	102
Zulässige Höchstgeschwindigkeit [km/h]	-	-

[14]

[15]

Tabelle 1.2.4.1-1. Wiener Triebwagen

Beiwagen

	C₃ Lohner	C₄ Bombardier-Rotax	C₅ Bombardier-Rotax
Baujahre	1959 - 1962	1974 - 1977	1978 - 1990
Anzahl	77 (12.05.2009)	73 (21.12.2008)	117 (10.12.2008)
Länge [m]	14,700	14,700	13,000
Breite [m]	2,200	2,200	2,300
Leergewicht [t]	11,60	11,50	11,94
Bodenhöhe [mm]	904	904	904
Sitzplätze	32	31	32
Stehplätze	43	43	39
Gesamtanzahl	75	74	71

[16]und [17]

[18]und [19]

[20]und [21]

Tabelle 1.2.4.1-2. Wiener Beiwagen

Trotz ihres Alters werden noch heute die Triebwagen (E₁ und E₂) und die Beiwagen (C₃, C₄ und C₅) eingesetzt.

Die Bodenhöhe der Triebwagen beträgt 890 mm über SOK (Schienenoberkante). Bei den neuen Modellen wurde diese Bodenhöhe auf 180 mm über SOK reduziert.

Folgende Werte sind die Stufenhöhe der konventionellen Triebwagen und Beiwagen (siehe Abbildung 1-5):

385 mm – 275 mm – 230 mm [14]

Die Stufenhöhen der konventionellen Triebwagen stellen insbesondere für Rollstuhlfahrer, Personen mit Kinderwagen und alte Menschen ein großes Problem dar. Das Einstiegsverhalten der Fahrgäste wird durch die Stufenhöhe erschwert, jedoch durch die Trennstange in der Mitte der Türbreite wiederum etwas erleichtert und der Fahrgaststrom wird somit auch getrennt.

- leichteres Einsteigen
- Trennung von aus- und einsteigenden Fahrgästen möglich

Aufgrund der geringen Bodenhöhe (180 mm über GFT) bei der ULF-Garnitur wird die Aus- und Einstiegsproblematik erheblich reduziert. [22]

Da im Wiener Straßenbahnnetz weiterhin sowohl konventionelle als auch neue Straßenbahnbaureihen im Einsatz sind, wird bei Haltestellen mit digitaler Ankunftsanzeige nicht nur die nächste zu erwartende Straßenbahn angezeigt, sondern auch die nächste Niederflurstraßenbahn.

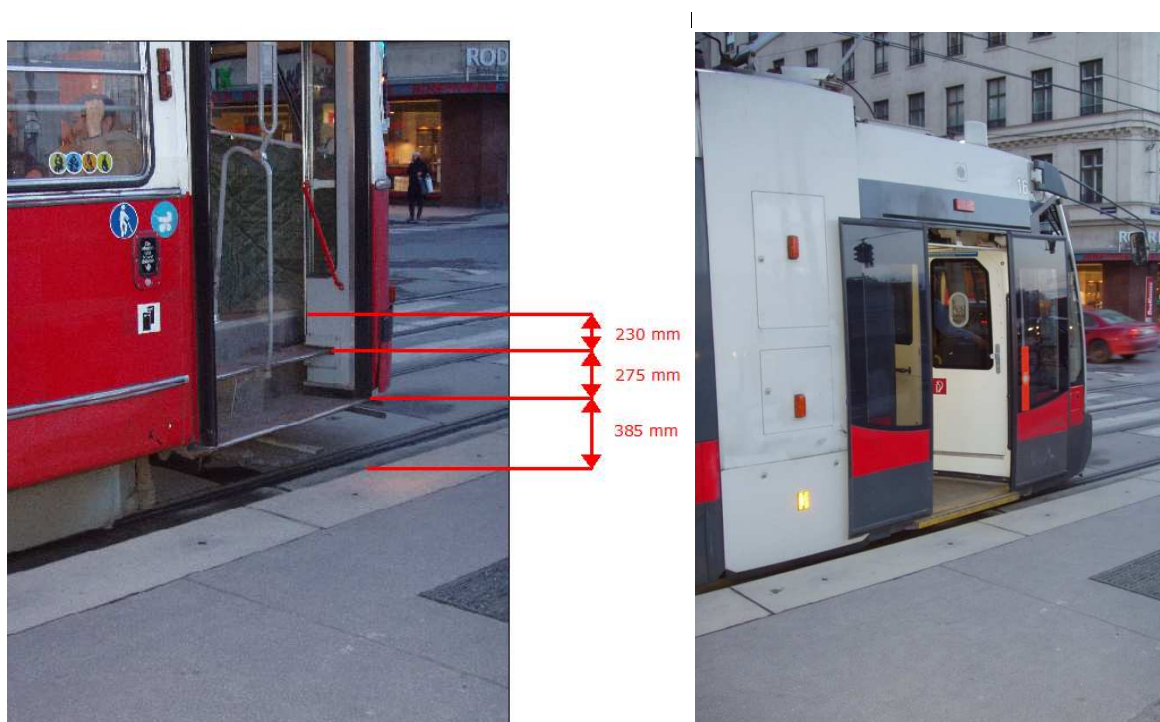


Abbildung 1-5: Vergleich der Stufen bei konventionellem Triebwagen und ULF [23]

✓ **Niederflurstraßenbahn [22]**

A Siemens Design: Porsche	B Siemens Design: Porsche	A₁ Siemens Design: Porsche
--	--	--

	1995 - 2006	1995 - 2005	2006 - in Auslieferung
Baujahre	1995 - 2006	1995 - 2005	2006 - in Auslieferung
Anzahl	51 (02.05.2009)	101 (15.02.2009)	40 (08.02.2009)
Portale	4	6	4
Länge [m]	24,210	35,470	24,210
Breite [m]	2,400	2,400	2,400
Höhe [m]	3,320	3,320	3,320
Leergewicht [t]	30,00	43,00	30,00
Bodenhöhe [mm]	210	210	210
Türe	5	7	5
Türbreite [m]	1,30	1,30	1,30
Sitzplätze	42	66	42
Stehplätze (4 Pers./qm)	94	143	94
Gesamtanzahl	136	209	136
Zulässige Höchstgeschwindigkeit [km/h]	70	70	70

[24]

[25]

[26]

Tabelle 1.2.4.1-3. Wiener Niederflurstraßenbahnen

Anmerkung 5: Die Niederflurstraßenbahnen A unterscheiden sich von den Niederflurstraßenbahnen A₁ durch folgende technische Daten: Antriebsleistung, Anfahrbeschleunigung und maximale Bremsverzögerung.

Anmerkung 6: Zwei Straßenbahnen B₁ wurden schon am 20.05.2009 geliefert.



Abbildung 1-6: Wiener Niederflurstraßenbahn [23]



Abbildung 1-7 : Konventionelle Wiener Straßenbahn [23]

Diese Bilder veranschaulichen den Unterschied zwischen Niederflurstraßenbahnen und konventioneller Wiener Straßenbahnen.

1.2.4.2 Straßburger Straßenbahn



Abbildung 1-8: Straßburger EUROTRAM [6]

	EUROTRAM Bombardier	EUROTRAM Bombardier	CITADIS Alstom
Baujahre	1994 - 1999	1998 - 2000	2005 - 2006
Anzahl	36	17	41
Wagenglied	3	4	4
Länge [m]	33,100	43,000	45,056
Breite [m]	2,400	2,400	2,400
Höhe [m]	3,100	3,100	3,400
Leergewicht [t]	40,00	51,00	53,20
Bodenhöhe [mm]	350	350	350
Doppeltüre	12	16	16
Türbreite [m]	1,50	1,50	1,30
Sitzplätze	66	92	64
Stehplätze	209	278	224
Gesamtanzahl	275	370	288
Zulässige Höchstgeschwindigkeit [km/h]	60	60	60
	[27]	[27]	[27]

Tabelle 1.2.4.2. Straßburger Straßenbahnen



Abbildung 1-9: Straßburger CITADIS [6]

Da dieses Netz neuer als die beiden Anderen ist, gibt es ausschließlich neue Fahrzeuge.

1.2.4.3 Berliner Straßenbahn



Abbildung 1-10: Berliner GT6N-Straßenbahn [7]

GT6N Adtranz (jetzt Bombardier)	GT6N-ZR Adtranz (jetzt Bombardier)	GT6N-ZR Adtranz (jetzt Bombardier) (mit Fahrgastklimaanlage)
---	--	---

Baujahre	1989 - 1997	1995 - 2003	1995 - 2003
Anzahl (September 2008)	105	15	30
Wagenglied	3	3	3
Länge [m]	26,800	26,500	26,500
Breite [m]	2,300	2,300	2,300
Höhe [m]	3,290	3,290	3,290
Leergewicht [t]	31,00	31,60	31,60
Bodenhöhe [mm]	360	350	350
Doppeltüre	4	8	8
Türbreite [m]	-	-	-
Sitzplätze	58	46	46
Stehplätze	87 - 97	97 - 104	97 - 104
Gesamtanzahl	145 - 155	143 - 150	143 - 150
Zulässige Höchstgeschwindigkeit [km/h]	70	70	70

[28]

[28]

[28]

Tabelle 1.2.4.3-1. Berliner GT6N Straßenbahnen



Abbildung 1-11: Berliner KT4D-Straßenbahn [7]

KT4D Tatra	KT4Dt Tatra (einige Fahrzeuge bereits verkauft)	FLEXITY Berlin Bombardier
----------------------	---	-------------------------------------

Baujahre	1976 - 1988	1983-1988	Ab 2008
Anzahl	333 Triebwagen 56 Beiwagen		4 (2008) 206 (2010-2015)
Wagenglied	2	2	5 (GT6-08 x 5) 7 (GT6-08 x 7)
Länge [m]	18,110	18,110	30,800 (GT6-08 x 5) 40,000 (GT8-08 x 7)
Breite [m]	2,200	2,200	2,400
Höhe [m]	3,100	3,100	3,450
Leergewicht [t]	20,30	20,30	37,90 (GT6-08 x 5)* 39,10 (GT6-08 x 5)** 50,10 (GT8-08 x 7)* 51,50 (GT8-08 x 7)**
Bodenhöhe [mm]	350	350	355
Doppeltüre	4	4	4 (GT6-08 x 5)* 8 (GT6-08 x 5)** 5 (GT8-08 x 7)* 10 (GT8-08 x 7)**
Türbreite [m]	1,30	1,30	1,30
Sitzplätze	26-38 (je nach Ausführung)	26-38 (je nach Ausführung)	64 (GT6-08 x 5)* 54 (GT6-08 x 5)** 88 (GT8-08 x 7)* 75 (GT8-08 x 7)**
Stehplätze	83-105 (je nach Ausführung)	83-105 (je nach Ausführung)	116 (GT6-08 x 5)* 123 (GT6-08 x 5)** 151 (GT8-08 x 7)* 165 (GT8-08 x 7)**
Gasthöchstanzahl	109-143 (je nach Ausführung)	109-143 (je nach Ausführung)	180 (GT6-08 x 5)* 177 (GT6-08 x 5)** 239 (GT8-08 x 7)* 240 (GT8-08 x 7)**
Zulässige Höchstgeschwindigkeit [km/h]	55-65 (je nach Ausführung)	55-65 (je nach Ausführung)	70

[7], [29], [30] und [31] [7], [29], [30] und [31] [32] und [33]

Tabelle 1.2.4.3-2. Berliner KT4D und Flexity Straßenbahnen

*Anmerkung 7: Ausführung der Straßenbahn: Einrichtungsfahrzeug

**Anmerkung 8: Ausführung der Straßenbahn: Zweirichtungsfahrzeug

Anmerkung 9: KT4Dt: „t“ ist für Thyristorsteuerung

Die Berliner-Straßenbahnflotte besitzt auch eine KT4D-Straßenbahn, diese wurde im Jahre 2004 zum Partywagen – „BERLINERFAHRBAR“ umgebaut. [34]

1.3 Die Spurführung von Schienenbahnen

1.3.1 Allgemeines

Die Bestimmungen und Maßbezeichnungen, die für diese Arbeit notwendig sind, werden nun erklärt. Dank dieser Fachbegriffe ist danach ein besseres Verständnis möglich. Vorwiegend stammen diese Bestimmungen aus der Norm „Technische Regeln Spurführung“. [35]

Insbesondere werden diese Bestimmungen für die rad- beziehungsweise gleisbezogenen Merkmale benutzen [35]:

- Ein Radsatz besteht aus zwei parallelen Rädern. Diese Räder sind in ihrer axialen Mittellinie durch eine Welle miteinander verbunden.
- Ein Radpaar besteht aus zwei im geraden Gleis parallel zueinander ausgerichteten Rädern. Diese Räder sind nicht durch eine durchgehende Welle miteinander verbunden.
- Die Definitionen und Maßbezeichnungen für den Radsatz sind auch für das Radpaar gültig.

In der Regel werden folgende Zusätze für die Merkmale der Abmessungen verwendet:

- „-weite“ am Gleis;
- „-maß“ am Radsatz.

Die folgenden Begriffsbestimmungen haben mehrere Quellen.

Laut [36] werden drei verschiedene grundsätzliche Oberbauformen der Straßenbahn wie folgt beschrieben:

- in die Straßenfahrbahn eingebettete Gleise
- der selbstständige Gleiskörper
- der eigene Bahnkörper

1.3.2 Schienen

1.3.2.1 Formen

Es gibt zwei Typen von Schienen. Man unterscheidet zwischen Rillenschienen und Vignolschienen.

✓ Rillenschienen [37]

Rillenschienen bestehen aus einem Fahrkopf, einem Rillenkopf (Leitkopf), einer dazwischenliegenden Spurrille, einem Steg und einem Fuß.

Rillenschienen haben folgende Aufgaben:

- Stützung der Oberflächenbefestigung durch den Rillenkopf
- bessere Führung bei kleinen Radien
- Freihaltung der Spurrille durch den Rillenkopf



Abbildung 1-12: Wiener Rillenschienenoberbau [23]

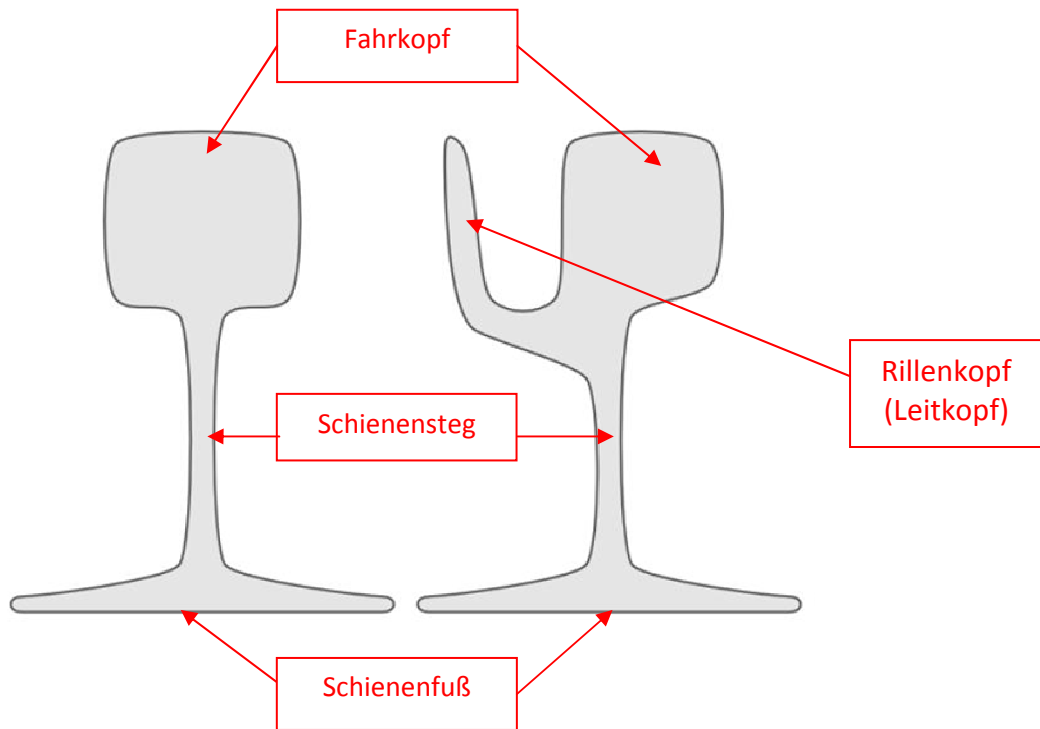


Abbildung 1-13 : Vignolschiene (links) und Rillenschiene (rechts) [38]

Straßenbahnnetze sind meistens mit Rillenschienen ausgebaut. Der wichtigste Vorteil dieser Schiene ist, dass diese in die Fahrbahn integriert werden kann ohne den motorisierten Individualverkehr zu beeinträchtigen. Wenn Vignolschienen eingesetzt werden, ist es notwendig bei Gleisquerungen zusätzliche Anlagen zu schaffen. Spezielle Konstruktionen für die Gleiseindeckung sind notwendig.

Im Frankreich werden Rillenschienen im Stadtkern aufgrund ihrer guten städtebaulichen und gestalterischen Integration angewandt.

Vignolschienen werden nur in „site propre“ (Straßenbahnspur) oder in Orten wo Fußgänger die Straßenbahnschienen nicht betreten sollen, verwendet.

✓ **Vignolschienen (rillenlose Schienen) [37]**

Vignolschienen bestehen aus einem Fahrkopf, einem Steg und einem Fuß. Wenn Rillenschienen nicht notwendig sind, wie zum Beispiel bei nicht eingedeckten Trassenabschnitten, werden Vignolschienen verwendet, somit werden Vignolschienen meist auf eigenen Bahnkörpern eingebaut. Ein Wiener Beispiel stellt die U-Strab dar.

Bei Wegübergängen bei Vignolschienen ist auf die sichere Führung des Spurkranzes und Freihaltung der Spurrille zu achten.

1.3.2.2 Wahl der Schienenform

[37]

Wenn Rillenschienen und Vignolschienen in einem Netz verwendet werden, ist auf die Verträglichkeit der Schienenkopfgeometrie zu achten. Die Spurführungssicherheit ist der wichtigste Parameter für diese Wahl. Allerdings bezieht sich diese Problematik nicht auf das vorliegende Diplomarbeitsthema.

Schiene S 49							
A_s	G_s	I_x	I_y	W_{xK}	W_{xF}	W_y	$W_{yLeitk.}$
mm^2	kg/m	cm^4	cm^4	cm^3	cm^3	cm^3	cm^3
6297,00	49,43	1819,00	320,00	240,00	248,00	51,00	

Rillenschiene RI 59							
A_s	G_s	I_x	I_y	W_{xK}	W_{xF}	W_y	$W_{yLeitk.}$
mm^2	kg/m	cm^4	cm^4	cm^3	cm^3	cm^3	cm^3
7510,00	58,96	3266,80	886,06	374,20	352,40	105,30	92,39

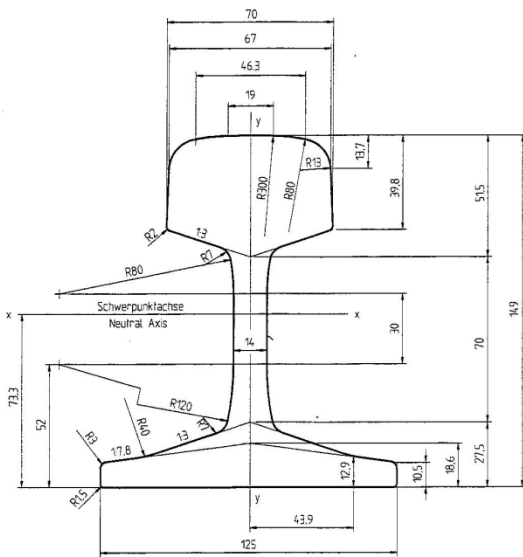


Abbildung 1-14: Profil und Eigenschaften einer S 49 Schiene [37]

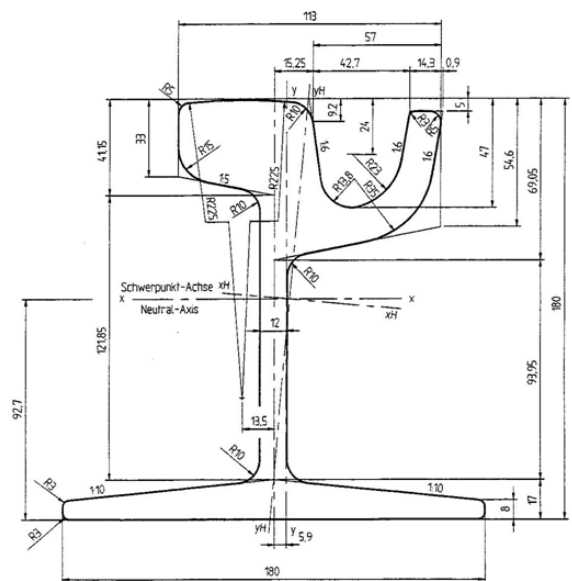


Abbildung 1-15: Profil und Eigenschaften einer RI 59 Schiene [37]

Abbildungen 1-16 und 1-17 zeigen die Schienen einer stillgelegten Trasse in der Sebaldgasse (22. Bezirk, Wien). In Abbildung 1-16 ist eine Straßenkreuzung mit Vignolschienen dargestellt und in Abbildung 1-17 sind verlegte Rillenschienen zu erkennen.



Abbildung 1-16: Vignolschiene in Sebaldgasse [23]



Abbildung 1-17: Rillenschiene in Sebaldgasse [23]

1.3.2.3 Rad / Schiene – Profilverkmale

Die folgende Abbildung zeigt die Rad/Schiene-Profilverkmale.

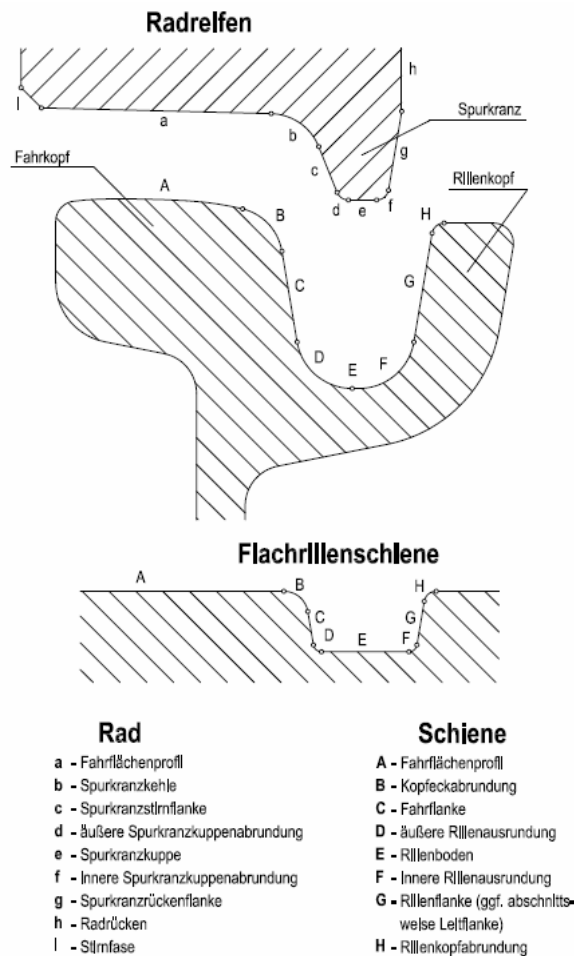


Abbildung 1-18: Bezeichnungen am Querschnitt von Rad und Schiene [35]

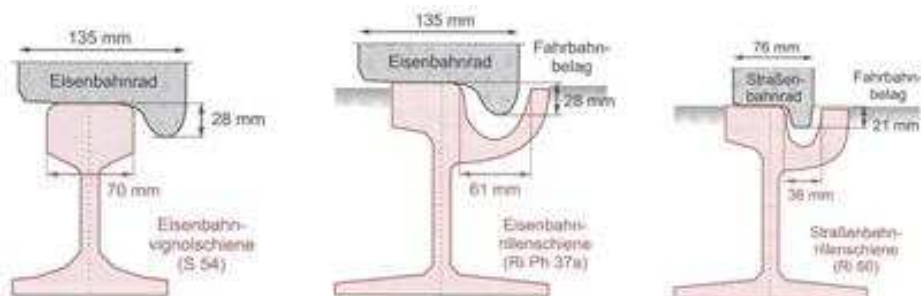


Abbildung 1-19: Schienen für Eisenbahnen und Straßenbahnen im Vergleich [39]

Im Eisenbahnbereich ist die Lauffläche des Rades immer breiter als der Schienenkopf. Im Straßenbahnbereich ist es auch immer häufiger die Regel, dass das Straßenbahnrad breiter als der Fahrkopf konstruiert wird. Die Abbildung 1-19 zeigt, dass die Straßenbahnradreifenbreite schmaler ist als bei der Vollbahn aufgrund der vorhandenen Gleiseindeckung. Heute weist das Straßenbahnrad meist eine Breite von 100-105 mm auf, im Gegensatz zur Abbildung 1-19 rechts.

1.3.2.4 Das Spurspiel [35]

Gemäß *Technische Regel Spurführung* :

„Das Spurspiel ist der Abstand, um den ein Radsatz, dessen Eigendrehachse horizontal rechtwinklig zur Gleislängsachse steht (Anfahrwinkel $\alpha=0^\circ$), von der Berührung des Spurkranzes des einen Rades mit dem Fahrkopf der zugehörigen Schiene bis zur Berührung des Spurkranzes des anderen Rades mit dem Fahrkopf der anderen Schiene quer im Gleis verschoben werden kann.

In guter Näherung gilt in vielen Fällen:

$$\text{Spurspiel} = \text{Spurweite} - \text{Spurmaß. „}$$

1.3.2.5 Der Anfahrwinkel (α) [35]

Gemäß *Technische Regel Spurführung* :

„Er liegt in der horizontalen Schnittebene durch den Berührungspunkt Spurkranz/Schiene. α ist der Winkel zwischen der Tangente an die Schiene im Berührungspunkt und der Rechtwinkligen zur Radachse.“

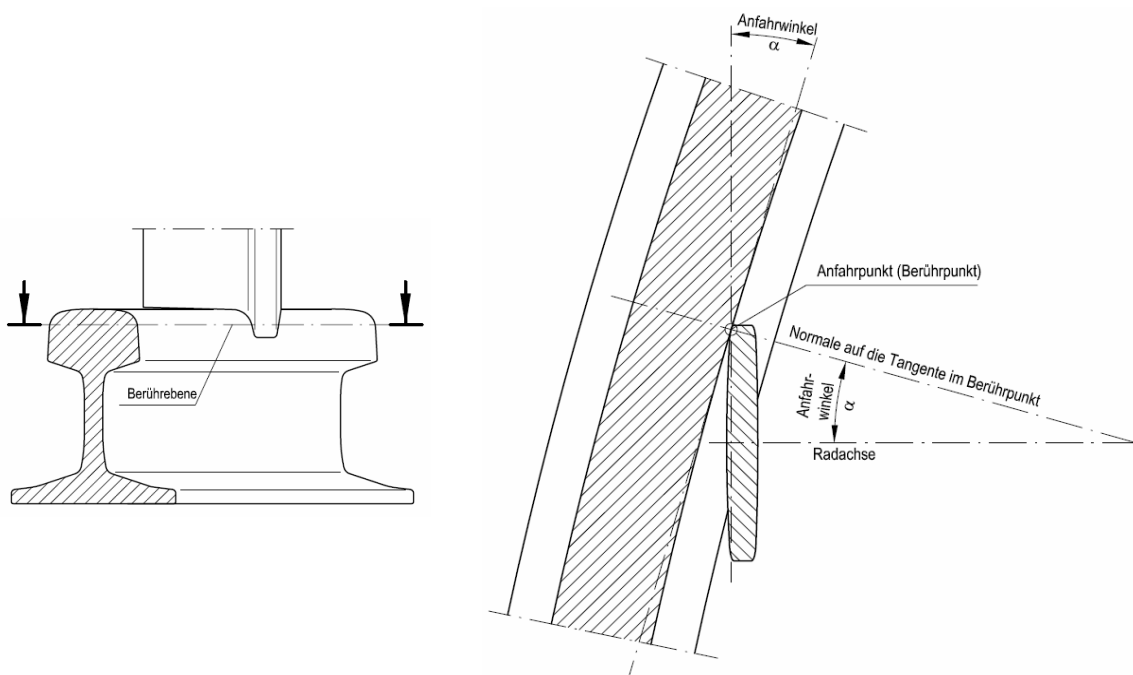


Abbildung 1-20: Der Anfahrwinkel α [35]

1.3.2.6 Das Entgleisen [35]

Gemäß *Technische Regel Spurführung* :

„Es ist das Anheben eines Rades bis zum Auffahren der Spurkranzkuppe auf die Fahrfläche der Schiene bzw. auf den Kopf von Leiteinrichtungen mit nachfolgendem Verlassen der Schiene.

