



# Diplomarbeit

## Master's Thesis

### Güterstraßenbahn

#### Möglichkeiten und Systeme von schienengebundenem Gütertransport im städtischen Nahverkehr

Ausgeführt zum Zweck der Erlangung des akademischen Grades eines Diplom-  
Ingenieurs unter der Leitung von

Betreuender Univ. Professor

Assistent

Betreuender Univ.

**Norbert Ostermann**

Name

**Bernhard Rüger**

Name

**232**

Institutsnummer

**Institut für Eisenbahnwesen, Seilbahnen und Verkehrswirtschaft**

Institut

Eingereicht an der Technischen Universität Wien

**Bauingenieurwesen**

Fakultät

Von

**Jürgen Roman Diatel**

Name

**Michael Mikschofsky**

Name

**0026435**

Matrikelnummer

**0025916**

Matrikelnummer

**Himberger Str. 81-83/4/2  
2320 Schwechat**

Anschrift

**Vorgartenstraße 58-60/32  
1200 Wien**

Anschrift

Wien, im Juni 2006

Unterschrift

Unterschrift

### Danksagung

Die Verfasser möchten folgenden Personen Ihren Dank aussprechen: Professor Norbert Ostermann, für die Freiheiten beim Erstellen der Diplomarbeit; Bernhard Rüger, für sein Engagement und die problemlose Zusammenarbeit; Günter Emberger, für wichtige Informationen; des weiteren Julius Ehrlich. für detaillierte Daten; Markus Ossberger, für die Idee zu dieser Arbeit und Wolfgang Rollinger, für seine Geduld mit Neulingen auf dem Gebiet des Eisenbahnwesens.

### **Diatel Jürgen**

Ich möchte mich bei meinem Bruder Martin, für seine Einfälle und Diskussionen und bei meinen Eltern, für ihre uneingeschränkte Unterschätzung in jeglicher Hinsicht, bedanken. Ganz besonderer Dank gebührt meiner Verlobten Alexandra, die an mich geglaubt und mich auch in schwierigen Zeiten nicht nur ertragen, sondern auch unterstützt hat.

### **Mikschofsky Michael**

Auch ich möchte mich an dieser Stelle bei meinen Eltern und meiner Schwester Sabine bedanken, die mich während meiner Studienzeit in den verschiedensten Dingen unterstützt haben. Abschließend sei noch ein spezieller Dank an meine Freundin Danijela gerichtet, die in all den Jahren der notwendige Rückhalt war und mir seelisch immer zur Seite gestanden ist.

Allen hier nicht erwähnten Personen sei schlussendlich ebenfalls für ihre Unterstützung gedankt und die Verfasser bitten um Entschuldigung, dass aus Platzgründen nicht alle namentlich genannt werden.

### Zusammenfassung

Die Zielsetzung des Konzepts „Güterstraßenbahn“ ist die Schaffung einer umweltfreundlichen und wirtschaftlichen Alternative zum LKW-Transport zur Verlagerung der Transportgüter auf die Schiene in innerstädtischen Gebieten. Die damit verbundene Senkung der Schadstoffemissionen sowie die Verringerung der Lärmbelastigung, bedingt durch die geringere Anzahl an Belieferungsfahrten, tragen ihren Teil zur Verbesserung der Umwelt bei. Die Aufgabenstellung beinhaltet das Aufzeigen von Problemen durch die Einführung von zusätzlichen Straßenbahnlinien in bestehende betriebliche Strukturen des öffentlichen Personennahverkehrs und die Erarbeitung möglicher Lösungsansätze. Diese Linien sollen zur Versorgung von Betrieben als auch zur Entsorgung (Schnee, Müll etc.) benutzt werden, wobei in ein bestehendes Liniennetz Routen für den Güterverkehr integriert werden. Der erste Teil der Arbeit soll einen Überblick über bereits vorhandene Güterstraßenbahnsysteme in Wien, Dresden und Zürich geben. Anschließend wird auf eisenbahntechnische Aspekte eingegangen, wobei sich der Kernpunkt dieser Betrachtungen mit dem Kapitel Fahrdynamik und den dabei auftretenden Schwierigkeiten befasst. Des Weiteren werden in diesem Abschnitt die Probleme der Spurführung, der Sicherungstechnik, der Eisenbahntraktion sowie Zweisystemfahrzeuge und rechtliche Rahmenbedingungen erläutert. Der dritte Teil beschäftigt sich mit betrieblichen Gesichtspunkten. Es wird dabei auf die auftretenden Probleme, die bei der Integration einer zusätzlichen Straßenbahn entstehen, aufmerksam gemacht und zusätzlich die Schwierigkeiten beim Warenumsschlag erläutert. Der Hauptteil der Arbeit ist allgemein gültig und auf jede Stadt oder Region übertragbar. Am Ende erfolgt eine Spezialisierung für die Sachlage in Wien, wobei anhand der Belieferung von Billa-Filialen gezeigt wird, wie ein Gütertransport in der Stadt aussehen kann.

Es wird ersichtlich, dass sich der Warentransport mit einer Güterstraßenbahn nicht für alle Produkte, Standorte und Belieferungsformen gleichermaßen eignet. Weiterführend wird ersichtlich, dass eine Güterstraßenbahn ohne entsprechende Anpassungen und Adaptierungen der Infrastruktur nicht problemlos in ein existierendes schienengebundenes Nahverkehrsnetz integriert werden kann. Für den reibungslosen Ablauf einer Straßenbahngüterbeförderung sind Investitionen sowohl in das Schienennetz als auch in die Fahrzeugentwicklung notwendig, um eine leistungsstarke Alternative zum LKW anbieten zu können.

**Abstract**

The target of the inauguration of an urban freight train system is to create a non-polluting and economical alternative to conventional transport by lorries. A further intention is to transfer cargo onto the rail network in urban areas. Because of less delivery ways, the chemical emissions and noise pollution could be reduced, which leads to an environmental improvement. The terms of reference are to include an additional tram into an existing tramway network. These lines are used to deliver products as well as for disposal services (e.g. snow and garbage) by integrating new routes in an active urban rail-network. The first part of the master thesis gives a small overview of existing cargo trams in Vienna, Dresden and Zurich. After that it elaborates on railway techniques. The main part of this chapter is the technical dynamics of trains with all its problems and difficulties. In the following parts some other kinds of technical problems are described. The third element of the thesis gives an insight to operational issues. This part focuses on the negative effects caused by the addition of a new cargo-tramway-system. The main part of the thesis is generally valid. Finally a specification for Vienna shows the cargo transport in the city by demonstrating the delivery of shops.

As a result the Cargo-Transport is not suitable for all kinds of products, locations and forms of delivery. A cargo tram can not perfectly operate without infrastructural adaptations. Therefore capital expenditures in infrastructure as well as in the development of new vehicles are necessary to install an unproblematic alternative to lorries.

**Abkürzungsverzeichnis**

GSB.....GüterStraßenBahn

PSB.....PersonenStraßenBahn(en)

WL.....Wiener Linien

WLB.....Wiener LokalBahn

ULF.....Ultra Low Floor, Niederflurfahrzeug

ÖPNV.....Öffentlicher PersonenNahVerkehr

PZB.....Punktförmige ZugBeeinflussung

LZB.....Linienförmige ZugBeeinflussung

INDUSI.....INDUktive ZugSIcherung

ERTMS.....European Rail Traffic Management System

RSB.....RegionalStadtBahn

SPNV.....Schienengebundener PersonenNahVerkehr

MIV.....Motorisierter IndividualVerkehr

GVZ.....GüterVerteilZentrum

VLSA.....VerkehrsLichtSignalAnlage

ETCS.....European Train Control System

STVO.....STraßenVerkehrsOrdnung

**Inhaltsverzeichnis**

<b>TEIL A: In Betrieb befindliche Güterstraßenbahnen.....</b>	<b>9</b>
1 „GüterBim“ Wien (Mikschofsky) .....	9
2 „CarGoTram“ Dresden (Mikschofsky) .....	11
3 „Cargotram“ Zürich (Mikschofsky) .....	13
<b>TEIL B: Eisenbahntechnische Aspekte .....</b>	<b>14</b>
1 Fahrdynamik (Diatel) .....	15
1.1 Zugkräfte .....	15
1.2 Widerstände .....	17
1.3 Zugmodelle .....	21
2 Spurführung (Diatel) .....	36
2.1 Historische Entwicklung .....	36
2.2 Radaufbau .....	36
2.3 Schienenprofile .....	38
2.4 Auftretende Kräfte .....	39
3 Sicherungstechnik – Zugbeeinflussungssysteme (Mikschofsky) .....	40
3.1 Fahren im relativen Bremswegabstand – „Fahren auf Sicht“ .....	41
3.2 Fahren im Raumabstand – Blocksystem .....	41
3.3 Punktförmige Zugbeeinflussung – PZB/INDUSI .....	42
3.4 Linienförmige Zugbeeinflussung – LZB .....	43
3.5 European Train Control System – ETCS .....	44
4 Eisenbahntraktion (Mikschofsky) .....	44
4.1 Elektrotraktion .....	45
4.2 Dieseltraktion .....	46
4.3 Alternative Antriebssysteme .....	46

5	Zweissystemfahrzeuge (Mikschofsky).....	47
5.1	Das Karlsruher Modell .....	48
5.2	Die Saarbahn .....	51
5.3	RegioTram Kassel .....	52
5.4	„RegioStadtBahn“ Braunschweig .....	54
5.5	Rostock .....	54
5.6	Tram-Train in Mulhouse .....	54
6	Umsetzung in Wien (Diatel).....	55
6.1	Benützung eines bestehenden Fahrzeuges.....	56
6.2	Einführung eines neuen Fahrzeuges .....	59
7	Rechtliche Rahmenbedingungen (Mikschofsky).....	62
7.1	Eisenbahngesetz vom 13. Februar 1957, idF 2002.....	63
7.2	Straßenbahnverordnung idF 3. März 2000 .....	63
7.3	Straßenverkehrsordnung idF 2005 .....	65
7.4	Arbeitszeitgesetz idF 11. Dezember 1969.....	66
7.5	EisenbahnarbeitnehmerInnenschutzverordnung idF 1. März 2005.....	66
	<b>TEIL C: Betriebliche Aspekte .....</b>	<b>68</b>
1	Betriebsformen (Mikschofsky).....	68
1.1	Punkt zu Punkt Verkehr.....	69
1.2	Standortbezogener Verkehr .....	70
1.3	Kettenbelieferung .....	71
2	Möglichkeiten für den Gütertransport (Mikschofsky) .....	72
2.1	Kategorien – Versorgung.....	72
2.2	Kategorien – Entsorgung.....	74
2.3	Leichentransport .....	75
3	Betriebliche Anforderungen (Diatel).....	76

3.1	Prognostizierte Haltezeit im Netz.....	76
3.2	Eignungsstufen .....	77
3.3	Transportgut .....	78
3.4	Geeignetes Zugmodell.....	78
3.5	Anforderungen.....	79
4	Annahmen für die Belieferung einer Lebensmittelkette in Wien (Mikschofsky)	83
4.1	Kapazitätsannahmen.....	84
4.2	Fahrtrouten zur Belieferung.....	86
4.3	Fahrtroute Nord A .....	93
5	Hindernisse, Probleme und Lösungsansätze (Diatel).....	100
<b>TEIL D: Kernaussagen.....</b>		<b>107</b>
1	Conclusio (Diatel) .....	107
2	Résumé (Diatel).....	109
3	Anhang .....	110
3.1	Abbildungsverzeichnis .....	110
3.2	Tabellenverzeichnis .....	112
3.3	Quellenverzeichnis .....	113

# TEIL A: In Betrieb befindliche Güterstraßenbahnen

## 1 „GüterBim“ Wien (Mikschofsky)

Das Projekt „GüterBim“ in Wien wird von der WL GmbH, dem Betreiber des öffentlichen Verkehrs in Wien, geleitet und vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie gefördert. Des Weiteren sind die Vienna-Transport Strategies GmbH, die WLB AG sowie die Vienna-Consult Verkehrsberatungsgesellschaft mbH an diesem Vorhaben beteiligt. Aufgrund der historischen Entwicklung und dem sehr dichten Netz der Wiener Straßenbahn ist es ein besonderes Anliegen der WL bei innerstädtischen Gütertransporten wieder vermehrt das Angebot der Schiene zu nutzen. Bei den laufenden Planungen und Studien treten folgende Fragen auf:

- Sind die Gleisanlagen für einen Betrieb der „GüterBim“ geeignet?
- Welches Fahrzeug soll verwendet werden? Soll ein bestehendes Fahrzeug umgebaut werden oder ein neues Fahrzeug angeschafft werden?
- Wie wirkt sich die „GüterBim“ auf den Betrieb der PSB aus?
- Wie schaut der Warenumsatz aus?
- Wo gibt es Schnittstellen zwischen den einzelnen Verkehrsträgern? (Straßen-U-Bahn-Straßenbahn-Lokalbahn-Vollbahn)

Das Projekt „GüterBim“ soll zeigen, dass die Einführung einer GSB infrastrukturell, technisch aber auch betrieblich machbar ist. Darüber hinaus soll ein leistungsfähiges und innovatives System entwickelt werden, welches für den LKW eine ernsthafte Konkurrenz sein kann. Mit diesen Zielen soll an den geschichtlichen Erfolg der GSB in Wien angeschlossen werden.

Um weitere Erkenntnisse zu sammeln gibt es derzeit einen Probetrieb mit dem so genannten Demonstrator. In dieser Testphase dient die GSB lediglich den WL für deren internen Betrieb. So werden Ersatzteile von der Hauptwerkstätte Simmering in die jeweiligen Betriebsbahnhöfe gebracht, sowie Altmaterial zur Aufbereitung und zur Entsorgung in die Hauptwerkstätte transportiert. Als Erprobungsträger dienen umgebaute Sonderfahrzeuge der

WL. Das Triebfahrzeug ist ein Allzweckhilfsmotorwagen der Type LH, der regelmäßig zum Schleppen diverser Straßenbahnfahrzeuge und als Schneepflug eingesetzt wird.

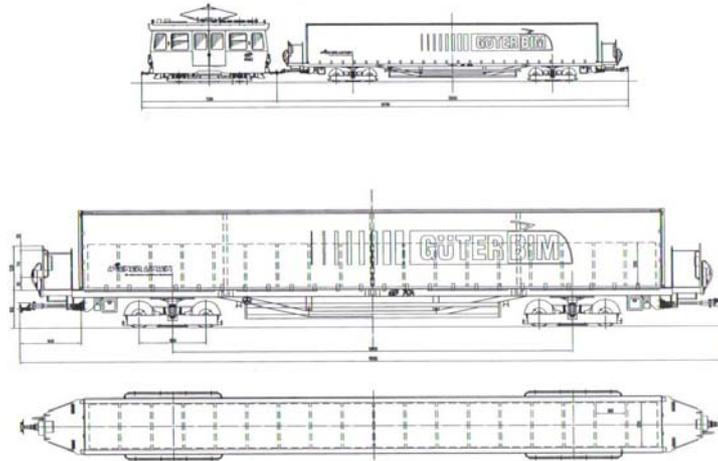


Abb. 1: Typenbild Demonstrator

Quelle: WL GmbH, Endbericht „GüterBim“, September 2005, S. 45

Verwendbar für	Straßenbahn
Genehmigt für	Straßenbahn und Ustrab
Signalbeleuchtung für	Straßenverkehr
Baujahr (von – bis)	1981-1996
Höchste zulässige Anhängemasse	30 t
Höchstgeschwindigkeit	40 km/h

Tab. 1: Technische Daten Fahrzeug LH

Quelle: WL GmbH, Endbericht „GüterBim“, September 2005, S. 17

Als Güterwagen fungiert ein adaptierter Wagen „s11-7434“. Dieses Fahrzeug ist mehrsystemtauglich und kann somit im Straßenbahn-, im U-Bahnnetz und mit gewissen Einschränkungen auch auf dem Vollbahnnetz eingesetzt werden. Der Güterwagen verfügt über das folgende Ladesystem:

Nutzlast	13,0 t
Gesamtgewicht	26,55 t
Lademaß	15,40 m bei einer Breite von 1,50 m
Länge	19,00 m über Puffer
Höhe des Fahrzeugs ab SOK	3,20 m

Tab. 2: Ladesystem

Quelle: WL GmbH, Endbericht „GüterBim“, September 2005, S. 41

Die Testfahrten zeigen, dass die Integration einer zusätzlichen Straßenbahn in den Regelbetrieb der Personengarnituren kein großes Problem darstellt. Ausschlaggebend dafür

ist, dass es sich beim internen Betrieb um einen Punkt zu Punkt Verkehr (siehe Kap. C-1.1) handelt. Es sind daher keine Be- und Entladungsvorgänge im Netz oder auf offener Strecke erforderlich. Welche Probleme durch Aufenthaltszeiten im Netz entstehen können wird im Teil C dieser Arbeit näher erläutert. (vgl. zu diesem Kap. [1], [2])

## 2 „CarGoTram“ Dresden (Mikschofsky)

Dresden nimmt gewissermaßen, was die GSB betrifft, in Deutschland eine Vorreiterrolle ein. Mit dem Projekt „CarGoTram“ Dresden wird wieder ein Teil des innerstädtischen Transportes mit der Straßenbahn abgewickelt. Konkret handelt es sich hierbei um die Belieferung der neuen Volkswagen Automobil-Manufaktur (Gläserne Manufaktur) am Straßburger Platz. Wegen erheblichem Platzmangel am neuen VW-Standort kam es zu einer Verlegung des Lagers in das VW-Logistikzentrum in Dresden-Friedrichstadt.



Abb. 2: Route der „CarGoTram“

Quelle: Pucka, Andreas, Die Dresdner „CarGoTram“ kommt! – Stadtverkehr 45. Jg, 2000, Nr. 4, S. 6-7

Aufgrund der verkehr- und städtebaulich sensiblen Lage der gläsernen Manufaktur am Rand der Innenstadt entschloss man sich, den Transport zwischen Logistikzentrum und Manufaktur mit einer „CarGoTram“ durchzuführen, um keinen zusätzlichen LKW-Verkehr durch die Stadt zu benötigen. Bei etwaigen Störungen entlang der Strecke kann die GSB auf mindestens eine andere Route ausweichen. Eine Behinderung des regulären Betriebes der PSB ist nicht gegeben, da es sich, wie derzeit in Wien, um einen reinen Punkt zu Punkt Verkehr (siehe Kap. C-1.1) handelt. Außerdem sorgt ein abgestimmter Fahrplan dafür, dass freie

Zeitfenster im Fahrplan zwischen den Liniengarnituren genutzt werden können. Gesteuert wird die „CarGoTram“, wie alle anderen Fahrzeuge der DVB AG<sup>1</sup>, von der Betriebsstelle aus.



Abb. 3: „CarGoTram“ Dresden

Quelle: Köhler, Tobias: <http://www.railfaneurope.net/pix/de/trams/Dresden/CarGoTram/>, Dresden 2001

Die VW-blaue Straßenbahn besteht aus zwei Kopfteilen (Steuerwagen) mit je einem Führerhaus, sowie aus drei Mittelteilen mit Aluminiumaufbauten und Schiebeflächen. Die Be- und Entladung der Garnituren erfolgt mit Hilfe einer Laderampe, die sich neben dem Gleis befindet und sich über die gesamte Zuglänge erstreckt. Der Umschlag erfolgt mit Rollbändern, da alle anderen möglichen Techniken zu zeit- und kostenintensiv sind. Der 60 Meter lange Zug kann bis zu 60 Tonnen transportieren, was in etwa drei LKW-Ladungen entspricht. Durch die „CarGoTram“ bleiben der Dresdner Innenstadt täglich einige LKW-Fahrten erspart. (vgl. zu diesem Kap. [3], [4], [5], [6], [7], [8])

	Steuerwagen	Mittelwagen
Länge über Kupplung	11.925 mm	11.850 mm
Breite des Wagenkastens	2.200 mm	2.200 mm
Leermasse	21,8 t	17,4 t
Max. Zuladung	7.500 kg	15.000 kg
Transportvolumen	26,8 m <sup>3</sup>	53,5 m <sup>3</sup>
Höchstgeschwindigkeit	50 km/h	50 km/h

Tab. 3: Fahrzeugdaten „CarGoTram“ Dresden

Quelle: DVB AG: <http://www.dvbag.de/untnehm/gbahn.htm>, Dresden 2005

<sup>1</sup> Dresdner Verkehrsbetriebe AG

### **3 „Cargotram“ Zürich (Mikschofsky)**

In Zürich dient die GSB der Entsorgung des Sperrmülls und Altmetalls. Ein Hauptanliegen des Projekts „Cargotram“ Zürich ist, neben der Reduzierung der Abgaswerte und der Emissionen, auch die Reduzierung der illegalen Entsorgung des Sperrgutes. Nahezu 300 Tonnen Müll pro Jahr werden nicht ordnungsgemäß entsorgt und recycelt. An neun Sammelstellen, die über die ganze Stadt verteilt sind, können die ZüricherInnen an bestimmten Tagen (lt. Fahrplan) brennbares Sperrgut und Altmetall kostenlos zwischen 15.00 Uhr und 19.00 Uhr abgeben. Alle vier Wochen, transportiert die „Cargotram“ den Müll in die Entsorgungsanlage der ERZ<sup>2</sup>. Zur Information wird ein genauer Fahrplan an die EinwohnerInnen Zürichs verschickt. Zum Abtransport benutzt die Tram vorhandene Gleisanlagen der Züricher Verkehrsbetriebe. Als Transportmittel dient ein fast sechzigjähriger Triebwagen des Typs Xe 4/4 1922, der sich aufgrund einer neuen Lackierung von den restlichen Personentrams unterscheidet und die Fracht in neuen Containern befördert.

Ein weiterer Ausbau des Angebots erfolgt im Jahr 2006. Ab diesem Zeitpunkt können auch elektrische und elektronische Geräte zur fachgerechten Entsorgung abgegeben werden. Das Transportsystem der so genannten E-Tram funktioniert dabei genau wie jenes der „Cargotram“. (vgl. zu diesem Kap. [9], [10], [11])

---

<sup>2</sup> ERZ: Entsorgung + Recycling Zürich

## **TEIL B: Eisenbahntechnische Aspekte**

In diesem Teil der Arbeit werden eisenbahntechnische Aspekte und Grundlagen von schienengebundenen Verkehrsmitteln beschrieben, um zu zeigen welche technischen Anforderungen an eine GSB gestellt werden.

Der erste Punkt befasst sich mit den Aufgaben und Problemen der Fahrdynamik. Die Fahrdynamik, als Teilgebiet der Mechanik, beschreibt die Kräfte welche bei Eisenbahnfahrten entstehen. Im Prinzip sind das Zugkräfte (Reibungszugkraft, Leistungszugkraft) und Widerstandskräfte. Weiters werden verschiedene Fahrzeugmodelle (Lokomotive plus Wagen, Triebwagen) verglichen. Das nächste Kapitel beschreibt die Prinzipien der Spurführung. Es wird dabei auf die unterschiedlichen Arten, Vignolschienen bei Vollbahngleisen sowie Rillenschienen bei Straßenbahngleisen, eingegangen. Darüber hinaus werden die auftretenden Kräfte beim Kontakt zwischen Rad und Schiene erläutert. Ein weiterer Schwerpunkt ist die Zugsicherungs- u. Zugbeeinflussungstechnik.

Diese Arbeit handelt vordergründig von innerstädtischem Straßenbahnverkehr, der keine speziellen Sicherungssysteme benötigt. Da aber die Möglichkeit bestehen soll eine GSB auch auf anderen Schienennetzen einzusetzen, werden die heute gängigen Zugbeeinflussungssysteme beschrieben. Im nächsten Kapitel werden die verschiedenen Traktionsarten erläutert. Die beiden häufigsten Formen sind die Diesel- und die Elektrotraktion. Aufgrund von umweltrelevanten Überlegungen und einsatztechnischen Gründen werden des Weiteren neue Antriebsformen erörtert. Als Beispiele sind in dieser Arbeit der Antrieb mit Flüssiggas sowie die Brennstoffzelle erwähnt.

Ein weiterer Punkt handelt von Zweisystemfahrzeugen, welche die bereits genannten Schnittstellen zwischen Straßenbahn- und Regionalbahnbetrieb überwinden. Sowohl das Pilotprojekt Karlsruhe, als auch weitere Konzepte aus deutschen und europäischen Städten werden angeführt. Der letzte Punkt der Eisenbahntechnik enthält eine Schlussfolgerung über die beschriebenen Themen und soll Rückschlüsse und Erkenntnisse für den Betrieb einer GSB in Wien liefern. Abschließend werden relevante rechtliche Rahmenbedingungen und Anforderungen an den Bau und den Betrieb von Straßenbahnen angeführt.

## 1 Fahrdynamik (Diatel)

### 1.1 Zugkräfte

Um ein Schienenfahrzeug in Bewegung zu setzen, ist eine Kraftübertragung vom Rad auf die Schienen, die Zugkraft, erforderlich. Diese Interaktion ist unabhängig von der Art des Antriebsmotors (Elektro- oder Dieselmotor), sondern nur durch die Reibung zwischen Rad und Schiene möglich. Folglich werden Bahnen auch „Adhäsionsbahnen“ genannt, weil das Rad auf der Schiene „haftet“. Die Kräfte, die für das Beschleunigen und Bremsen notwendig sind, können nur durch den Schlupf übertragen werden, da bei einem reinen Abrollvorgang keine Kraftübertragung möglich ist. Der Radius des Radreifens mal dem Drehwinkel, der durch den Antrieb auf die Achsen übertragen wird, ergibt den Weg des Radreifens. Es kann jedoch nicht die komplette Wegstrecke vom Fahrzeug zurückgelegt werden. Die sich ergebende Differenz ist der Schlupf.

Bei der Zugkraft  $Z$  [ $kN$ ] sind drei verschiedene Arten, die Leistungszugkraft  $Z_N$ , die Reibungszugkraft  $Z_R$  und die Zughakenkraft  $Z_H$ , zu unterscheiden. Die Leistungszugkraft  $Z_N$  ist der Quotient aus der Leistung  $N$  [ $kW$ ] und der Geschwindigkeit  $v$  [ $m/s$ ]. Wenn die Leistung als konstant vorausgesetzt wird, ist die Funktion der Leistungszugkraft durch eine Hyperbel beschreibbar. Die Funktion fällt mit steigender Geschwindigkeit. Im Bereich von niedrigen Geschwindigkeiten würde die Leistungszugkraft ins Unendliche ansteigen. Diese wird aber von der Reibungszugkraft begrenzt. Diese Kraft  $Z_R$  (Haftreibung) ist vom Gewicht an den angetriebenen Rädern  $Q_R$  (Reibgewicht) und dem Reibungsbeiwert  $f_g$  [1] (alternativ: Haftreibbeiwert  $\mu_h$  oder Traktionsbeiwert  $t$ ) abhängig. Der Reibbeiwert wird vom Gleiszustand (nass/vereist/verschmutzt) und von der Geschwindigkeit beeinflusst und durch den Quotient aus übertragbarer Horizontalkraft  $H$  [ $kN$ ] und vertikaler Gewichtskraft  $Q$  [ $kN$ ] auf die angetriebenen Räder bestimmt. Werte liegen zwischen 0,05 (Schnee und Eis) und 0,39 (trockene Verhältnisse). Der Beiwert nimmt bei zunehmender Geschwindigkeit ab. Der Vorteil des geringen Reibungswiderstandes ist die Möglichkeit einen schweren Zug mit einem weitaus leichteren Triebfahrzeug anzufahren. Wenn ein Zug in Bewegung ist, sind für die Aufrechterhaltung der Geschwindigkeit geringe Energien erforderlich. Andererseits hat der geringe Reibungsbeiwert einen sehr langen Bremsweg zur Folge. Als dritte Form der Zugkraft

ist die Zughakenkraft  $Z_H$  zu nennen, welche die am Zuhaken des Triebfahrzeuges wirksame Kraft auf die angehängten Wagen überträgt.

Die Kräfte werden mit folgenden Formeln berechnet und im Zugkraftdiagramm dargestellt:

$$Q = m \cdot g$$

$Q$  .... Gewichtskraft [kN]

$m$  .... Masse [t]

$g$  .... Erdbeschleunigung (9,81 ~ 10) [m/s<sup>2</sup>]

$$Z_N = \frac{N}{v}$$

$$Z_R = Q_R \cdot f_g \quad \text{mit} \quad f_g = \frac{H}{Q}$$

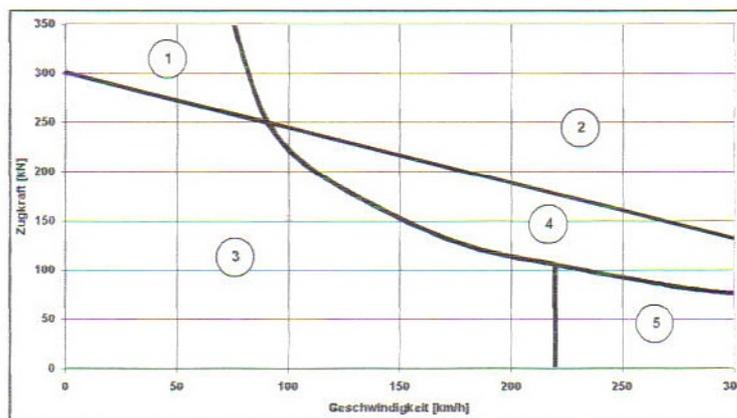


Abb. 4: Beispiel Zugkraftdiagramm

Quelle: Prof. Dr.-Ing. Herk, S.: Skriptum Schienenverkehrswesen, Fachgebiet Verkehrswesen, Fachbereich Bauingenieurwesen, Fachhochschule Bochum, 2005, S. 21

- Bereich 1: Zugkraft reicht aus um den Zug zu bewegen, Räder drehen durch.
- Bereich 2: Zugkraft reicht nicht aus, die Räder würden durchdrehen.
- Bereich 3: Zugkraft reicht aus, die Räder drehen nicht durch, in diesem Bereich ist eine Zugfahrt möglich.
- Bereich 4: Zugkraft reicht nicht aus, die Räder drehen nicht durch.
- Bereich 5: Zugkraft reicht aus, die Räder drehen nicht durch, jedoch wird die zulässige Höchstgeschwindigkeit überschritten (220km/h).

Jedes Fahrzeug (Lok oder Triebwagen) besitzt ein eigenes Zugkraftdiagramm. Im Bereich von niedrigen Geschwindigkeiten ist die Haftreibung und somit die Reibungszugkraft entscheidend für das Zugverhalten. Sie nimmt mit steigender Geschwindigkeit leicht ab, kann aber als konstant angenommen werden. Ab dem Schnittpunkt mit der Hyperbel der Leistungszugkraft ist nur mehr diese Kraft ausschlaggebend. Sie fällt mit konstanter Leistung und zunehmender Geschwindigkeit stark ab. (vgl. zu diesem Kap. [12], [13])

## 1.2 Widerstände

Für die Fahrdynamik sind sechs verschiedene Widerstände ( $\text{‰} = N/kN$ ) maßgebend. Sie werden auf die Zuggewichtskraft bezogen und sind massen- und geschwindigkeitsabhängig.

### 1.2.1 Grundwiderstand $w'$

Der Grundwiderstand beschreibt den Roll-, Getriebe- und Lagerwiderstand und wird mittels Ausrollversuch ermittelt. Der Wert wird weiters auf die Wagen  $w'_1$  und die Lok  $w'_2$  spezialisiert. Für die gesamte Zugseinheit kann der mittlere Grundwiderstand durch Summation der Gewichtskräfte mal ihres Widerstandes und anschließender Division durch das Gesamtgewicht berechnet werden.

$$w'_m = \frac{Q_0 \cdot w'_1 + Q_L \cdot w'_2}{Q_0 + Q_L}$$

$w'_m$  .... mittlere Grundwiderstand des gesamten Zuges [ $\text{‰}$ ]

$w'_1$  .... Grundwiderstand Wagen [ $\text{‰}$ ]

$w'_2$  .... Grundwiderstand Lokomotive [ $\text{‰}$ ]

$Q_0$  .... Gewichtskraft Anhängelast (Wagen)t [ $kN$ ]

$Q_L$  .... Gewichtskraft (Lokomotive) [ $kN$ ]

Ein Richtwert für  $w'_1$  für Straßenbahnen liegt bei  $\sim 4 - 4,5 \text{ ‰}$  für die Wagen.