Das Entgleisen kann durch Aufklettern oder Aufsteigen hervorgerufen werden.“

1.3.2.7 Das Aufklettern [35]

Gemäß *Technische Regel Spurführung* :

„Aufklettern ist das Hinaufdrücken eines mit der Stirn oder dem Rücken seines Spurkranzes an der Fahr- bzw. Leit- oder Rillenflanke anfahrens Rades auf die Fahrfläche der Schiene bzw. auf den Kopf der Leiteinrichtung unter Kraftschluss durch seitliche Spurführungskräfte.“

1.3.2.8 Das Aufsteigen [35]

Gemäß *Technische Regel Spurführung* :

„Aufsteigen ist das Hinauffahren eines Rades auf ein Hindernis in seinem Fahrweg.“

1.3.2.9 Maßbezeichnungen [35]

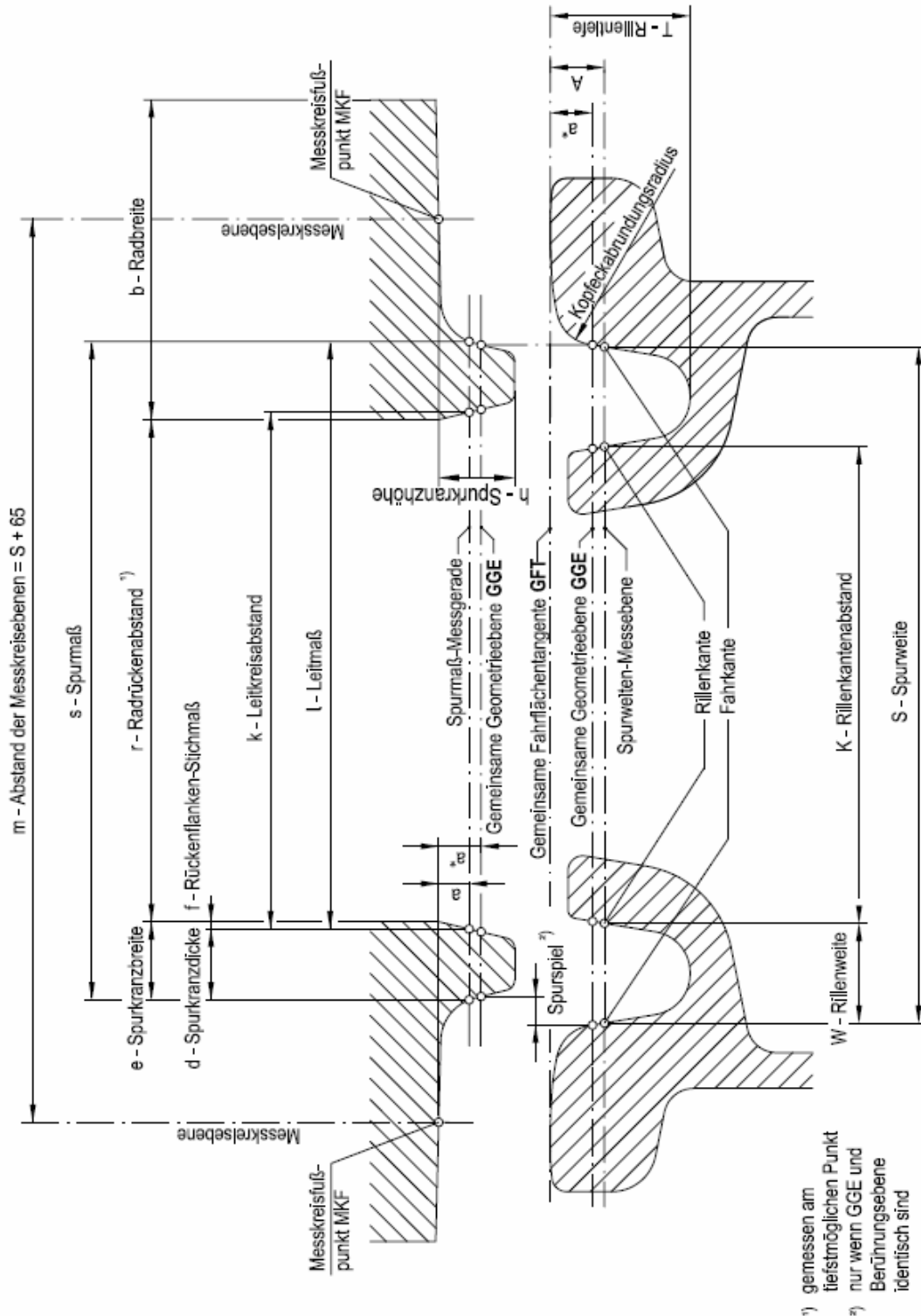
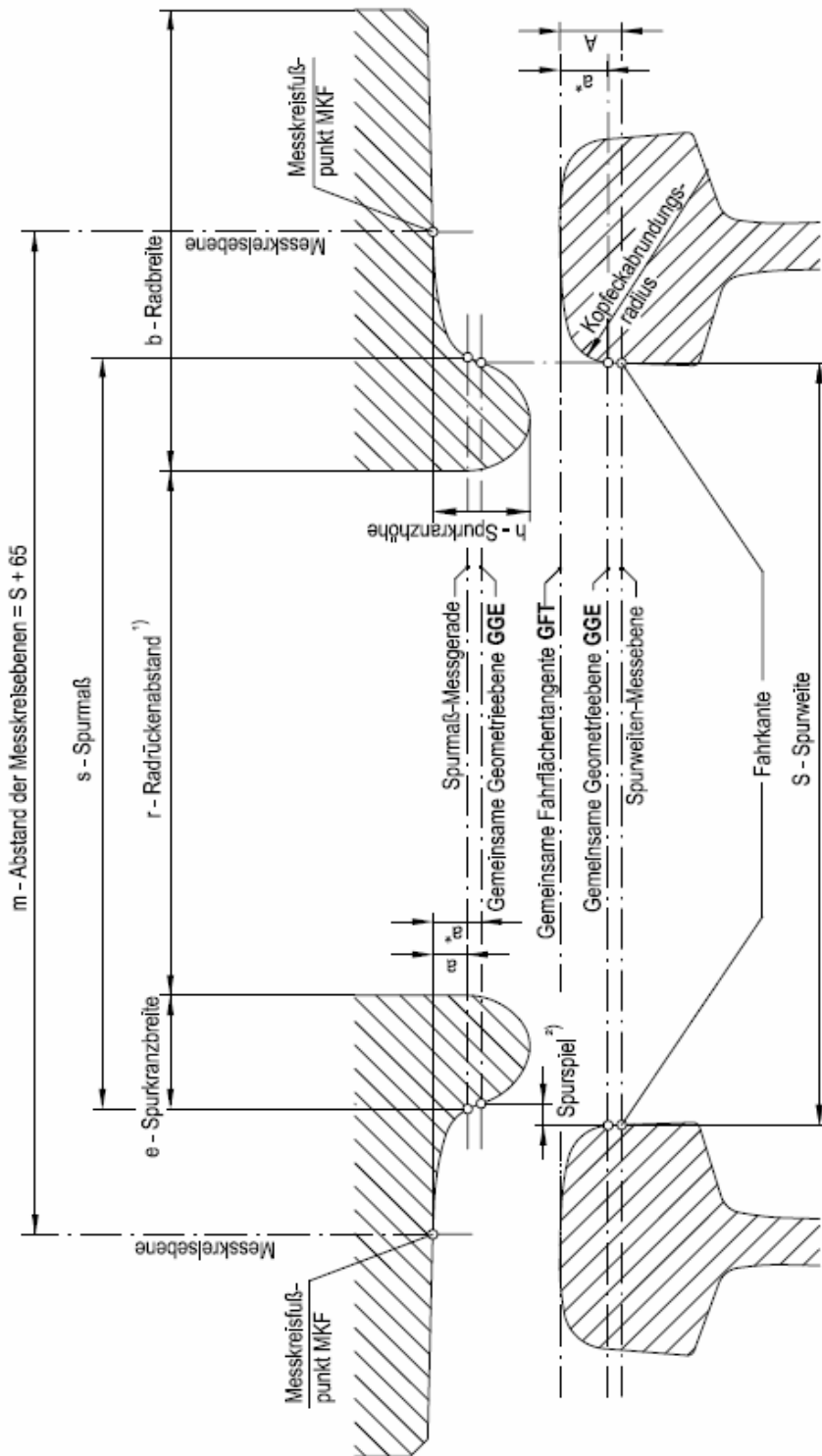


Abbildung 1-21: Maßbezeichnungen am Radsatz und Gleis (Rillenschienen) [35]



- ¹⁾ gemessen am tiefstmöglichen Punkt
²⁾ nur wenn GGE und Berührungsebene identisch sind

Abbildung 1-22: Maßbezeichnungen an Radsatz und Gleis (Vignolschiene) [35]

Weichen

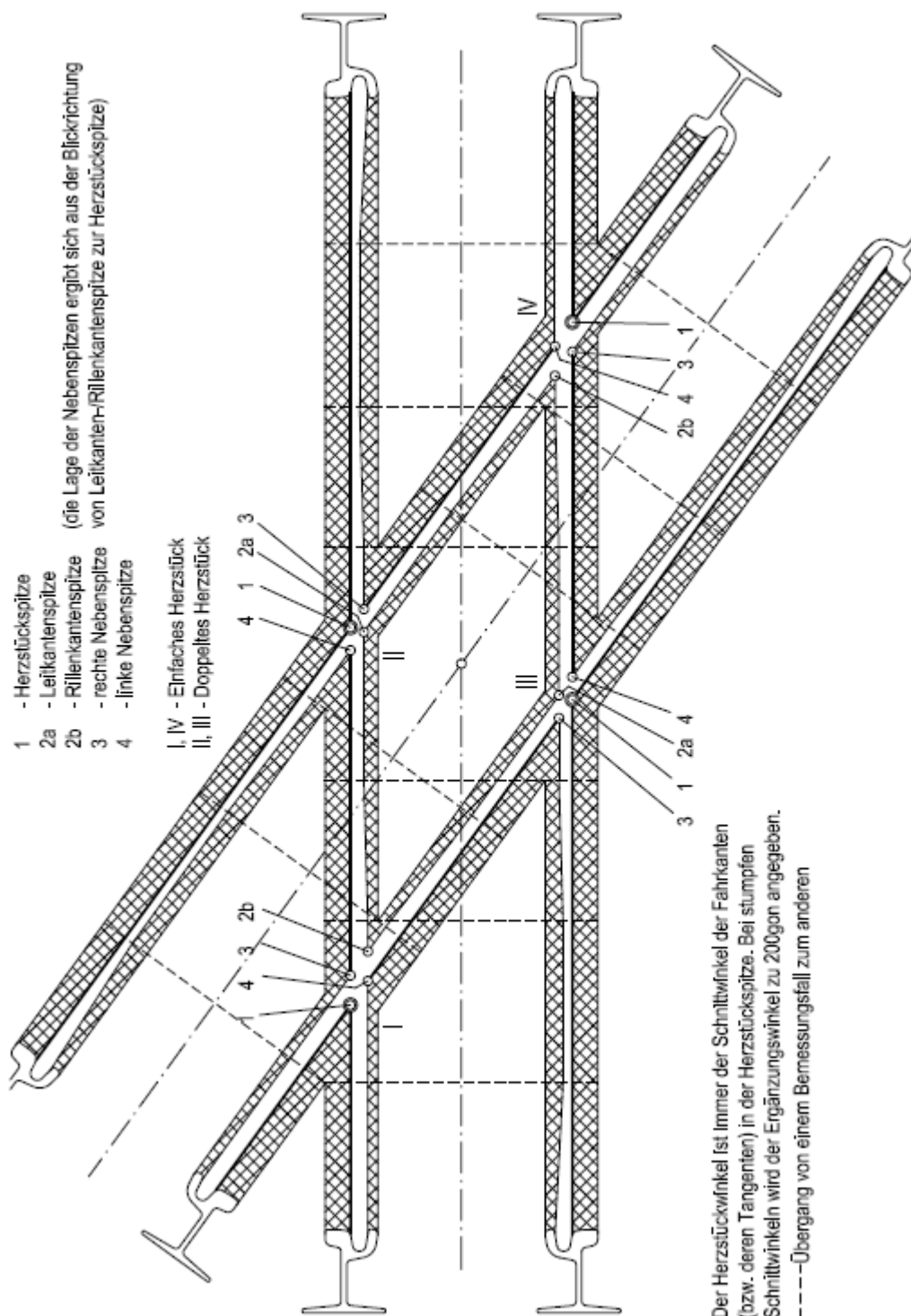
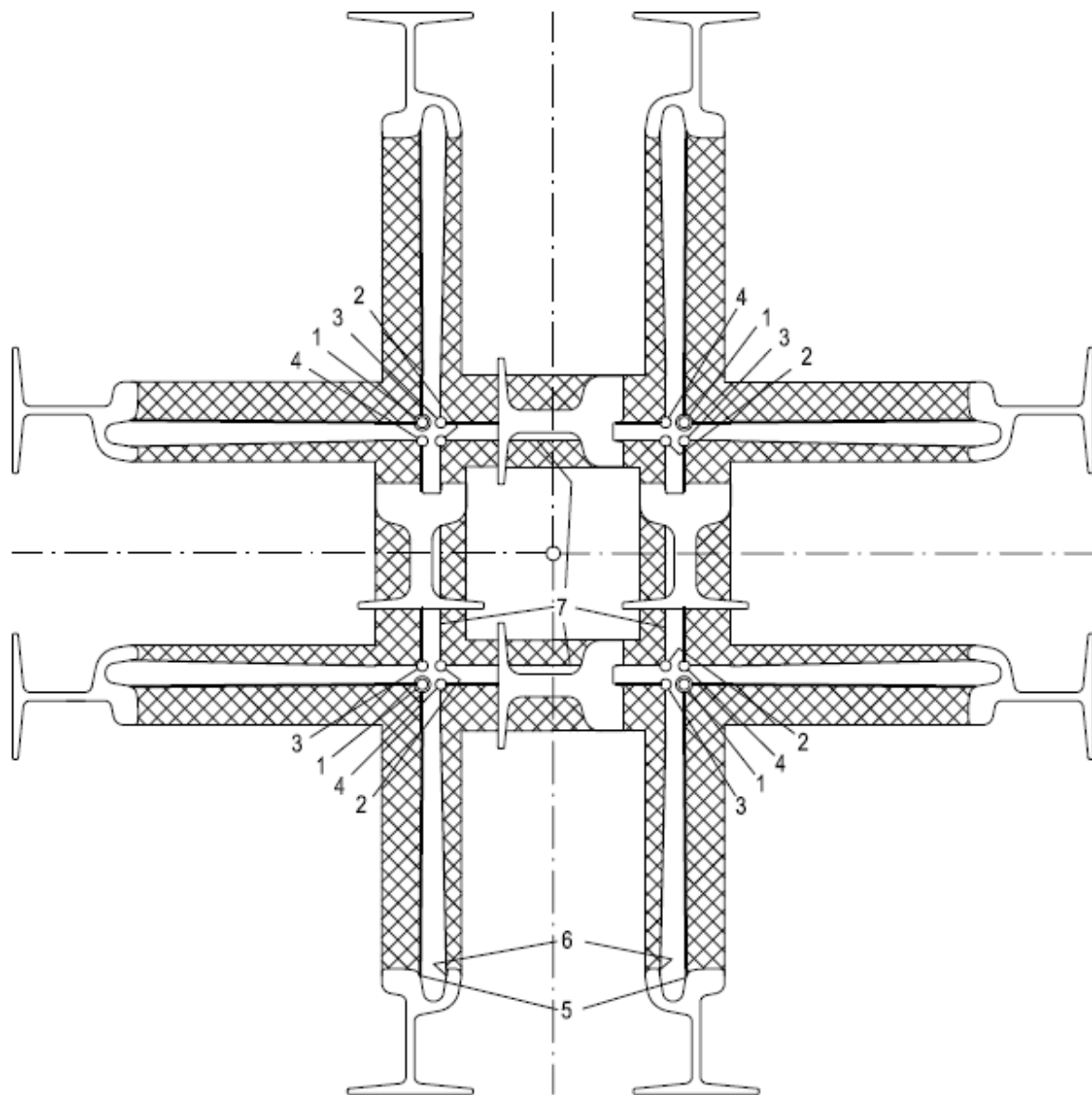


Abbildung 1-23: Bezeichnungen am Herzstück; schiefwinklige Tiefrillen-Kreuzung in Rillenschienen-Ausführung [35]



- 1 - Herzstückspitze
- 2 - Leitkantenspitze
- 3 - rechte Nebenspitze
- 4 - linke Nebenspitze
- 5 - Fahrkante
- 6 - Rillenkante
- 7 - Leitkante

(die Lage der Nebenspitzen ergibt sich aus der Blickrichtung von Leitkantenspitze zur Herzstückspitze)

Abbildung 1-24: Bezeichnungen am Herzstück; 90°-Flachrillen-Kreuzung in Rillenschienen-Ausführung [35]

1.3.3 Die Spurführung

[35]

In Deutschland existieren 3 spurführungstechnische Systeme.

„Das Betriebssystem S (Straßenbahn- / Stadtbahnbetrieb):

Dieses System gilt für Bahnen, deren Fahrzeuge hauptsächlich straßenbündige Gleise mit Rillenschienen befahren.

Das Betriebssystem E (Stadtbahn- / U-Bahn-Betrieb):

Es gilt für Bahnen, deren Fahrzeuge und Gleisanlagen in spurführungstechnischer Hinsicht der Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO) bzw. der Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung für Schmalspurbahnen (ESBO) teilweise oder vollständig entsprechen.

Das Betriebssystem M (Mischbetrieb BOStrab / EBO bzw. ESBO):

Dieses System gilt für Bahnen, deren Fahrzeuge und Gleisanlagen in spurführungstechnischer Hinsicht sowohl dem Betriebssystem S bzw. E als auch der EBO bzw. ESBO genügen.

Um die Sicherheit gegen Entgleisen durch Aufklettern zu erhöhen, darf die Spurkranzhöhe nicht kleiner als 18mm beim Betriebssystem S beziehungsweise 26mm bei den Betriebssystemen E und M sein.“

1.3.4 Der Querruck

[39]

Unter Querruck wird eine Änderung der Seitenbeschleunigung definiert. Den Querruck findet man beim Übergang von einer Geraden in einen Kreis. Sobald die Fliehkraft beziehungsweise Seitenbeschleunigung einsetzt, tritt der Querruck auf.

Aus mathematischer Sicht ist der Querruck die Ableitung der Beschleunigung nach der Zeit:

$$k = \frac{da}{dt}$$

Das Differenzial dt kann nicht infinitesimal klein in einem realen Fahrzeug betrachtet werden, denn nicht alle Achsen des Fahrzeugs den Anfangspunkt des Bogens gleichzeitig befahren. Im Bahnbereich ist es üblich lediglich die Differenz Δa ohne expliziten Bezug auf die Zeitspanne, in welcher der Wechsel der Beschleunigungen stattfindet, anzusetzen.

Um den Querruck, der einen unangenehmen Effekt für die Fahrgäste hat, zu vermeiden, baut man Übergangsbögen ein. Dank dieser Technik wird die Beschleunigung auf eine größere Länge und in einer größeren Zeit aufgebaut (siehe Kapitel 1.3.5.1 und Kapitel 2).

1.3.5 Die Seitenbeschleunigung

[39] und [40]

In den Geraden liegen die beiden Schienen gleich hoch. Bei der Bogenfahrt wirken auf Fahrzeug, Reisende und Güter Fliehkräfte.

Anmerkung 10: In der Wiener Straßenbahnbautechnik gibt es bei in die Fahrbahn eingebetteten Gleisen selten eine Überhöhung.

Die Abbildung 1-25 stellt die verschiedenen Kräfte bei der Bogenfahrt dar.

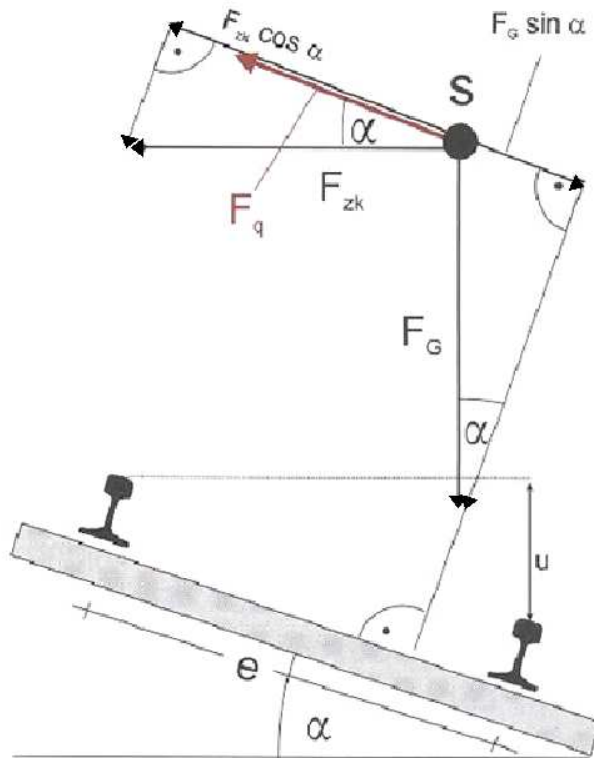


Abbildung 1-25: Kräfte bei der Bogenfahrt [39]

Das Ziel der Überhöhung ist den Einfluss der Fliehkraft parallel zur Gleisebene zu mindern und die Gewichtskraftkomponente normal zur Gleisebene zu vergrößern. Dies bewirkt eine geringere horizontale Seitenkraftübertragung auf den Schienen.

Die beiden Komponenten sind parallel zur Gleisebene und greifen im Schwerpunkt des Fahrzeugs an.

$$\sin \alpha = \frac{\ddot{u}}{e} = \frac{\ddot{u}}{s}$$

Formel (1.3.5-1)

Abkürzung	Name	Einheit
m	Fahrzeugmasse	[kg]
r	Bogenradius	[m]
v	Geschwindigkeit	[m/s]
e=s	Spurweite	[mm]
S	Schwerpunkt	[]
g	Erdbeschleunigung	9,81 m/s ²
α	Neigung der Fahrbahn über der Horizontalen	[rad]
a _q	nicht kompensierte Seitenbeschleunigung	[m/s ²]
F _G	Eigengewichtskraft	[kg · m · s ⁻²]
F _{zk}	Fliehkraft (Zentrifugalkraft)	[kg · m · s ⁻²]
F _q	nicht kompensierte Seitenkraft	[kg · m · s ⁻²]

Tabelle 1.3.5-1. Abkürzungen und Einheit der Parameter

Die Kräfte werden mit diesen Formeln berechnet:

Gewichtskraft	$F_G = m \cdot g$
Zentrifugalkraft	$F_{zk} = \frac{m \cdot v^2}{r}$
nicht kompensierte Seitenkraft	$F_q = F_{zk} \cdot \cos \alpha - F_G \cdot \sin \alpha$

Tabelle 1.3.5-2. Kräfteformeln

Bei einer bestimmten Überhöhung \ddot{u} heben sich die beiden Kräfte (F_G und F_{zk}) auf.

$F_{zk} \cdot \cos \alpha = F_G \cdot \sin \alpha$	Formel (1.3.5-2)
$\frac{m \cdot v^2}{r} \cdot \cos \alpha = m \cdot g \cdot \sin \alpha$	Formel (1.3.5-3)
$\frac{v^2}{r} \cdot \cos \alpha = g \cdot \sin \alpha$	Formel (1.3.5-4)
$a_{zk} \cdot \cos \alpha = g \cdot \sin \alpha$	Formel (1.3.5-5)

Die theoretische optimale Überhöhung ist nur für einen Zug mit bestimmtem Gewicht und bestimmter Geschwindigkeit vorhanden. Sobald sich Gewicht und/oder Geschwindigkeit ändern, ergibt sich ein Überhöhungsüberschuss beziehungsweise -fehlbetrag. Wenn ein Fahrzeug in einem Bogen zum Stehen kommt, darf die Überhöhung nicht zu groß sein, erstens aufgrund der Kippsicherheit und zweitens bezogen auf den Fahrgastkomfort.

α ist klein und $\cos \alpha = 1$
Formel (1.3.5-5) gibt:

$a_{zk} = g \cdot \sin \alpha$	Formel (1.3.5-6)
--------------------------------	------------------

Mit Formel (1.3.5-1):

$a_{zk} = g \cdot \frac{\ddot{u}}{s}$	Formel (1.3.5-7)
---------------------------------------	------------------

$\Leftrightarrow \ddot{u} = \frac{s}{g} \cdot a_{zk}$	Formel (1.3.5-8)
---	------------------

$\ddot{u} = \frac{s}{g} \cdot \frac{v^2}{r} = \ddot{u}_0$	Formel (1.3.5-9)
---	------------------

In diesem Fall spricht man von ausgleichender Überhöhung \ddot{u}_0 .

Die untenstehende Tabelle führt zwei Fälle an, die das Auftreten von Überhöhungsüberschuss und Überhöhungsfehlbetrag begründen.

Geschwindigkeit	$v_0 < v$	$v_0 > v$
Zugbeispiel	schnellfahrende Fahrzeuge	schwere Fahrzeuge
Die Kraftkomponente bleibt zur...	...Bogenaußenseite	...Bogeninnenseite
Gegenüber der Überhöhung besteht...	...ein Überhöhungsüberschuss $u_u = u - u_0$...ein Überhöhungsfehlbetrag $u_f = u_0 - u$

Tabelle 1.3.5-3. Überhöhungsüberschuss und Überhöhungsfehlbetrag

Im Regelfall wird die freie Seitenbeschleunigung a_q mit 0.65 m/s^2 angenommen. Nur in Ausnahmefällen darf die Seitenbeschleunigung a_q auf 0.85 m/s^2 erhöht werden.

$$a_q = a_{zk} \cdot \cos \alpha - g \cdot \sin \alpha \neq 0 \quad \left| \text{Formel (1.3.5-10)} \right.$$

$$a_q = \frac{v^2}{r} - g \cdot \frac{\ddot{u}}{s} \quad \left| \text{Formel (1.3.5-11)} \right.$$

$$\ddot{u} = \frac{s}{g} \cdot \frac{v^2}{r} - \frac{s}{g} \cdot a_q \quad \left| \text{Formel (1.3.5-12)} \right.$$

$$\ddot{u} = \ddot{u}_0 - \frac{s}{g} \cdot a_q \quad \left| \text{Formel (1.3.5-13)} \right.$$

Nach der *Formel (1.3.5-13)* beläuft sich der Überhöhungsfehlbetrag auf $\frac{s}{g} \cdot a_q$ [mm].

1.3.6 Vergleich der Formeln

Die österreichischen Formeln kommen aus dem Buch: „*Oberbauvorschrift für Straßenbahnen – OVSt 57*“ [41]. Diese Formeln werden für das Wiener-Straßenbahnnetz angewendet.

Die deutschen Formeln sind in dem Werk „*Oberbau-Richtlinien und Oberbau-Zusatzrichtlinien (OR / OR – Z) des VDV für Bahnen nach der BOStrab*“ [37] festgelegt.

Mehrere Bemerkungen dieses Buchs beziehen sich auf das „*Verkehrsblatt der BOStrab Trassierungsrichtlinien*“.

Leider blieben die Recherchen nach französischen Trassierungsrichtlinien für Straßenbahnen erfolglos. Fahrzeuge und Anlagen die für eine bestimmte Stadt entworfen sind, passen nicht für andere Städte. Ein Straßburger Fahrzeug kann daher nicht auf allen französischen Netzen fahren.

Die Entwicklung eines Projekts stützt sich auf Verordnungstexte über die Einstiegsmöglichkeiten der Fahrgäste. Ein besonderes Augenmerk wird hierbei auf die Schnittstelle Bahnsteig-Fahrzeug gelegt.

Es ist unmöglich ein allgemein gültiges technisches Werk zu finden. Die Bahnanlagen sind vom jeweiligen Netzbetreiber und den städtebaulichen Faktoren abhängig.