### 1.2.2 Luftwiderstand $w_v$

Der Luftwiderstand (oder Strömungswiderstand) setzt sich aus einer Druckbeanspruchung und einem Reibungswiderstand zusammen. Die Fahrzeugmasse spielt keine Rolle, sondern lediglich die Formgebung, da es sich um eine Oberflächenbeanspruchung handelt. Die Unterscheidung zwischen Triebfahrzeug und Lok spielt, genau wie die Querschnittsfläche der einzelnen Wagen, eine große Rolle. Für die Berechnung des

Luftwiderstandes stehen verschiedene Formeln zur Verfügung, die alle proportional mit dem Quadrat der Geschwindigkeit steigen. Für niedrige Geschwindigkeiten kann dieser Widerstand jedoch vernachlässigt werden. Eine mögliche Berechnungsformel wird beispielhaft nachstehend angegeben.

$$w_v = \frac{0,047 \cdot (V + 15)^2 \cdot [A_{Lok} \cdot c_w + A_{Waggon} \cdot c_{wr} \cdot (n + m)]}{Q_0 + Q_L}$$

$$w_v = \frac{0,047 \cdot (V + 15)^2 \cdot A \cdot [c_w + c_{wr} \cdot (n + m)]}{Q_0 + Q_L}$$

$w_v$  .... spezifischer Luftwiderstand [‰]

$V$  .... Geschwindigkeit [km/h]

$A$  .... Querschnittsfläche des Triebfahrzeuges [m<sup>2</sup>]

$A_{Lok}$  .... Querschnittsfläche der Lok [m<sup>2</sup>]

$A_{Waggon}$  .... Querschnittsfläche der Waggons [m<sup>2</sup>]

$c_w, c_{wr}$  und  $m$  .... fahrzeugabhängige Beiwerte [1]

$n$  .... Anzahl der Waggons [1]

$Q_0$  .... Gewichtskraft Lokomotive [kN]

$Q_L$  .... Gewichtskraft Anhängelast (Wagen) [kN]

Die Summe des Luft- und Grundwiderstandes wird Laufwiderstand  $w_0$  genannt.

$$w_0 = w'_m + w_v$$

$w_0$  .... Laufwiderstand [‰]

$w'_m$  .... Grundwiderstand [‰]

$w_v$  .... Luftwiderstand [‰]

### 1.2.3 Steigungswiderstand $w_s$

Ein weiterer Einfluss ergibt sich aus der vorhandenen Streckensteigung und wird durch den Steigungswiderstand erfasst. Naturgemäß ist er nur von der Trassierung abhängig und kann durch den Sinus des Steigungswinkels  $\alpha$  ausgedrückt werden. Dieser Widerstand entsteht aus der tangentialen Komponente der Schwerkraft (in Gleislängsrichtung) und kann je nach Art der Gleislage positiv oder negativ sein. Ein negativer Widerstand entspricht einer beschleunigenden Kraft und tritt bei der Fahrt im Gefälle auf. Für die Vollbahn beträgt die maximale Steigung und damit auch der Widerstand 25 ‰, weil die Strecken auch für schwere Güterzüge ausgelegt sein müssen.

$$w_s = \sin \alpha \approx \tan \alpha = \pm s \text{ für kleinen Winkel } \alpha$$

$w_s$  .... spezifischer Steigungswiderstand [‰]

$\alpha$  .... Steigungswinkel [°]

$s$  .... Steigung [‰]

#### 1.2.4 Krümmungswiderstand $w_b$

Der Krümmungswiderstand ist aufgrund der Tatsache, dass ein Schienenfahrzeug kein Differential wie ein Straßenfahrzeug besitzt, sondern die Räder über einen Radsatz miteinander verbunden sind und somit die gleiche Drehzahl haben, erklärbar. Der Widerstand entsteht durch Längs- und Quergleitvorgänge und ist vom Radius des durchfahrenen Bogens, der Spurweite, dem Achsabstand und dem Reibbeiwert abhängig. Bei großen Radien, über 1000 m, kann der Krümmungswiderstand vernachlässigt werden. Bei kleineren Bogenhalbmessern, wie sie zum Beispiel bei der Straßenbahn auftreten (Radien bis zu 20 m), muss dieser Widerstand berücksichtigt werden.

$$w_b = \frac{650}{R - 55} \text{ für } R \geq 300m$$

$$w_b = \frac{500}{R - 30} \text{ für } R \leq 300m$$

$w_b$  .... spezifischer Krümmungswiderstand [‰]

$R$  .... Bogenradius [m]

#### 1.2.5 Beschleunigungswiderstand $w_p$

Der Beschleunigungswiderstand berücksichtigt den Trägheitswiderstand bei der Beschleunigung. Er ist abhängig von der zu beschleunigenden Masse, der Fahrzeugbeschleunigung und dem Verhältnis der rotierenden zu translatorisch bewegten Massen.

$$w_p = \pm \frac{p \cdot \beta \cdot 1000}{g}$$

$w_p$  .... spezifischer Beschleunigungswiderstand [‰]

$p$  .... Beschleunigung [ $m/s^2$ ]

$\beta$  .... Faktor zur Berücksichtigung der rotierenden Masse [1]

$g$  .... Erdbeschleunigung [ $m/s^2$ ]

### 1.2.6 Bremswiderstand $w_{br}$

Der Bremswiderstand (Klotzbremsen) wird aus dem Bremsausmaß, welches das Verhältnis von gebremsten zu ungebremsten Achsen angibt, dem Gleitreibungsbeiwert zwischen Rad und Bremsklotz und etwaigen zusätzlichen Drücken durch andere Bremssysteme berechnet.

$$w_{br} \leq b \cdot f_g + \frac{\Delta B}{Q}$$

$w_{br}$  .... spezifischer Bremswiderstand [‰]

$b$  .... Bremsausmaß, Verhältnis gebremste Achsen zu alle Achsen [‰]

$f_g$  .... Gleitreibungsbeiwert [1]

$\Delta B$  .... zusätzlicher Bremsdruck [kN]

$Q$  .... Gewichtskraft des Zuges [kN]

Anmerkung: Abschließend sei der Vollständigkeit halber der Weichenwiderstand erwähnt, der für den Verschub eine Rolle spielt.

### 1.2.7 Zugkraftgleichung

Mit diesen auftretenden Widerständen ergeben sich für die Zugkraftgleichung somit zwei maßgebende Fälle. Die Zugkraftgleichung sagt aus, dass die nutzbare Zugkraft im Gleichgewicht mit der Summe der Fahrwiderstände steht. Das Kräftegleichgewicht muss eingehalten werden.

- Für das Anfahren ist die Reibungszugkraft  $Z_R$  entscheidend.

$$Z_R = Q_R \cdot f_g \geq (Q_o + Q_L) \cdot (w' \pm w_s + w_k + w_p)$$

$Q_R$  .... Reibungskraft

$Q_R = Q_L$  .... für Lokomotive [kN]

$Q_R = \rho \cdot (Q_o + Q_L)$  .... für Triebwagen [kN]

$\rho$  .... Verhältnis angetriebene Achsen zu allen Achsen [1]

- Für die Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit ist die Leistungszugkraft  $Z_N$  maßgebend.

$$Z_N = \frac{N}{v} \geq (Q_o + Q_L) \cdot (w' + w_v \pm w_s + w_k + (w_{br}))$$

### 1.2.8 Bremsweg

Für die Berechnung des Bremsweges eines Zuges ist es sinnvoll, eine Energiebetrachtung anzustellen. Durch Gleichsetzen der kinetischen Energie des Zuges mit der Arbeit der Widerstandskräfte kann durch Umformung der Bremsweg ermittelt werden.

$$\frac{m \cdot v^2}{2} = Q \cdot \Sigma W \cdot l_{br} \quad \text{mit} \quad m = \frac{Q \cdot b}{g}$$

$$l_{br} = \frac{v^2 \cdot b}{2 \cdot g \cdot \Sigma W}$$

$l_{br}$  .... Bremsweg [m]

Bei Zügen mit großen Geschwindigkeiten kommt es zu langen Bremswegen. Wenn diese Bremswege länger sind als die Sichtweite muss zur Vermeidung einer Kollision ein Sicherungssystem eingeführt werden (siehe Kap. B-3). Es ist jedoch zu beachten, dass für alle Schienenfahrzeuge der Bremsweg mit abnehmender Reibung (durch nasse oder verschmutzte Schienen oder Räder) zunimmt. Weiters ist er vom Bremssystem und der Anzahl der gebremsten Achsen oder Räder abhängig. (vgl. zu diesem Kap. [14], [15])

### 1.3 Zugmodelle

Im Prinzip gibt es zwei unterschiedliche Arten von Zugmodellen. Einerseits die Lok mit dahinter gespannten Wagen und andererseits einen Triebwagen, dessen Antriebsteil nicht abgekoppelt werden kann. Beim Lok-Wagen-System sind nur die Achsen der Lokomotive angetrieben, jedoch meist alle Achsen gebremst. Beim Triebwagen sind entweder alle oder ein Teil der Achsen, über die gesamte Garnitur verteilt, angetrieben und gebremst. Diese beiden Systeme können unterschiedlich zusammengestellt werden.

#### 1.3.1 Lok-Wagen-Kombinationen

Die einfachste und meist verbreitete Form der Zug und Wagen Kopplung ist die Zusammenschließung von einer Lok mit einem oder mehreren Wagen, die hinter die Lok gespannt werden.



Abb. 5: Eine Lok mit Wagen

Quelle: Diatel, Jürgen, Eigenerarbeitung, April 2006

Für den Fall das die Masse der Wagen zu groß für eine Lok ist, bzw. eine Lok nicht die nötige Zugkraft übertragen kann (zu geringe Leistung, oder zu geringe Zuggewichtskraft) besteht die Möglichkeit zwei Loks im Tandembetrieb vor die Wagen zu stellen.



Abb. 6: Zwei Loks mit Wagen (Tandemmodell)  
Quelle: Diatel, Jürgen, Eigenerarbeitung, April 2006

Eine andere Art der Doppeltraktion (zwei Loks werden in einem Verband verwendet) ist das Aufteilen der Lok auf den vorderen und hinteren Wagenverband. Es besteht kein Unterschied in der Leistung dieser Kombination im Vergleich zum Tandembetrieb, jedoch ist dadurch die Chance gegeben, die Bahn ohne Schleifenfahrt in die Gegenrichtung zu bewegen.

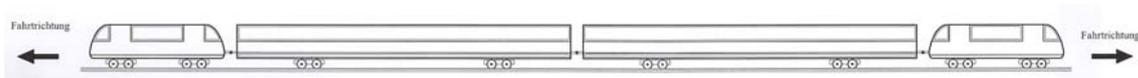


Abb. 7: Loks an beiden Enden, dazwischen Wagen  
Quelle: Diatel, Jürgen, Eigenerarbeitung, April 2006

### 1.3.2 Triebwagen

Für das Modell Triebwagen stehen zwei Möglichkeiten zur Verfügung. Einerseits ist dies die auch im ÖPNV übliche Variante der vollständigen Garnitur (z.B. ULF in Wien).

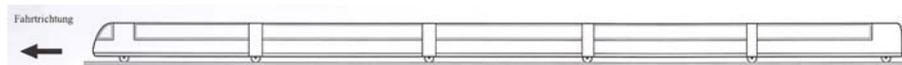


Abb. 8: Ein gesamter Triebwagen  
Quelle: Diatel, Jürgen, Eigenerarbeitung, April 2006

Andererseits ist auch die Zusammenfügung zweier halber Garnituren denkbar (z.B. zwei Niederflurwagen ULF Typ A in Wien). Diese Alternative hat den Vorteil, auch in die Gegenrichtung fahren zu können ohne eine Schleife zu benötigen. Die Voraussetzung um diesen Betrieb zu ermöglichen ist eine Verbindung zwischen den beiden Richtungsgleisen.



Abb. 9: Zwei halbe Triebwagen  
Quelle: Diatel, Jürgen, Eigenerarbeitung, April 2006

#### 1.3.2.1 Zugkraftdiagramme

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die ungleichen Zugkraftfunktionen und Widerstände verschiedener Triebwagen und Lok-Wagen-Systeme. Um deren Betriebseignung

abschätzen zu können, werden zusätzlich unterschiedliche Widerstandskombinationen grafisch dargestellt. Nachdem es beliebig viele differierende Zusammensetzungen gibt, sind Vereinfachungen und Verknüpfungen im Bereich des Fahrzeugwiderstandes vorgenommen worden. Exemplarisch werden die Zugkraftdiagramme von jeweils fünf unterschiedlichen Triebfahrzeugen und Lokomotiven demonstriert. In jeweils einem Diagramm sind alle Zugkraftlinien eines Zugmodells dargestellt. Weiters erfolgt eine Unterscheidung in leere und voll beladene Fahrzeuge, womit in Summe vier Diagramme entstehen. Die technischen Daten werden folgendermaßen angenommen (Anm.: 1,0 t ~ 10,00 kN):

### Triebfahrzeug

- 6 Achsen bzw. 12 Räder
- Gewichtskraft  $Q$  des leeren Fahrzeugs beträgt 420,00 kN
- Leistung  $N$  der Motoren 120 kW pro Achse bzw. 60 kW pro Rad

### Lok

- 2 Achsen
- Gewichtskraft  $Q_L$  der Lok beträgt zwischen 150,00 – 300,00 kN
- Leistung  $N$  der Lok zwischen 120 – 240 kW

### Wagen

- 2 Drehgestelle, 4 Achsen
- Gewichtskraft  $Q_W$  des leeren Wagens beträgt 180,00 kN

Für beide Systeme wird mit einem Reibbeiwert  $f_g = 0,25$  gerechnet.

Im Fall des Triebfahrzeugs wird die Anzahl der angetriebenen Achsen variiert ( $\rho \neq \text{const.}$ <sup>3</sup>). Beim Lok-Wagen-System sind sowohl die Gewichtskraft als auch die Leistung der Lok bei den einzelnen Beispielen verschieden.

---

<sup>3</sup>  $\rho$  ist das Verhältnis der angetriebenen Achsen zu allen Achsen

Die angenommene maximale Nutzlast resultiert aus der Beschränkung der Achslasten mit 120,00 kN und den Eigengewichten der Systeme. Zur besseren Vergleichbarkeit ist für beide Zugmodelle eine Nutzlast  $Q_N$  von 300,00 kN vorgesehen.

- Triebwagen

$$\text{Achslast} = \frac{Q_T + Q_N}{\text{Achszahl}} = \frac{420,00 + 300,00}{6} = 120,00 \text{ kN}$$

- Lokomotive

$$\text{Achslast} = \frac{Q_L}{\text{Achszahl}} = \frac{240,00}{2} = 120,00 \text{ kN}$$

- Wagen

$$\text{Achslast} = \frac{Q_W + Q_N}{\text{Achszahl}} = \frac{180,00 + 300,00}{4} = 120,00 \text{ kN}$$

Der Anwendungsfall  $\rho = 0,50$  entspricht einerseits dem Modell eines gesamten Triebwagens, bei dem die Hälfte der Achsen (oder Räder) angetrieben sind. Andererseits kann dieses Modell auch als Kopplung zweier halber Triebwagen aufgefasst werden, mit vollständig angetriebenen Achsen (oder Räder) einer Hälfte. Beim Lok-Wagen System kann die höchste Zugkraftlinie im Diagramm als Beispiel des Zugmodells mit zwei Lokomotiven, jeweils mit den technischen Werten der schwächsten Lok, betrachtet werden. Dies entspricht dem Modell des Tandembetriebs.

Die nachstehenden Tabellen zeigen die gewählten Fallbeispiele.

**Lok - Wagen ohne Ladung**

Beispiel Nr.	Gewichtskraft Lok $Q_L$ [kN]	Gewichtskraft Wagen $Q_W$ [kN]	Leistung N [kW]	$\Sigma$ Gewichtskräfte $Q_{leer}$ [kN]
1	150,00	180,00	120	330,00
2	180,00	180,00	140	360,00
3	210,00	180,00	170	390,00
4	240,00	180,00	200	420,00
5	2x150,00	180,00	2x120	480,00

**Lok - Wagen mit Ladung**

Beispiel Nr.	$\Sigma$ Gewichtskräfte $Q_{leer}$ [kN]	Nutzlast $Q_N$ [kN]	Leistung N [kW]	$\Sigma$ Gewichtskräfte $Q_{voll}$ [kN]
1	330,00	300,00	120	630,00
2	360,00	300,00	140	660,00
3	390,00	300,00	170	690,00
4	420,00	300,00	200	720,00
5	480,00	300,00	2x120	780,00

Tab. 4: Fallbeispiele Lok-Wagen-System  
 Quelle: Diatel, Jürgen, Eigenerarbeitung, April 2006

**Triebwagen ohne Ladung**

Beispiel Nr.	Gewichtskraft Triebw. $Q_T$ [kN]	angetriebene Achsen (Räder) [1]	$\rho$ [1]	Leistung N [kW]	$\Sigma$ Gewichtskräfte $Q_{\text{leer}}$ [kN]
1	420,00	2 (4)	0,33	240	420,00
2	420,00	3 (6)	0,50	360	420,00
3	420,00	4 (8)	0,67	480	420,00
4	420,00	5 (10)	0,83	600	420,00
5	420,00	6 (12)	1,00	720	420,00

$\rho$  .... Verhältnis angetriebene Achsen zu alle Achsen

**Triebwagen mit Ladung**

Beispiel Nr.	$\Sigma$ Gewichtskräfte $Q_{\text{leer}}$ [kN]	angetrieben Achsen (Räder) [1]	$\rho$ [1]	Leistung N [kW]	Nutzlast $Q_N$ [kN]	$\Sigma$ Gewichtskräfte $Q_{\text{voll}}$ [kN]
1	420,00	2 (4)	0,33	240	300,00	720,00
2	420,00	3 (6)	0,50	360	300,00	720,00
3	420,00	4 (8)	0,67	480	300,00	720,00
4	420,00	5 (10)	0,83	600	300,00	720,00
5	420,00	6 (12)	1,00	720	300,00	720,00

$\rho$  .... Verhältnis angetriebene Achsen zu alle Achsen

Tab. 5: Fallbeispiele Triebwagen  
Quelle: Diatel, Jürgen, Eigenerarbeitung, April 2006

Weil die Widerstände ebenso wie die Zugkräfte willkürlich verknüpft werden können, sind ebenfalls einige beispielhafte Zusammenstellungen angeführt. Ausgangsbasis ist die Variation von lediglich zwei Widerständen, dem Steigungs- und dem Krümmungswiderstand. Diese beiden werden in fünf Kombinationen dargestellt, wobei nur die Summen und nicht die Einzelwerte ausschlaggebend sind. In den Abbildungen 10-13 tragen die Widerstandsfunktionen den Summenwert als Bezeichnung und können folgendermaßen aufgelistet werden:

Berechnung	Bezeichnung	Variante 1		Variante 2		Variante 3	
		$w_s$	$w_b$	$w_s$	$w_b$	$w_s$	$w_b$
$\Sigma w_s + w_b = 0$	$\Sigma 0$	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
$\Sigma w_s + w_b = 25$	$\Sigma 25$	12,5	12,5	25,0	0,0	5,0	20,0
$\Sigma w_s + w_b = 50$	$\Sigma 50$	25,0	25,0	50,0	0,0	10,0	40,0
$\Sigma w_s + w_b = 75$	$\Sigma 75$	37,5	37,5	75,0	0,0	25,0	50,0
$\Sigma w_s + w_b = 100$	$\Sigma 100$	50,0	50,0	100,0	0,0	40,0	60,0

Tab. 6: Widerstandssummen, Werte in ‰

Quelle: Diatel, Jürgen, Eigenerarbeitung, April 2006

Die Widerstände sind mit 50 ‰ beschränkt. Für den Steigungswiderstand  $w_s$  entspricht dies auch einer Steigung von 50 ‰. Beim Krümmungswiderstand  $w_b$  tritt dieser Wert bei einer Fahrt im Bogen mit einem Radius von 40 m auf (siehe Kap. B-1.2).