In nachstehender Tabelle werden die Abkürzungen aufgelistet, da es unterschiedliche Bezeichnungen geben kann [37] und [41]:

Abkürzung	Name	Einheit
V (Ö) v (D)	zulässige Höchstgeschwindigkeit	[km/h]
R (Ö) r (D)	Bogenhalbmesser (Gleisbogenradius)	[m]
1 : n (Ö) 1 : m (D)	Rampenneigung	[]
ü (Ö) u (D)	Überhöhung	[mm]
u_f (D)	Überhöhungsfehlbetrag bei zugelassener Querbeschleunigung	[mm]
G (Ö) l_g (D)*	Zwischengerade	[m]
L (Ö)	Länge der Übergangsbögen	[m]
l_b (Ö & D)	Kreisbogenlänge	[m]
l_R (D)	Rampenlänge = Übergangsbogenlänge	[m]
a_q (D)	Querbeschleunigung	[m/s ²]
$k=1000/r$ (Ö & D)	Krümmung	[1/m]
s (Ö & D)	Laufkreisabstand	1 500 mm Normalspur 1 065 mm Meterspur

Tabelle 1.3.6-1. Abkürzungen und Einheit der Parameter

*Anmerkung 11: $\min l_g = v/10$, jedoch nicht kleiner als der maßgebende Fahrwerks-Mittenabstand.

Gleisüberhöhung

Normalerweise liegen beide Schienenstränge in Geraden gleich hoch.

Sowohl bei der ÖBB als auch bei der Straßenbahn wird in Kreisbögen die Außenschiene um die volle Überhöhung angehoben.

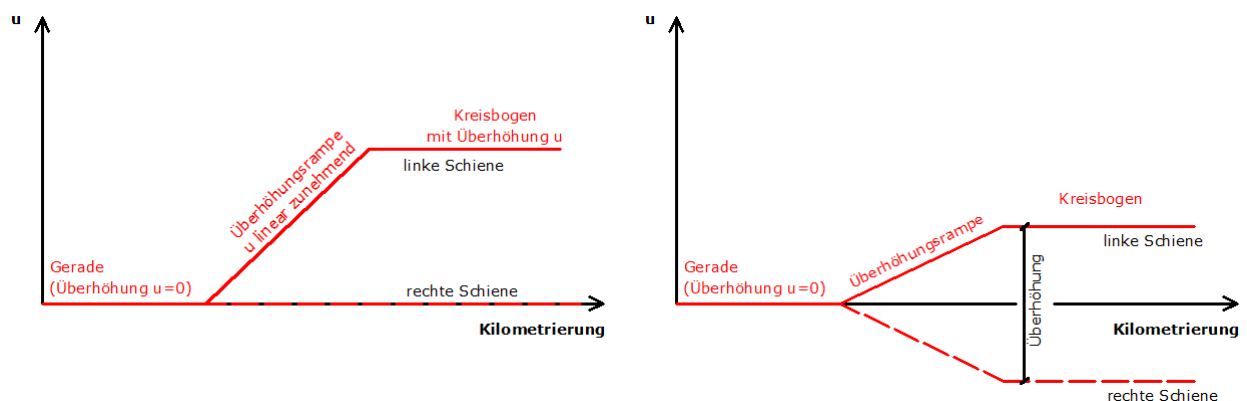


Abbildung 1-26: Überhöhungsdarstellung im Aufriss (Rechtskurve), Beispiel bei der Vollbahn (links) [39] und bei der U-Bahn (rechts)

Bei der U-Bahn, die oft auf fester Fahrbahn fährt, wird die Innenschiene um die halbe Überhöhung gesenkt und die Außenschiene um die halbe Überhöhung angehoben.

Das Verdrehen um den Mittelpunkt der GFT ist allerdings nur bei der festen Fahrbahn sinnvoll, da bei Schotterbettlagerung Probleme mit der Mindestschotterdicke entstehen können.

In den nachfolgenden Tabellen werden die Berechnungsformeln für die Regelüberhöhung, Mindestüberhöhung, maximale Überhöhung sowie Überhöhungsfehlbetrag festgehalten.

Österreich	Deutschland
------------	-------------

Gleisüberhöhung-Normalspur

Überhöhung [mm] für $V_{Str} < 50\text{km/h}$	$\ddot{u}_r = \frac{(11,8 - 0,076 \cdot V) \cdot V^2}{R}$	Überhöhung [mm]	$u = \frac{11,8 \cdot v^2}{r} - u_f$
Überhöhung [mm] für $V_{Str} \geq 50\text{km/h}$	$\ddot{u}_r = \frac{8 \cdot V^2}{R}$	Überhöhungsfehlbetrag bei zugelassener Querbeschleunigung [mm]	$u_f = a_q \cdot 153$
Größte zulässige Überhöhung [mm]	$\ddot{u}_{max} = 150 \text{ mm}$	Regelüberhöhung [mm] $a_q = 0 \frac{m}{s^2}$	$u_f = 0 \text{ mm}$
Mindestüberhöhung [mm]	$\ddot{u}_{mind} = \frac{11,8 \cdot V^2}{R} - 100$	Mindestüberhöhung [mm] $a_q = 1 \frac{m}{s^2}$	$u_f = 153 \text{ mm}$

Tabelle 1.3.6-2. Gleisüberhöhung-Normalspur

Gleisüberhöhung-Meterspur (Innsbruck)

Überhöhung [mm] für $V_{Str} < 50\text{km/h}$	$\ddot{u}_r = \frac{(8,3 - 0,053 \cdot V) \cdot V^2}{R}$
Überhöhung [mm] für $V_{Str} \geq 50\text{km/h}$	$\ddot{u}_r = \frac{5,6 \cdot V^2}{R}$
Größte zulässige Überhöhung [mm]	$\ddot{u}_{max} = 100 \text{ mm}$
Mindestüberhöhung [mm]	$\ddot{u}_{mind} = \frac{8,3 \cdot V^2}{R} - 70$

Tabelle 1.3.6-3. Gleisüberhöhung-Meterspur

Gleisüberhöhung bei 0,900m-Spur (Linz)

Überhöhung [mm] für $V_{Str} < 50\text{km/h}$	$\ddot{u}_r = \frac{(7,5 - 0,048 \cdot V) \cdot V^2}{R}$
Überhöhung [mm] für $V_{Str} \geq 50\text{km/h}$	$\ddot{u}_r = \frac{5,1 \cdot V^2}{R}$
Größte zulässige Überhöhung [mm]	$\ddot{u}_{max} = 85 \text{ mm}$
Mindestüberhöhung [mm]	$\ddot{u}_{mind} = \frac{7,5 \cdot V^2}{R} - 64$

Tabelle 1.3.6-4. Gleisüberhöhung bei 900 mm-Spur

Überhöhungsrampen

Um die Überhöhung bei dem Übergang zwischen Geraden und Kreisbögen herzustellen, werden Überhöhungsrampen eingebaut. Mittels dieses Trassierungselementes kann die äußere Schiene um die Überhöhung angehoben werden und stellt somit die einfachste Form zur Herstellung der Überhöhung dar.

Es ist möglich die Überhöhungsrampen mit linearer oder geschwungener Form zu realisieren (siehe Kapitel 2.2.5). Am Anfang und am Ende der Überhöhungsrampe ändert sich die Rampenneigung plötzlich. In diesen Punkten entstehen Knicke. Um diese Knicke zu verhindern, werden Ausrundungen ausgeführt.

Die nachstehende Tabelle führen die Grenzwerte der Neigung von Überhöhungsrampen für Österreich und Deutschland an.

Österreich		Deutschland			
Regelneigung bei Normalspur	1 : (10 . V) bis 1 : (6 . V)*	Rampenneigung bei Normalspur für $v_{Str} \geq 40\text{km/h}$	1 : (10 . V)	1 : (6 . V)	Mindestrampenneigung bei Normalspur für $v_{Str} \geq 50\text{km/h}$
		Rampenneigung bei Normalspur für $v_{Str} < 40\text{km/h}$	1 : 400	1 : 300	Mindestrampenneigung bei Normalspur für $v_{Str} < 50\text{km/h}$
Regelneigung bei Meterspur	1 : (14 . V) bis 1 : (10 . V)*	Rampenneigung bei Meterspur für $v_{Str} \geq 40\text{km/h}$	1 : (14 . V)	1 : (10 . V)	Mindestrampenneigung bei Meterspur für $v_{Str} \geq 50\text{km/h}$
		Rampenneigung bei Meterspur für $v_{Str} < 40\text{km/h}$	1 : 568	1 : 300	Mindestrampenneigung bei Meterspur für $v_{Str} < 50\text{km/h}$
Regelneigung bei 0,900m-Spur	1 : (15 . V) bis 1 : (11 . V)*				
Größte zulässige Rampenneigung	1 : 300 1 : 200*				

* Anmerkung 12: In Ausnahmefällen bzw. bei in die Straßenfahrbahn eingebetteten Gleisen.

Regellängen [m] bei Regelüberhöhung und Normalspur	
für $v_{Str} \geq 40\text{km/h}$	$l_R = 0,01 \cdot v \cdot u$
für $v_{Str} < 40\text{km/h}$	$l_R = 0,4 \cdot u$
Mindestlängen [m] bei Regelüberhöhung und Normalspur	
für $v_{Str} \geq 50\text{km/h}$	$l_R = 0,006 \cdot v \cdot u$
für $v_{Str} < 50\text{km/h}$	$l_R = 0,3 \cdot u$
Regellängen [m] bei Regelüberhöhung und Meterspur	
für $v_{Str} \geq 40\text{km/h}$	$l_R = 0,014 \cdot v \cdot u$
für $v_{Str} < 40\text{km/h}$	$l_R = 0,568 \cdot u$
Mindestlängen [m] bei Regelüberhöhung und Meterspur	
für $v_{Str} \geq 30\text{km/h}$	$l_R = 0,01 \cdot v \cdot u$
für $v_{Str} < 30\text{km/h}$	$l_R = 0,3 \cdot u$

Tabelle 1.3.6-5 Überhöhungsrampen

Übergangsbögen (siehe Kapitel 2)

Österreich		Deutschland	
Mindestlänge [m]	$L_{mind} = \frac{V^3}{13 \cdot R}$ $L_{mind} = \frac{V^3}{30 \cdot R} *$	-	-
Zwischengeraden [m]	$G = \frac{V}{10}$	-	-

Tabelle 1.3.6-6. Übergangsbögen

*Anmerkung 13: In Ausnahmefällen bzw. bei in die Straßenfahrbahn eingebetteten Gleisen kann die Mindestlänge [m] herabgesetzt werden.

Anmerkung 14: Die Werte werden in Deutschland nicht angegeben.

Gleisverziehung (Änderung des Gleisachsabstandes)

Eine Gleisverziehung dient der Änderung des Gleisachsabstandes. Beispielsweise weist ein Querschnitt einer Mittelhaltestelle einen anderen Gleisachsabstand auf als auf der freien Strecke.



Abbildung 1-27: Gleisachsabstand und Spurweite

Österreich (Wert des Halbmessers)

Nach dem österreichischen Regelwerk sind die Gleisverziehungen ohne Überhöhung, ohne Übergangsbogen und ohne Zwischengerade herzustellen. In diesem Fall wird eine Gegenbogenkombination ausgeführt.

Bei beschränkten örtlichen Verhältnissen	Bei in die Straßenfahrbahn eingebetteten Gleisen
$R \geq V^2$	$R \geq \frac{V^2}{4}$

Deutschland (Wert des Mindestradius)

Bei Gleisverzierungen ohne Übergangsbogen und Zwischengerade sollen die Radien in der Regel $r = 0,5 \cdot v^2$ betragen.

Gleisverzierungen ohne Übergangsbogen und Zwischengerade	Mindestens
$r = 0,5 \cdot v^2$	$r = 0,25 \cdot v^2$

Tabelle 1.3.6-7 Gleisverziehung

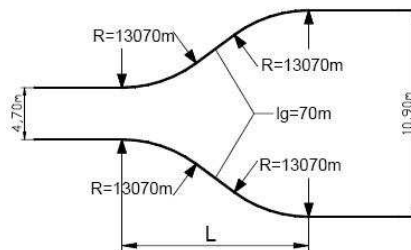


Abbildung 1-28: Beispiel von einer zweiseitigen Gleisverziehung [42]

1.3.7 Die Überpufferung

Überpufferung bedeutet, dass sich zwei Pufferteller während der Bogenfahrt ineinander verschieben.

Dieses geometrische Phänomen findet bei Gegenbögen statt und infolge dessen können Fahrzeuge entgleisen. Die Begründungen dafür sind:

- die Halbmesser der Bögen sind zu klein
- die notwendige Zwischengerade fehlt oder ist zu kurz

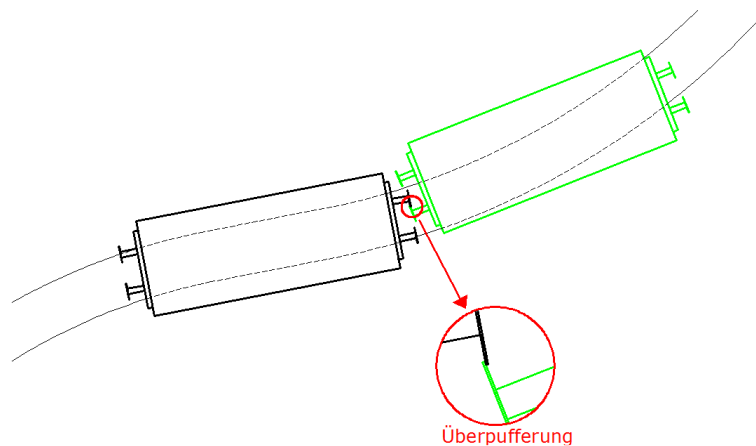


Abbildung 1-29: Überpufferung [43]

2 Übergangsbogenformen

2.1 Allgemeines

Um eine Trasse einer Straßenbahnlinie zu entwerfen, werden Trassierungselemente verwendet, die aus Geraden, Kreisbögen und Übergangsbögen bestehen.

2.1.1 Trassierungselement - Übergangsbögen

Für die Straßenbahntrassierung werden als Übergangsbogenform die kubische Parabel und Klothoide mit gerader Krümmungslinie verwendet. Daher werden in den folgenden Kapiteln auch nur diese Elemente beschrieben.

2.1.2 Abkürzungen

Die unterstehende Tabelle führt die Abkürzungen an, welche für die Trassierungsparameterbeschriftung verwendet werden.

Abkürzung	Name	Einheit
BA	Bogenanfang	[]
BE	Bogenende	[]
Δu_f	Änderung des Überhöhungsfehlbetrages	[mm]
f	Abrückmaß	[m]
k	Krümmung	[1/m]
L	Bogenlänge	[m]
l_u	Länge der Übergangsbögen	[m]
$l_{\text{Üb min}}$	Mindestlänge des Übergangsbogens	[m]
$l_{\text{Ür min}}$	Mindestlänge der Überhöhungsrampe	[m]
R	Radius	[m]
RA	Rampenanfang	[]
RE	Rampenende	[]
u_f	Überhöhungsfehlbetrag	[mm]
UA	Übergangsbogenanfang	[]
UE	Übergangsbogenende	[]
V	Geschwindigkeit	[km/h]
WBA	Wiener Bogenanfang	[]
WBE	Wiener Bogenende	[]

Tabelle 2.1.2. Abkürzungen und Einheit der Trassierungsparameter

2.2 Übergangsbögen

2.2.1 Allgemeines

Die Übergangsbögen sind Trassierungselemente um eine stetige und ruckfreie Krümmungsänderung zwischen geraden und kreisförmigen Elementen einer Trasse zu ermöglichen.

Sie können bei ebenen und überhöhten Abschnitten verwendet werden.

Die folgenden Formen sind Übergangsbögen:

- Klothoide (gerade oder S-förmige Krümmung);
- Parabel;
- Blossbogen;
- Sinusoide (selten verwendet).

Am Ende der Geraden besitzt der Bogen den Radius $r = \infty$ ($k = 0$). Der Wert dieses Radius geht von unendlich (am Ende der Geraden) bis zu dem Bogenradius (am Beginn des Bogens).

Der Krümmungsverlauf entspricht dem Aufbau der Seitenbeschleunigung. Weiters ist die Krümmung der Kehrwert des Radius.

Die Grafiken 2-1 zeigen den Krümmungswechsel einer Trasse bei Klothoide-Übergangsbogen und ohne Übergangsbögen. Im zweiten Fall tritt ein Krümmungssprung auf.

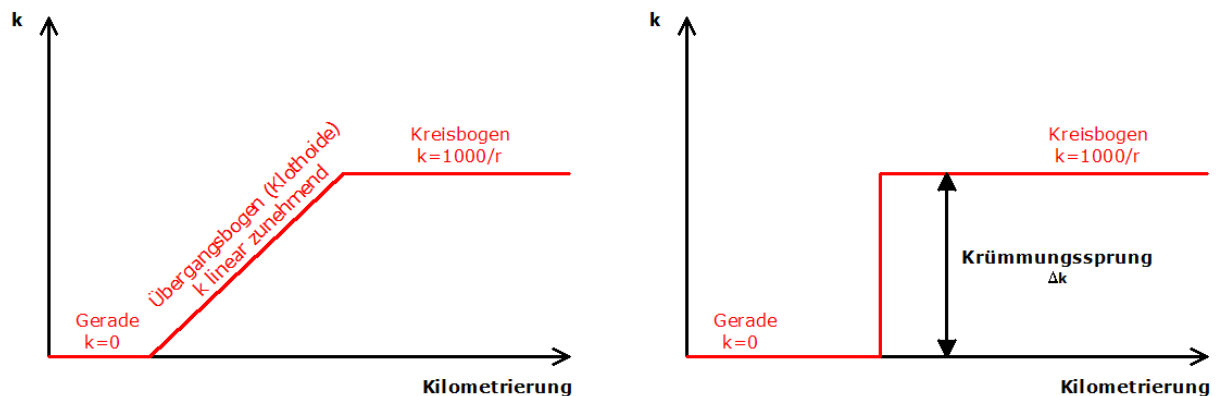


Abbildung 2-1: Vergleich zwischen Krümmungswechsel mit einem Klothoide-Übergangsbogen (links) und ohne Übergangsbögen (rechts) [39]

Die Trassierungsmöglichkeiten können grob in drei Fälle unterschieden werden [39]:

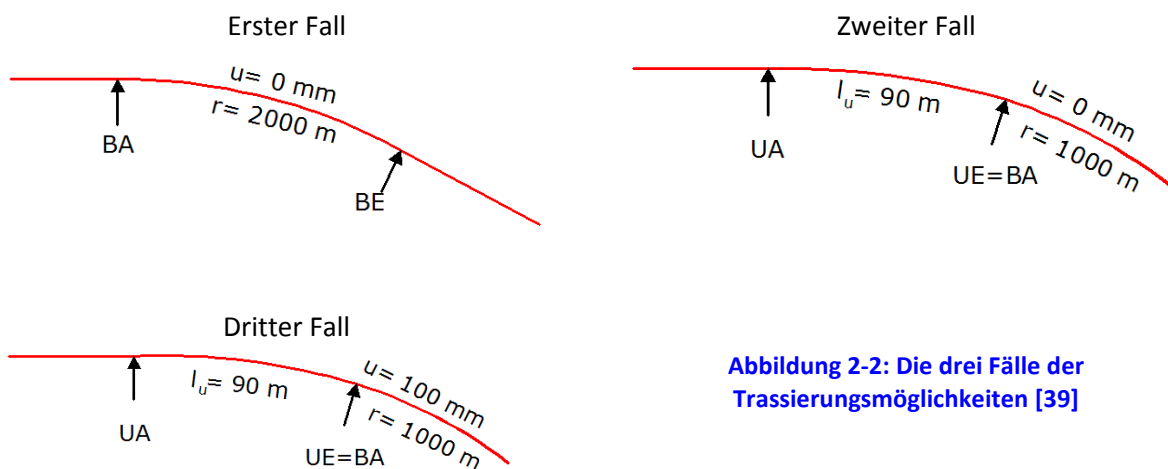


Abbildung 2-2: Die drei Fälle der Trassierungsmöglichkeiten [39]

- Erster Fall: Der Bogen ist nicht überhöht und der Krümmungswechsel ist klein.

Ein Übergangsbogen muss nicht eingebaut werden. Dieser Fall findet statt, wenn der Radius einen großen Wert besitzt.

$R \rightarrow \infty$ dann $k \rightarrow 0$ (und umgekehrt, wenn $R \rightarrow 0$ dann $k \rightarrow \infty$). Somit ergibt sich bei großem Radius eine kleine Krümmung und resultierend daraus eine geringe Seitenbeschleunigung.

$$k = \frac{1}{R}$$

Formel (2.2.1-1)

Beschreibung der Variablen: siehe Tabelle 2.1.2.

- Zweiter Fall: Der Bogen ist nicht überhöht, der Krümmungswechsel ist groß.

Ein Übergangsbogen muss eingebaut werden. Es kann eine Klothoide gewählt werden, deren erforderliche Länge folgende Bedingung einhalten muss [39]. Allerdings ist die vorhandene Seitenbeschleunigungsdifferenz weiter kleiner als der Grenzwert der Seitenbeschleunigung, dadurch ist eine Überhöhung nicht erforderlich.

$$l_U = \frac{4 \cdot \Delta u_f \cdot v}{1000}$$

Formel (2.2.1-2)

Beschreibung der Variablen: siehe Tabelle 2.1.2.

Die Formel 2.2.1-2 entspricht dem Grenzwert für die Mindestlänge des Übergangsbogens (mit gerader Krümmungslinie).

- Dritter Fall: Der Bogen ist überhöht, sodass eine Überhöhungsrampe eingebaut werden muss.

Die Überhöhungsrampe muss immer mit einem Übergangsbogen zusammen fallen, um die Überhöhung kontinuierlich aufbauen zu können.

Die Mindestlänge für den Übergangsbogen ist der Formel (2.2.1-2) zu entnehmen.

Maßgebend ist die größere Länge, alle weiteren geometrischen Eigenschaften sowohl für Übergangsbögen und Überhöhungsrampen werden aufbauend auf die Länge berechnet.

Die unterstehende Tabelle zeigt die Korrespondenz zwischen diesen Parametern.

Überhöhungsrampe	Übergangsbogen
gerade	Klothoide mit gerader Krümmungslinie
geschwungene	mit s-förmiger Krümmungslinie
	nach Bloss

Tabelle 2.2.1. Korrespondenz zwischen Überhöhungsrampe und Übergangsbogen

Rampe und Übergangsbogen müssen an der gleichen Stelle beginnen und enden. Die größere Länge muss für beide gewählt werden, wenn die errechnete Mindestlängen von Überhöhungsrampe und Übergangsbogen unterschiedlich sind.

Beschreibung der Variablen: siehe Tabelle 2.1.2.

✓ $l_{Ür \min} > l_{Üb \min}$

Wenn $l_{Üb \min}$ gewählt wird, wird die kinematische Bedingung eingehalten. Aber die Überhöhung der Schiene kann nicht aufgebaut werden.

✓ $l_{Üb \min} > l_{Ür \min}$

Wenn $l_{\text{Ür min}}$ gewählt wird, kann die Überhöhung aufgebaut werden. Aber die kinematische Bedingung wird nicht eingehalten.

2.2.2 Klothoide

Diese Form des Übergangsbogens wird auch im Straßenbau verwendet.

Die folgende Formel erlaubt die Berechnung einer Klothoide [40]:

$$A^2 = R \cdot L$$

R ist der Radius. [m]

L ist die zugehörige Bogenlänge. [m]

A ist der konstante Klothoidenparameter. [m]

Aus praktischen Gründen wird bei der Straßenbahn die kubische Parabel als Übergangsbogen verwendet. Allerdings wird sowohl bei der Vollbahn als auch bei der U-Bahn als Übergangsbogenform die Klothoide eingesetzt.

Der große Unterschied zwischen Klothoide und kubischer Parabel ist, dass die Krümmung linear mit der Bogenlänge bei der Klothoide ($K = c \cdot l$) und linear mit der Projektion der Bogenlänge bei der kubischen Parabel ($K = c \cdot x$) zunimmt.

K ist die Krümmung

c ist der lineare Koeffizient

l ist die Übergangsbogenlänge

x ist die Projektion der Bogenlänge

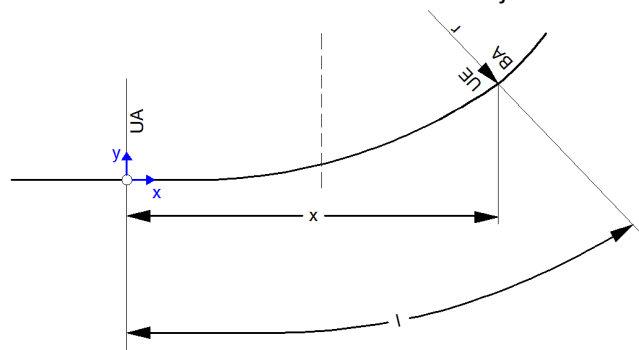


Abbildung 2-3: Klothoide und kubische Parabel [40]

✓ lineare Krümmungslinie

Die Krümmung wächst linear mit der Länge.

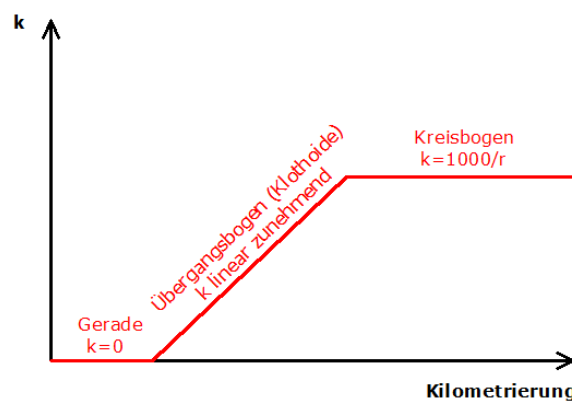


Abbildung 2-4: Grafische Darstellung der Krümmung einer Klothoide mit linearer Krümmungslinie [39]

✓ s-förmige Krümmungslinie

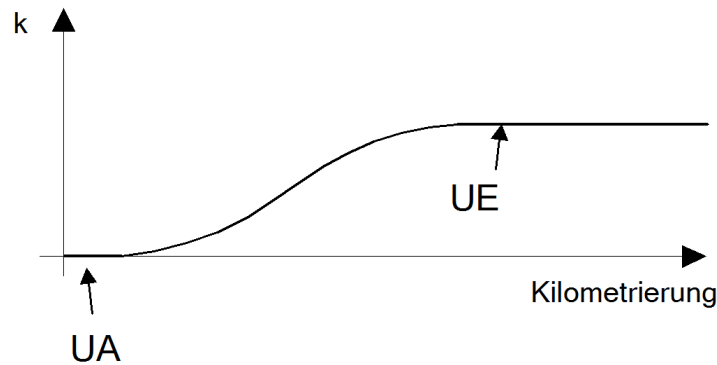


Abbildung 2-5: Grafische Darstellung des S-förmigen Krümmungsverlaufs einer Klothoide [39]

Im Vergleich zu der Klothoide mit linearer Krümmungslinie, ist die Klothoide mit geschwungener Krümmungslinie länger. Die Begründung dafür liegt darin, dass bei einer geschwungenen Krümmungslinie neben dem linearen Verlauf auch noch die beiden Parabeln auf der Übergangsbogenlänge untergebracht werden müssen. Der Vorteil dieser geometrischen Form ist der fehlende Knick im Krümmungsverlauf an den Stellen wo der Übergangsbogen beginnt und endet.