Für den Grundwiderstand  $w'_m$  kommen je nach Zugmodell nachstehende Werte zur Anwendung

- Triebwagen  $w'_m = 4$  ‰
- Lok – Wagen  $w'_m = 4,5$  ‰

Aufgrund des Einflusses des Wagens auf das Gesamtsystem wird im zweiten Fall ein höherer Wert angenommen.

Die Abweichung vom linearen Anstieg in den Widerstandsfunktionen ist auf den Luftwiderstand zurückzuführen. Für die Berechnung des Luftwiderstandes  $w_v$  wird von der im Kap. B-1.2 erläuterten Berechnungsformel Gebrauch gemacht<sup>4</sup>.

Triebwagen	$w_v$	$w_v$	$w_v$	$w_v$
	v=0 km/h	v=50 km/h	v=70 km/h	v=80 km/h
$Q_{\text{leer}}$	0,0	2,6	4,4	5,5
$Q_{\text{voll}}$	0,0	1,5	2,6	3,2

Lok - Wagen	$w_v$	$w_v$	$w_v$	$w_v$
	v=0 km/h	v=50 km/h	v=70 km/h	v=80 km/h
$Q_{\text{leer}}$	0,0	4,6	7,8	9,8
$Q_{\text{voll}}$	0,0	2,6	4,4	5,5

Tab. 7: Luftwiderstände, Werte in ‰

Quelle: Diatel, Jürgen, Eigenerarbeitung, April 2006

Die Unterschiede bei den leeren und vollen Gewichtskräften ergeben sich aus der Darstellungsweise der Widerstände in Promille in den Abbildungen 10-13. Demzufolge gehen in die Berechnung die Gewichtskräfte ein (siehe Kap. B-1.2). Obwohl für das Lok – Wagen System unterschiedliche Lok-Gewichtskräfte betrachtet werden, wird jeweils nur ein Wert (Mittelwert) für jede Geschwindigkeit angegeben.

In Bereichen geringer Geschwindigkeiten (10 – 20 km/h) wird zusätzlich der Beschleunigungswiderstand  $w_p$  mit 56 ‰ (punktierte Linien) berücksichtigt<sup>5</sup>. Die Berechnung erfolgt mit einer Anfahrbeschleunigung von 0,50 m/s<sup>2</sup>. Diese Kurven sind ausschließlich für das Anfahren der Straßenbahn relevant. In den Diagrammen tragen sie dieselbe Bezeichnung wie die Widerstandslinien, die für die Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit maßgeblich sind.

<sup>4</sup> Triebwagenfläche:  $A \approx 7 \text{ m}^2$ ,  $c_w = 0,45$ ,  $c_{wr} = 0,165$ ,  $n = 0$ ,  $m = 2$

Lokfläche:  $A_L \approx 8 \text{ m}^2$ , Wagenfläche:  $A_W = 8,5 \text{ m}^2$ ,  $c_w = 0,45$ ,  $c_{wr} = 0,165$ ,  $n = 1$ ,  $m = 2,7$

<sup>5</sup>  $\beta = 1,10$

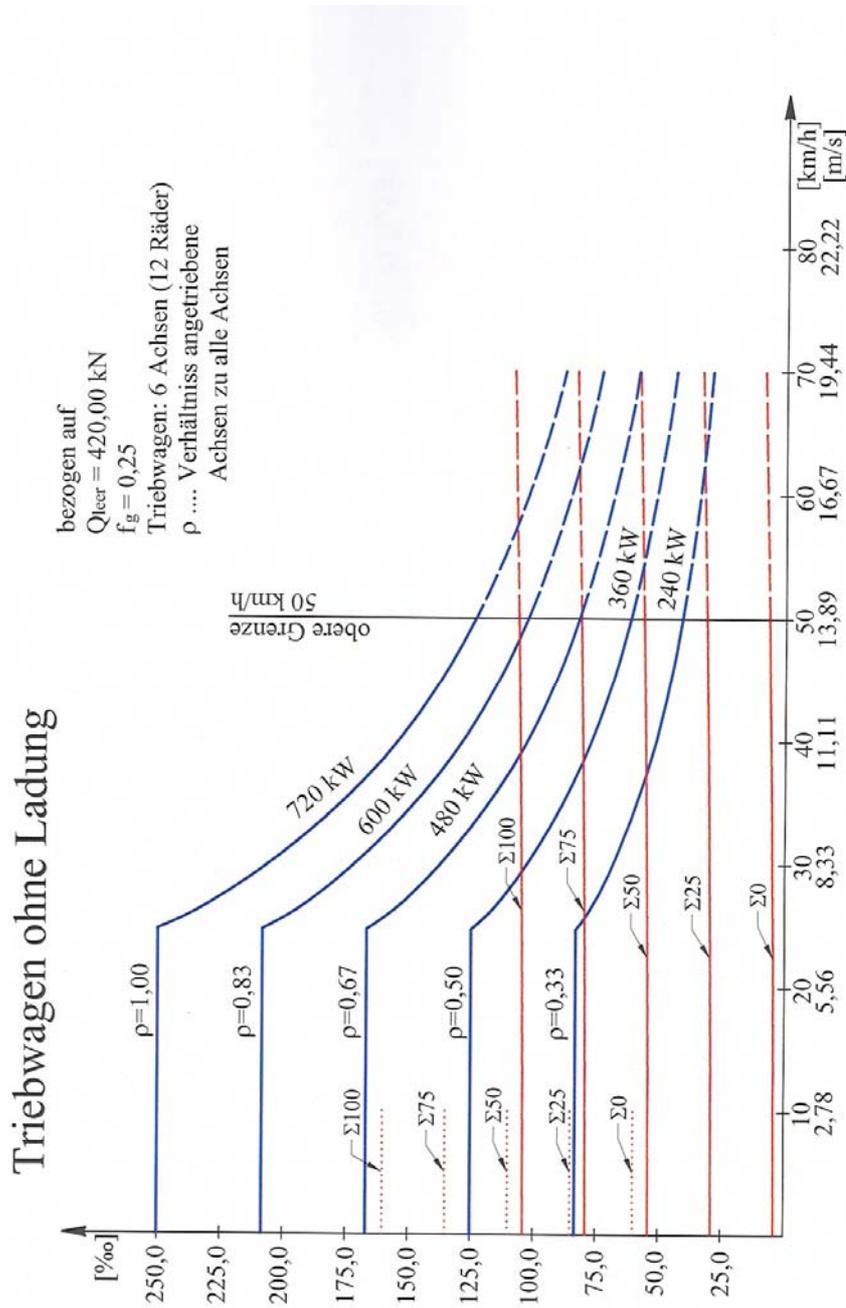


Abb. 10: Zugkraftdiagramme Triebwagen ohne Ladung  
 Quelle: Diatel, Jürgen, Eigenerarbeitung, April 2006

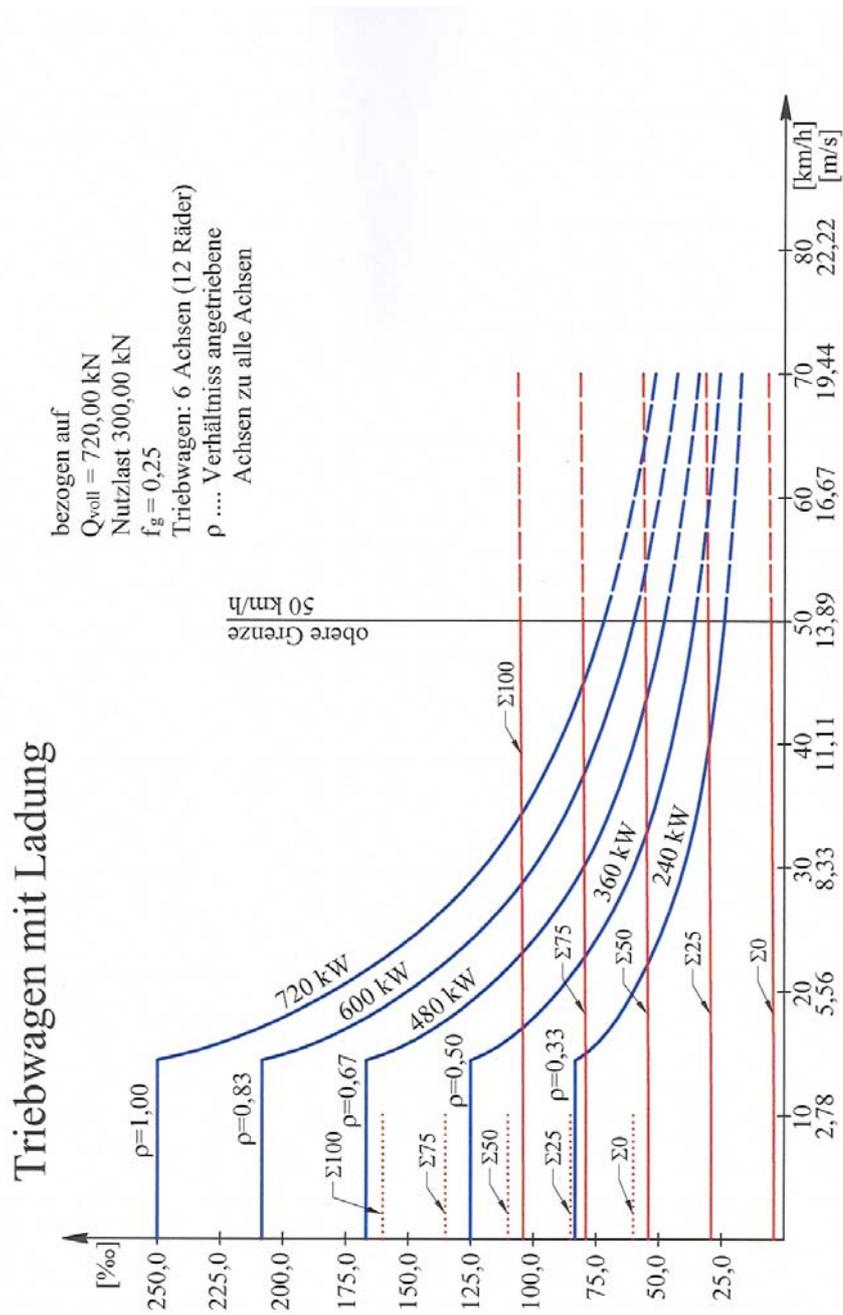


Abb. 11: Zugkraftdiagramme Triebwagen mit Ladung  
 Quelle: Diatel, Jürgen, Eigenerarbeitung, April 2006

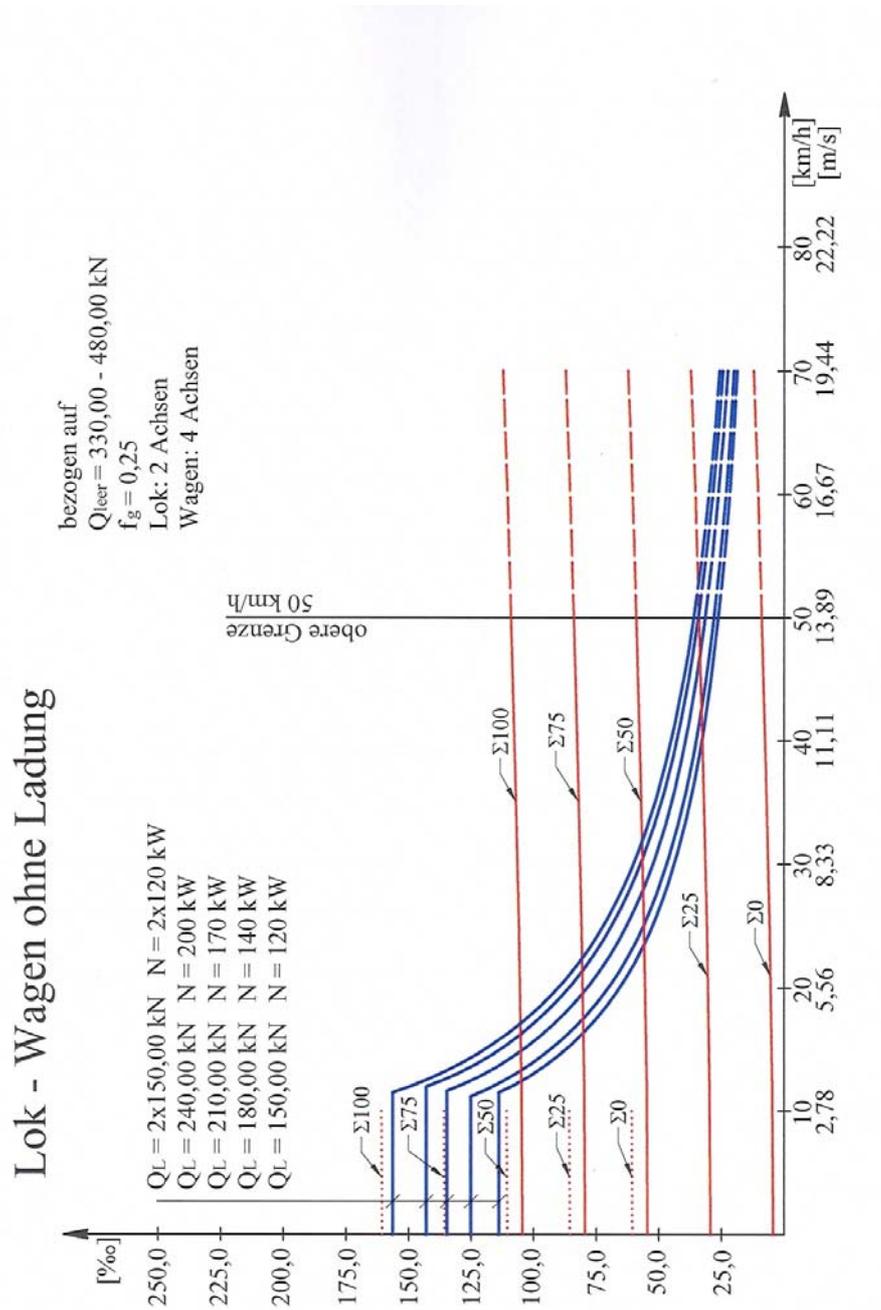


Abb. 12: Zugkraftdiagramme Lok-Wagen-System ohne Ladung  
 Quelle: Diatel, Jürgen, Eigenerarbeitung, April 2006