2.2.3 Kubische Parabel

[40] und siehe Kapitel 2.2.2

Diese Abbildung zeigt die kubische Parabel, die oft im Straßenbahnbereich verwendet wird. Die Gleichung dieser Parabel lautet:

$$y = \frac{x^3}{6 \cdot r \cdot l_u}$$

l_u ist die auf die x-Achse projizierte Länge des Übergangsbogens.

l_R : Rampenlänge

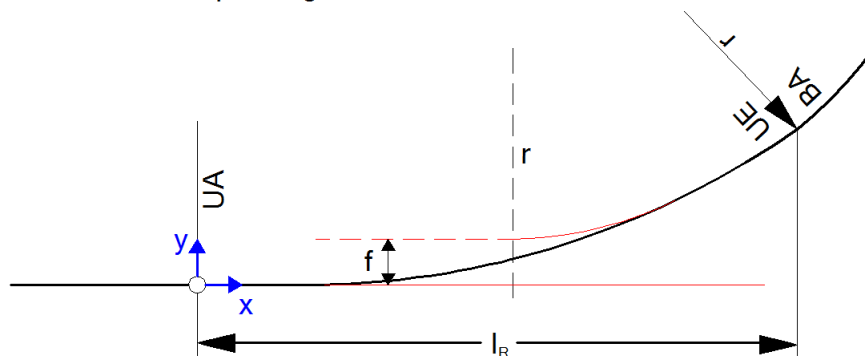


Abbildung 2-6: Grundriss einer kubischen Parabel [40]

2.2.4 Verhältnisse zwischen Übergangsbögen und Rampen

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit dem Zusammenhang zwischen Übergangsbögen und Überhöhungsrampen. In Tabelle 2.2.4. wird das Verhältnis zwischen Übergangsbogenformen und Überhöhungsrampen mittels Krümmungslinien, Abrückmaß und Verwindung angegeben [39].

Gerade Überhöhungsrampen sind mit Übergangsbögen mit gerader Krümmungslinie aufzubauen. S-förmige Überhöhungsrampen sind mit Übergangsbögen mit parabolisch-geschwungener bzw. kubisch-geschwungener Krümmungslinie aufzubauen.

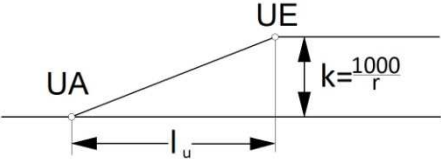
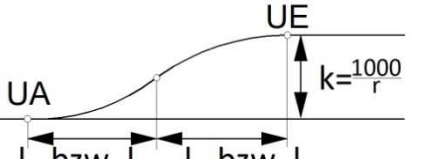
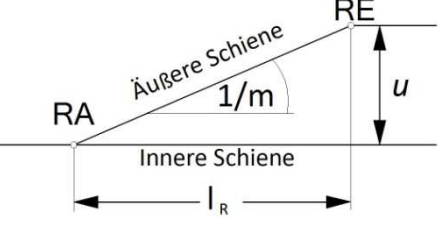
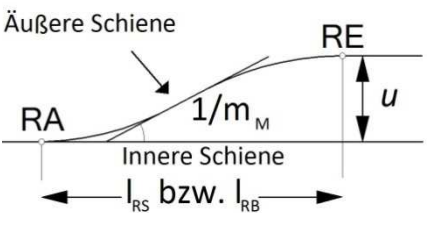
Übergangsbogen...	...mit gerader Krümmungslinie	...mit geschwungener Krümmungslinie
Krümmungslinie	gerade	parabolisch geschwungen kubisch geschwungen
Abrückmaß*	 $f = \frac{l^2}{24 \cdot r}$	 $f = \frac{l^2}{48 \cdot r} \quad \left \quad f = \frac{l^2}{40 \cdot r}$
Rampen	Gerade Rampen	Geschwungene Rampen
Rampenform	gerade	S-förmig
Verwindung	 $m = \frac{1\,000 \cdot l_R}{\Delta u}$	 $m_M = \frac{1\,000 \cdot l_{RS}}{2 \cdot \Delta u}$

Tabelle 2.2.4. Verhältnisse zwischen Übergangsbögen und Rampen [39]

* Anmerkung 15: Gemäß der „Planung von Bahnanlagen“ ist das Abrückmaß ein Abstand zur Geraden, in dem der Kreisbogen liegen muss.

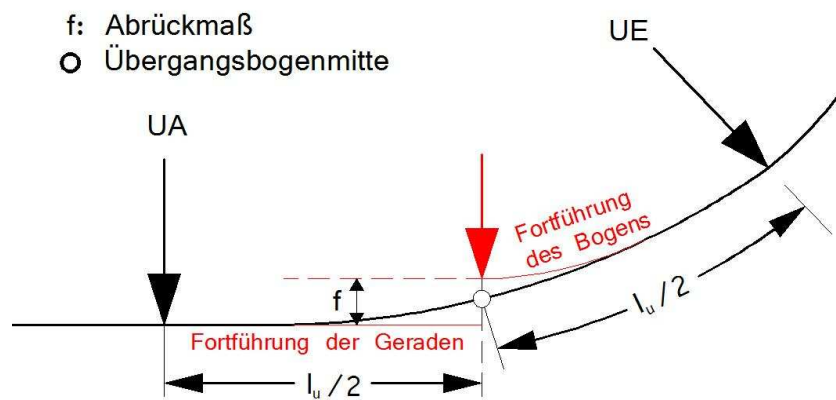


Abbildung 2-7: Schema eines Abrückmaßes [39]

2.3 Der Wiener Bogen – Schwerpunktsnahe Trassierung

Im Jahr 2001 wurde ein Patent von den Wiener Linien und den Österreichischen Bundesbahnen angemeldet.

Der Wiener Bogen ist eine neue Technik der Trassenführung. Die Besonderheit des Wiener Bogens ist, dass er um den Schwerpunkt des Fahrzeugs trassiert wird.

Der Wiener Bogen weist wichtige Unterschiede zu der konventionellen Geometrie in den Bereichen Fahrzeugverhalten und Eigenschaften des Fahrwegs auf.

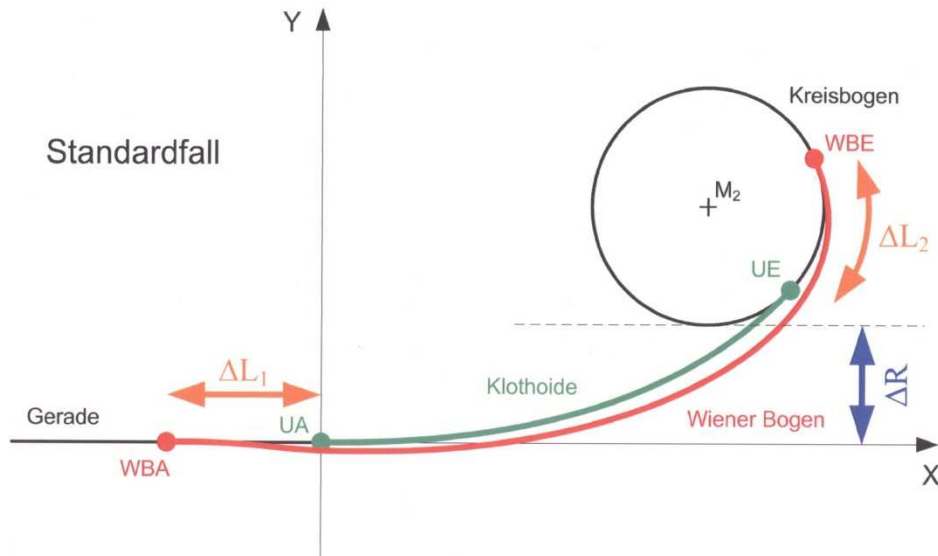


Abbildung 2-8: Trasse des Standardfalls – Wiener Bogen [44]

Gemäß der Abbildung 2-8 benötigt ein Wiener Bogen eine größere Länge als eine Klothoide. $\Delta L_1 + \Delta L_2$ ist die zusätzliche Länge eines Wiener Bogens gegenüber der Klothoide.

3 Fahrwerks des ULFs

3.1 Allgemeines über die Niederflurtechnik

Vorerst erfolgen einige allgemeine Erläuterungen über Niederflurstraßenbahnen. Die Geschichte der Entwicklung dieser Fahrzeugtype wird im Rahmen dieser Arbeit nicht behandelt. Aber es ist interessant zu wissen, was man mit dem Ausdruck „Niederflurstraßenbahn“ bezeichnet.

Gemäß [45] werden die Straßenbahnen durch ihren Fußbodenhöhe und ihren ebenen oder nicht ebenen Wagenfußboden geordnet.

Die nachstehende Tabelle gibt die Klassifizierung verschiedenen Arten/Typen von Straßenbahnen an.

	Wagenfußbodenhöhe beim Einstieg (über die GFT)	Einstiegstufen
Hochflurstraßenbahn	600mm < Wagenfußbodenhöhe	meist 3 oder 4
Mittelflurstraßenbahn	400mm < Wagenfußbodenhöhe < 600mm	meist 2 eventuell 3
Niederflurstraßenbahn	Wagenfußbodenhöhe < 390mm	max. 1

Tabelle 3.1-1. Klassifizierung durch Wagenfußbodenhöhe und Einstiegstufen [45]

Hierbei ist zu beachten, dass es Bedingungen gibt um die Bezeichnung „Niederflurstraßenbahn“ einzuhalten. Diese ergeben sich dadurch, „dass ein Rollstuhlfahrer unabhängig von der Höhe des Bahnsteigs nicht alleine in das Fahrzeug gelangen kann.“ [45]

Aber bei genauerer Betrachtung sieht man, dass es noch weitere Bedingungen gibt, die für die Bezeichnung Niederflurstraßenbahn ausschlaggebend sind. Wie die folgende Tabelle zeigt, können die Niederflurstraßenbahnen in vier Kategorien eingeteilt werden.

Kategorie	Hauptcharakteristisch
1	9 bis 48 % Niederfluranteil
2	50 bis 73 % Niederfluranteil
3	100 % Niederflurmodule im 75 bis 80 % Niederflurfahrzeug
4	100 % Niederflurfahrzeuge

Tabelle 3.1-2. Klassifizierung gemäß dem Prozentsatz der Niederflurfläche [45]

Der große Unterschied zwischen den konventionellen Straßenbahnen und den Niederflurstraßenbahnen findet sich im Bereich der verwendeten Fahrwerke und im weiteren Sinne im Bereich des Drehgestells. Um ein Niederflurfahrzeug zu bauen, sind mehrere technischen Varianten möglich. Die Technik der Wiener „Ultra Low Floor“ wird im Kapitel 3.3. eingehend beschreiben.

Die Tabelle 3.1-3. zeigt Beispiele für jede Kategorie in Anlehnung an Tabelle 3.1-2. Diese Beispiele sind Fahrzeuge aus Graz, Braunschweig, Dresden und Wien. In den Abbildungen wird der Wagenboden in Rot dargestellt, wobei der Rotanteil den Prozentsatz der Niederflurfläche widerspiegelt (viel rot - Hochflur; wenig rot - Niederflur).

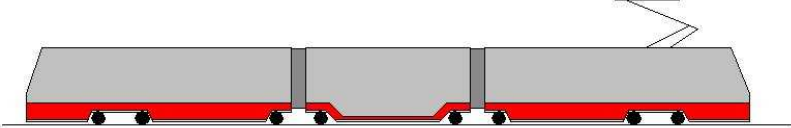
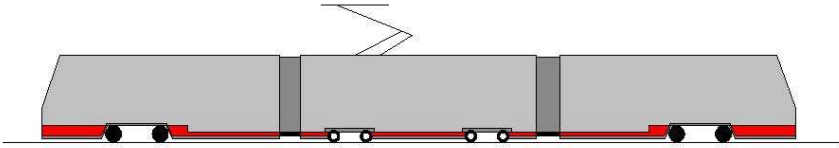
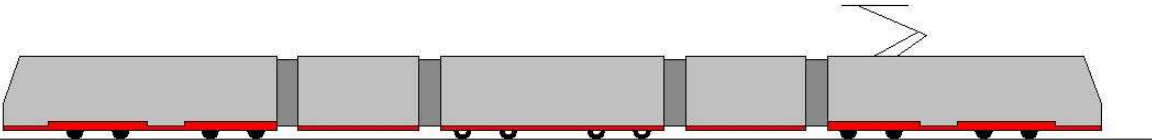
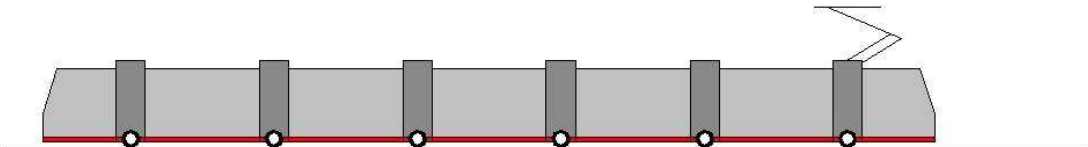
Stadt	Prozent Niederfluranteil	Name der Straßenbahn	Hauptcharakteristik
Graz	16% (Kategorie 1)	Reihe 600 (SGP/Bombardier)	Dreiteiliger Gelenkwagen mit Jakobs-Drehgestellen und Niederflur-Mittelteil
			
Braunschweig	70% (Kategorie 2)	NGT8D (ALSTOM LHB/Bombardier)	Kleinrad-Drehgestelle im Mittelteil
			
Dresden	80% (Kategorie 3)	Flexity Classic XXL – NGTD-12-DD (Bombardier/Kieppe)	Niederflur-Radlosmodulen
			
Wien	100% (Kategorie 4)	ULF B (SGP/Siemens/ELIN)	Ultra Low Floor
			

Tabelle 3.1-3. Beispiele für jede Kategorie [46]

Für die Entwicklung der Niederflurtechnik waren zahlreiche Versuche notwendig. Jede Variante besitzt Vor- und Nachteile. Allen Niederflurstraßenbahnen ist jedoch gemein, dass beim Einbau gewisse Bedingungen zu beachten sind.

Zum Beispiel ist ein Nachteil der Niederflurstraßenbahn die Unterbringung der elektrischen Komponenten im Bereich von Stehplätzen. Bei konventionellen Straßenbahnen befinden sich diese Komponenten unterhalb des Wagenfußbodens. Aufgrund der Senkung des Wagenfußbodens müssen die elektrischen Ausrüstungen anderswo liegen. Diese können zum Beispiel im Dach- oder Seitenbereich des Wagenkastens untergebracht werden. Dieses Umstellen hat zur Folge, dass die Stabilität im erwähnten Bereich besser kontrollierbar wird.

Die Hilfsaggregate des Triebwagens der ULF befinden sich größtenteils auf dem Wagendach, das bedeutet auch mehr Zeit bei Wartungs- und Reparaturfällen aufgrund einer schwierigeren Zugänglichkeit mit den notwendigen erweiterten Revisionsständen und -einrichtungen.

Die Räder der Niederflurstraßenbahnen mit Drehgestellen bzw. quasi Drehgestellen besitzen kleinere Durchmesser als Räder der Hochflurstraßenbahn. Der Grund dafür ist, dass bei Niederflurstraßenbahnen die Räder in den Fahrzeuginnenraum hineinragen.

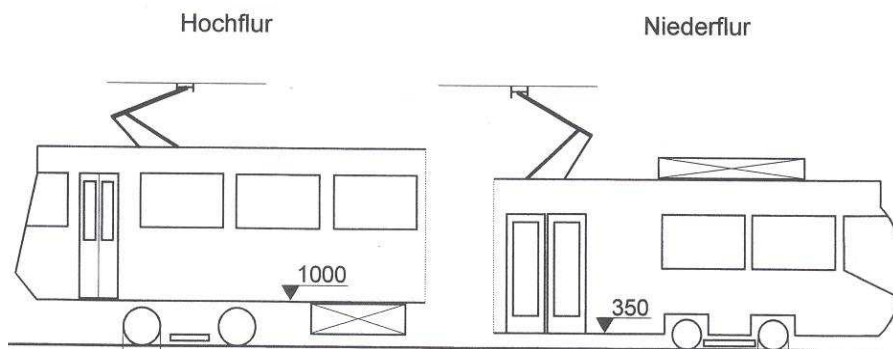


Abbildung 3-1: Prinzip Vergleich von Hochflur- und Niederflurfahrzeugen [47]

Die Abbildung 3-1. zeigt die vorher erwähnten Charakteristiken von Hoch- und Niederflurstraßenbahnen (elektrische Ausrüstung unter dem Wagenkasten bzw. am Dach, Raddurchmesser).

3.2 Herkömmliches Straßenbahnfahrwerk

3.2.1 Der Radsatz

Normalerweise besteht ein Radsatz bei Schienenfahrzeugen aus einer Radsatzwelle und den beiden Radscheiben. Je nach Einsatzfall sind neben den Radscheiben auf der Welle auch noch Bremscheiben und/oder Zahnräder für den Antrieb montiert.

Die Triebradsätze und die Laufradsätze müssen unterschieden werden. Global gesagt, dienen die Triebradsätze zur Übertragung der Traktion und die Laufradsätze zur Abtragung der Spurführungskräfte.

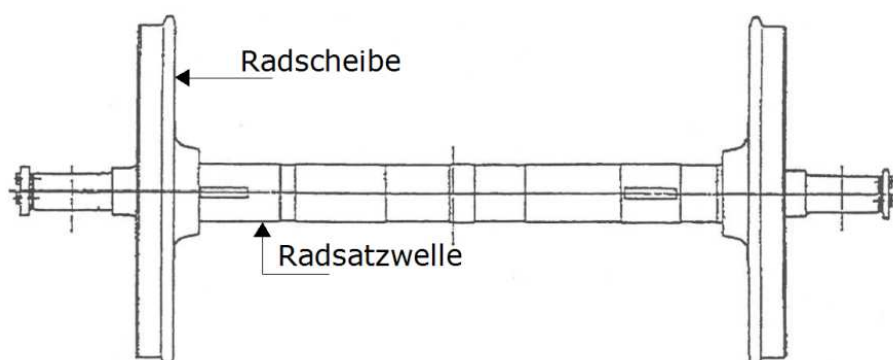


Abbildung 3-2: Schematische Darstellung eines herkömmlichen Radsatzes [48]

Der Radsatz wird durch das Radsatzlager (siehe Abbildung 3-3) in dem Drehgestellrahmen gelagert. Ein Ziel des Radsatzlagers ist ein Teil des Fahrzeuggewichtes von den Federn auf den Radsatz zu übertragen. Es soll auch beim Bremsfall oder Antriebsfall die Längskräfte des Fahrzeuges übertragen.

3.2.2 Die Federung

Ein herkömmliches Drehgestell besitzt zwei verschiedene Federungssysteme, eine Primärfederung und eine Sekundärfederung. Die Sekundärfedern erlauben die Übertragung des Fahrzeuggewichtes auf den Rahmen des Drehgestells.

Die Primärfederung überträgt das Gewicht des Rahmens auf die Achslager. Die Abbildung 3-3 zeigt eine schematische Darstellung eines herkömmlichen Drehgestells.

Die Primärfederung kann mit Blattfeder, Schraubenfeder oder Gummifeder konstruiert werden. Die Sekundärfederung besteht aus Schraubenfedern oder Luftfedern.

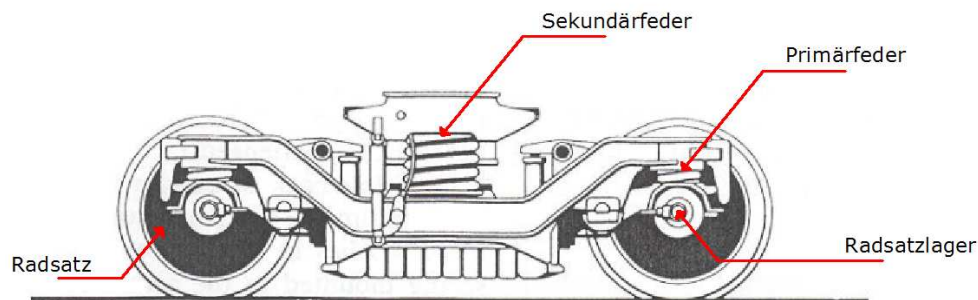


Abbildung 3-3: Schematische Darstellung eines Drehgestells [49]

Ein weiteres Ziel der Federungen ist den Komfort der Fahrgäste zu erhöhen, welches durch die Federn, die Stabilisatoren und die Dämpfer erreicht wird.

3.3 Das Portalfahrwerk der ULF Straßenbahn

3.3.1 Allgemeines

Der Wiener ULF und die kroatische TMK 2200 Straßenbahn besitzen weltweit die niedrigste Einstieghöhe mit 180 mm über der GFT und der durchgehende Wagenbodenhöhe mit 205 mm über der GFT. Fahrzeuge mit einer Wagenfußbodenhöhe von weniger als 390 mm können als Niederflurfahrzeuge betrachtet werden.

Wegen dieser Wagenfußbodenhöhe kann die herkömmliche Technik des Fahrwerks und Drehgestells nicht gebaut werden, denn normalerweise werden die Räder durch Querachsen verbunden.

Bei der ULF Straßenbahn wird eine angetriebene Einzelrad-Einzelfahrwerk Technik benutzt. Im Vergleich zu den anderen Fahrwerkstypen besteht die Besonderheit der ULF Straßenbahn darin im gelenkten Portalfahrwerk.

3.3.2 Das Portalfahrwerk

In diesem Fall werden Wagenkästen zwischen den Portalen eingehängt. In einem portalartigen Fahrwerksrahmen befinden sich Motoren und Federung. Bei den anderen Fahrwerken stehen diese

Elemente zwischen dem Fahrwerk und dem Wagenfußboden. Aufgrund der fehlenden Radsatzwellen kann kein Sinuslauf stattfinden. Daher wird mittels elektronischer Steuerung der Sinuslauf simuliert.

Jedes Rad wird über ein Getriebe von seinem eigenen Motor angetrieben. Die Motoren befinden sich an der Außenseite der entsprechenden Räder.

Die Abbildung 3-4 zeigt einen Querschnitt des Portalfahrwerks, wobei besonderes Augenmerk auf die Anordnung der Fahrwerkselemente zu legen ist.

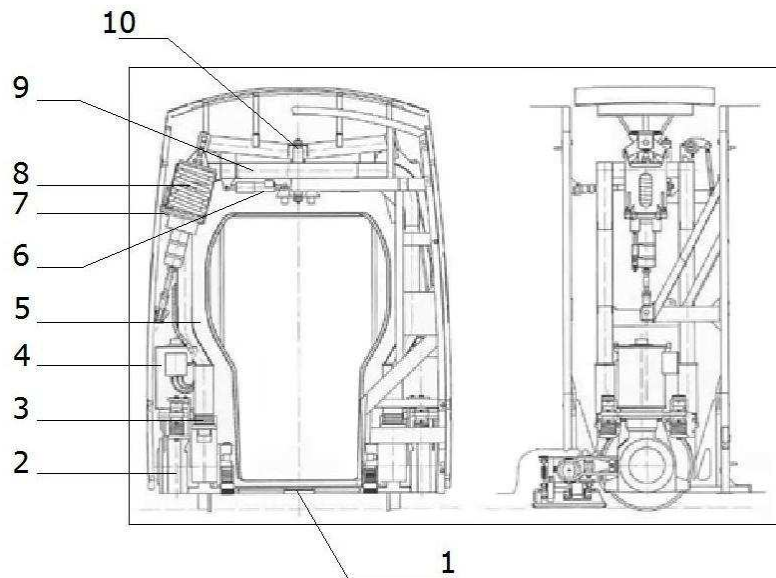


Abbildung 3-4: Das Portalfahrwerk der ULF Straßenbahn [45]

Nummer	Bauteil	Nummer	Bauteil
1	Fußbodengelenk	6	Querdämpfer
2	Rad-Getriebeeinheit	7	Hydraulik-Niveau-Regulierung
3	Primärfeder	8	Sekundärfeder
4	Drehstrom-Asynchronmotor	9	Portalrahmen
5	Innenverkleidung	10	Vertikaldämpfer

Tabelle 3.3.2. Technische Bauteile des Portalfahrwerks [50]

Wenn die Abbildung 3-4 mit der Abbildung 3-3 verglichen wird, ist der große Unterschied zwischen den beiden Techniken gut erkennbar.

Ein Nachteil der Portalfahrwerke ist der hohe Preis, da jedes Rad mit einem Motor ausgerüstet sein muss, wobei bei herkömmlichen Drehgestellen nur pro Radsatz ein Motor benötigt wird (siehe Kapitel 3.3.5).

3.3.3 Die Räder

[50]

Neben den gelenkten Portalfahrwerken besitzen ULF-Straßenbahnen eine weitere Besonderheit - Losräder.

Das Portalfahrwerk des ULFs erlaubt gegenüber anderen Niederflurfahrzeugen einen wesentlich größeren Raddurchmesser. Der Raddurchmesser beläuft sich auf 680mm [51] wobei in den meisten Fällen 590mm als größter Wert für die Niederflurtechnik benutzt wird.

3.3.4 Portalfahrwerkfederung

[50]

Die Wagenkästen des ULFs sind zweifach gefedert. Die primäre Federung wird durch eine Gummi-Metall-Schichtfeder gebildet. Für jedes Rad gibt es eine primäre Federungs-ausrüstung. (siehe Abbildung 3-5)

Die sekundäre Federung befindet sich im Portal, genauer gesagt in seiner oberen Rahmenecke. Diese einseitige Federung besteht aus in Reihe geschalteten in Federtöpfen gehaltenen Schraubenfedern und an diesen angeflanschten, mit den Kastenkonsolen gelenkig verbundenen Hydraulikzylindern. Diese sekundäre Federung ist ein abgewinkeltes Federpendel.

Die Abbildung 3-5 zeigt die verschiedenen Bauteile eines Rades. Es ist anzumerken, dass der Antriebsmotor an der Außenseite dieses Rades befestigt wird. Die primäre Feder steht über dem Rad. Die Abbildung 3-4 zeigt die sekundäre Feder im Portalfahrwerk.

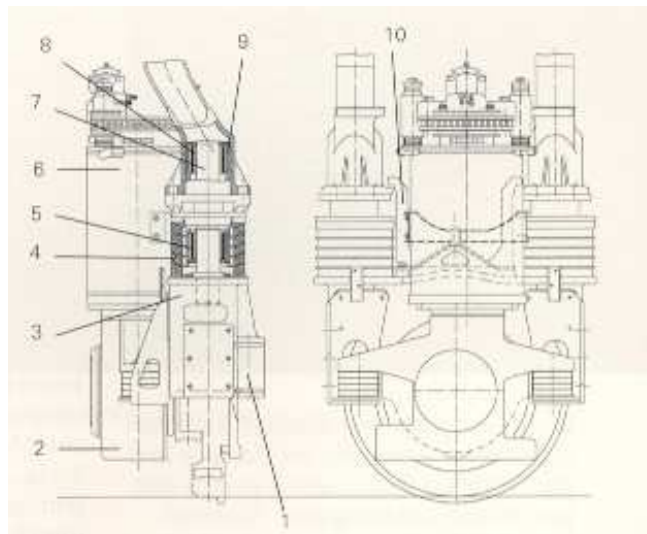


Abbildung 3-5: Die ULF Primärfederung [50]

Nummer	Bauteil
1	Querspangeführungszapfen
2	Getriebe
3	Radkasten
4	Primärfeder (Gummi-Metall-Schichtfeder)
5	Führungsbuchse mit Gummilagerung

Nummer	Bauteil
6	Antriebsmotor
7	Obere Führungsbuchse
8	Führungssäule
9	Portalsäulenlagerbuchse
10	Abhebesicherung

Tabelle 3.3.4. Technische Bauteile der Primärfederung [50]

3.3.5 Fahrwerkssteuerung der ULF Straßenbahn

[50]

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der Fahrwerkssteuerung des ULFs, insbesondere das Verhalten des Portals.

Mit der Portalfahrwerkstechnik stellt sich die Frage der Möglichkeit der Längsmithnahme zwischen dem Portalfahrwerk und dem Wagenkasten. Letzterer wird mit dem Portalfahrwerk durch ein Gelenklager (siehe Abbildung 3-6) verbunden. Dadurch ist die Längsmithnahme zwischen diesen beiden Bauteilen möglich.

Die Abbildung 3-6 stellt das Gelenklager dar. Dank ihm werden die verschiedenen Module des Fahrzeuges verbunden und gelenkt.