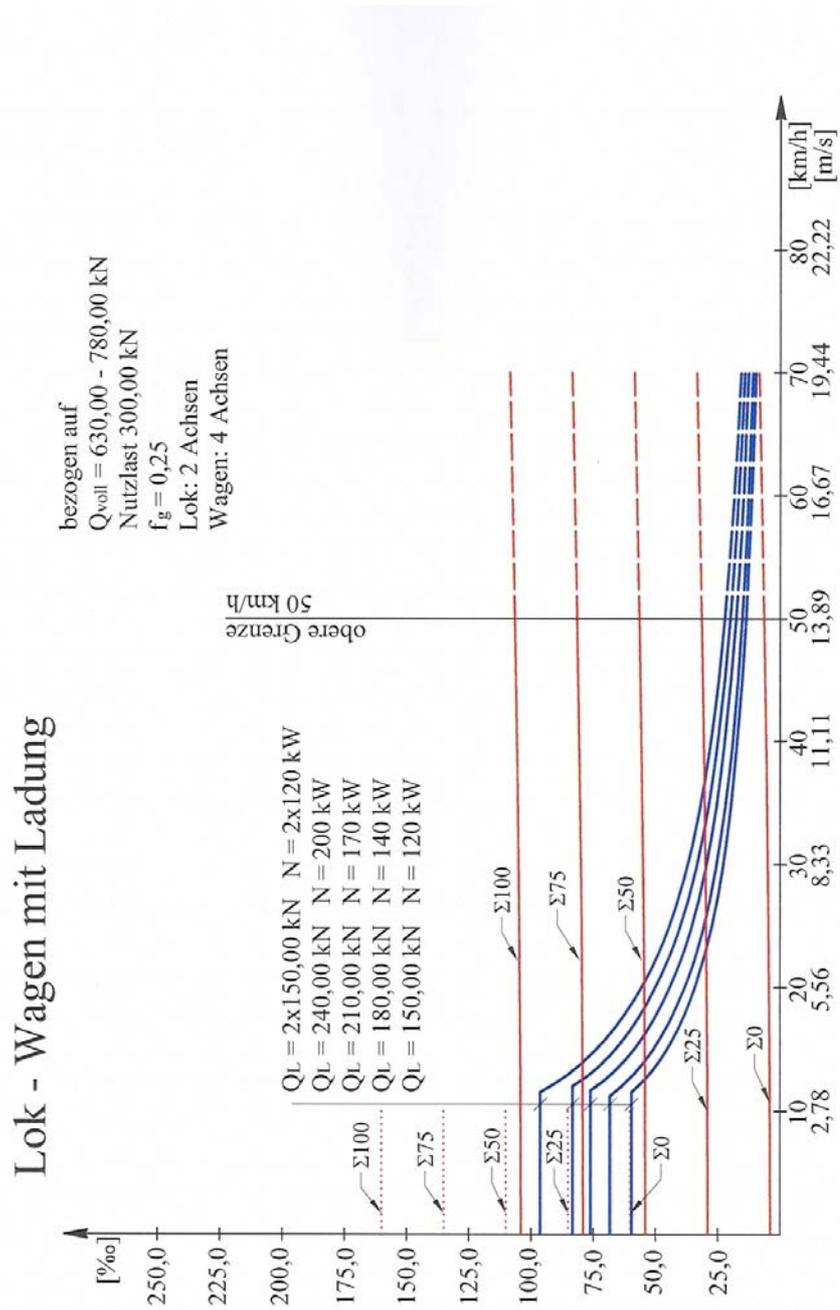


Abb. 13: Zugkraftdiagramme Lok-Wagen-System mit Ladung  
 Quelle: Diatel, Jürgen, Eigenerarbeitung, April 2006

**Triebwagen ohne Ladung**

	$\rho = 0,33$	$\rho = 0,50$	$\rho = 0,67$	$\rho = 0,83$	$\rho = 1,00$
$\Sigma w_s + w_b = 0$	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
$\Sigma w_s + w_b = 25$	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
$\Sigma w_s + w_b = 50$	37,2	50,0	50,0	50,0	50,0
$\Sigma w_s + w_b = 75$	25,6	38,4	50,0	50,0	50,0
$\Sigma w_s + w_b = 100$	nicht möglich	29,3	39,0	48,3	50,0

mögliche Geschwindigkeit [km/h], obere Grenze 50 km/h  
 $\rho$  ... Verhältnis angetriebene Achsen zu alle Achsen

	$\rho = 0,33$	$\rho = 0,50$	$\rho = 0,67$	$\rho = 0,83$	$\rho = 1,00$
$\Sigma w_s + w_b =$	0	50	100	100	100

Anfahren möglich bis,  $\Sigma w_s + w_b$  [%oo]

**Triebwagen mit Ladung**

	$\rho = 0,33$	$\rho = 0,50$	$\rho = 0,67$	$\rho = 0,83$	$\rho = 1,00$
$\Sigma w_s + w_b = 0$	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
$\Sigma w_s + w_b = 25$	39,9	50,0	50,0	50,0	50,0
$\Sigma w_s + w_b = 50$	22,2	32,8	43,5	50,0	50,0
$\Sigma w_s + w_b = 75$	15,0	22,8	30,1	37,5	44,8
$\Sigma w_s + w_b = 100$	nicht möglich	17,0	23,1	28,7	34,3

mögliche Geschwindigkeit [km/h], obere Grenze 50 km/h  
 $\rho$  ... Verhältnis angetriebene Achsen zu alle Achsen

	$\rho = 0,33$	$\rho = 0,50$	$\rho = 0,67$	$\rho = 0,83$	$\rho = 1,00$
$\Sigma w_s + w_b =$	0	50	100	100	100

Anfahren möglich bis,  $\Sigma w_s + w_b$  [%oo]

Tab. 8: Geschwindigkeitsgrenze Triebwagen mit und ohne Ladung  
 Quelle: Diatel, Jürgen, Eigenerarbeitung, April 2006

**Lok - Wagen ohne Ladung**

	$Q_L = 150$	$Q_L = 180$	$Q_L = 210$	$Q_L = 240$	$2xQ_L = 300$
$\Sigma w_s + w_b = 0$	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
$\Sigma w_s + w_b = 25$	40,1	42,5	46,9	50,0	50,0
$\Sigma w_s + w_b = 50$	23,5	25,1	27,9	30,4	31,8
$\Sigma w_s + w_b = 75$	16,3	17,5	19,5	21,3	22,4
$\Sigma w_s + w_b = 100$	12,4	13,3	14,9	16,2	17,1

mögliche Geschwindigkeit [km/h], obere Grenze 50 km/h

	$Q_L = 150$	$Q_L = 180$	$Q_L = 210$	$Q_L = 240$	$2xQ_L = 300$
$\Sigma w_s + w_b =$	50	50	50	75	75

Anfahren möglich bis,  $\Sigma w_s + w_b$  [‰]

**Lok - Wagen mit Ladung**

	$Q_L = 150$	$Q_L = 180$	$Q_L = 210$	$Q_L = 240$	$2xQ_L = 300$
$\Sigma w_s + w_b = 0$	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
$\Sigma w_s + w_b = 25$	23,1	25,7	29,6	33,1	36,5
$\Sigma w_s + w_b = 50$	12,5	14,0	16,2	18,3	20,4
$\Sigma w_s + w_b = 75$	nicht möglich	nicht möglich	nicht möglich	12,5	13,9
$\Sigma w_s + w_b = 100$	nicht möglich				

mögliche Geschwindigkeit [km/h], obere Grenze 50 km/h

	$Q_L = 150$	$Q_L = 180$	$Q_L = 210$	$Q_L = 240$	$2xQ_L = 300$
$\Sigma w_s + w_b =$	nicht möglich	0	0	0	25

Anfahren möglich bis,  $\Sigma w_s + w_b$  [‰]

Tab. 9: Geschwindigkeitsgrenze Lok-Wagen-System mit und ohne Ladung  
 Quelle: Diatel, Jürgen, Eigenerarbeitung, April 2006

In den Abbildungen ist auf der Abszisse die Geschwindigkeit der Zugmodelle angegeben. Der oberer Wert hat die Einheit [km/h] und der untere Wert [m/s]. Auf der Ordinate ist die Zugkraft dargestellt. Abweichend von der Darstellungsweise in [kN] wird hier die Einheit [‰] gewählt. Die Umrechnung erfolgt über folgende Formel:

$$\text{Zugkraft} = \frac{\text{Ordinate} * \text{Zuggewichtskraft}}{1000}$$

*Zugkraft* .... [kN]  
*Ordinate* .... [‰]  
*Zuggewichtskraft* .... [kN]

Diese Betrachtungsweise wird gewählt, um die Widerstandsfunktionen zu vereinheitlichen. Da beim Lok-Wagen-System die Lokomotivgewichtskräfte variieren, entstehen dadurch für jedes der fünf Lokomotivmodelle andere Widerstandskräfte. In Kombination mit der Variation der Widerstandssummen  $\Sigma w_s + w_b$  führt dies auf eine unübersichtliche Abbildung. Für den Triebwagen trifft das nicht zu, da die Gewichtskraft konstant gehalten wird. Um eine bessere Vergleichbarkeit zu erzielen wird allerdings auch in den Abbildungen 10-11 die Division der Zugkraftfunktionen durch die Gewichtskraft vorgenommen.

Die Diagramme zeigen, dass bei einer festgelegten oberen Geschwindigkeitsgrenze von 50 km/h (z.B. in Wien für den gemischten Verkehr durch STVO festgelegt) unterschiedliche Widerstandssummen erreichbar sind. Für den Triebwagen mit Ladung ergeben sich die Grenzwerte 0 ‰ ( $\rho = 0,33$ ) und 50 ‰ ( $\rho = 1,00$ ). Für das Lok-Wagen-System mit Ladung können nur Strecken mit einer Summe von 0 ‰ mit 50 km/h befahren werden. Mit steigenden Widerständen ergibt sich eine geringere maximal mögliche Geschwindigkeit. In Einzelfällen kommt es durch eine zu kleine übertragbare Zugkraft zur Nichtbefahrbarkeit der Strecke. Um eine Verbesserung zu erzielen, kann die Ladung verringert, oder nur auf ausgewählten Gleisabschnitten, bei denen die Grenzen eingehalten sind, gefahren werden.

Die Auswertungen zeigen, dass die hier gewählten Triebwagen besser für den Einsatz an der Geschwindigkeitsgrenze (50 km/h) und bei größeren Widerständen geeignet sind. Für den Fall das mit geringeren Widerständen zu rechnen ist und die Höchstgeschwindigkeit nicht erreicht werden muss, kann auch mit einem Lok-Wagen-System das Auslangen gefunden

---

werden. Dies hängt von der jeweiligen Netzsituation ab, auf der eines der Zugmodelle eingesetzt wird.

## **2 Spurführung (Diatel)**

### **2.1 Historische Entwicklung**

Bevor in dieser Arbeit auf die heutige Situation im Bereich Spurführung eingegangen wird, folgt eine kurze Zusammenfassung der letzten Jahrzehnte von diesem Sektor des Bahnwesens. In den 60er Jahren des 20. Jahrhunderts basierten Forschungen und Untersuchungen nur auf rein geometrischen Zusammenhängen und statischen Belastungen. Um an die tatsächliche Beschaffenheit der Räder und Gleise zu gelangen, mussten Gipsabdrücke abgenommen werden. Die Einhaltung von Grenzmaßen, wie z.B. Spurkranzflankenabmessungen, Klaffmaß und maximale Höhenabweichungen, wurden mit Prüflern gewährleistet. Es wurden allerdings auch die ersten Überlegungen bezüglich verschleißangepasster Radprofile angestellt. In den 70er Jahren hat aufgrund der steigenden Systemgeschwindigkeit ein Umdenkprozess hinsichtlich dynamischer Beanspruchungen begonnen. Zusätzlich lenkte man die Aufmerksamkeit auf die berührgeometrischen Zusammenhänge des Rad/Schiene Kontaktes. Im folgenden Jahrzehnt gelangte man durch Experimente und Simulationen auf den Zusammenhang zwischen der äquivalenten Konizität<sup>6</sup> und dem schwingungstechnischen Fahrverhalten der Bahnen. In den 90er Jahren wurden die Erkenntnisse im Bereich der Berührgeometrie speziell bei engen Bögen, wie sie bei Straßenbahnen vorkommen, vertieft. Mittels händischer Aufzeichnungen konnte das tatsächliche Zusammenwirken von Geometrie und Radsatz ermittelt werden, mit dem Ziel eines stabilen Laufes in der Geraden und geringen Kräften im Bogen. (vgl. zu diesem Kap. [16])

### **2.2 Radaufbau**

Das Rad und die Schiene übernehmen die Funktionen Tragen und Führen. Um diesen Anforderungen und den damit verbundenen Sicherheiten (z.B. Entgleisungssicherheit) zu

---

<sup>6</sup> Die äquivalente Konizität ist der Tangens des Konuswinkel eines konischen Radsatzes, dessen kinematisches Fahrverhalten einem Radsatz mit nicht konischer Lauffläche entspricht. [16]

genügen, sind Eisenbahn- und Straßenbahnräder prinzipiell nach folgender Abbildung aufgebaut.

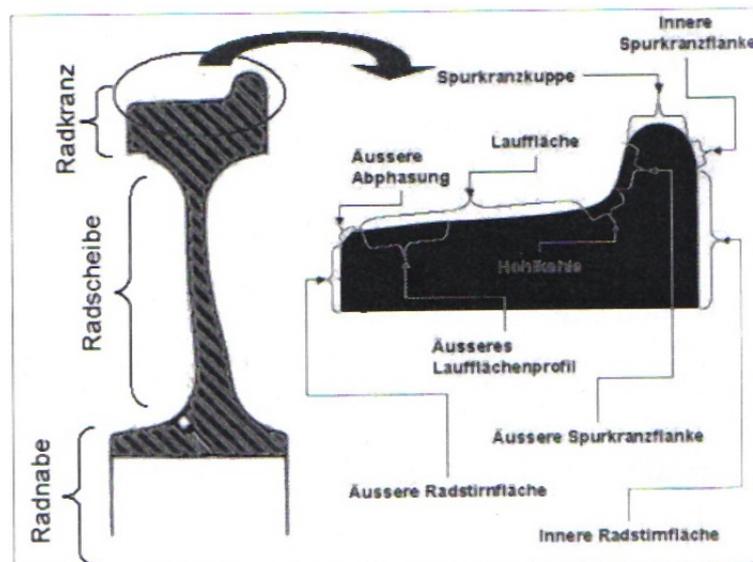


Abb. 14: Radaufbau

Quelle: Müller, Roland: Aktuelle Probleme der Berührgeometrie Rad/Schiene – Glasers Annalen, 127. Jg., 2003, Oktober, S. 496

Die Breite des Radkranzes ist abhängig von der Beanspruchung, die beim Befahren von Herzstücken im Weichenbereich auftreten. Das Rad muss durch entsprechende Restüberdeckung die entstehenden Kräfte aufnehmen können. Die innere Flanke des Spurkranzes muss den Anforderungen bei der Radlenkereinfahrt und der Fahrt durch den Herzstückbereich gebogener Kreuzungsweichen genügen. Für die äußere Flanke ist die Entgleisungssicherheit im Bereich der Weichenzungenspitze und im Bogen entscheidend. Sowohl die Hohlkehle als auch die Lauffläche in Kombination mit der Schienenneigung und der Schienenprofilform sind ausschlaggebend für die Rollradiendifferenz  $\Delta r$  und der damit verbundenen äquivalenten Konizität. Folglich sind diese beiden Radbestandteile auch bedeutend für die auftretenden Kräfte und den dadurch verursachten Verschleiß. Die Abfasung an der Radaußenseite dient als Platzreserve für seitliche Auswalgungen.

In weiterer Folge bestehen zwei Möglichkeiten einzelne Räder miteinander zu verbinden. Eine Möglichkeit ist der Radsatz, bestehend aus zwei Rädern die über eine Achse fix miteinander verbunden sind. Für gewöhnlich werden sie im Eisenbahnwesen als Komponente eines Drehgestells eingesetzt. Vorteilhaft am Fahrverhalten eines Radsatzes ist die selbständige Zentrierung in Gleismitte über den sinusförmigen Wellenlauf. Das Fahrzeug

---

bewegt sich bei gewollten (z.B. Bogen) oder ungewollten (z.B. Schienenstöße, Gleisunebenheiten) Auslenkungen in Querrichtung selbständig in die vorgesehene Gleislage zurück. Zusätzlich ist der Radsatz in der Lage sich in der Bogenfahrt selbständig einzudrehen. Der Nachteil besteht allerdings aus vorhandenen Längs- und Querkraftschlusskräften, die in Folge einen Leistungsverlust und Verschleiß bewirken. Ferner weist der Radsatz eine Höchstgeschwindigkeitsgrenze<sup>7</sup> auf, bei deren Überschreitung eine Entgleisung auftritt. Als Alternative zum Radsatz existiert das Radpaar das aus der Entkopplung der Drehzahl der beiden Räder entsteht. Im Gegensatz zum Radsatz weist es durch das Fehlen der Zwangskräfte bei der Fahrt in der Geraden einen geringeren Verschleiß auf. Ein weiterer Vorteil besteht im besseren Fahrverhalten bei sehr kleinen Bogenradien. Allerdings geht durch die Loslösung der Kopplung der Räder die selbständige Eindrehung im Bogen verloren. Dies bewirkt einen erhöhten Verschleiß in der Bogenfahrt. Es existiert keine Höchstgeschwindigkeitsgrenze. (vgl. zu diesem Kap. [16], [17])

### 2.3 Schienenprofile

Neben zahlreichen Varianten existieren zwei verschiedene Schienenarten, die für das Eisenbahnwesen relevant sind.

#### 2.3.1 Rillenschiene

*Definition: „Schienen mit einem Fahrkopf, einem Leitkopf (Rillenkopf) und dazwischen liegender Spurrille sowie einem Steg und einem Fuß sind Rillenschienen. Für Gleise mit Oberflächeneindeckung innerhalb des Gleises werden Rillenschienen verwendet, wenn die Spurrille nicht durch Spurrillenschienen oder einer anderen Einrichtung zusammen mit rillenlosen Schienen freigehalten wird.“*

---

<sup>7</sup> Diese kann nur durch Feder-Dämpfungs-Systeme bis auf 350 km/h erhöht werden

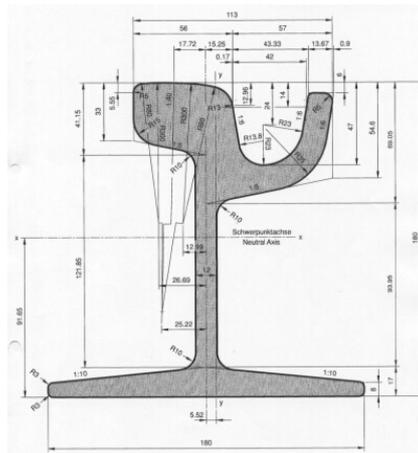


Abb. 15: Rillenschiene RI 59 R13

Quelle: <http://www.gleisbau-online.de/framset.htm>

### 2.3.2 Vignolschiene

*Definition:* „Schienen nur mit Fahrkopf, Steg und Fuß werden als rillenlose (Vignol) Schienen bezeichnet. Die Verwendung dieser Schiene ist grundsätzlich zweckmäßig, sofern nicht Rillenschienen zu verwenden sind.“

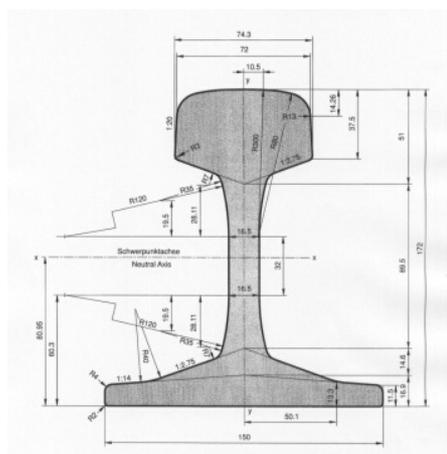


Abb. 16: Vignolschiene UIC 60

Quelle: <http://www.gleisbau-online.de/framset.htm>

Es besteht allerdings die Möglichkeit auch bei einer Vignolschiene eine Spurrille herzustellen. Dies kann durch den zusätzlichen Einbau von Leitschienen (Radlenker), Schutzschienen, Flügelschienen oder Spurrillenschienen bewerkstelligt werden. (vgl. zu diesem Kap. [18])

### 2.4 Auftretende Kräfte

Der Kontakt des Rades mit der Schiene erfolgt unter der Annahme der Ein-Punkt-Berührung. Das bedeutet, dass das Rad alle auftretenden Kräfte nur an einem Punkt auf die

Schiene überträgt. Diese Übertragung erfolgt über die Berührellipse was bedeutet, dass der Kontakt genau genommen kein Punkt ist. Diese Kraftübertragung wäre aufgrund der daraus resultierenden unendlich großen Spannungen nicht möglich, sondern ist nur über einen Bereich realisierbar. Die Kräfte setzen sich aus Zwangs- und Reibungskräften zusammen. Die Zwangskräfte sind:

- Radkraft  $Q$  (Vertikalkraft), bestehend aus der Last die über das Fahrzeug auf die Räder übertragen wird,
- Profelseitenkraft  $F_y$ , oder Geometrieseitenkraft  $S_y$  genannt, die durch die Profilierung des Rades erzeugt wird.

Diese beiden Kräfte können zusammengefasst werden zur resultierenden

- Normalkraft  $N$  (normal auf die Berührebenen).

Die Reibungskräfte wirken in Schienenlängsrichtung (x-Richtung) und normal auf die Gleisachse (y-Richtung). Diese Kräfte werden

- Längsreibungskraft  $T_x$ , oder Längskraftschlusskraft  $F_x$  resultierend aus dem Längsschlupf in x-Richtung
- Querreibungskraft  $T_y$ , oder Querkraftschlusskraft  $F_y$  resultierend aus dem Querschlupf in y-Richtung

genannt. (vgl. zu diesem Kap. [19])

### **3 Sicherungstechnik – Zugbeeinflussungssysteme (Mikschofsky)**

In der heutigen Zeit ist an einen Bahnbetrieb ohne entsprechende Zugsicherung nicht mehr zu denken. Immer höhere Geschwindigkeiten und dichtere Zugfolgen bedingen immer genauere und sicherere Zugsicherungs- u. Zugbeeinflussungssysteme. Genügte am Anfang der Eisenbahngeschichte lediglich das „Fahren auf Sicht“, so werden heute Systeme entwickelt, die alle fahrtrelevanten Informationen über Mobilfunk vom Zug zu einer computerisierten Zentralstation, und von dort wieder zurück an den Zug senden, um einen sicheren Fahrtablauf zu gewährleisten. Prinzipiell unterscheidet man folgende grundlegende Formen:

- Fahren im relativen Bremswegabstand – „Fahren auf Sicht“
- Fahren im Raumabstand – Blocksystem

- Punktförmige Zugbeeinflussung – PZB
- Linienförmige Zugbeeinflussung – LZB

In den folgenden Kapiteln wird auf die heute gängigen Systeme näher eingegangen. (vgl. zu diesem Kap. [15])

### **3.1 Fahren im relativen Bremswegabstand – „Fahren auf Sicht“**

„Fahren auf Sicht“ bedeutet, dass der Triebfahrzeugführer ein Schienenfahrzeug ohne technische Hilfseinrichtungen steuert. Wichtig dabei ist, dass die freie Sicht größer als der Anhalteweg und der voraus liegende Fahrweg genügend ausgeleuchtet ist. Der Anhalteweg ist bei Eisenbahnen das große Problem. Aufgrund der hohen Massen und der geringen Reibbeiwerte (siehe Kap. B-1.1) kann dieser sehr lang werden und ein sicheres Fahren auf der Strecke ist bei höheren Geschwindigkeiten nicht mehr gewährleistet. Deshalb ist „Fahren auf Sicht“ bei Schienenfahrzeugen nur bei geringen Geschwindigkeiten zu vertreten. Lediglich bei Straßenbahnen, die wesentlich geringere Massen haben und dadurch ein besseres Bremsvermögen mit kürzeren Bremswegen aufweisen, ist diese Betriebsform weit verbreitet. Ein weiteres Indiz dafür ist, dass Straßenbahnen den Straßenraum nutzen. Sie müssen sich daher an den herkömmlichen Verkehr anpassen und können ohnehin nur die gesetzlich vorgeschriebene Höchstgeschwindigkeit fahren (z.B.: Wien innerstädtischer Bereich 50 km/h). Es sei denn sie verkehren auf eigenen oder selbständigen Bahnkörpern, wo höhere Geschwindigkeiten erlaubt sind.

Eine Besonderheit tritt bei so genannten „Unterpflasterstraßenbahnen“ (USTRAB) auf. Diese werden auf den unterirdischen Streckenabschnitten mit einem speziellen Signalisierungssystem gesichert. Dieses System ist notwendig, weil durch die Tunnelfahrt die eingesehene Strecke kürzer ist als der Bremsweg. (vgl. zu diesem Kap. [20])

### **3.2 Fahren im Raumabstand – Blocksystem**

Aufgrund des langen Bremsweges von Schienenfahrzeugen können diese nicht uneingeschränkt „auf Sicht“ fahren. Deswegen wird die freie Strecke in so genannte Blockabschnitte unterteilt. Begrenzt werden diese Abschnitte durch Hauptsignale (Blocksignale). Vor den jeweiligen Hauptsignalen befinden sich Vorsignale, die dem Triebfahrzeugführer anzeigen, welche Information am Hauptsignal zu erwarten ist. Der

Abstand zwischen Vor- u. Hauptsignal beträgt ungefähr 1000 Meter, was in etwa dem Bremsweg eines Zuges, der mit 160 km/h unterwegs ist, entspricht. In einem Blockabschnitt darf sich nur ein Zug befinden.

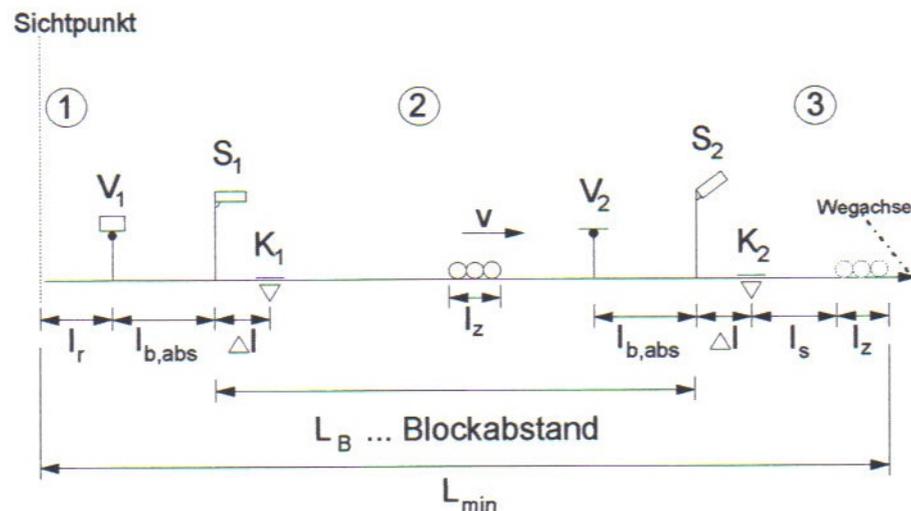


Abb. 17: Streckenblock

Quelle: Zöchner, Christian: Skriptum zur Vorlesung Eisenbahnwesen, Fachschaft Bauingenieurwesen, TU Wien, Jänner 1996

Die Signale werden dabei automatisch durch Kontakte gestellt. Dies bedingt das Vorhandensein einer Gleisfreimeldeanlage, welche kontinuierlich das Frei- und Besetztsein der Blockstrecke registriert. (vgl. zu diesem Kap. [21])

### 3.3 Punktförmige Zugbeeinflussung – PZB/INDUSI

Die punktförmige Zugbeeinflussung unterstützt während der Fahrt den Lokführer, indem sie die korrekte Beachtung der Signale überwacht. Wird zum Beispiel ein rotes Signal überfahren, wird sofort eine Zwangsbremmung ausgelöst. Beim System PZB/INDUSI sind folgende Funktionen realisiert:

- Wachsamkeitsprüfung
- Bremswegüberwachung
- Fahrsperrung

Aufgrund der punktförmigen Verbindung zwischen den Signalen der Strecke und dem Triebfahrzeug müssen sowohl auf der Strecke als auch am Fahrzeug spezielle technische Einrichtungen vorhanden sein. Streckenseitig sind Gleismagnete angebracht, welche entweder

auf 500 Hz, 1000 Hz oder 2000 Hz abgestimmt sind. Diese können abhängig von der Signalstellung wirksam oder unwirksam geschaltet sein. Den verschiedenen Gleismagneten sind folgenden Signalen zugeordnet:

- 1000 Hz – Magnet → am Vorsignal
- 2000 Hz – Magnet → am Hauptsignal
- 500 Hz – Magnet → 250 bis 150 m vor Hauptsignalen

An den Fahrzeugen sind am ersten Drehgestell Fahrzeugmagneten angebracht, die permanent elektromagnetische Wellen in den Frequenzen 500 Hz, 1000 Hz und 2000 Hz abstrahlen. Wenn sich nun ein Triebfahrzeug einem wirksam geschaltetem Gleismagneten nähert, d.h. einem Vorsignal in Warnstellung bzw. einem Hauptsignal in Haltestellung, wird im Gleismagnet eine elektrische Spannung induziert. Dabei wird dem Fahrzeugmagneten Energie entzogen. Dieser Energieverlust wird von Überwachungseinrichtungen am Triebfahrzeug registriert und es werden entsprechende Maßnahmen eingeleitet.

Als Beispiel sei in dieser Arbeit die Wachsamkeitsprüfung erwähnt. Beim Passieren eines Vorsignals muss der Lokführer innerhalb von vier Sekunden eine Wachsamkeitstaste drücken, um zu signalisieren, dass er das Vorsignal erkannt hat um gegebenenfalls eine Bremsung einleiten zu können. Bei nicht erfolgter Bestätigung wird sofort eine Zwangsbremsung gestartet. (vgl. zu diesem Kap. [22], [23])

### **3.4 Linienförmige Zugbeeinflussung – LZB**

Ab Geschwindigkeiten von 160 km/h reichen punktförmige Zugsicherungssysteme nicht mehr aus, da innerhalb des Regelbremsweges von 1000 Metern nicht mehr angehalten werden kann. Es werden daher bei höheren Geschwindigkeiten LZB-Systeme verwendet, durch die der Zug selbsttätig zum Halten gebracht werden kann. Theoretisch ist mit der LZB ein Fahren im Bremswegabstand („Fahren auf Sicht“) möglich. Prinzipiell könnte man auch den Abstand zwischen Vorsignal und Hauptsignal vergrößern um höhere Geschwindigkeiten zu erzielen, doch verringert sich dadurch die Kapazität der Strecke. Die LZB ist ein rechnergestütztes Zugsicherungssystem welches Zugfahrten durch eine lückenlose Überwachung der Geschwindigkeiten sichert und mittels Führerraumanzeigen steuert. Kombiniert man die LZB mit einer automatischen Fahr- und Bremssteuerung (AFB), kann auf den Triebfahrzeugführer

vollständig verzichten werden. Das Fahrzeug wird dann mit den Daten der LZB vollkommen automatisch beschleunigen und bremsen. (vgl. zu diesem Kap. [24], [25], [26])

### **3.5 European Train Control System – ETCS**

Da in den meisten Europäischen Ländern unterschiedliche Zugsicherungs- u. Zugbeeinflussungssysteme zur Anwendung kommen, ist ein grenzüberschreitender Verkehr nicht ohne Schwierigkeiten durchzuführen. Um diesen grenzüberschreitenden Bahnverkehr zu vereinfachen und die Systeme zu vereinheitlichen, beteiligen sich mehrere große Bahngesellschaften sowie alle relevanten Hersteller von Eisenbahnsicherungstechniken an einem europäischen Gemeinschaftsprojekt, dem ERTMS. Das ETCS ist ein Hauptbestandteil dieses Projektes. Es übernimmt unterschiedliche Funktionen und fasst die Sicherung (Signale) und Steuerung (Stellwerke) von Zügen zusammen. Dabei werden, je nach den Ansprüchen von unterschiedlichen Strecken und Eisenbahnverwaltungen, verschiedene ETCS-Levels bestimmt (Level 0 bis 3). Die einzelnen Stufen sind abwärtskompatibel. Ein Zug mit Level 3-Ausrüstung kann auf Strecken mit Level 1-Ausrüstung fahren, umgekehrt jedoch nicht. Im Folgenden werden diese kurz beschrieben.

Das ETCS Level 1 ist ein punktförmiges Zugbeeinflussungssystem und baut auf der vorhandenen Infrastruktur auf. Bei ETCS Level 2 sind keine ortsfesten Streckensignale mehr notwendig. Die Datenübertragung erfolgt kontinuierlich über Funk (GSM-R), was der Betriebsweise der LZB entspricht. Bei ETCS Level 3 wird komplett auf ortsfeste Gleisfreimelder verzichtet. Der Datenaustausch erfolgt wie bei Level 2 über Funk. (vgl. zu diesem Kap. [27], [28])

## **4 Eisenbahntraktion (Mikschofsky)**

Das Wort Traktion (lat.: trahere = ziehen) bedeutet Zug oder ziehende Kraft. Umgelegt auf die Nomenklatur des Eisenbahnwesens bezeichnet die Traktion die kraftbetriebene Fortbewegung mit bzw. von Eisenbahnfahrzeugen. Prinzipiell gliedert sich die Eisenbahntraktion nach deren Antriebsquellen zunächst in Dampflokomotiven, Diesellokomotiven und Elektrolokomotiven. Darüber hinaus sind auch noch weitere Antriebe gebräuchlich, wie zum Beispiel Hybridlokomotiven, die ihre Energie aus zwei verschiedenen Quellen beziehen, z.B. aus einer Oberleitung und aus einem Dieselmotor.

## 4.1 Elektrotraktion

Eine heutzutage sehr weit verbreitete Traktionsart ist die Elektrotraktion. Die Fahrzeuge beziehen dabei den notwendigen Strom aus einer Hochspannungsfahrleitung oberhalb der Lokomotive oder aus einer seitlich neben dem Gleis befindlichen Stromschiene (z.B.: U-Bahn in Wien). Bei einer Oberleitung gelangt der Strom über die Stromabnehmer und diverse elektrische Schalt-, Steuer- und Übertragungsanlagen in die Fahrmotoren. Die erzeugte Energie wird über einen Hohlwellenantrieb auf den Radsatz übertragen. Bei den Elektromotoren unterscheidet man zwischen einem Gleichstrom-, einem Wechselstrom- und einem Drehstrommotor.