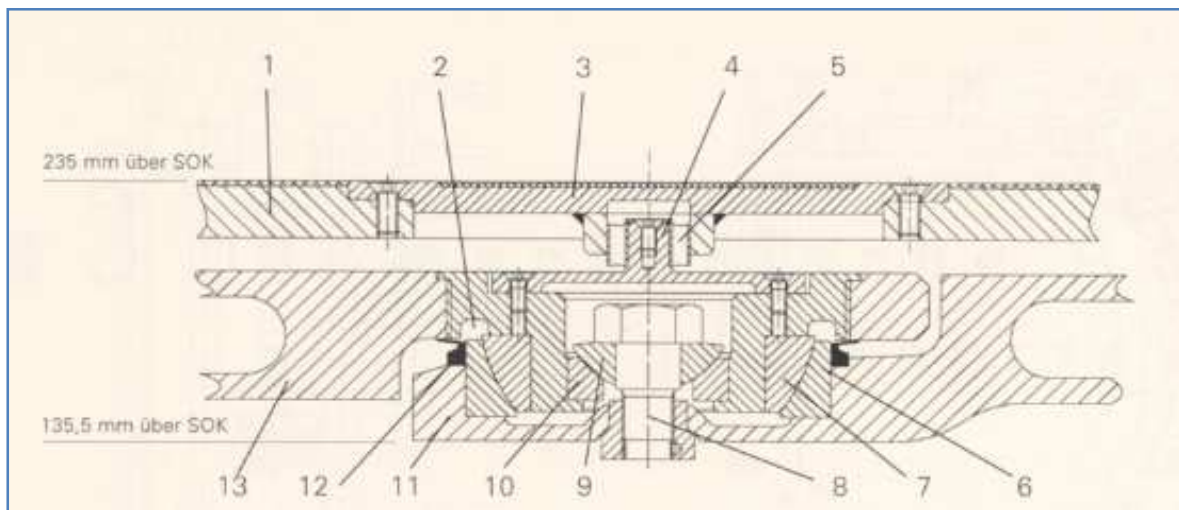


Abbildung 3-6: Gelenklager [50]

Nummer	Bauteil	Nummer	Bauteil
1	Bodenplatte	8	Verbindungsschraube
2	Bewegungsfreiraum	8	Obere Gleitschale eines Axialgelenklagers
3	Drehkranzplatte	10	Untere Gleitschale eines Axialgelenklagers
4	Lagerbolzen (Zapfendeckel)	11	Unterwanne
5	Gummilager	12	V-Ring (Dichtung)
6	Obere Gleitschale eines Schräggelenklagers	13	Oberwanne
7	Untere Gleitschale eines Schräggelenklagers		

Tabelle 3.3.5-1. Technische Bauteile der Fahrwerksteuerung – Abbildung 3-6 [50]

Dieses System erlaubt auch die räumliche Drehbewegung in allen drei Freiheitsgraden. Die Längsmithnahme findet im oberen Portalbereich mittels eines drehbar gelagerten Lenkers statt. Dieser Lenker wird im aufgesattelten Kasten um die Querachse und im Portal um die vertikale Achse gelagert.

Auf diese Weise kann das Portal gegenüber dem Kasten ebenfalls räumliche Drehbewegungen ausführen.

Was die Längsmithnahme im unteren Portalbereich betrifft, wird diese über zwei seitliche, an den Symmetralenrahmen (siehe Abbildungen 3-6 und 3-7) angeschlossene und um die Querachse drehbar gelagerte Lenker hergestellt

Die Abbildung 3-7 zeigt die Bauteile des Fahrwerks der ULF Straßenbahn, die für seine Steuerung benutzt werden.

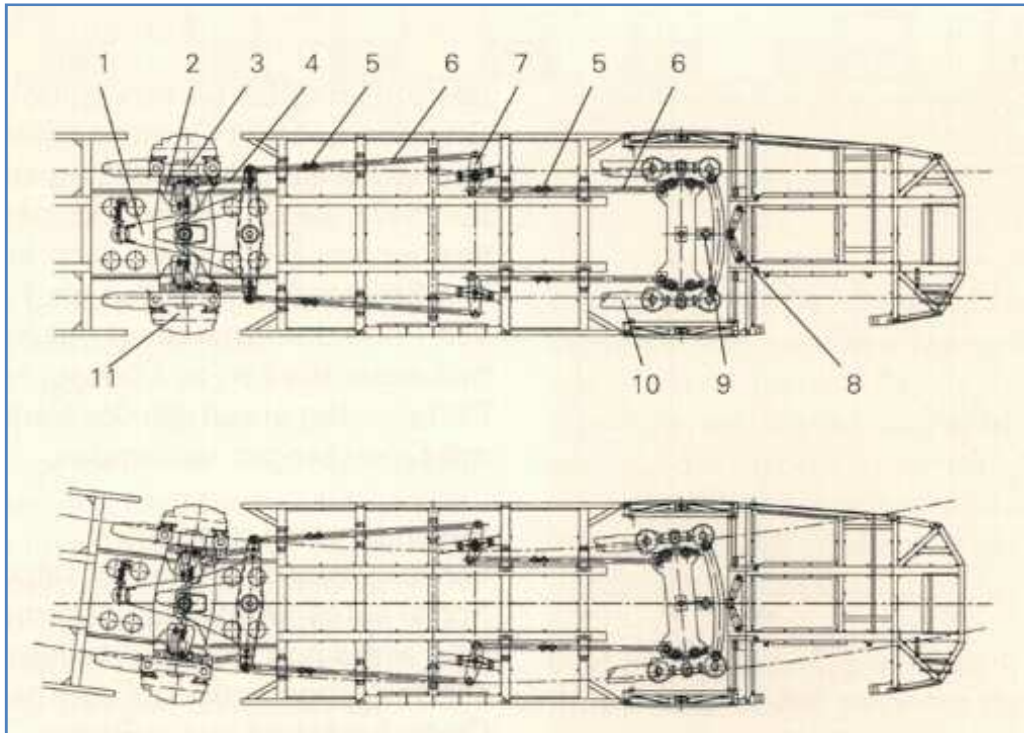


Abbildung 3-7: Fahrwerksteuerung der ULF Straßenbahn [50]

Nummer	Bauteil
1	Symmetralensteuerung /- rahmen
2	Querspange
3	Radkasten
4	Steuerstange, kurz
5	Spannschloßmutter
6	Steuerstange, lang

Nummer	Bauteil
7	Umlenkhebel
8	Querdämpfer
9	Dämpferhebel
10	Magnetschienenbremse
11	Motorgetriebeeinheit

Tabelle 3.3.5-2. Technische Bauteile der Fahrwerksteuerung – Abbildung 3-7 [50]

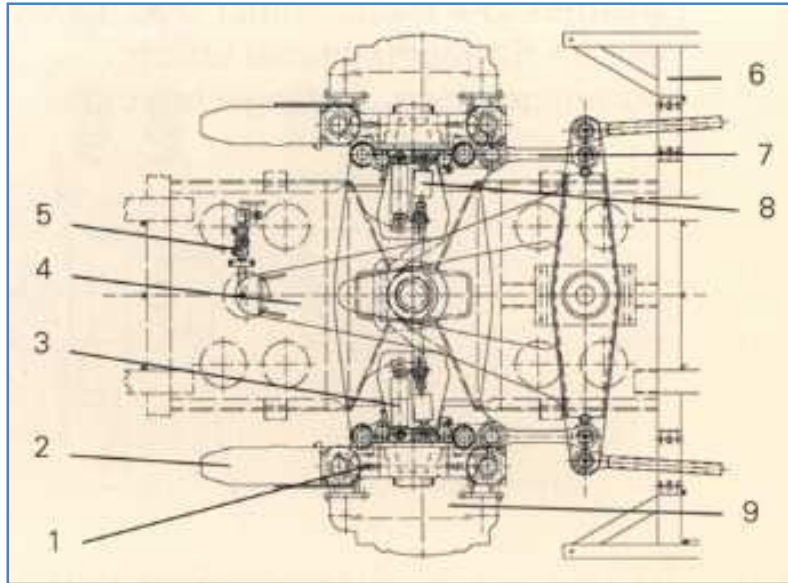


Abbildung 3-8: Gelenkportalsteuerung der ULF Straßenbahn [50]

Nummer	Bauteil
1	Radkasten
2	Magnetschienenbremse
3	Querdämpfer
4	Symmetralensteuerung
5	Anlenkstange

Nummer	Bauteil
6	Bodengerippe
7	Steuerstange, kurz
8	Queranschlag (gummigefedert)
9	Motor-Getriebeeinheit

Tabelle 3.3.5-3. Technische Bauteile der Gelenkportalsteuerung [50]

4 Tatsächliche Radstellung für der ULF

4.1 Allgemeines

Vorerst wird der Verschleiß der Schienen erläutert. Das Verhalten der Schiene bei der Fahrt der Fahrzeuge ist interessant, weil das größte Problem der ULF Straßenbahn ihr Einfluss auf die Schienen ist. Dies gilt insbesondere für die Bogenfahrt.

Dann wird die tatsächliche Radstellung des ULFs untersucht. Dieses Kapitel stützt sich auf eine Studie und Messungen, die von Dipl.-Ing. Dr. techn. Josef Zaussinger im Auftrag der Wiener Linien verfasst wurden.

4.2 Der Verschleiß der Schienen

Neuzustand und Verschleißzustand

Die folgende Abbildung zeigt den Verschleißzustand einer Rillenschiene und einer Vignolschiene. Sie präsentiert einen Vergleich zwischen dem Neuzustand und dem Verschleißzustand.

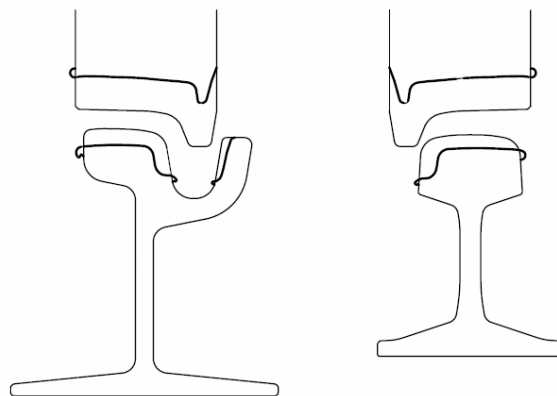


Abbildung 4-1: Neuzustand und Verschleißzustand der Schiene und der Räder [35]

Die Abbildung 4-1 zeigt die Differenz zwischen einem neuen Profil eines Rades und ihrem verschlissenen Profil. Im zweiten Fall ist der Spurkranz weniger hoch und weniger breit.

Der Berührungspunkt ist jener Punkt, wo sich das Rad und die Schiene berühren. Für jede Schiene gibt es zwei Berührungspunkte. Beide sind auf der Fläche des Fahrkopfs gelagert. Einer liegt auf der gemeinsamen Fahrflächentangente (GFT) und der andere auf einer Seite der Spurrille.

4.3 Die Studie – Übergangskurven für Straßenbahnen

4.3.1 Allgemeines

Diese Studie analysiert das Verschleißverhalten bei Übergangskurven für Straßenbahnen. Der Einfluss von mehreren Faktoren auf das Auftreten von Höhen- und Seitenverschleiß der Schiene (Außen- und Innenschiene) wird untersucht. Anschließend wird der Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Verschleiß und der Geometrie des Übergangsbogens untersucht.

4.3.2 Örtlichkeiten der Messungen

Diese Studie wurde im Februar 2009 in Wien verfasst [52]. Fünf Übergangskurven für Straßenbahnen wurden mit Sensoren ausgestattet:

- ✓ Wagramer Straße – Erzherzog Karl-Straße (2 parabolische Übergangskurven)
- ✓ Erzherzog Karl-Straße – Konstanziagasse (2 parabolische Übergangskurven)
- ✓ Konstanziagasse – Langobardenstraße (Gleis 2: Quasi-Klothoide und Gleis 1: parabolische Übergangskurve)
- ✓ Aumannplatz (2 Korbbogenübergangskurven)
- ✓ Troststraße – Neilreichgasse (2 parabolische Übergangskurven)

4.3.3 Die Kurven

Die Beobachtung und die Messung wurden im Zeitraum von eineinhalb Jahren gemacht. Zwei „neue“ Übergangskurven (im Bestand des Bogens Konstanziagasse – Langobardenstraße wurden zwei Quasi-Klothoide in Gleis 2 eingebaut) sowie achtzehn weitere „alte“ Übergangskurven (parabolische Übergangskurven und Korbbogenübergangskurven) werden hierbei studiert.

Ein Unterschied zwischen den Korbbogenübergangskurven und den parabolischen Übergangskurven liegt darin, dass die Achse dieser Korbbogenübergangskurven von 3,00m auf 3,15m aufgeweitet wird.

Der Vorteil der Quasi-Klothoide ist, dass eine Verringerung der Anlaufwinkel möglich ist. Auf diese Weise ist die geringste Entwicklungslänge bei allen ULF-Portalen dank dem kleinsten Anlaufwinkel erreichbar.

	Entwicklungslänge bei den Gelenkportalen	Entwicklungslänge bei den Endportalen
Quasi-Klothoide	$R_A = 25,5 \text{ m}$	$R_A = 16 \text{ m}$
Parabolische Übergangskurven	$R_A = 39 \text{ m}$	$R_A = 18,5 \text{ m}$

Tabelle 4.3.3. Vergleich zwischen Quasi-Klothoide und parabolischen Übergangskurven

4.3.4 Ergebnisse

Die Korrelation zwischen dem Auftreten des Verschleißes und der folgende Faktoren ist im Rahmen dieser Diplomarbeit einer der wichtigsten Punkte.

Die untersuchten Faktoren sind:

- die Entfernung der Schmieranlage vom Beginn des Übergangsbogens
- die Geschwindigkeit der Fahrzeuge
- die Überhöhung
- die Krümmung
- die Neigung
- die Last der Fahrzeuge
- die lateral wirkenden Kräfte

Bei allen Faktoren wurden der Höhenverschleiß und der Seitenverschleiß beobachtet. Die Tabelle 4.3.4 zeigt die Korrelation zwischen den Faktoren und dem auftretenden Verschleiß.

	Typen von Verschleiß		
	Höhenverschleiß	Seitenverschleiß	undeutlich
Entfernung zur Schmieranlage	-	-	0,13-0,15
Geschwindigkeit	0,20-0,23	0,06-0,10	-
Überhöhung	0,07-0,08	0,18-0,22	-
Krümmung	0,06-0,10	0,26-0,30	-
Last	0,56*	-	-
Lateralkräfte	0,13	0,05	-
Lateralkräfte mit Berücksichtigung des Anlaufwinkels	0,05	0,01	-
Lateralkräfte mit Berücksichtigung des Anlaufwinkels und mit dem Ausschließen von negativem Anlaufwinkel	0,13	0,05	-
Absolutbetrag der Anlaufwinkel-Last-Produkte	0,61-0,62	0,52-0,53	-

Tabelle 4.3.4. Erste Korrelation

**Anmerkung 16: Je härter die Schiene, desto weniger Verschleiß. Der Einsatz von härteren Schienen hat einen überproportionalen Effekt, weil die Korrelation bis auf 0,67 durch Variation des Verhältniswertes (2,58 statt 1,23) der Schienenhärten gesteigert werden kann.*

Anmerkung 17: Im Allgemeinen beeinflusst nur die aufsummierte Last den Verschleiß. Die stärkere Bewertung der schwereren Radpaare des ULFs wirkt nur unwesentlich auf diese Korrelation.

Es ist erkennbar, dass den Höhenverschleiß betreffend, die Last des Fahrzeuges einen wichtigen Parameter darstellt. Im Bereich des seitlichen Verschleißes besitzt die Krümmung die größte Korrelation. Der Einfluss der Überhöhung und der Krümmung auf den Höhenverschleiß bleibt eher gering. Die Geschwindigkeit hat fast keinen Einfluss auf den Seitenverschleiß.

Um das Auftreten von Verschleiß zu vermeiden, verwendet man härtere Schienen. Je härter die Schiene, desto weniger der Verschleiß.

4.3.5 Ergebnisse nach Außen- und Innenschiene getrennt

Die Tabelle 4.3.5 führt die Korrelation zwischen den untersuchten Faktoren und den Außenschienen einerseits und zwischen den Faktoren und den Innenschienen andererseits an.

	Typen von Verschleiß			
	Höhenverschleiß		Seitenverschleiß	
	Innenschiene	Außenschiene	Innenschiene	Außenschiene
Entfernung zur Schmieranlage	0,51	0,82	-	
Geschwindigkeit	0,25		0,12	
Überhöhung	0,05-0,10		0,50	0,39
Krümmung	0,10		0,40	0,20
Neigung der Gleisachse	-		0,40	[]
Vertikale Last	0,55	0,81	0,23	0,73
Lateralkräfte	-		0,47	0,58
Anlaufwinkel-Last-Produkte	-		0,43	0,71

Tabelle 4.3.5. Zweite Korrelation

Bei der Betrachtung dieser Werte macht sich der Höhenverschleiß bezogen auf die Außenschiene vor allem mit der vertikalen Last und mit der Entfernung zur Schmieranlage bemerkbar. Auch im Bereich des Höhenverschleißes sind diese Faktoren für die Innenschienen die entscheidenden.

Der Seitenverschleiß der Außenschiene wird hauptsächlich durch die vertikalen Lasten und dem Anlaufwinkel-Last-Produkt beeinflusst. Für die Innenschiene spielen die Überhöhung und die Lateralkräfte eine große Rolle.

4.3.6 Vergleich mit der Geometrie

4.3.6.1 Grundlagen - Messungen

Jede Schiene wurde sowohl mit einem Höhen- (Sensor 1) und einem Seitenverschleißsensor (Sensor 2) ausgerüstet. Nach Durchführung von drei Messungen (M1, M2, M3) wurden Grafiken anhand des letzten Messergebnisses erstellt. In diesem Kapitel wird das Verhalten des Verschleißes mit der Gleisgeometrie in Zusammenhang gebracht.

Für jeden Ort an dem die Studie gemacht wurde, werden die Werte in Lauf dieses Kapitels angeführt und kommentiert. Die Werte stehen in der Tabelle und sind nach Verschleißtyp und nach der Schiene (Außenschiene oder Innenschiene) geordnet.

Die Sensorenbezeichnung besteht aus einem Buchstaben und einer Zahlenfolge (z.B. w111, w112) und dienen somit vor allem der Lokalisierung der Messstelle. Es ist auch wichtig zu bemerken, dass das Einbaudatum der Sensoren variiert, das bedeutet, die Sensoren waren vor den Messungen bereits unterschiedlich lange an ihrem Standort.

Die erste Messung wurde am 18.08.2007 gemacht. Die Daten der zweiten und dritten Messungen sind 25.04.2008 beziehungsweise 27.10.2008 (die zweite Messung in der Troststraße erfolgt am 03.05.2008).

Die Beobachtung betrifft zuerst die Veränderung des Verschleißes zwischen zwei folgenden Sensoren. Dann wird eine Studie über die Veränderung des Verschleißes für jeden Sensor und für die drei Messungen gemacht. Die folgenden Teile stellen nur Ergebnisse dar. Die Analyse findet in Kapitel 5 statt.

4.3.6.2 Wagramer Straße – Erzherzog Karl-Straße

Gleis 1 (Fahrtrichtung Smz Ost)

Diese Übergangskurve ist eine parabolische Übergangskurve deren Länge 9,695m ist. Die Tabelle 4.3.6.2-1 führt die Ergebnisse der Studie für diese Übergangskurven an. In Abbildung 4-2 werden diese Ergebnisse grafisch dargestellt.

Geometrie		Höhenverschleiß in [mm]			Seitenverschleiß in [mm]		
	Außenschiene	M1	M2	M3	M1	M2	M3
Anfang der PÜK	w111	-3,08	-3,28	-3,06	-2,66	-2,84	-3,02
L=9,695m	w121	-2,55	-2,87	-2,75	-2,58	-4,31	-4,35
Ende der PÜK - Anfang der Kurve	w131	-2,7	-2,71	-2,78	-2,83	-3,67	-4,23
L=36,516m	w141	-2,8	-2,88	-2,67	-2,31	-2,55	-2,97
Ende der Kurve - Anfang der PÜK	w151	-2,42	-2,09	-2,5	-2,12	-2,43	-3,09
L=9,695m	w161	-3	-3	-3,36	-2,32	-3,05	-4,04
Ende der PÜK	w171	-2,8	-3,07	-3,05	-2,35	-2,74	-3,2
	w181	-0,8	-0,95	-1,01	-0,7	-0,52	-0,63
	w191	-0,9	-1,08	-1,05	-0,88	-0,95	-1,05

	Innenschiene	M1	M2	M3	M1	M2	M3
Anfang der PÜK	w112	-2,72	-3,06	-2,77	-2,47	-2,68	-3,04
L=9,695m	w122	-3,58	-3,27	-3,69	-3,21	-3,31	-4,07
Ende der PÜK - Anfang der Kurve	w132	-3,58	-3,69	-2,1	-3,12	-3,75	-2,86
L=36,516m	w142	-2,69	-3,19	-2,36	-2,07	-2,75	-2,71
Ende der Kurve - Anfang der PÜK	w152	-2,9	-3,33	-2,78	-2,42	-2,86	-2,72
L=9,695m	w162	-2,6	-3,17	-2,81	-2,1	-2,56	-2,39
Ende der PÜK	w172	-2,55	-2,69	-2,37	-2,31	-2,75	-2,56
	w182	-0,77	-0,9	-0,84	-0,89	-0,7	-0,56
	w192	-0,87	-1,26	-0,94	-0,68	-0,69	-0,63

Tabelle 4.3.6.2-1 Ergebnisse

Wagramer Straße - Erzherzog Karl-Straße Gleis 1

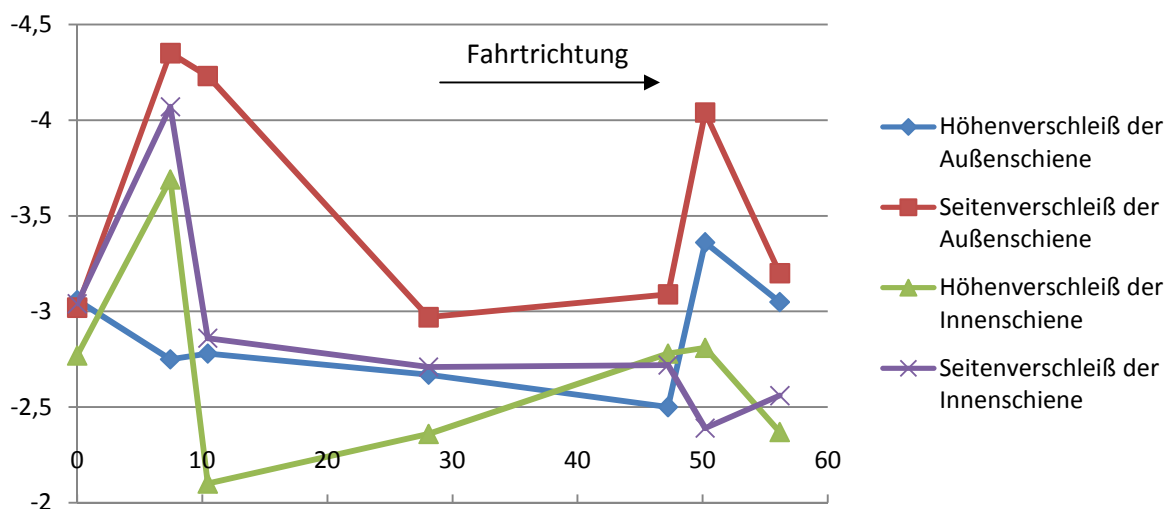


Abbildung 4-2: Grafik des Verschleißes für Gleis 1

In Tabelle 4.3.6.2-2 wird der Prozentsatz der Veränderung zwischen zwei folgenden Sensoren bei der Fahrt des Fahrzeuges angegeben.

Höhenverschleiß			Seitenverschleiß	
	Differenz	%	Differenz	%
Außenschiene				
w111-w121	0,31	-10,13	-1,33	44,04
w121-w131	-0,03	1,09	0,12	-2,76
w131-w141	0,11	-3,96	1,26	-29,79
w141-w151	0,17	-6,37	-0,12	4,04
w151-w161	-0,86	34,40	-0,95	30,74
w161-w171	0,31	-9,23	0,84	-20,79
Innenschiene				
w112-w122	-0,92	33,21	-1,03	33,88
w122-w132	1,59	-43,09	1,21	-29,73
w131-w142	-0,26	12,38	0,15	-5,24
w142-w152	-0,42	17,80	-0,01	0,37
w152-w162	-0,03	1,08	0,33	-12,13
w162-w172	0,44	-15,66	-0,17	7,11

Tabelle 4.3.6.2-2 Prozentsatz der Veränderung des Verschleißes zwischen zwei aufeinanderfolgenden Sensoren

Höhenverschleiß				Seitenverschleiß		
Außenschiene	M2-M1 [%]	M3-M2 [%]	M3-M1 [%]	M2-M1 [%]	M3-M2 [%]	M3-M1 [%]
w111	6,49	-6,71	-0,65	6,77	6,34	13,53
w121	12,55	-4,18	7,84	67,05	0,93	68,60
w131	0,37	2,58	2,96	29,68	15,26	49,47
w141	2,86	-7,29	-4,64	10,39	16,47	28,57
w151	-13,64	19,62	3,31	14,62	27,16	45,75
w161	0,00	12,00	12,00	31,47	32,46	74,14
w171	9,64	-0,65	8,93	16,60	16,79	36,17
w181	18,75	6,32	26,25	-25,71	21,15	-10,00
w191	20,00	-2,78	16,67	7,95	10,53	19,32
Innenschiene						
w112	12,50	-9,48	1,84	8,50	13,43	23,08
w122	-8,66	12,84	3,07	3,12	22,96	26,79
w132	3,07	-43,09	-41,34	20,19	-23,73	-8,33
w142	18,59	-26,02	-12,27	32,85	-1,45	30,92
w152	14,83	-16,52	-4,14	18,18	-4,90	12,40
w162	21,92	-11,36	8,08	21,90	-6,64	13,81
w172	5,49	-11,90	-7,06	19,05	-6,91	10,82
w182	16,88	-6,67	9,09	-21,35	-20,00	-37,08
w192	44,83	-25,40	8,05	1,47	-8,70	-7,35

Tabelle 4.3.6.2-3 Prozentsatz der Veränderung des Verschleißes zwischen zwei Messungen für jeden Sensor

Gleis 2 (Fahrtrichtung Zentrum Kagran)

Diese Übergangskurve ist eine parabolische Übergangskurve deren Länge 12,059m ist. Die Tabelle 4.3.6.2-4 führt die Ergebnisse der Studie für diese Übergangskurven an. In Abbildung 4-3 werden diese Ergebnisse grafisch dargestellt. Die Fahrtrichtung ist entgegengesetzt zu Gleis 1.

Geometrie		Höhenverschleiß in [mm]			Seitenverschleiß in [mm]		
	Außenschiene	M1	M2	M3	M1	M2	M3
Ende der PÜK	w211	-2,76	-2,95	-2,76	-2,26	-2,5	-2,73
L=12,059m	w221	-2,95	-3,31	-2,66	-2,59	-3,56	-3,75
Ende der Kurve - Anfang der PÜK	w231	-2,74		-2,52	-2,53		-3,32
L=27,55m	w241	-2,65	-2,59	-3,2	-2,46	-2,88	-3,2
Ende der PÜK - Anfang der Kurve	w251	-2,89	-2,71	-2,77	-2,09	-2,64	-3,07
L=12,059m	w261	-2,72	-2,99	-3	-2,31	-3,32	-3,35
Anfang der PÜK	w271			-3,02			-2,73
	w281	-0,66	-1,01	-0,81	-0,91	-1,46	-1,16
	w291	-0,85	-1,27	-1,24	-0,78	-1,34	-1,64

	Innenschiene	M1	M2	M3	M1	M2	M3
Ende der PÜK	w212	-2,3	-2,69	-2,71	-2,05	-2,73	-2,97
L=12,059m	w222	-2,64	-3,24	-2,7	-2,2	-2,78	-2,35
Ende der Kurve - Anfang der PÜK	w232	-3,03	-2,88	-3,06	-2,39	-2,26	-2,81
L=27,55m	w242	-2,61	-3,09	-2,69	-2,27	-2,78	-3,26
Ende der PÜK - Anfang der Kurve	w252	-3,62	-3,08	-3,14	-3,76	-2,91	-3,3
L=12,059m	w262	-2,73	-3,51	-2,24	-2,39	-3,05	-2,69
Anfang der PÜK	w272			-2,84			-2,97
	w282	-0,54	-1,05	-0,93	-0,62	-1,31	-1,22
	w292	-0,42	-0,83	-0,66	-0,61	-1,15	-1,15

Tabelle 4.3.6.2-4 Ergebnisse

Wagramer Straße - Erzherzog Karl-Straße Gleis 2

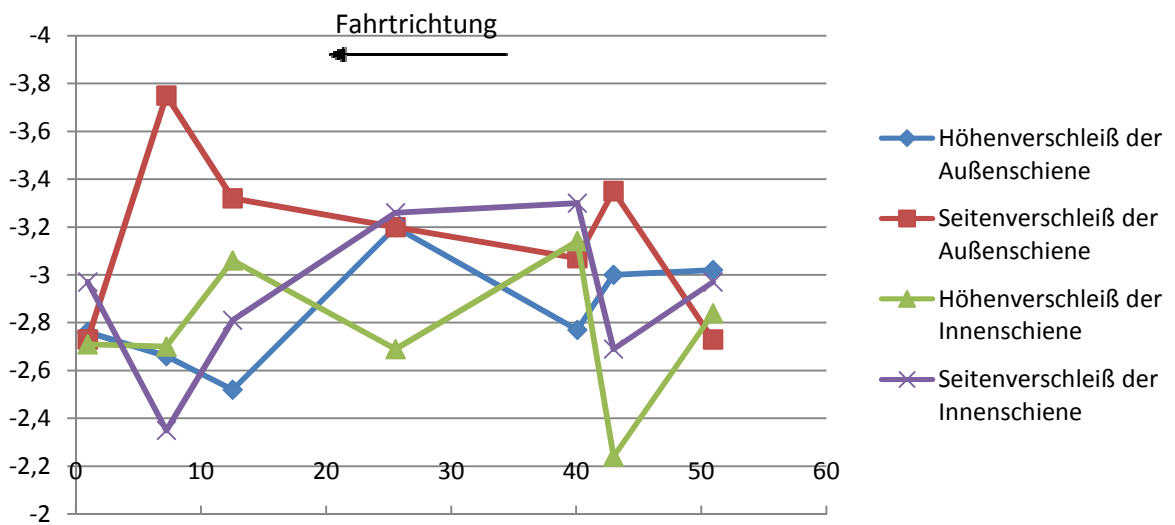


Abbildung 4-3: Grafik des Verschleißes für Gleis 2

In Tabelle 4.3.6.2-5 wird der Prozentsatz der Veränderung zwischen zwei folgenden Sensoren bei der Fahrt des Fahrzeuges angegeben.

Höhenverschleiß			Seitenverschleiß	
	Differenz	%	Differenz	%
Außenschiene				
w271-w261	-0,02	0,67	0,62	-18,51
w261-w251	-0,23	8,30	-0,28	9,12
w251-w241	0,43	-13,44	0,13	-4,06
w241-w231	-0,68	26,98	0,12	-3,61
w231-w221	0,14	-5,26	0,43	-11,47
w221-w211	0,10	-3,62	-1,02	37,36
Innenschiene				
w272-w262	-0,60	26,79	-0,28	10,41
w262-w252	0,90	-28,66	0,61	-18,48
w252-w242	-0,45	16,73	-0,04	1,23
w242-w232	0,37	-12,09	-0,45	16,01
w232-w222	-0,36	13,33	-0,46	19,57
w222-w212	0,01	-0,37	0,62	-20,88

Tabelle 4.3.6.2-5 Prozentsatz der Veränderung des Verschleißes zwischen zwei aufeinanderfolgenden Sensoren

Höhenverschleiß in [mm]				Seitenverschleiß in [mm]		
Außenschiene	M2-M1 [%]	M3-M2 [%]	M3-M1 [%]	M2-M1 [%]	M3-M2 [%]	M3-M1 [%]
w211	6,88	-6,44	0,00	10,62	9,20	20,80
w221	12,20	-19,64	-9,83	37,45	5,34	44,79
w231	-100,00		-8,03	-100,00		31,23
w241	-2,26	23,55	20,75	17,07	11,11	30,08
w251	-6,23	2,21	-4,15	26,32	16,29	46,89
w261	9,93	0,33	10,29	43,72	0,90	45,02
w271						
w281	53,03	-19,80	22,73	60,44	-20,55	27,47
w291	49,41	-2,36	45,88	71,79	22,39	110,26
Innenschiene						
w212	16,96	0,74	17,83	33,17	8,79	44,88
w222	22,73	-16,67	2,27	26,36	-15,47	6,82
w232	-4,95	6,25	0,99	-5,44	24,34	17,57
w242	18,39	-12,94	3,07	22,47	17,27	43,61
w252	-14,92	1,95	-13,26	-22,61	13,40	-12,23
w262	28,57	-36,18	-17,95	27,62	-11,80	12,55
w272						
w282	94,44	-11,43	72,22	111,29	-6,87	96,77
w292	97,62	-20,48	57,14	88,52	0,00	88,52

Tabelle 4.3.6.2-6 Prozentsatz der Veränderung des Verschleißes zwischen zwei Messungen für jeden Sensor

4.3.6.3 Erzherzog Karl-Straße – Konstanziagasse

Gleis 1 (Fahrtrichtung Smz Ost)

Diese Übergangskurve ist eine parabolische Übergangskurve deren Länge 9,695m ist. Die Tabelle 4.3.6.3-1 führt die Ergebnisse der Studie für diese Übergangskurven an. In Abbildung 4-4 werden diese Ergebnisse grafisch dargestellt.

Geometrie		Höhenverschleiß in [mm]			Seitenverschleiß in [mm]		
	Außenschiene	M1	M2	M3	M1	M2	M3
Anfang der PÜK	e112	-1,51	-1,7	-1,78	-0,28	-0,69	-0,88
L=9,695m	e122	-0,79	-1,44	-2,23	0	-0,7	-1,64
Ende der PÜK - Anfang der Kurve	e132	-0,75	-1,04	-1,38	0,06	-0,6	-1,16
L=29,561m	e142	-1,08	-1,23	-1,33	-0,02	-0,1	-0,37
Ende der Kurve - Anfang der PÜK	e152	-0,5	-1,22	-1,23	0,28	-0,53	-0,48
L=9,695m	e162	-0,99	-1,05	-1,85	-0,19	-0,93	-1,39
Ende der PÜK	e172	-1,07	-1,03	-1,88	0,45	1,01	-0,48

	Innenschiene	M1	M2	M3	M1	M2	M3
Anfang der PÜK	e111	-1,01	-1,18	-1,62	0,03	-0,45	-1,08
L=9,695m	e121	-0,84	-1,44	-1,78	-0,01	-0,32	-0,89
Ende der PÜK - Anfang der Kurve	e131	-0,48	-0,9	-1,07	0,37	-0,27	-0,39
L=29,561m	e141	-0,58	-0,92	-1,26	0,1	0,12	-0,03
Ende der Kurve - Anfang der PÜK	e151	-0,65	-0,91	-0,95	0,39	-0,33	-0,29
L=9,695m	e161	-0,55	-1,00	-1,36	0,38	-0,01	-0,54
Ende der PÜK	e171	-1,14	-1,14	-1,56	0,22	0,77	0,34

Tabelle 4.3.6.3-1 Ergebnisse

Erzherzog Karl-Straße - Konstanziagasse Gleis 1

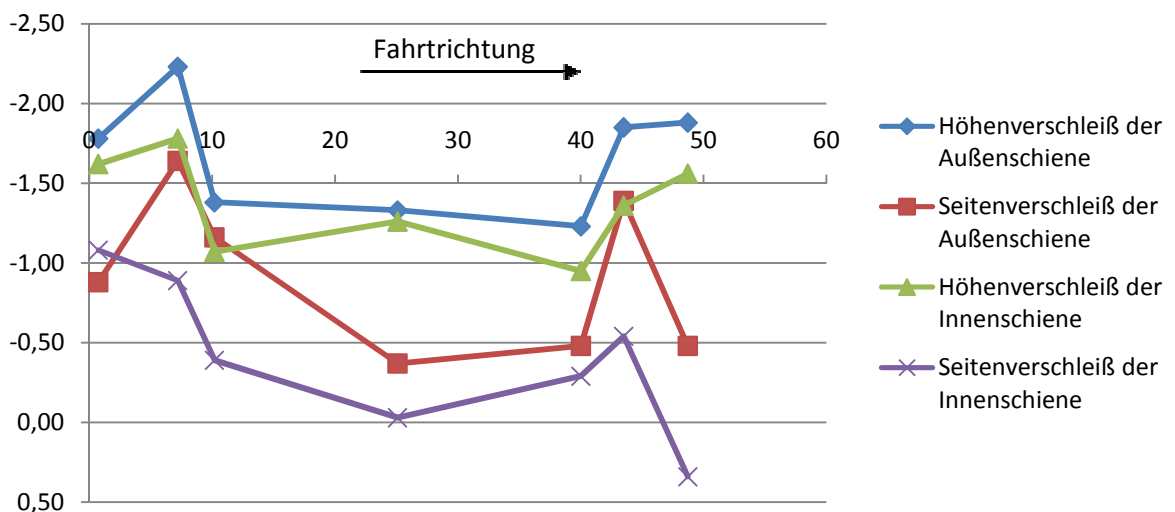


Abbildung 4-4: Grafik des Verschleißes für Gleis 1

In Tabelle 4.3.6.3-2 wird der Prozentsatz der Veränderung zwischen zwei folgenden Sensoren bei der Fahrt des Fahrzeuges angegeben.

Höhenverschleiß			Seitenverschleiß	
	Differenz	%	Differenz	%
Außenschiene				
e112-e122	-0,45	25,28	-0,76	86,36
e122-e132	0,85	-38,12	0,48	-29,27
e132-e142	0,05	-3,62	0,79	-68,10
e142-e152	0,10	-7,52	-0,11	29,73
e152-e162	-0,62	50,41	-0,91	189,58
e162-e172	-0,03	1,62	0,91	-65,47
Innenschiene				
e111-e121	-0,16	9,88	0,19	-17,59
e121-e131	0,71	-39,89	0,50	-56,18
e131-e141	-0,19	17,76	0,36	-92,31
e141-e151	0,31	-24,60	-0,26	866,67
e151-e161	-0,41	43,16	-0,25	86,21
e161-e171	-0,20	14,71	0,88	-162,96

Tabelle 4.3.6.3-2 Prozentsatz der Veränderung des Verschleißes zwischen zwei aufeinanderfolgenden Sensoren

Höhenverschleiß				Seitenverschleiß		
Außenschiene	M2-M1 [%]	M3-M2 [%]	M3-M1 [%]	M2-M1 [%]	M3-M2 [%]	M3-M1 [%]
e112	12,58	4,71	17,88	146,43	27,54	214,29
e122	82,28	54,86	182,28		134,29	
e132	38,67	32,69	84,00	-1100,00	93,33	-2033,33
e142	13,89	8,13	23,15	400,00	270,00	1750,00
e152	144,00	0,82	146,00	-289,29	-9,43	-271,43
e162	6,06	76,19	86,87	389,47	49,46	631,58
e172	-3,74	82,52	75,70	124,44	-147,52	-206,67
Innenschiene	M2-M1 [%]	M3-M2 [%]	M3-M1 [%]	M2-M1 [%]	M3-M2 [%]	M3-M1 [%]
e111	16,83	37,29	60,40	-1600,00	140,00	-3700,00
e121	71,43	23,61	111,90	3100,00	178,13	8800,00
e131	87,50	18,89	122,92	-172,97	44,44	-205,41
e141	58,62	36,96	117,24	20,00	-125,00	-130,00
e151	40,00	4,40	46,15	-184,62	-12,12	-174,36
e161	81,82	36,00	147,27	-102,63	5300,00	-242,11
e171	0,00	36,84	36,84	250,00	-55,84	54,55

Tabelle 4.3.6.3-3 Prozentsatz der Veränderung des Verschleißes zwischen zwei Messungen für jeden Sensor

Gleis 2 (Fahrtrichtung Zentrum Kagran)

Diese Übergangskurve ist eine parabolische Übergangskurve deren Länge 9,725m ist. Die Tabelle 4.3.6.3-4 führt die Ergebnisse der Studie für diese Übergangskurven an. In Abbildung 4-5 werden diese Ergebnisse grafisch dargestellt. Die Fahrtrichtung ist entgegengesetzt zu Gleis 1.

Geometrie		Höhenverschleiß in [mm]			Seitenverschleiß in [mm]		
	Außenschiene	M1	M2	M3	M1	M2	M3
Ende der PÜK	e212	-0,65	-1,48	-1,50	0,35	-0,3	-0,88
L=9,725m	e222	-0,86	-1,44	-1,90	0,13	0,01	-1,40
Ende der Kurve - Anfang der PÜK	e232	-0,49	-1,44	-1,07	0,60	-0,84	-0,84
L=34,452m	e242	-0,59	-0,77	-0,95	0,37	-0,2	-0,48
Ende der PÜK - Anfang der Kurve	e252	-0,75	-1,22	-1,41	0,26	-0,42	-0,91
L=9,725m	e262	-0,3	-1,36	-1,40	0,26	-0,71	-1,09
Anfang der PÜK	e272	-1,17	-1,38	-1,90	1,18	0,27	0,60

	Innenschiene	M1	M2	M3	M1	M2	M3
Ende der PÜK	e211	-0,49	-1	-1,82	0,67	0,04	-0,41
L=9,725m	e221	-1,07	-1,53	-2,08	0,37	-0,06	-0,60
Ende der Kurve - Anfang der PÜK	e231	-0,82	-1,13	-1,46	0,19	-0,19	-0,46
L=34,452m	e241	-0,69	-1,37	-1,86	0,35	-0,02	-0,81
Ende der PÜK - Anfang der Kurve	e251	-1,17	-2,07	-1,50	0,03	-0,84	-0,69
L=9,725m	e261	-0,97	-1,71	-2,03	0,34	-0,62	-0,62
Anfang der PÜK	e271	-1,83	-1,92	-1,96	0,1	-0,24	-0,64

Tabelle 4.3.6.3-4 Ergebnisse

**Erzherzog Karl-Straße - Konstanziagasse
Gleis 2**

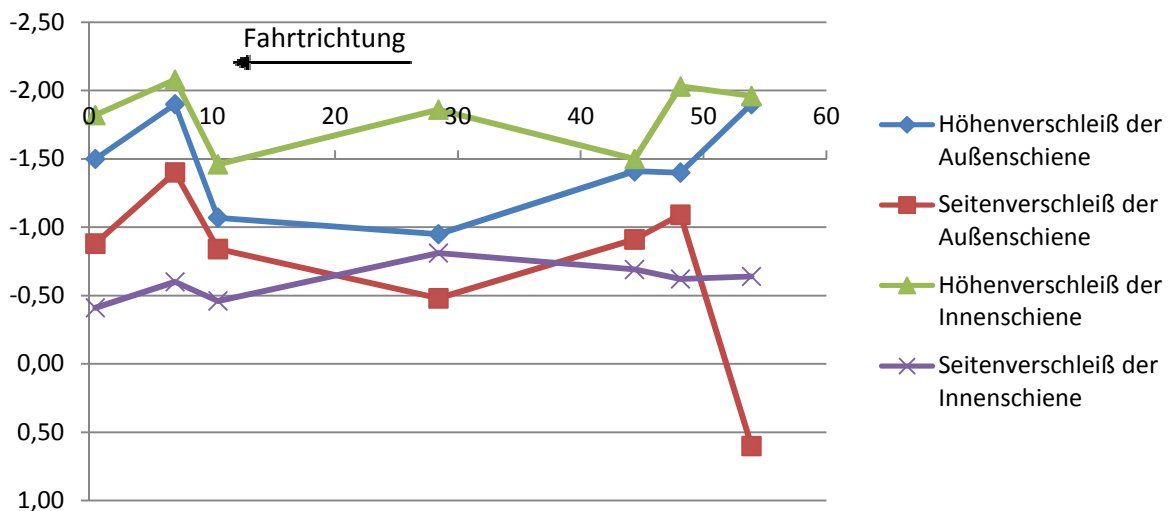


Abbildung 4-5: Grafik des Verschleißes für Gleis 2

In Tabelle 4.3.6.3-5 wird der Prozentsatz der Veränderung zwischen zwei folgenden Sensoren bei der Fahrt des Fahrzeuges angegeben.

Höhenverschleiß			Seitenverschleiß	
	Differenz	%	Differenz	%
Außenschiene				
e272-e262	-0,50	35,71	1,69	-155,05
e262-e252	0,01	-0,71	-0,18	19,78
e252-e242	-0,46	48,42	-0,43	89,58
e242-e232	0,12	-11,21	0,36	-42,86
e232-e222	0,83	-43,68	0,56	-40,00
e222-e212	-0,40	26,67	-0,52	59,09
Innenschiene				
e271-e261	0,07	-3,45	-0,02	3,23
e261-e251	-0,53	35,33	0,07	-10,14
e251-e241	0,36	-19,35	0,12	-14,81
e241-e231	-0,40	27,40	-0,35	76,09
e231-e221	0,62	-29,81	0,14	-23,33
e221-e211	-0,26	14,29	-0,19	46,34

Tabelle 4.3.6.3-5 Prozentsatz der Veränderung des Verschleißes zwischen zwei aufeinanderfolgenden Sensoren

Höhenverschleiß				Seitenverschleiß		
Außenschiene	M2-M1 [%]	M3-M2 [%]	M3-M1 [%]	M2-M1 [%]	M3-M2 [%]	M3-M1 [%]
e212	127,69	1,35	130,77	-185,71	193,33	-351,43
e222	67,44	31,94	120,93	-92,31	-14100,00	-1176,92
e232	193,88	-25,69	118,37	-240,00	0,00	-240,00
e242	30,51	23,38	61,02	-154,05	140,00	-229,73
e252	62,67	15,57	88,00	-261,54	116,67	-450,00
e262	353,33	2,94	366,67	-373,08	53,52	-519,23
e272	17,95	37,68	62,39	-77,12	122,22	-49,15
Innenschiene	M2-M1 [%]	M3-M2 [%]	M3-M1 [%]	M2-M1 [%]	M3-M2 [%]	M3-M1 [%]
e211	104,08	82,00	271,43	-94,03	-1125,00	-161,19
e221	42,99	35,95	94,39	-116,22	900,00	-262,16
e231	37,80	29,20	78,05	-200,00	142,11	-342,11
e241	98,55	35,77	169,57	-105,71	3950,00	-331,43
e251	76,92	-27,54	28,21	-2900,00	-17,86	-2400,00
e261	76,29	18,71	109,28	-282,35	0,00	-282,35
e271	4,92	2,08	7,10	-340,00	166,67	-740,00

Tabelle 4.3.6.3-6 Prozentsatz der Veränderung des Verschleißes zwischen zwei Messungen für jeden Sensor

4.3.6.4 Konstanziagasse – Langobardenstraße

Gleis 1 (Fahrtrichtung Smz Ost)

Diese Übergangskurve ist eine parabolische Übergangskurve deren Länge 9,673m ist. Die Tabelle 4.3.6.4-1 führt die Ergebnisse der Studie für diese Übergangskurven an. In Abbildung 4-6 werden diese Ergebnisse grafisch dargestellt.

Geometrie		Höhenverschleiß in [mm]			Seitenverschleiß in [mm]		
	Außenschiene	M1	M2	M3	M1	M2	M3
Anfang der PÜK	k111	-0,18	-1,27	-1,69	-0,42	-0,4	-0,55
L=9,673m	k121	-0,59	-1,73	-2,65	-0,75	-0,96	-1,4
Ende der PÜK - Anfang der Kurve	k131	-0,22	-1,48	-2,04	-0,49	-1,59	-2,27
L=18,976m	k141	-0,11	-1,35	-1,5	-0,41	-0,98	-1,23
Ende der Kurve - Anfang der PÜK	k151	-0,06	-1,48	-1,71	-0,26	-1,1	-1,79
L=9,673m	k161	-0,19	-1,86	-2,05	-0,48	-0,96	-1,77
Ende der PÜK	k171	-0,63	-1,6	-1,85	-0,78	-1,05	-0,75

	Innenschiene	M1	M2	M3	M1	M2	M3
Anfang der PÜK	k112	-0,38	-2,08	-1,71	-0,74	-0,72	-1,16
L=9,673m	k122	-0,28	-2,27	-1,9	-0,46	-1,06	-1,09
Ende der PÜK - Anfang der Kurve	k132	-0,47	-1,86	-1,76	-0,72	-1,13	-1,25
L=18,976m	k142	-0,47	-1,58	-1,67	-0,79	-0,85	-1,01
Ende der Kurve - Anfang der PÜK	k152	-0,32	-1,55	-1,45	-1,01	-1,11	-0,84
L=9,673m	k162	-0,33	-1,96	-1,9	-0,46	-1,04	-0,87
Ende der PÜK	k172	-0,42	-1,41	-1,85	-0,86	-0,64	-0,75

Tabelle 4.3.6.4-1 Ergebnisse

Konstanziagasse - Langobardenstraße Gleis 1

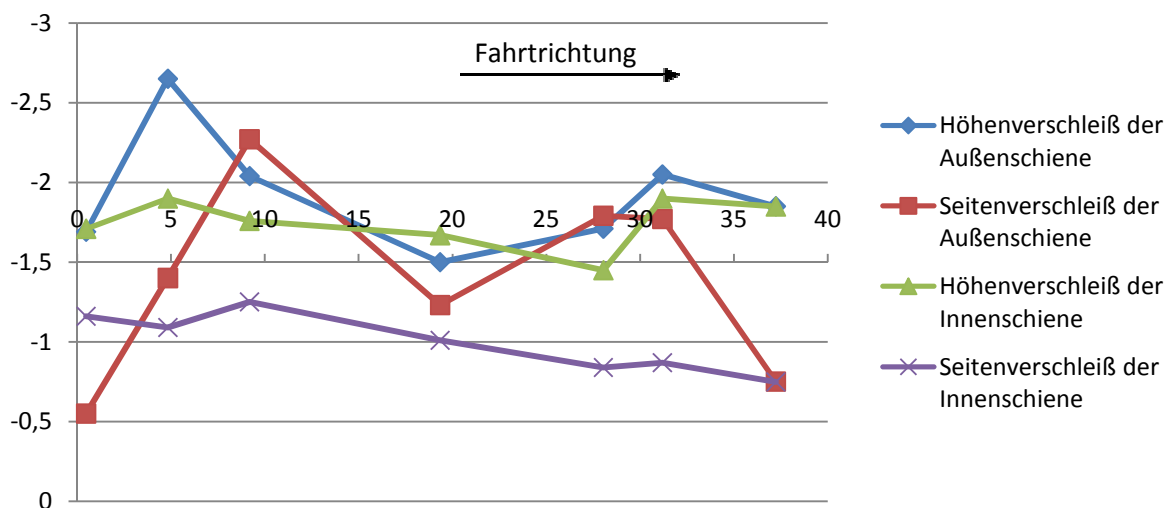


Abbildung 4-6: Grafik des Verschleißes für Gleis 1

In Tabelle 4.3.6.4-2 wird der Prozentsatz der Veränderung zwischen zwei folgenden Sensoren bei der Fahrt des Fahrzeuges gegeben.

Höhenverschleiß			Seitenverschleiß	
	Differenz	%	Differenz	%
Außenschiene				
k111-k121	-0,96	56,80	-0,85	154,55
k121-k131	0,61	-23,02	-0,87	62,14
k131-k141	0,54	-26,47	1,04	-45,81
k141-k151	-0,21	14,00	-0,56	45,53
k151-k161	-0,34	19,88	0,02	-1,12
k161-k171	0,20	-9,76	1,02	-57,63
Innenschiene				
k112-k122	-0,19	11,11	0,07	-6,03
k122-k132	0,14	-7,37	-0,16	14,68
k132-k142	0,09	-5,11	0,24	-19,20
k142-k152	0,22	-13,17	0,17	-16,83
k152-k162	-0,45	31,03	-0,03	3,57
k162-k172	0,05	-2,63	0,12	-13,79

Tabelle 4.3.6.4-2 Prozentsatz der Veränderung des Verschleißes zwischen zwei aufeinanderfolgenden Sensoren

Höhenverschleiß				Seitenverschleiß		
Außenschiene	M2-M1 [%]	M3-M2 [%]	M3-M1 [%]	M2-M1 [%]	M3-M2 [%]	M3-M1 [%]
k111	605,56	33,07	838,89	-4,76	37,50	30,95
k121	193,22	53,18	349,15	28,00	45,83	86,67
k131	572,73	37,84	827,27	224,49	42,77	363,27
k141	1127,27	11,11	1263,64	139,02	25,51	200,00
k151	2366,67	15,54	2750,00	323,08	62,73	588,46
k161	878,95	10,22	978,95	100,00	84,38	268,75
k171	153,97	15,63	193,65	34,62	-28,57	-3,85
Innenschiene	M2-M1 [%]	M3-M2 [%]	M3-M1 [%]	M2-M1 [%]	M3-M2 [%]	M3-M1 [%]
k112	447,37	-17,79	350,00	-2,70	61,11	56,76
k122	710,71	-16,30	578,57	130,43	2,83	136,96
k132	295,74	-5,38	274,47	56,94	10,62	73,61
k142	236,17	5,70	255,32	7,59	18,82	27,85
k152	384,38	-6,45	353,13	9,90	-24,32	-16,83
k162	493,94	-3,06	475,76	126,09	-16,35	89,13
k172	235,71	31,21	340,48	-25,58	17,19	-12,79

Tabelle 4.3.6.4-3 Prozentsatz der Veränderung des Verschleißes zwischen zwei Messungen für jeden Sensor

Gleis 2 (Fahrtrichtung Zentrum Kagran)

Diese Übergangskurve ist eine Quasi-Klothoide deren Länge 12,000m ist. Die Tabelle 4.3.6.4-4 führt die Ergebnisse der Studie für diese Übergangskurven an. In Abbildung 4-7 werden diese Ergebnisse grafisch dargestellt. Die Fahrtrichtung ist entgegengesetzt zu Gleis 1.

Geometrie		Höhenverschleiß			Seitenverschleiß		
	Außenschiene	M1	M2	M3	M1	M2	M3
Ende der QKL	k211	-0,66	-1,78	-1,76	-0,75	-1,38	-1,17
L=12,000m	k221	-0,43	-1,19	-1,69	-0,9	-1,02	-1,74
Ende der Kurve - Anfang der QKL	k231	-0,39	-2,22	-1,98	-0,68	-1,67	-2,4
L=12,989m	k241	-0,24	-2,02	-1,93	-0,94	-2,95	-3,48
Ende der QKL - Anfang der Kurve	k251	-0,11	-1,14	-1,93	-1,04	-2,34	-3,21
L=12,000m	k261	-0,47	-1,73	-1,8	-0,46	-1,13	-1,15
Anfang der QKL	k271	-0,49	-2,65	-2,83	-0,42	-0,5	-0,48

	Innenschiene	M1	M2	M3	M1	M2	M3
Ende der QKL	k212	-0,54	-0,92	-0,95	-0,7	-0,7	-0,29
L=12,000m	k222	-0,46	-1,05	-1,61	-0,59	-0,44	-0,79
Ende der Kurve - Anfang der QKL	k232	-0,68	-1,9	-1,71	-3,17	-3,28	-3,07
L=12,989m	k242	-1,19	-2,21	-2,21	-4,79	-4,62	-4,86
Ende der QKL - Anfang der Kurve	k252	-1,01	-2,02	-2,21	-4,05	-3,86	-4,44
L=12,000m	k262	-1,12	-2,14	-2,17	-1,08	-1,34	-1,69
Anfang der QKL	k272	-0,46	-1,67	-1,99	-0,65	-0,06	-0,8

Tabelle 4.3.6.4-4 Ergebnisse

Konstanziagasse - Langobardenstraße Gleis 2

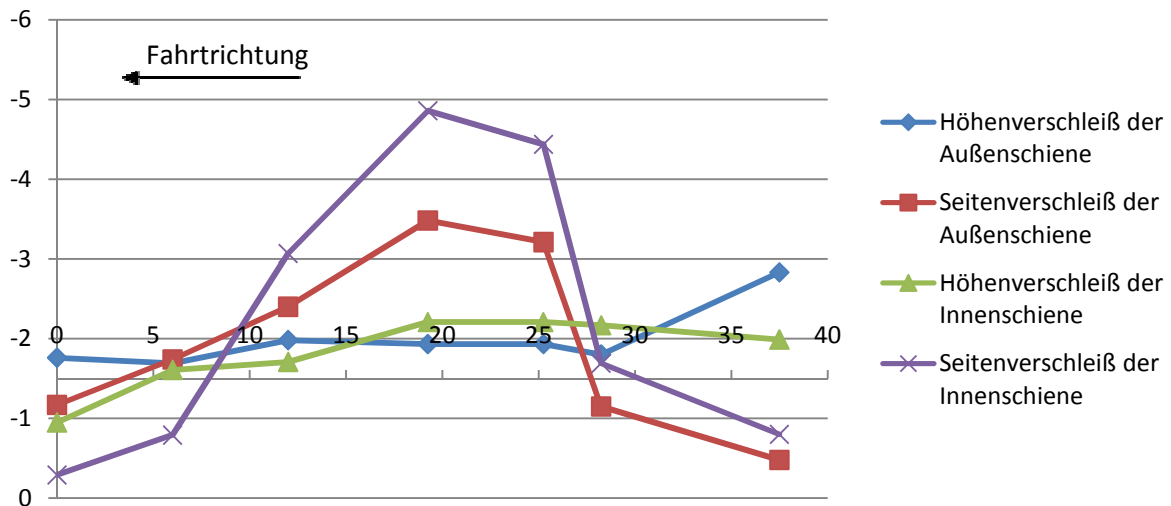


Abbildung 4-7: Grafik des Verschleißes für Gleis 2

In Tabelle 4.3.6.4-5 wird der Prozentsatz der Veränderung zwischen zwei folgenden Sensoren bei der Fahrt des Fahrzeuges angegeben.