Gleichstrommotoren werden wie der Name sagt, mit Gleichstrom betrieben und bestehen aus einem unbeweglichen äußeren Teil, dem Stator, und einem beweglichen Teil, dem Rotor. Die Wicklungen im Stator, welche mit Gleichstrom durchflossen sind, erzeugen ein statisches Magnetfeld. Dieses führt dazu, dass der Rotor von den Polen des Stators angezogen wird. Durch einen so genannten Kommutator (Stromwender) wird im entscheidenden Moment umgepolt, sodass der Stator wieder abgestoßen wird und sich der Rotor weiter dreht. Gleichstrom ist fahrzeugseitig die einfachste Variante, da keine schweren Transformatoren notwendig sind. Darüber hinaus sind Gleichstrommotoren wesentlich kleiner als Wechselstromaggregate. Gleichstromsysteme sind daher für Nahverkehrs- und Straßenbahnen am besten geeignet (siehe Wien). Bei Straßenbahnsystemen hat der Gleichstrom nicht nur wegen der einfacheren Fahrzeuge Vorteile, sondern auch aus sicherheitstechnischen Überlegungen. Ein Hochspannungsoberleitungsnetz über der Straße und zwischen den Gebäuden birgt Sicherheitsrisiken. Bei den Wechselstrommotoren ist der Einphasenwechselstrommotor am meisten verbreitet. Die Funktionsweise ist dabei ähnlich jener des Gleichstrommotors.

Heutiger Stand der Technik sind Drehstromantriebe. Sie gewinnen aus dem Gleichstrom oder einphasigen Wechselstrom der Oberleitung in Frequenzumrichtern den Drehstrom zum Antrieb der Fahrmotoren. Ein weiterer Vorteil ist, dass man die sehr robusten und wartungsarmen Drehstrom-Asynchronmotoren verwenden kann. In den meisten neuen Elektrotriebfahrzeugen sind solche Motoren eingebaut. Größter Nachteil bei der Elektrotraktion ist die Tatsache, dass sich europaweit sehr unterschiedliche Stromsysteme

entwickelt haben und so ein grenzüberschreitender Verkehr nur mit einigem Mehraufwand (Mehrsystemlokomotiven) zu bewältigen ist. (vgl. zu diesem Kap. [13], [29])

## 4.2 Dieseltraktion

Diesellokomotiven werden direkt oder indirekt über Getriebe durch einen Dieselmotor angetrieben. Die Kraftübertragung bei solchen Loks kann mechanisch, hydraulisch oder dieselektrisch ausgeführt werden.

Die mechanische Kraftübertragung ist nur bei Lokomotiven mit geringen Leistungen (weniger als 400 kW) sinnvoll, da darüber die Getriebe nicht mehr zuverlässig einsetzbar sind. Die meist verbreitete Art der Kraftübertragung ist aber der so genannte „Dieselhydraulische Antrieb“. Diesen kann man in allen Leistungsklassen verwenden und er zeichnet sich durch einen hohen Wirkungsgrad aus. Die dritte Möglichkeit, eine Lokomotive mittels Dieselmotor zu betreiben, ist der „Diselelektrische Antrieb“. Dabei wird mit Hilfe eines Dieselmotors ein Generator angetrieben, welcher den Strom für die elektrischen Fahrmotoren erzeugt. Dieser indirekte Antrieb ist notwendig, da Dieselmotoren im Vergleich zu Elektromotoren nicht unter Last anfahren können und nur ein schmales Drehzahlband ausnutzen. Ein weiterer Vorteil ist die robustere Bauweise sowie die vorteilhafte Zugkraftverteilung beim Anfahren. (vgl. zu diesem Kap. [30])

## 4.3 Alternative Antriebssysteme

Weil bei den verschiedenen elektrisch betriebenen, schienengebundenen Verkehrsträgern (Straßenbahn, Stadtbahn, U-Bahn, Regionalbahn, Vollbahn) unterschiedliche Stromsysteme zur Anwendung kommen, überlegt man neue Fahrzeuge mit alternativen Energiequellen zu entwickeln. Fahrzeuge, die mit einem Verbrennungsmotor (siehe Diesellokomotive) angetrieben werden sind zwar flexibel einsetzbar, doch weisen diese, durch deren CO<sub>2</sub>-Emissionen, Nachteile auf. In den nächsten beiden Punkten sind alternative Antriebskonzepte beschrieben.

### 4.3.1 Flüssiggas

Flüssiggas besteht in erster Linie aus Kohlenwasserstoffverbindungen. Die Hauptbestandteile sind Propan und Butan, die als einzelne Verbindungen oder als Gemisch auftreten können. Neben mehreren anderen Anwendungsgebieten wird Flüssiggas auch als

Kraftstoff für Ottomotoren verwendet. Ab den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts verbreitete sich dieser Antrieb in Italien. Seitdem fährt auch die gesamte Autobusflotte der WL mit Flüssiggas. Großer Vorteil ist, dass es umweltfreundlicher als Benzin verbrennt und der Schadstoffausstoß zirka 20% beträgt. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen verringern sich damit um 15% gegenüber herkömmlichen Verbrennungsmotoren. (vgl. zu diesem Kap. [31])

### **4.3.2 Brennstoffzelle**

Eine Brennstoffzelle ist ein Energiewandler, welcher chemische Reaktionsenergie in elektrische Energie umwandelt. Das bekannteste Beispiel ist die Wasserstoff-Sauerstoff-Brennstoffzelle. Durch die Reaktion beider Gase entsteht eine Spannung und somit elektrischer Strom, mit dem Fahrmotoren angetrieben werden können. Diese Technik führt zu einem abgasfreien Antrieb bei dem lediglich Wasserdampf zurückbleibt. In der Raumfahrt und für U-Boot Antriebe wird die Technik der Brennstoffzelle bereits verwendet. Für nahezu jedes andere Verkehrsmittel sind Konzepte und Forschungsarbeiten vorhanden. (vgl. zu diesem Kap. [32], [33])

## **5 Zweisystemfahrzeuge (Mikschofsky)**

Da in dieser Arbeit auch die Möglichkeit berücksichtigt wird, dass eine GSB nicht nur auf einem innerstädtischen Straßenbahnnetz, sondern auch auf der Vollbahn oder Lokalbahn verkehren soll, gewinnt die Gestaltungsweise der Zweisystemfahrzeuge (eventuell Mehrsystemfahrzeuge) enorm an Bedeutung. Wie es der Name bereits verrät, ist ein solches Fahrzeug für zwei oder mehrere Bahnsysteme einsatztauglich. Die unterschiedlichen Eigenschaften und Anforderungen der verschiedenen Bahnen hinsichtlich Spurführung, Traktion und Signaltechnik (Zugsicherung) müssen vom Fahrzeug technisch erfüllt werden. Welche Differenzen dabei auftreten, bzw. wo sie vorkommen, ist in den vorangegangenen Punkten eingehend erklärt.

Ein Pilotprojekt ist in dieser Hinsicht das „Karlsruher Modell“ (siehe Kap. B-5.1). Aufbauend auf den Erkenntnissen dieses Konzepts haben auch einige andere Städte in Europa diese Idee aufgegriffen und sie für ihre Bedürfnisse weiter entwickelt. Selbst in Wien ist in gewisser Weise so ein Fahrzeug bereits in Betrieb, nämlich die Lokalbahn Wien-Baden. Sie nutzt im Stadtgebiet die Infrastruktur der Wiener Straßenbahn vom Karlsplatz bis nach Wien-

Meidling. Anschließend fährt sie auf einem selbstständigen Gleiskörper weiter nach Baden, welcher der Vollbahn sehr ähnlich ist.

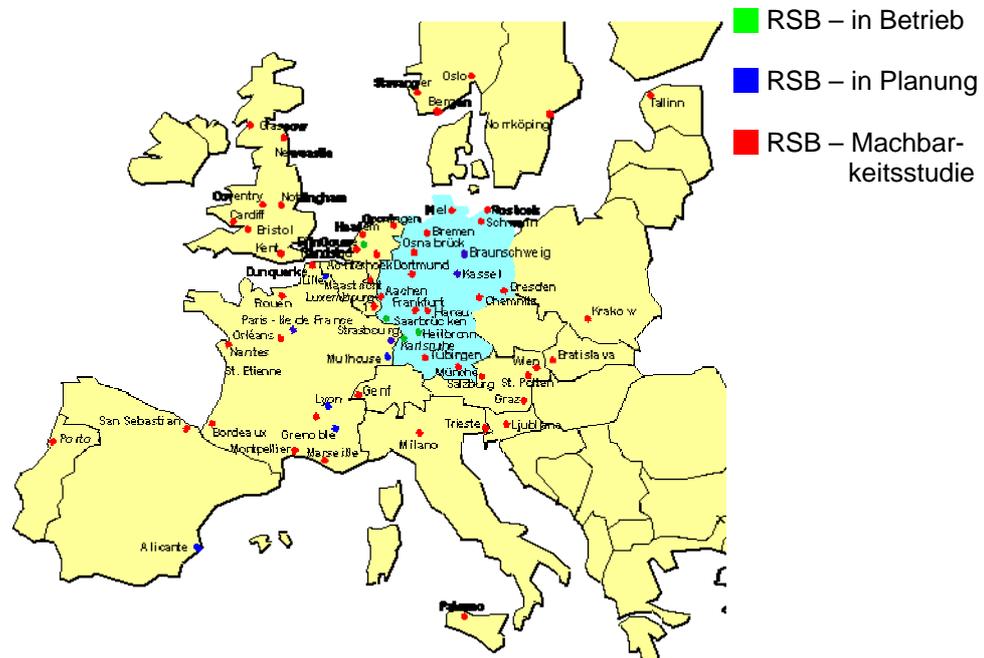


Abb. 18: Zweisystem-Stadtbahnen in Europa  
 Quelle: Transport Technologie-Consult Karlsruhe: [http://www.karlsruhermodell.de/pics/export/tramtrain\\_europa.gif](http://www.karlsruhermodell.de/pics/export/tramtrain_europa.gif), Juni 2004

Zahlreiche Städte in Europa (siehe Abb. 18) sind an der Umsetzung eines solchen Systems interessiert bzw. haben solche bereits in Betrieb. In den folgenden Kapiteln werden nun ein paar Städte und Regionen beschrieben. Es handelt sich dabei allerdings ausschließlich um den Personenverkehr, jedoch können fahrzeugtechnische und betriebliche Rückschlüsse auf den Gütertransport geschlossen werden.

## 5.1 Das Karlsruher Modell

### 5.1.1 Allgemeines

Das Karlsruher Modell ist die Verknüpfung der Straßenbahn und der Eisenbahn zu einer Regionalstadtbahn. Sie verbindet dabei zunächst die Zentren der Städte Karlsruhe und Bretten. Mit Einführung der Regionalstadtbahn hat sich die Fahrzeit zwischen diesen beiden Städten um 15 Minuten verkürzt. Hauptgrund dafür ist vor allem, dass man nun umsteigefrei zwischen den beiden Innenstädten pendeln kann. Der Erfolg dieser ersten Strecke gibt den Betreibern des Projektes Recht und die AVG (Albtal Verkehrsgesellschaft) verzeichnete dabei einen Fahrgastzuwachs von 400%. Aufgrund dieser Zahlen wurde und wird das Regionalstadtbahnnetz im Großraum Karlsruhe ständig erweitert. Dass dieses System gut

funktioniert hat mehrere Gründe. Zum einen eine geschlossene Transportkette, die das zeitaufwendige Umsteigen entfallen lässt und zum anderen einheitliche Tarifsysteme und bequeme, saubere neue Fahrzeuge. Darüber hinaus verkehrt die Regionalstadtbahn sowohl innerstädtisch, als auch außerhalb des Stadtgebietes, immer auf eigenen Fahrwegen, was zu einer Reduzierung der Störungen, bedingt durch andere Verkehrsteilnehmer, führt. Ein sehr wichtiger Faktor ist, dass die Investitionskosten relativ gering gehalten werden konnten, da man die vorhandene Infrastruktur (Straßenbahngleise und DB-Gleise) für den Betrieb der Stadtbahn nutzen kann.

### 5.1.2 Fahrzeuge

Um solch einen Mischbetrieb gewährleisten und betreiben zu können sind entsprechende Fahrzeuge von Nöten, die Kriterien beider Bahnsysteme erfüllen müssen. Aus diesem Grund benötigt ein Fahrzeug zwei verschiedene Fahrzeugzulassungen. Einerseits eine Zulassung nach BOStrab<sup>8</sup> für die Streckenabschnitte auf dem Straßenbahnnetz, andererseits eine nach EBO<sup>9</sup> für jene Abschnitte, die von der Deutschen Bahn betrieben werden. Weiters gibt es verschiedene Randbedingungen, die die unterschiedlichen Stromsysteme betreffen, 15.000 Volt Wechselspannung bei den DB-Gleisen und 750 Volt Gleichspannung bei der Straßenbahn. Außerdem müssen die LNT-Richtlinien, das sind Richtlinien für leichte Nahverkehrs-Triebwagen, die extra für Karlsruhe entwickelt wurden, sowie gewisse Grenzwerte bezüglich Lichtraumprofil, Achslasten, Fahrdrachhöhe, Radprofile, Kurvenradien, Pufferdruck, Bremsweg und Höchstgeschwindigkeit eingehalten werden. In Karlsruhe werden all diese Kriterien durch die neuen Fahrzeuge erfüllt.

---

<sup>8</sup> BOStrab: Bau- u. Betriebsordnung für Straßenbahnen

<sup>9</sup> EBO: Eisenbahnbau- u. Betriebsordnung

## Technische Daten der einzelnen Zweisystemfahrzeuge:

	GT8-100C/2S	GT8-100D/2S-M Regiobistro	GT8-100D/2S-M	GT8-100D/2S-M Panorama
Baujahr	1991/1994	1997	1997/1999	1999-2004
Antriebsleist.	2x280 kW	4x127 kW	4x127 kW	4x127 kW
max. Geschw.	90 km/h	100 km/h	100 km/h	100 km/h
Fahrzeugh.	2,65 m	2,65 m	2,65 m	2,65 m
Fahrzeugl.	37,61 m	37,61 m	37,61 m	37,61 m
Leergewicht	58,6 t	62 t	59,8 t	62 t
Sitzplätze	100	85	100	100
Stehplätze	115	132	123	123

Tab. 10: Technische Daten der Zwei-System-Fahrzeuge Karlsruhe

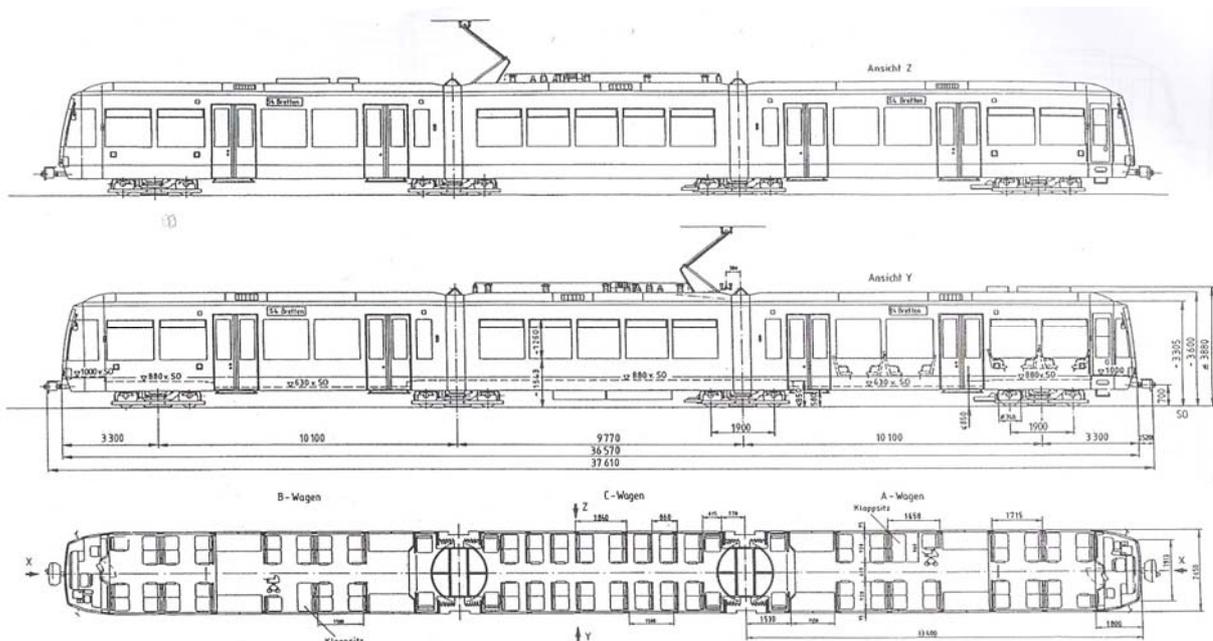
Quelle: <http://www.karlsruher-modell.de/de/technik/vehicle/>

Abb. 19: GT8 – 100D/2S-M

Quelle: Riechers, Daniel: Neue Fahrzeuge für die AVG – Verkehr und Technik, 1997, Nr. 10, S. 434

## 5.1.3 Infrastruktur

Neben den Fahrzeugen spielt auch eine geeignete Infrastruktur eine wichtige Rolle in diesem Modell. Ohne Investitionen ist dieses System nicht realisierbar, doch die notwendigen finanziellen Mittel für Umbaumaßnahmen und Adaptierungen zur Umsetzung des Konzeptes sind geringer, als bei der Entwicklung eines völlig neuen SPNV-Netzes. Wichtige infrastrukturelle Neuinvestitionen sind die so genannten Systemwechselstellen. Diese bilden

den Übergang zwischen der Eisenbahn und der Straßenbahn und umgekehrt. An diesen Punkten schaltet das Fahrzeug automatisch zwischen Wechselstrom und Gleichstrom um. Die gleiche Spurweite ist unabdingbar, da man sonst Drei- oder Vierschienengleise einbauen muss, was zu einer weiteren Kostenerhöhung führen würde. Weiters ändert sich auch die Zuständigkeit der FahrerIn und der FahrdienstleiterIn. Verschiedene Betriebsordnungen (BOStrab, EBO) setzen eine doppelte Fahrerausbildung voraus, da unterschiedliche Signalisierungssysteme und Bordinformationssysteme vorhanden sind. (vgl. zu diesem Kap. [34], [35], [36])

## 5.2 Die Saarbahn

In der Region Saarbrücken wird das Zeitalter der Zweisystemstadtbahn, im Oktober 1997 mit der Eröffnung der ersten Teilstrecke, eingeläutet. Dieser Abschnitt verbindet Saarbrücken mit der französischen Grenzstadt Sarreguemines. Um die technischen Hürden zu überwinden kommen Zweisystemfahrzeuge, wie in Karlsruhe, zum Einsatz. Dabei verkehren sie in der Innenstadt von Saarbrücken auf einer klassischen Straßenbahnstrecke mit Rillenschienen und 750 Volt Gleichstrom und in der Region auf den Gleisen der Deutschen Bahn mit 15.000 Volt Wechselstrom.