Höhenverschleiß			Seitenverschleiß	
	Differenz	%	Differenz	%
Außenschiene				
k271-k261	-1,03	57,22	0,67	-58,26
k261-k251	0,13	-6,74	2,06	-64,17
k251-k241	0,00	0,00	0,27	-7,76
k241-k231	0,05	-2,53	-1,08	45,00
k231-k221	-0,29	17,16	-0,66	37,93
k221-k211	0,07	-3,98	-0,57	48,72
Innenschiene				
k272-k262	0,18	-8,29	0,89	-52,66
k262-k252	0,04	-1,81	2,75	-61,94
k252-k242	0,00	0,00	0,42	-8,64
k242-k232	-0,50	29,24	-1,79	58,31
k232-k222	-0,10	6,21	-2,28	288,61
k222-k212	-0,66	69,47	-0,50	172,41

Tabelle 4.3.6.4-5 Prozentsatz der Veränderung des Verschleißes zwischen zwei aufeinanderfolgenden Sensoren

Höhenverschleiß				Seitenverschleiß		
Außenschiene	M2-M1 [%]	M3-M2 [%]	M3-M1 [%]	M2-M1 [%]	M3-M2 [%]	M3-M1 [%]
k211	169,70	-1,12	166,67	84,00	-15,22	56,00
k221	176,74	42,02	293,02	13,33	70,59	93,33
k231	469,23	-10,81	407,69	145,59	43,71	252,94
k241	741,67	-4,46	704,17	213,83	17,97	270,21
k251	936,36	69,30	1654,55	125,00	37,18	208,65
k261	268,09	4,05	282,98	145,65	1,77	150,00
k271	440,82	6,79	477,55	19,05	-4,00	14,29
Innenschiene						
k212	70,37	3,26	75,93	0,00	-58,57	-58,57
k222	128,26	53,33	250,00	-25,42	79,55	33,90
k232	179,41	-10,00	151,47	3,47	-6,40	-3,15
k242	85,71	0,00	85,71	-3,55	5,19	1,46
k252	100,00	9,41	118,81	-4,69	15,03	9,63
k262	91,07	1,40	93,75	24,07	26,12	56,48
k272	263,04	19,16	332,61	-90,77	1233,33	23,08

Tabelle 4.3.6.4-6 Prozentsatz der Veränderung des Verschleißes zwischen zwei Messungen für jeden Sensor

4.3.6.5 Aumannplatz

Die Abbildungen 4-8 und 4-9 zeigen den Höhen- und Seitenverschleiß der Außen- und Innenschiene für Gleis 1 und 2. Diese Übergangskurve ist eine Korbbogenübergangskurve.

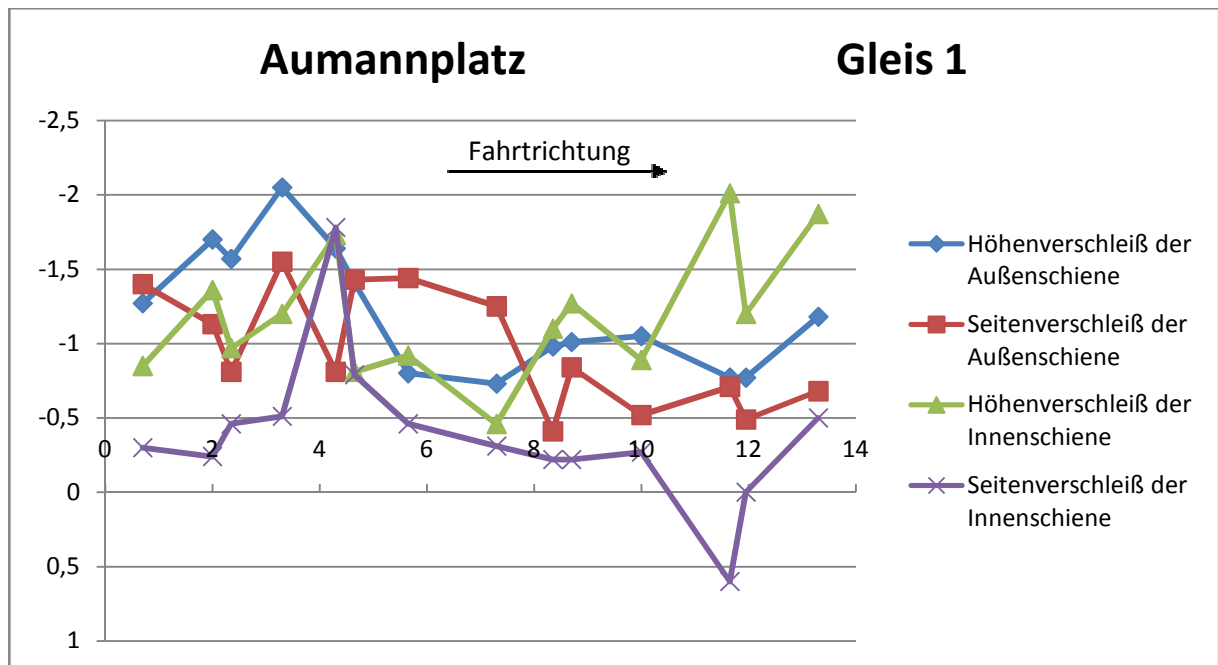


Abbildung 4-8: Grafik des Verschleißes für Gleis 1

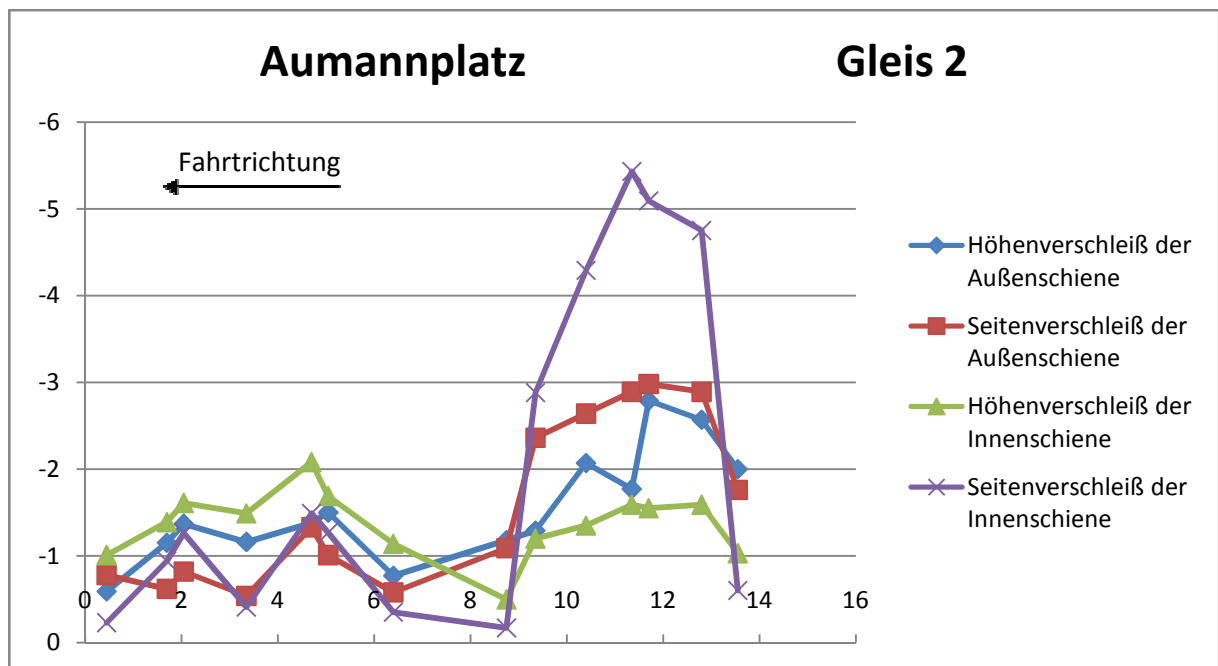


Abbildung 4-9: Grafik des Verschleißes für Gleis 2

4.3.6.6 Troststraße - Neilreichgasse

Gleis 1 (Fahrtrichtung Otto Probst-Platz)

Diese Übergangskurve ist eine parabolische Übergangskurve deren Länge 9,672m ist. Die Tabelle 4.3.6.6-1 führt die Ergebnisse der Studie für diese Übergangskurven an. In Abbildung 4-10 werden diese Ergebnisse grafisch dargestellt.

Geometrie		Höhenverschleiß			Seitenverschleiß		
	Außenschiene	M1	M2	M3	M1	M2	M3
Anfang der PÜK	t111	-1,17	-1,95	-2,08	-0,57	-0,54	-1
L=9,672m	t121	-0,48	-1,99	-2,81	-0,64	-1,35	-1,59
Ende der PÜK - Anfang der Kurve	t131	-1,31	-1,23	-2,34	-0,68	-1,48	-2,17
L=23,955m	t141	-0,83	-1,92	-2,18	-0,08	-0,68	-1,2
Ende der Kurve - Anfang der PÜK	t151	-0,88	-2,83	-3,05	-0,14	-1,5	-1,78
L=9,672m	t161	-1,12	-2,1	-2,62	-0,38	-1,26	-1,36
Ende der PÜK	t171	-0,9	-2,97	-3,22	-0,28	-0,87	-1,14

	Innenschiene	M1	M2	M3	M1	M2	M3
Anfang der PÜK	t112	-1,09	-2,6	-2,85	-0,27	-0,69	-1,16
L=9,672m	t122	-0,56	-1,93	-1,93	-0,06	-1,92	-1,98
Ende der PÜK - Anfang der Kurve	t132	-0,94	-1,91	-1,84	-0,64	-0,83	-0,47
L=23,955m	t142	-0,51	-1,94	-1,79	-0,05	-0,24	-0,2
Ende der Kurve - Anfang der PÜK	t152	-1,42	-2,04	-1,79	-0,67	-0,4	-0,26
L=9,672m	t162	-1,2	-1,8	-1,47	-0,12	-0,45	-0,22
Ende der PÜK	t172	-1,77	-3,95	-2,92	-0,36	-0,48	-0,16

Tabelle 4.3.6.6-1 Ergebnisse

Troststraße - Neilreichgasse

Gleis 1

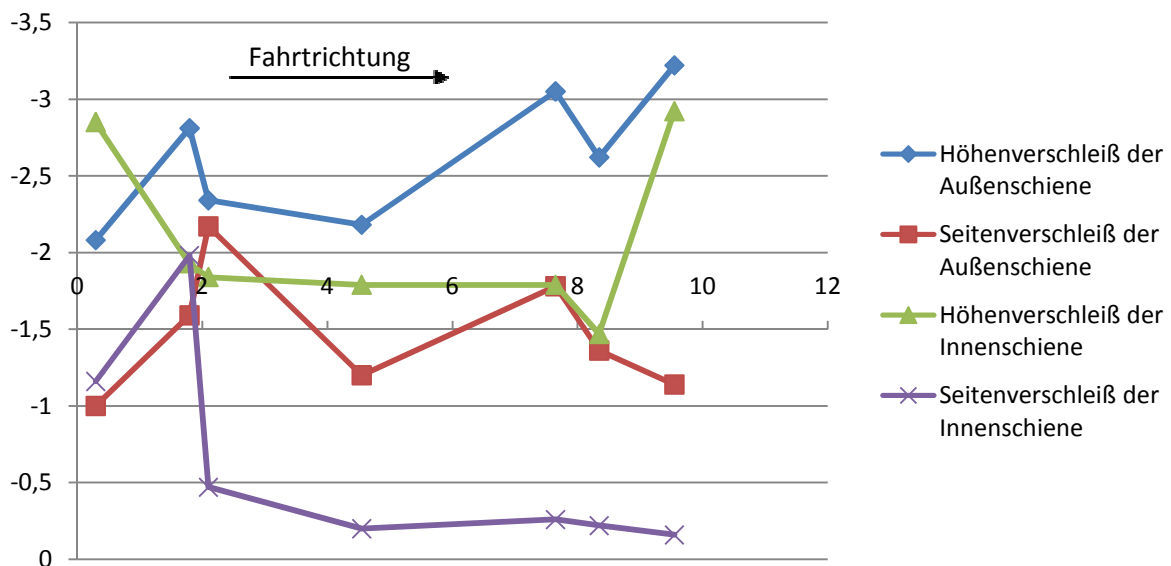


Abbildung 4-10: Grafik des Verschleißes für Gleis 1

In Tabelle 4.3.6.6-2 wird der Prozentsatz der Veränderung zwischen zwei folgenden Sensoren bei der Fahrt des Fahrzeuges angegeben.

Höhenverschleiß			Seitenverschleiß	
	Differenz	%	Differenz	%
Außenschiene				
t111-t121	-0,73	35,10	-0,59	59,00
t121-t131	0,47	-16,73	-0,58	36,48
t131-t141	0,16	-6,84	0,97	-44,70
t141-t151	-0,87	39,91	-0,58	48,33
t151-t161	0,43	-14,10	0,42	-23,60
t161-t171	-0,6	22,90	0,22	-16,18
Innenschiene				
t112-t122	0,92	-32,28	-0,82	70,69
t122-t132	0,09	-4,66	1,51	-76,26
t132-t142	0,05	-2,72	0,27	-57,45
t142-t152	0	0,00	-0,06	30,00
t152-t162	0,32	-17,88	0,04	-15,38
t162-t172	-1,45	98,64	0,06	-27,27

Tabelle 4.3.6.6-2 Prozentsatz der Veränderung des Verschleißes zwischen zwei aufeinanderfolgenden Sensoren

Höhenverschleiß				Seitenverschleiß		
Außenschiene	M2-M1 [%]	M3-M2 [%]	M3-M1 [%]	M2-M1 [%]	M3-M2 [%]	M3-M1 [%]
t111	66,67	6,67	77,78	-5,26	85,19	75,44
t121	314,58	41,21	485,42	110,94	17,78	148,44
t131	-6,11	90,24	78,63	117,65	46,62	219,12
t141	131,33	13,54	162,65	750,00	76,47	1400,00
t151	221,59	7,77	246,59	971,43	18,67	1171,43
t161	87,50	24,76	133,93	231,58	7,94	257,89
t171	230,00	8,42	257,78	210,71	31,03	307,14
Innenschiene	M2-M1 [%]	M3-M2 [%]	M3-M1 [%]	M2-M1 [%]	M3-M2 [%]	M3-M1 [%]
t112	138,53	9,62	161,47	155,56	68,12	329,63
t122	244,64	0,00	244,64	3100,00	3,13	3200,00
t132	103,19	-3,66	95,74	29,69	-43,37	-26,56
t142	280,39	-7,73	250,98	380,00	-16,67	300,00
t152	43,66	-12,25	26,06	-40,30	-35,00	-61,19
t162	50,00	-18,33	22,50	275,00	-51,11	83,33
t172	123,16	-26,08	64,97	33,33	-66,67	-55,56

Tabelle 4.3.6.6-3 Prozentsatz der Veränderung des Verschleißes zwischen zwei Messungen für jeden Sensor

Gleis 2 (Fahrtrichtung Reumannplatz)

Diese Übergangskurve ist eine parabolische Übergangskurve deren Länge 8,992m ist. Die Tabelle 4.3.6.6-4 führt die Ergebnisse der Studie für diese Übergangskurven an. In Abbildung 4-11 werden diese Ergebnisse grafisch dargestellt. Die Fahrtrichtung ist entgegengesetzt zu Gleis 1.

Geometrie		Höhenverschleiß			Seitenverschleiß		
	Außenschiene	M1	M2	M3	M1	M2	M3
Ende der PÜK	t211	-0,73	-2,45	-3,1	-0,09	-1,78	-2,27
L=8.992m	t221	-0,87	-3,15	-2,52	-0,32	-2,52	-4,57
Ende der Kurve - Anfang der PÜK	t231	-1	-2,38	-3,04	-0,02	-1,75	-2,73
L=25,163m	t241	-0,93	-2,37	-2,71	0,26	-1,1	-1,61
Ende der PÜK - Anfang der Kurve	t251	-1,48	-3,67	-4,77	-0,19	-2,42	-3,52
L=8.992m	t261	-1	-2,88	-4,19	0,06	-2,74	-3,49
Anfang der PÜK	t271	-1,56	-2,71	-2,93	-0,28	-1,11	-1,48

	Innenschiene	M1	M2	M3	M1	M2	M3
Ende der PÜK	t212	-0,85	-1,58	-1,57	0,13	-0,05	-0,12
L=8.992m	t222	-1,14	-2,46	-4,51	-4,32	-5,03	-3,61
Ende der Kurve - Anfang der PÜK	t232	-0,89	-2,3	-2,58	-3,92	-4,43	-4,49
L=25,163m	t242	-0,55	-1,86	-1,82	-3,59	-4,46	-3,62
Ende der PÜK - Anfang der Kurve	t252	-1,07	-3,06	-2,77	-4,27	-3,91	-3,64
L=8.992m	t262	-1,18	-3,51	-3,65	-1,22	-2,52	-3,55
Anfang der PÜK	t272	-0,73	-1,86	-1,87	-0,09	-0,74	-1,13

Tabelle 4.3.6.6-4 Ergebnisse

Troststraße - Neilreichgasse

Gleis 2

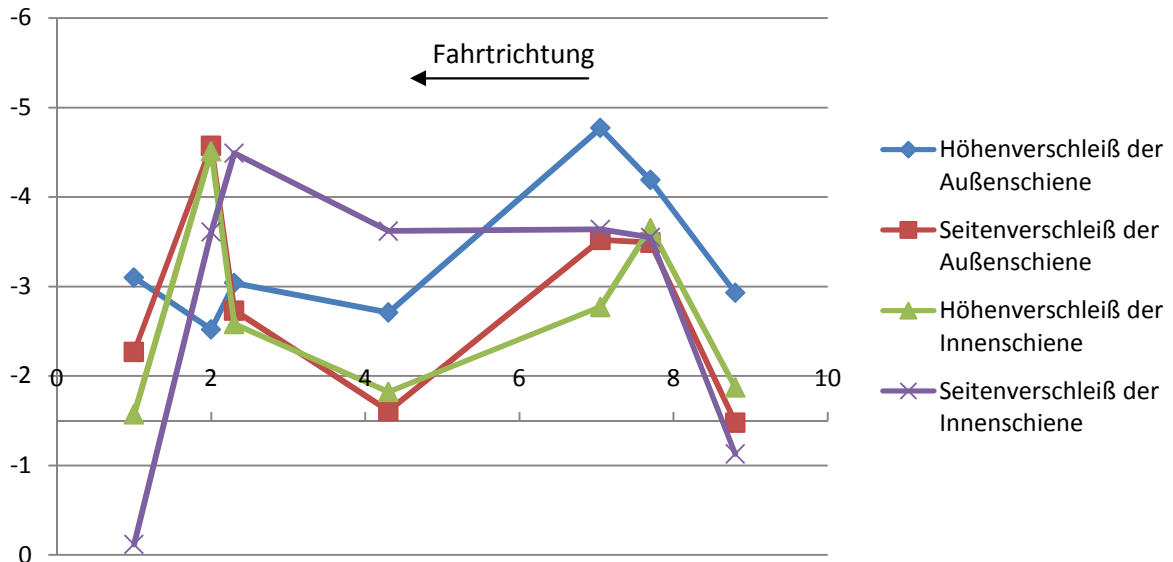


Abbildung 4-11: Grafik des Verschleißes für Gleis 2

In Tabelle 4.3.6.6-5 wird der Prozentsatz der Veränderung zwischen zwei folgenden Sensoren bei der Fahrt des Fahrzeuges angegeben.

Höhenverschleiß			Seitenverschleiß	
	Differenz	%	Differenz	%
Außenschiene				
t271-t261	1,26	-30,07	2,01	-57,59
t261-t251	0,58	-12,16	0,03	-0,85
t251-t241	-2,06	76,01	-1,91	118,63
t241-t231	0,33	-10,86	1,12	-41,03
t231-t221	-0,52	20,63	1,84	-40,26
t221-t211	0,58	-18,71	-2,30	101,32
Innenschiene				
t272-t262	1,78	-48,77	2,42	-68,17
t262-t252	-0,88	31,77	0,09	-2,47
t252-t242	-0,95	52,20	-0,02	0,55
t242-t232	0,76	-29,46	0,87	-19,38
t232-t222	1,93	-42,79	-0,88	24,38
t222-t212	-2,94	187,26	-3,49	2908,33

Tabelle 4.3.6.6-5 Prozentsatz der Veränderung des Verschleißes zwischen zwei aufeinanderfolgenden Sensoren

Höhenverschleiß				Seitenverschleiß		
Außenschiene	M2-M1 [%]	M3-M2 [%]	M3-M1 [%]	M2-M1 [%]	M3-M2 [%]	M3-M1 [%]
t211	235,62	26,53	324,66	1877,78	27,53	2422,22
t221	262,07	-20,00	189,66	687,50	81,35	1328,13
t231	138,00	27,73	204,00	8650,00	56,00	13550,00
t241	154,84	14,35	191,40	-523,08	46,36	-719,23
t251	147,97	29,97	222,30	1173,68	45,45	1752,63
t261	188,00	45,49	319,00	-4666,67	27,37	-5916,67
t271	73,72	8,12	87,82	296,43	33,33	428,57
Innenschiene	M2-M1 [%]	M3-M2 [%]	M3-M1 [%]	M2-M1 [%]	M3-M2 [%]	M3-M1 [%]
t212	85,88	-0,63	84,71	-138,46	140,00	-192,31
t222	115,79	83,33	295,61	16,44	-28,23	-16,44
t232	158,43	12,17	189,89	13,01	1,35	14,54
t242	238,18	-2,15	230,91	24,23	-18,83	0,84
t252	185,98	-9,48	158,88	-8,43	-6,91	-14,75
t262	197,46	3,99	209,32	106,56	40,87	190,98
t272	154,79	0,54	156,16	722,22	52,70	1155,56

Tabelle 4.3.6.6-6 Prozentsatz der Veränderung des Verschleißes zwischen zwei Messungen für jeden Sensor

4.3.6.7 Zusammenfassung der Differenz zwischen M1 und M3

Der Vergleich wird zwischen den parabolischen Übergangskurven und den Quasi-Klothoide gemacht.

Straße		Gleis		Höhenverschleiß			
				Außenschiene		Innenschiene	
				ÜK 1	ÜK 2	ÜK 1	ÜK 2
				Differenz zwischen M1 und M3 [mm]	Differenz zwischen M1 und M3 [mm]	Differenz zwischen M1 und M3 [mm]	Differenz zwischen M1 und M3 [mm]
Wagramer Straße - Erzherzog Karkl-Straße	1	0,2	0,36	0,11	0,21		
	2	0,28	-0,29	-0,49	0,06		
Erzherzog Karl-Straße - Konstanziagasse	1	1,44	0,86	0,94	0,81		
	2	1,1	1,04	1,06	1,01		
Konstanziagasse - Langobardenbstraße	1	2,06	1,86	1,62	1,57		
	2	1,33	1,26	1,05	1,15		
Troststraße - Neilreichgasse	1	2,33	1,5	1,37	0,27		
	2	3,19	1,65	2,47	3,37		

Tabelle 4.3.6.7-1 Zusammenfassung der Differenzen zwischen M1 und M3 für den Höhenverschleiß

Straße		Gleis		Seitenverschleiß			
				Außenschiene		Innenschiene	
				ÜK 1	ÜK 2	ÜK 1	ÜK 2
				Differenz zwischen M1 und M3 [mm]	Differenz zwischen M1 und M3 [mm]	Differenz zwischen M1 und M3 [mm]	Differenz zwischen M1 und M3 [mm]
Wagramer Straße - Erzherzog Karkl-Straße	1	1,77	1,72	0,86	0,29		
	2	1,04	1,16	-0,46	0,15		
Erzherzog Karl-Straße - Konstanziagasse	1	1,64	1,2	0,88	0,92		
	2	1,35	1,53	0,96	0,97		
Konstanziagasse - Langobardenbstraße	1	0,65	1,29	0,63	0,41		
	2	0,69	0,84	0,61	0,2		
Troststraße - Neilreichgasse	1	0,95	0,98	1,92	0,1		
	2	3,55	4,25	2,33	-0,71		

Tabelle 4.3.6.7-2 Zusammenfassung der Differenzen zwischen M1 und M3 für den Seitenverschleiß

5 Zusammenfassung /Conclusion / Resümee

Der Zweck dieses Kapitel ist eine Zusammenfassung der vorhergehenden Teile.

Die Stadt Wien führt eine Erneuerung ihrer Straßenbahnfahrzeuge um ihr Straßenbahnnetz vor allem im Bereich der Zugänglichkeit attraktiver zu machen durch. In konventionellen Straßenbahnen ist der Einstieg für Rollstuhlfahrer, Personen mit Kinderwägen und alte Leute aufgrund der hohen Stufen und des zu hohen Wagenfußbodens erschwert.

Eine Erneuerung der Fahrzeuge erfolgt durch die Ultra Low Floor Straßenbahnen. Diese Fahrzeuge besitzen einen sehr niedrigen Wagenfußboden (180mm statt 890mm) und die Zahl der Einstiegsstufen wird von drei auf eine reduziert. Dies hat zur Folge, dass für die ULF andere technische Bauteile als im konventionellen Straßenbahnbau eingesetzt werden. Das Fahrwerk wird beispielsweise als Portalfahrwerk konstruiert. Die Räder sind Losräder, die teilweise ihren eigenen Motorantrieb besitzen.

Diese Besonderheiten sind allem Anschein nach der Grund dafür, dass die Schienen mehr Verschleiß in den Übergangsbögen bei der Befahrung mit ULF Fahrzeugen aufweisen.

Abschließend kann man über das Verschleißverhalten folgende Aussagen machen:

Diese Aussagen gehen nicht auf die Tabelle mit den Prozentsätzen zurück. Sie werden dank der Analyse der Differenz zwischen den Messungen angestellt. Es ist schwierig die Prozentsätze zu vergleichen, weil die Anfangswerte des Verschleißes verschieden waren, daher besitzen die Messergebnisse ausgedrückt in Prozenten wenig Aussagekraft. Im Gegensatz dazu zeigt die Differenz zwischen 1. und 3. Messung das Verschleißverhalten der eingesetzten Trassierungselemente. Aufgrund der unterschiedlichen Beanspruchung der Schienen ist ein quantitativer Vergleich der Messpunkt nicht möglich, jedoch können qualitative Aussagen getroffen werden.

Wie aus der Studie für die Außenschiene hervorgeht, verursacht die erste parabolische Übergangskurve in den meisten Fällen mehr Höhenverschleiß als die zweite. Die Einstellung des Anlaufwinkels von der Geraden in den ersten parabolischen Übergangsbogen verursacht scheinbar mehr Höhenverschleiß. Wenn das Rad schon mit einem erzwungenen Anlaufwinkel durch den Kreisbogen in den zweiten parabolischen Übergangsbogen läuft, ergibt sich ein günstigeres Verschleißverhalten. Die Messergebnisse zeigen, dass diese Behauptung jedoch nicht immer für die Innenschiene zutrifft. Dies kann dadurch erklärt werden, dass das Fahrzeug beim Befahren eines Übergangsbogens oder eines Kreisbogens aufgrund der auftretenden Fliehkraft nach außen gedrückt wird.

In Wien sind die Gleisbögen meistens nicht überhöht, die Zentrifugalkraft ist nicht ausgeglichen und die Folge ist, dass die Kräfte auf die Außenschiene größer als jene auf die Innenschiene sind.

Weiters zeigen die Resultate der Messungen, dass der Verschleiß in Übergangsbögen größer ist als in Kreisbögen. Die veränderliche Geometrie der Übergangsbögen spielt hier wahrscheinlich eine große Rolle. Aufgrund des veränderlichen Radius in Übergangsbögen muss sich der Anlaufwinkel immer neu einstellen, jedoch bleibt der Anlaufwinkel in Kreisbögen konstant. Folglich wird behauptet, dass das Einstellen des Anlaufwinkels das Verschleißverhalten tatsächlich negativ beeinflusst.

Resultierend daraus soll das Hauptaugenmerk bei Untersuchungen bezüglich des Verschleißverhaltens von Schienen im Bereich von Übergangsbögen liegen.

Die untersuchten Faktoren (siehe Kapiteln 4.3.4 und 4.3.5) spielen auch eine wichtige Rolle bezüglich des Verschleißverhaltens.

Die Geschwindigkeit besitzt nur einen geringeren Einfluss auf das Auftreten des Seitenverschleißes. Der Korrelationswert zwischen der Geschwindigkeit und dem Seitenverschleiß beläuft sich nur auf 0,12. Jedoch ist der Höhenverschleiß ausgeprägter unter Berücksichtigung der Geschwindigkeit, der Korrelationswert ist hier 0,25.

Ein konträres Verhalten zeigt sich bei der Untersuchung der Einflussparameter Überhöhung und Krümmung. Diese wirken sich vorwiegend auf den Seitenverschleiß aus, allerdings hauptsächlich auf die Innenschiene.

Das Ziel der Schmieranlage ist den Verschleiß und die Reibung zwischen Rad und Schiene bei der Fahrt zu reduzieren.

Die Entfernung der Schmieranlage vom Übergangsbogenanfang besitzt einen bedeutenden Einfluss auf das Verschleißverhalten der Außen- und Innenschiene. Um die volle Wirkung des Schmiermittels optimal ausnützen zu können, muss die Entfernung der Schmieranlage in Abstimmung mit dem Radumfang bestimmt werden. Ein detaillierte Betrachtung zeigt, dass die verschiedenen Möglichkeiten der Schmierfilmaufbringungen (stationär, Spurkranzschmierung, Spezialfahrzeuge) eine ebenso wichtige Rolle bei Untersuchungen des Verschleißverhaltens haben wie die Entfernung der stationären Schmieranlagen vom Übergangsbogenanfang.

Der Korrelationswert zwischen den Vertikallasten und dem Höhenverschleiß erzielt einen Wert von 0,55 für die Innenschiene und 0,81 für die Außenschiene. Erklärbar scheint der ausgeprägte Höhenverschleiß im Übergangsbogen durch die Überlagerung des Quergleitens mit der Einstellbewegung des passiv gesteuerten Rades.

Die Korrelation zwischen dem Höhenverschleiß und der vertikalen Last ist gleichwertig den zwischen dem Höhenverschleiß und der Entfernung zur stationären Schmieranlage.

Es scheint, dass das Seitenverschleißverhalten mehr von der Geometrie der Trasse (Überhöhung, Krümmung und Neigung der Gleisachse), der Höhenverschleiß jedoch von äußeren Parametern wie Geschwindigkeit, Last und Entfernung zur stationären Schmieranlage abhängig beeinflusst wird.

Die Studie wurde anhand von zwei verschiedenen Übergangsbögen (parabolische Übergangskurven -PÜK- und Quasi-Klothoide -QKL-) durchgeführt. Das unterschiedliche Verschleißverhalten wird gegenüber gestellt.

Bei dem Vergleich des Gleises 1 (PÜK) und des Gleises 2 (QKL) in der Konstanziagasse-Langobardenstraße scheint der Höhenverschleiß sowohl bei der Außen- als auch bei der Innenschienen in Quasi-Klothoiden geringer zu sein als in parabolischen Übergangskurven. Dieses Verhalten trifft für den Seitenverschleiß allerdings nicht zu.

Die PÜK und die QKL besitzen verschiedene Länge. Die parabolische Übergangskurve ist 9,673m lang und die Quasi-Klothoide 12,000m. Diese Differenz kann einen wichtigen Einfluss bezüglich des Verschleißverhaltens haben.

Die Folge ist, dass der Bogen nach der der Quasi-Klothoide eine geringere Länge und einen geringeren Radius besitzt. Eine globale Betrachtung des Verschleißverhaltens für Außen- und Innenschiene gemeinsam ergibt geringere Korrelationen der Parameter. Daher wird eine getrennte Begutachtung der Schienen für notwendig erachtet.

Die Bogenlänge des Gleises 2 (QKL) ist kleiner als die Kreisbogenlänge des Gleises 1(PÜK). Die Differenz zwischen M1 und M3 in den Bögen zeigt, dass:

- ✓ für die Innenschiene der Höhen- und Seitenverschleiß im Kreisbogen nach der PÜK größer ist, als der Höhen- und Seitenverschleiß im Kreisbogen nach der QKL
- ✓ für die Außenschiene gilt ein konträres Verhalten

Nach der Quasi-Klothoide scheint die kürzere Kreisbogenlänge das Verschleißverhalten der Innenschiene positiv zu beeinflussen. Allerdings liegen die Verschleißmaxima ganz eindeutig auf der Außenschiene.

Der kleinere Anlaufwinkel, den ULF-Losträder in der Quasi-Klothoide annehmen, scheint die beste Lösung für das Verschleißverhalten bezogen auf die Innenschiene zu sein. Hingegen stellen sich beim Befahren von parabolischen Übergangskurven positive Effekte auf das Verschleißverhalten der Außenschiene im Kreisbogen ein.

Unter Annahme gleicher Fahrgeschwindigkeit wirkt sich die verringerte Fliehkraft aufgrund des größeren Kreisbogenhalbmessers nach der PÜK positiv auf die Kraftübertragung der Außenschiene aus.

Folgende Empfehlungen und mögliche Maßnahmen zur Verbesserung des Verschleißverhaltens.

Da alle Sensoren sowohl mit konventionellen als auch ULF-Fahrzeugen befahren wurden, ist eine quantitative Aussage über die Abnutzung der Schienen nicht möglich, da nicht differenziert werden kann inwiefern der jeweilige Fahrzeugtyp die Abnutzung hervorruft.

Eine Trennung der Fahrzeuge wäre hierfür sehr empfehlenswert. Setzt man auf dem Streckenabschnitt Konstanziagasse-Langobardenstraße nur ULF-Fahrzeuge ein und wiederholt die Messungen, könnte eine konkrete Interpretation der Ergebnisse erfolgen.

Obwohl dies eine kostspielige und betrieblich aufwendige Lösung ist, sollte man nicht aus den Augen verlieren, dass mit der Zeit alle konventionellen Fahrzeuge durch moderne Typen ersetzt werden. Daher gilt hier das Motto: je früher die Lösung, desto besser.

In den meisten Fällen zeigt die Außenschiene ein schlechtes Verhalten des Höhenverschleißes, eine Abhilfe ist die Überhöhung. Jedoch muss bedacht werden, dass diese sich negativ auf das Seitenverschleißverhalten der Innenschiene auswirkt. Daher ist eine genaue Abwägung bezüglich der Ausführung der Überhöhungen vorzunehmen, da eine Verbesserung des Höhenverschleißes der Außenschiene nicht automatisch eine Verschlechterung des Seitenverschleißes der Innenschiene hervorrufen soll.

Härtere Schienen werden langsamer abgenützt. Obwohl diese in der Anschaffung teurer sind, sollten diese Kosten den Wartungs- und Erhaltungskosten gegenübergestellt werden um zu zeigen, dass teurere, härtere Schienen bezüglich ihrer Lebenszykluskosten wirtschaftlicher sind.

Die Anzahl der stationären Schmieranlagen reduziert den Höhenverschleiß sowohl bei Außen- als auch Innenschiene, jedoch ist auf die Entfernung zum Übergangsbogenanfangspunkt zu achten.

Wie die Ergebnisse zeigen, liegt die Höhenabnutzung der Innenschiene bei einer Entfernung der stationären Schmieranlage von 12,5m (Wagramer Straße Gleis 1) bei etwa 3.69mm. Bei einer Distanz von 8,8m ergibt sich eine Höhenabnutzung der Innenschiene von 2,24mm (Wagramer Straße Gleis 2).

Da die Trassierung auch durch städtebauliche Randbedingungen beschränkt wird, muss auf die äußeren Parameter noch mehr geachtet werden!

Somit ist ein Kompromiss zwischen der Gleisgeometrie und den restlichen äußeren Parametern zur Verbesserung des Verschleißverhaltens der Schienen technisch und wirtschaftlich zielführend.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Modal-Split von Wien (1998 - 2006) [4]	7
Abbildung 1-2: Modal-Split von Berlin (2007) [5]	7
Abbildung 1-3: Zusammenfassung der Abbildungen 1-1 und 1-2 bezogen auf die Jahre 2006 und 2007.....	8
Abbildung 1-4: Straßburger EUROTRAM im „Homme de Fer“ Haltestelle [6].....	8
Abbildung 1-5: Vergleich der Stufen bei konventionellem Triebwagen und ULF [23]	11
Abbildung 1-6: Wiener Niederflurstraßenbahn	12
Abbildung 1-7 : Konventionelle Wiener Straßenbahn [23].....	12
Abbildung 1-8: Straßburger EUROTRAM [6]	13
Abbildung 1-9: Straßburger CITADIS [6].....	13
Abbildung 1-10: Berliner GT6N-Straßenbahn [7].....	14
Abbildung 1-11: Berliner KT4D-Straßenbahn [7]	14
Abbildung 1-12: Wiener Rillenschienenoberbau [23].....	17
Abbildung 1-13 : Vignolschiene (links) und Rillenschiene (rechts) [38].....	17
Abbildung 1-15: Profil und Eigenschaften einer	18
Abbildung 1-16: Vignolschiene in Sebaldgasse [23].....	18
Abbildung 1-17: Rillenschiene in Sebaldgasse [23].....	18
Abbildung 1-14: Profil und Eigenschaften einer S 49 Schiene [37].....	18
Abbildung 1-18: Bezeichnungen am Querschnitt von Rad und Schiene [35]	19
Abbildung 1-19: Schienen für Eisenbahnen und Straßenbahnen im Vergleich [39]	19
Abbildung 1-20: Der Anfahrwinkel α [35]	20
Abbildung 1-21: Maßbezeichnungen am Radsatz und Gleis (Rillenschienen) [35]	21
Abbildung 1-22: Maßbezeichnungen an Radsatz und Gleis (Vignolschiene) [35]	22
Abbildung 1-23: Bezeichnungen am Herzstück; schiefwinklige Tiefrillen-Kreuzung in Rillenschienen-Ausführung [35]	23
Abbildung 1-24: Bezeichnungen am Herzstück; 90°-Flachrillen-Kreuzung in Rillenschienen-Ausführung [35].....	24
Abbildung 1-25: Kräfte bei der Bogenfahrt [39]	26
Abbildung 1-26: Überhöhungsdarstellung im Aufriss (Rechtskurve), Beispiel bei der Vollbahn (links) [39] und bei der U-Bahn (rechts).....	29
Abbildung 1-27: Gleisachsabstand und Spurweite	32
Abbildung 1-28: Beispiel von einer zweiseitigen Gleisverziehung [42]	33
Abbildung 1-29: Überpufferung [43].....	33
Abbildung 2-1: Vergleich zwischen Krümmungswechsel mit einem Klothoide-Übergangsbogen (links) und ohne Übergangsbogen (rechts) [39].....	35
Abbildung 2-2: Die drei Fälle der Trassierungsmöglichkeiten [39]	35
Abbildung 2-3: Klothoide und kubische Parabel [40].....	37
Abbildung 2-4: Grafische Darstellung der Krümmung einer Klothoide mit linearer Krümmungslinie [39]	37
Abbildung 2-5: Grafische Darstellung des S-förmigen Krümmungsverlaufs einer Klothoide [39]	38
Abbildung 2-6: Grundriss einer kubischen Parabel [40]	38
Abbildung 2-7: Schema eines Abrückmaßes [39]	39
Abbildung 2-8: Trasse des Standartfalls – Wiener Bogen [44].....	40

Abbildung 3-1: Prinzip Vergleich von Hochflur- und Niederflurfahrzeugen [47].....	43
Abbildung 3-2: Schematische Darstellung eines herkömmlichen Radsatzes [48].....	43
Abbildung 3-3: Schematische Darstellung eines Drehgestells [49]	44
Abbildung 3-4: Das Portalfahrwerk der ULF Straßenbahn [45]	45
Abbildung 3-5: Die ULF Primärfederung [50].....	46
Abbildung 3-6: Gelenklager [50]	47
Abbildung 3-7: Fahrwerksteuerung der ULF Straßenbahn [50].....	48
Abbildung 3-8: Gelenkportalsteuerung der ULF Straßenbahn [50]	49
Abbildung 4-1: Neuzustand und Verschleißzustand der Schiene und der Räder [35].....	50
Abbildung 4-2: Grafik des Verschleißes für Gleis 1	54
Abbildung 4-3: Grafik des Verschleißes für Gleis 2	56
Abbildung 4-4: Grafik des Verschleißes für Gleis 1	58
Abbildung 4-5: Grafik des Verschleißes für Gleis 2	60
Abbildung 4-6: Grafik des Verschleißes für Gleis 1	62
Abbildung 4-7: Grafik des Verschleißes für Gleis 2	64
Abbildung 4-8: Grafik des Verschleißes für Gleis 1	66
Abbildung 4-9: Grafik des Verschleißes für Gleis 2	66
Abbildung 4-10: Grafik des Verschleißes für Gleis 1	67
Abbildung 4-11: Grafik des Verschleißes für Gleis 2	69

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.2.1. Merkmale der Städte	7
Tabelle 1.2.3. Merkmale der Straßenbahnnetze	9
Tabelle 1.2.4.1-1. Wiener Triebwagen	10
Tabelle 1.2.4.1-2. Wiener Beiwagen	10
Tabelle 1.2.4.1-3. Wiener Niederflurstraßenbahnen	12
Tabelle 1.2.4.2. Straßburger Straßenbahnen	13
Tabelle 1.2.4.3-1. Berliner GT6N Straßenbahnen	14
Tabelle 1.2.4.3-2. Berliner KT4D und Flexity Straßenbahnen	15
Tabelle 1.3.5-1. Abkürzungen und Einheit der Parameter	27
Tabelle 1.3.5-2. Kräfteformeln	27
Tabelle 1.3.5-3. Überhöhungsüberschuss und Überhöhungsfehlbetrag	28
Tabelle 1.3.6-1. Abkürzungen und Einheit der Parameter	29
Tabelle 1.3.6-2. Gleisüberhöhung-Normalspur	30
Tabelle 1.3.6-3. Gleisüberhöhung-Meterspur	30
Tabelle 1.3.6-4. Gleisüberhöhung bei 900 mm-Spur	31
Tabelle 1.3.6-5 Überhöhungsrampen	31
Tabelle 1.3.6-6. Übergangsbögen	32
Tabelle 1.3.6-7 Gleisverziehung	33
Tabelle 2.1.2. Abkürzungen und Einheit der Trassierungsparameter	34
Tabelle 2.2.1. Korrespondenz zwischen Überhöhungsrampe und Übergangsbogen	36
Tabelle 2.2.4. Verhältnisse zwischen Übergangsbögen und Rampen	39
Tabelle 3.1-1. Klassifizierung durch Wagenfußbodenhöhe und Einstiegstufen	41
Tabelle 3.1-2. Klassifizierung gemäß dem Prozentsatz der Niederflurfläche	41
Tabelle 3.1-3. Beispiele für jede Kategorie	42
Tabelle 3.3.2. Technische Bauteile des Portalfahrwerks	45
Tabelle 3.3.4. Technische Bauteile der Primärfederung	46
Tabelle 3.3.5-1. Technische Bauteile der Fahrwerksteuerung – Abbildung 3-6	47
Tabelle 3.3.5-2. Technische Bauteile der Fahrwerksteuerung – Abbildung 3-7	48
Tabelle 3.3.5-3. Technische Bauteile der Gelenkportalsteuerung	49
Tabelle 4.3.3. Vergleich zwischen Quasi-Klothoide und parabolischen Übergangskurven	51
Tabelle 4.3.4. Erste Korrelation	52
Tabelle 4.3.5. Zweite Korrelation	52
Tabelle 4.3.6.2-1 Ergebnisse	54
Tabelle 4.3.6.2-2 Prozentsatz der Veränderung des Verschleißes zwischen zwei aufeinanderfolgenden Sensoren	55
Tabelle 4.3.6.2-3 Prozentsatz der Veränderung des Verschleißes zwischen zwei Messungen für jeden Sensor	55
Tabelle 4.3.6.2-4 Ergebnisse	56
Tabelle 4.3.6.2-5 Prozentsatz der Veränderung des Verschleißes zwischen zwei aufeinanderfolgenden Sensoren	57
Tabelle 4.3.6.2-6 Prozentsatz der Veränderung des Verschleißes zwischen zwei Messungen für jeden Sensor	57
Tabelle 4.3.6.3-1 Ergebnisse	58
Tabelle 4.3.6.3-2 Prozentsatz der Veränderung des Verschleißes zwischen zwei aufeinanderfolgenden Sensoren	59
Tabelle 4.3.6.3-3 Prozentsatz der Veränderung des Verschleißes zwischen zwei Messungen für jeden Sensor	59
Tabelle 4.3.6.3-4 Ergebnisse	60
Tabelle 4.3.6.3-5 Prozentsatz der Veränderung des Verschleißes zwischen zwei aufeinanderfolgenden Sensoren	61
Tabelle 4.3.6.3-6 Prozentsatz der Veränderung des Verschleißes zwischen zwei Messungen für jeden Sensor	61
Tabelle 4.3.6.4-1 Ergebnisse	62
Tabelle 4.3.6.4-2 Prozentsatz der Veränderung des Verschleißes zwischen zwei aufeinanderfolgenden Sensoren	63
Tabelle 4.3.6.4-3 Prozentsatz der Veränderung des Verschleißes zwischen zwei Messungen für jeden Sensor	63
Tabelle 4.3.6.4-4 Ergebnisse	64
Tabelle 4.3.6.4-5 Prozentsatz der Veränderung des Verschleißes zwischen zwei aufeinanderfolgenden Sensoren	65
Tabelle 4.3.6.4-6 Prozentsatz der Veränderung des Verschleißes zwischen zwei Messungen für jeden Sensor	65
Tabelle 4.3.6.6-1 Ergebnisse	67
Tabelle 4.3.6.6 -2 Prozentsatz der Veränderung des Verschleißes zwischen zwei aufeinanderfolgenden Sensoren	68

Tabelle 4.3.6.6 -3 Prozentsatz der Veränderung des Verschleißes zwischen zwei Messungen für jeden Sensor	68
Tabelle 4.3.6.6 -4 Ergebnisse	69
Tabelle 4.3.6.6 -5 Prozentsatz der Veränderung des Verschleißes zwischen zwei aufeinanderfolgenden Sensoren	70
Tabelle 4.3.6.6 -6 Prozentsatz der Veränderung des Verschleißes zwischen zwei Messungen für jeden Sensor	70
Tabelle 4.3.6.7-1 Zusammenfassung der Differenzen zwischen M1 und M3 für des Höhenverschleißes	71
Tabelle 4.3.6.7-2 Zusammenfassung der Differenzen zwischen M1 und M3 für des Seitenverschleißes	71

Literaturverzeichnis

- [1] Berlin
<http://de.wikipedia.org/wiki/Berlin>
10.06.2009; 11.16 MEZ
- [2] Wien
<http://de.wikipedia.org/wiki/Wien>
10.06.2009; 11.13 MEZ
- [3] Straßburg
<http://fr.wikipedia.org/wiki/Strasbourg>
10.06.2009; 11.10 MEZ
- [4] Wiener Modal-Split
http://www.nachhaltigkeit.wienerstadtwerke.at/oekologie/energieverbrauch/verbrauch_erinnen.html
11.03.2009; 10.05 MEZ
- [5] Berliner Modal-Split
<http://opus.kobv.de/zlb/volltexte/2008/7027/pdf/verkehrssicherheitsbericht2007.pdf>
11.03.2009; 10.19 MEZ
- [6] Eigene Aufnahmen, Straßburger EUROTRAM; Straßburger CITADIS; Straßburg 2008
- [7] Berliner Straßenbahn
http://de.wikipedia.org/wiki/Straßenbahn_Berlin
15.03.2009; 15.42 MEZ
- [8] Berliner Straßenbahn
<http://www.bvg.de/index.php/de/Bvg/Detail/folder/360/id/1705/nb/1/name/BVG+in+Zahlen>
17.03.2009; 15.42 MEZ
- [9] Wiener Straßenbahn
http://de.wikipedia.org/wiki/Straßenbahn_Wien
27.05.2009; 22.54 MEZ
- [10] Wiener Linien
http://de.wikipedia.org/wiki/Wiener_Linien
15.03.2009; 15.08 MEZ
- [11] Wiener Linien
http://www.wienerlinien.at/media/files/2008/WL_Betriebsangaben_2007_3614.pdf
15.03.2009; 15.21 MEZ
- [12] Straßburger Straßenbahn
http://fr.wikipedia.org/wiki/Tramway_de_Strasbourg
15.03.2009; 14.50 MEZ

- [13] Compagnie des Transports Strasbourgeois
http://fr.wikipedia.org/wiki/Compagnie_des_transports_strasbourgeois
 15.03.2009; 14.57 MEZ

- [14] Wiener Triebwagen E₁
[http://xover.htu.tuwien.ac.at/~tramway/stvkr-a-wiki/index.php/Type_E1_\(Wien\)](http://xover.htu.tuwien.ac.at/~tramway/stvkr-a-wiki/index.php/Type_E1_(Wien))
 05.03.2009; 14.21 MEZ

- [15] Wiener Triebwagen E₂
[http://xover.htu.tuwien.ac.at/~tramway/stvkr-a-wiki/index.php/Type_E2_\(Wien\)](http://xover.htu.tuwien.ac.at/~tramway/stvkr-a-wiki/index.php/Type_E2_(Wien))
 05.03.2009; 14.21 MEZ

- [16] Wiener Beiwagen C₃
[http://xover.htu.tuwien.ac.at/~tramway/stvkr-a-wiki/index.php/Type_c3_\(Wien\)](http://xover.htu.tuwien.ac.at/~tramway/stvkr-a-wiki/index.php/Type_c3_(Wien))
 05.03.2009; 14.21 MEZ

- [17] Wiener Beiwagen C₃
<http://www.fpdwl.at/fahrzeuge/showtype.php?type=c3>
 05.03.2009; 14.43 MEZ

- [18] Wiener Beiwagen C₄
[http://xover.htu.tuwien.ac.at/~tramway/stvkr-a-wiki/index.php/Type_c4_\(Wien\)](http://xover.htu.tuwien.ac.at/~tramway/stvkr-a-wiki/index.php/Type_c4_(Wien))
 05.03.2009; 14.22 MEZ

- [19] Wiener Beiwagen C₄
<http://www.fpdwl.at/fahrzeuge/showtype.php?type=c4>
 05.03.2009; 14.44 MEZ

- [20] Wiener Beiwagen C₅
[http://xover.htu.tuwien.ac.at/~tramway/stvkr-a-wiki/index.php/Type_c5_\(Wien\)](http://xover.htu.tuwien.ac.at/~tramway/stvkr-a-wiki/index.php/Type_c5_(Wien))
 05.03.2009; 14.23 MEZ

- [21] Wiener Beiwagen C₅
<http://www.fpdwl.at/fahrzeuge/showtype.php?type=c5>
 05.03.2009; 14.46 MEZ

- [22] Ultra Low Floor (ULF)
http://de.wikipedia.org/wiki/Ultra_Low_Floor
 05.03.2009; 15.00 MEZ

- [23] Eigene Aufnahmen, Wiener Triebwagen und ULF/Rillenschiene; Vignolschiene; Wien
 2009

- [24] Niederflurstraßenbahnen A (ULF)
<http://www.fpdwl.at/fahrzeuge/showtype.php?type=a>
 05.03.2009; 15.03 MEZ

- [25] Niederflurstraßenbahnen B (ULF)
<http://www.fpdwl.at/fahrzeuge/showtype.php?type=b>
 05.03.2009; 15.05 MEZ

- [26] Niederflurstraßenbahnen A₁ (ULF)
<http://www.fpdwl.at/fahrzeuge/showtype.php?type=a1>
 05.03.2009; 15.08 MEZ

- [27] Straßburger Straßenbahn
<http://www.strasbourg-tramway.fr/caracteristiques.htm>
 11.03.2009; 13.46 MEZ

- [28] Berliner Straßenbahn
<http://www.bvg.de/index.php/de/Bvg/Detail/folder/360/id/1705/nb/1/name/BVG+in+Zahlen>
 17.03.2009; 15.40 MEZ

- [29] Berliner KT4D und KT4Dt
<http://www.strassenbahnen-online.de/tatra/kt4/index.html>
 28.05.2009; 01.28 MEZ

- [31] Berliner KT4D und KT4Dt
http://de.wikipedia.org/wiki/Tatra_KT4
 28.05.2009; 1.30 MEZ

- [31] Berliner KT4D und KT4Dt
<http://www.nahverkehrsseiten.net/berlinkt4d.htm>
 28.05.2009; 1.34 MEZ

- [32] Berliner FLEXITY
http://de.wikipedia.org/wiki/Bombardier_Flexity_Berlin
 23.03.2009; 13.53 MEZ

- [33] Berliner FLEXITY
<http://www.bvg.de/index.php/de/Bvg/Detail/folder/991/rewindaction/Index/archive/1/year/2007/id/150652/name/Neues+Design+bei+der+Berliner+Stra%DFenbahn>
 23.03.2009; 13.58 MEZ

- [34] BERLINERFAHRBAR
<http://www.bvg.de/index.php/de/Bvg/Detail/folder/1031/rewindaction/Index/id/2037/name/Stadtrundfahrten+mit+der+BERLINERFAHRBAR>
 11.03.2009; 19.07 MEZ

- [35] *Technische Regel Spurführung (TR Sp)*; Bearbeitungsstand: März 2004, Ausgabe: Mai 2006;

- [36] ROLLINGER W.; *Bahnbau Bahnerhaltung – Skriptum zur Vorlesung aus Bahnerhaltung*; pp. 182; 183;

- [37] *Oberbau-Richtlinien und Oberbau-Zusatzrichtlinien (OR / OR – Z) des VDV für Bahnen nach der BOStrab*, Ausgabe Dezember 1995;

- [38] Schema den Gleisen
<http://fr.wikipedia.org/wiki/Rail>
 08.03.2009; 10.09 MEZ

- [39] HALDOR J. und LADEMANN F.; *Planung von Bahnanlagen – Grundlagen-Planung-Berechnung*; 2009; pp. 19; 20; 25; 26; 39; 40; 41; 42; 44; 103; 104;
- [40] FIEDLER J.; *Bahnwesen – Planung, Bau und Betrieb von Eisenbahnen, S-, U-, Stadt- und Straßenbahnen*; 5. Auflage; 2005; pp. 59; 60; 61; 62; 69; 70;
- [41] *Oberbauvorschrift für Straßenbahnen (OVSt 57)*; Auflage: Mai 1992;
- [42] *Schriftliche Prüfung aus VO 232.507 Eisenbahnwesen*; 2004
- [43] Die Überpufferung; Eigene Skizze
- [44] PETZ M.; *Skriptum Spürführungstechnik*; 2009;
- [45] KAMPF H.; *Diplomarbeit Niederflurstraßenbahnen, Technik – Akzeptanz – Wirtschaftlichkeit*; 1996;
- [46] Straßenbahn – Online
<http://www.strassenbahn-online.de/>
27.04.2009; 12.47 MEZ
- [47] HOEPKE E.; *Niederflurantriebe für Straßenbahnen und Omnibusse – Schriftenreihe für Verkehr und Technik*; 1996;
- [48] Verband Deutscher Verkehrsunternehmen; 2001;
- [49] Sonderdruck aus Technica; *Schweizerische Industrie Gesellschaft; Drehgestelle für Eisenbahn-Rollmaterial nach dem SIG-Baukastensystem*; 1989;
- [50] Konzept des Niederflurwagen des ULF Wien
http://www.mp-video.at/ULF/Serienulf_Technik_Textkoerper3.asp
13.03.2009; 10.53 MEZ
- [51] ULF Straßenbahn
http://www.bv-remisehernals.at/ulf_d.pdf
22.04.2009; 11.56 MEZ
- [52] ZAUSSINGER J.; *Übergangskurven für Straßenbahnen*; Februar 2009;