Der vorher genannte erste Bauabschnitt gliedert sich prinzipiell in drei Teile. Dabei handelt es sich um eine Neubaustrecke, um die Nutzung vorhandener Gleise sowie um die Reaktivierung stillgelegter Gleise. Dieses Modell mit den drei genannten Komponenten spart Kosten und ermöglicht die Entwicklung eines kostengünstigen Netzes im ganzen Saarland.

Die Fahrzeuge der Saarbahn sind ähnlich konzipiert wie jene in Karlsruhe. Größter Unterschied ist, dass es sich erstmals um ein reines Niederflurfahrzeug handelt, was eine weitere Erhöhung der Attraktivität bewirkt. Sie bestehen aus zwei Endwagen und einem Mittelwagen. Die Endwagen sind niederflurig ausgeführt. Sie sind als klassische Innenstadtwagen, mit vielen Stehplätzen und großen Auffangräumen für rasche Fahrgastwechsel, konzipiert. Der Mittelwagen hingegen ist hochflurig und weist eine hohe Anzahl von Sitzplätzen auf. Fahrzeugzulassungen und Betriebsordnungen laut BOStrab und EBO sind gleich jenen in Karlsruhe. (siehe Kap. B-5.1.2)

	Zweirichtungs- Gelenktriebwagen
Antriebsleistung	8 x 120 kW
Höchstgeschwindigkeit	90 km/h
Fahrzeugbreite	2,65 m
Fahrzeuglänge	37,87 m
Leergewicht	55,5 t
Sitzplätze	96
Stehplätze	147

Tab. 11: Technische Daten Saarbahn

Quelle: Albrecht, Bernd/ Petz, Michael: Zweisystem-Niederflur-Stadtbahnwagen Saarbrücken – Glasers Annalen, 122. Jg., 1998, Sept./Okt., S. 500-501

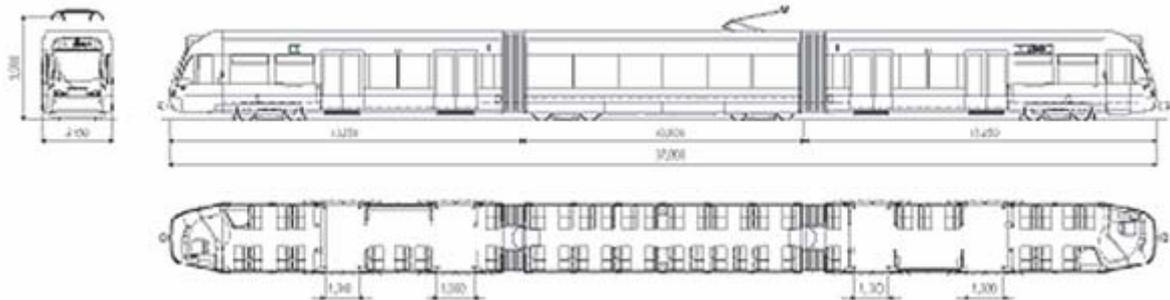


Abb. 20: Typenbild Saarbahn

Quelle: Albrecht, Bernd/ Petz, Michael: Zweisystem-Niederflur-Stadtbahnwagen Saarbrücken – Glasers Annalen, 122. Jg., 1998, Sept./Okt., S. 500

Der ÖPNV-Anteil konnte durch die Einführung der Stadtbahn wesentlich gesteigert werden. Dieser Anstieg der Fahrgastzahlen beruht auf kürzere Fahrzeiten, weniger Umstiege, komfortable Ausstattung, größere Kapazität und einheitliche Fahrpläne und Tarife, für Bus und Bahn. (vgl. zu diesem Kap. [37], [38], [39])

### 5.3 RegioTram Kassel

In Kassel gibt es ähnliche Gründe für die Errichtung eines Zweisystemstadtbahnnetzes wie in Karlsruhe und in Saarbrücken. Die wichtigen regionalen Bahnlinien enden am Kasseler Hauptbahnhof. Um in die Innenstadt zu gelangen sind lange Fußwege oder das Umsteigen in den Bus, bzw. in ein Taxi, notwendig. Das System RegioTram verbindet beide Verkehrsträger. Zentraler Punkt dabei ist der Hauptbahnhof Kassel. Hier ist die Schnittstelle zwischen RegioTram, Bus und Regionalbahn und hier findet auch der Systemwechsel statt. In den Innenstadtbereichen fährt die RegioTram mit 600 Volt Gleichstrom als Straßenbahn,

außerhalb mit 15.000 Volt Wechselstrom auf den Gleisen der Deutschen Bahn. Großer Vorteil des Projektes ist die Tatsache, dass von 122 Kilometern projektiierter Netzlänge lediglich 6 Kilometer neu gebaut werden müssen. Der Rest wird auf bereits vorhandenen Strecken realisiert.

Im RegioTram Netz kommen neue Fahrzeuge zum Einsatz, die mit modernster Technik ausgerüstet sind. Es werden dabei zwei Varianten, ein Elektrohybridfahrzeug und ein Dieselhybridfahrzeug, gebaut um das komplette Netz bedienen zu können. Die beiden Fahrzeugvarianten sind bis auf den Antrieb baugleich. Das Elektrohybridfahrzeug verkehrt auf den elektrifizierten Strecken im Umland und in der Stadt mit dem jeweiligen Stromsystem, während das Dieselhybridfahrzeug sowohl die Innenstadt als auch nicht elektrifizierte Streckenabschnitte bedient. (vgl. zu diesem Kap. [40], [41])

	<b>Elektrohybrid-Fahrzeug</b>	<b>Dieselhybrid-Fahrzeug</b>
Baujahr	2003-2005	2004-2005
Antriebsleistung	4 x 150 kW	4 x 150 kW
Höchstgeschwindigkeit	100 km/h	100 km/h
Fahrzeugbreite	2,65 m	2,65 m
Fahrzeuglänge	36,47 m	36,47 m
Leergewicht	57,5 t	60 t
Sitzplätze	80	90
Stehplätze	152	148

Tab. 12: Technische Daten RegioTram Kassel

Quelle: Hondius, Harry: Neuentwicklung: Regiotram-Fahrzeuge für den Raum Kassel – Stadtverkehr, 47. Jg., 2002, Nr. 5, S. 9

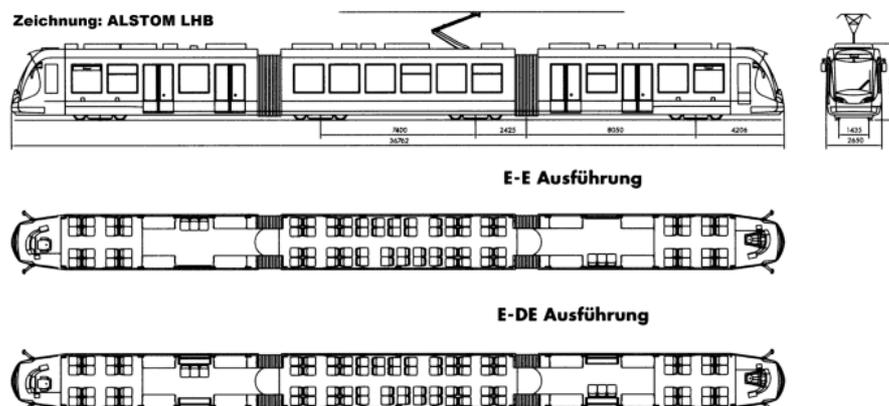


Abb. 21: Typenbild RegioTram

Quelle: Alstom

#### **5.4 „RegioStadtBahn“ Braunschweig**

Anders als in den vorher beschriebenen Fällen hat Braunschweig mit einem erheblichen Problem zu kämpfen. Die Spurweite der regionalen Eisenbahnstrecken (1435 mm) ist nicht mit der Spurweite der Straßenbahn (1100 mm) kompatibel. Hier kann man daher das Konzept der „RegioStadtBahn“ nur mit erhöhtem Aufwand realisieren. Innerstädtische Neubaustrecken werden daher von vornherein mit Normalspur ausgeführt. Alle anderen Strecken, die auch mit der „RegioStadtBahn“ befahren werden sollen, müssen mit Hilfe einer zusätzlichen dritten Schiene auf Normalspur gebracht werden.

Bei der Auswahl der Fahrzeuge hat man sich auf ein Hybridfahrzeug mit dieselektrischem Antrieb geeinigt. Diese Variante ist günstiger als eine rein elektrische, da das Elektrifizieren der Bahnstrecken im Umland unwirtschaftlicher ist. (vgl. zu diesem Kap. [42])

#### **5.5 Rostock**

In Rostock haben die Rostocker Straßenbahn AG und die Connex Regiobahn GmbH ein Gemeinschaftsunternehmen, die Ostseebahn GmbH, gegründet. Ziel dieses neuen Unternehmens ist es, ein Stadtbahnsystem zu entwickeln, welches nach dem Karlsruher Vorbild Straßenbahn und Regionalbahn verknüpft. Die Infrastruktur ist größtenteils vorhanden, es müssen lediglich Verbindungsstrecken zwischen der Eisenbahn und der Straßenbahn neu gebaut werden. (vgl. zu diesem Kap. [43])

#### **5.6 Tram-Train in Mulhouse**

In Frankreich nennt man die Verknüpfung von Straßenbahn und Eisenbahn Tram-Train. Die erste Stadt, in der ein solches Tram-Train-System in Betrieb geht, ist Mulhouse im Elsass. Der Erfolg der Regionalstadtbahn im nahe gelegenen Karlsruhe hat einen erheblichen Einfluss auf die Planungen im Großraum Mulhouse. So werden Pläne für andere Möglichkeiten eines öffentlichen Verkehrsnetzes, etwa ein Trolleybussystem, verworfen. Jeweils an den Stadtgrenzen sind Verknüpfungspunkte angelegt, bei denen die regionalen Bahnstrecken mit den Innenstadtstrecken verbunden werden. Hier ändert sich die Zuständigkeit von SITRAM (Syndicat Intercommunal des Transports de l'Agglomération Mulhouse-Kommunalverband in der Agglomeration Mulhouse) und der Région Alsace und die Traktion. Auf den

Straßenbahnstrecken fahren die Züge mit 750 Volt Gleichspannung und auf den Gleisen der SNCF mit 25.000 Volt Wechselspannung. (vgl. zu diesem Kap. [44])

## **6 Umsetzung in Wien (Diatel)**

Um das System einer GSB in einer Stadt in den öffentlichen Personennahverkehr zu integrieren, müssen alle eisenbahntechnischen und rechtlichen Rahmenbedingungen erfüllt werden. Unter der Voraussetzung, dass der herkömmliche Personenverkehr nicht gestört oder beeinträchtigt wird, muss eine GSB spezifischen Anforderungen gerecht werden, die stark von der jeweiligen städtischen Situation abhängen. Es müssen alle einzelnen Aspekte der Eisenbahntechnik, wie sie bereits in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben wurden, eingehalten werden, um einen sicheren Betrieb zu gewährleisten. Anhand der Situation in Wien soll in dieser Arbeit die Einführung einer GSB in ein bestehendes Straßenbahnnetz und sich daraus ergebene Schwierigkeiten gezeigt werden. (Das bereits im Einsatz befindliche GüterBim-System in Wien dient derzeit nur der internen Versorgung des Betreibers WL, siehe Kap. A-1)

Für die Integration einer Güter befördernden Bahn in Wien ist es notwendig festzulegen, auf welchen Strecken, bzw. auf welchen Bahnen diese GSB verkehren soll. Das Netz der öffentlichen Verkehrsmittel in Wien setzt sich aus unterschiedlichen Systemen zusammen. Diese sind

- Vollbahn (Bahnen der ÖBB)
- WLB
- WL (U-Bahn, U6 und Straßenbahn)

Diese Systeme haben neben unterschiedlichen Betreibern auch unterschiedliche eisenbahntechnische Spezifikationen. In dieser Arbeit soll nicht nur der Betrieb auf dem Netz der PSB untersucht, sondern auch die Ausweitung auf das Umland und die Erschließung der lokalen Gebiete angedacht werden. Dies ist im Hinblick auf den Transport von Gütern von dezentralen Verteilzentren zu innerstädtischen Verkaufsfilialen von Bedeutung, auf den im Teil C dieser Arbeit eingegangen wird.

Prinzipiell stehen für die Einführung einer GSB zwei Möglichkeiten zur Verfügung. Dies ist einerseits die Verwendung eines bereits bestehenden Fahrzeuges oder andererseits die Neukonzeption.

### 6.1 Benützung eines bestehenden Fahrzeuges

Die Realisierung einer GSB in Wien erfolgt durch den Betreiber der Straßenbahnlinien (WL), weshalb zwei Straßenbahnfahrzeuge des Fuhrparks der WL betrachtet werden. Das erste mögliche Fahrzeug ist der bereits getestete Demonstrator des Projektes „GüterBim“. Der Vorteil dieses Systems ist der flexible Einsatz dieses Fahrzeuges und die Chance, die Lok (Type LH) auch für andere Zwecke zu verwenden (z.B. Schneeräumung). Nachdem der Güterwagen abgekoppelt werden kann, ist dies ohne große Probleme möglich und verschafft in Zeiten von geringer Güterbeförderung ein weiteres einsatzfähiges Fahrzeug. Ein weiterer Vorteil ist der Entfall von Anschaffungskosten, da dieses Fahrzeug bereits vorhanden ist.

	LH
Länge	7,30 m
Breite	2,30 m
Raddurchmesser	780 mm
Aufkeilweite	1426 mm
Höchstgeschwindigkeit	40 km/h
Anfahrbeschleunigung im Verband	~ 0,45 m/s <sup>2</sup>
Bremsverzögerung Mittelwert	~ 0,80 m/s <sup>2</sup>
Motoren	2x60 kW

Tab. 13: Technische Daten Fahrzeug LH  
 Quelle: WL GmbH, Endbericht „GüterBim“, S. 17  
 Wien, September 2005

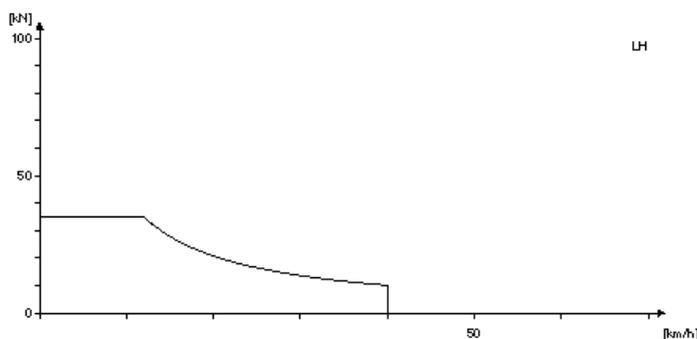


Abb. 22: Zugkraftdiagramm LH  
 Quelle: Diatel, Jürgen: Eigenerarbeitung, Februar 2006

Der Nachteil besteht unter anderem in der geringen Leistung des Zugfahrzeugs (2x60kW Motorleistung). Des Weiteren ist durch das Fehlen einer Totmannsteuerung<sup>10</sup> der Betrieb nur durch eine Zweimannbedienung möglich. Das hat zur Folge, dass die Personalkosten im Gegensatz zum LKW höher ausfallen. Ferner verfügt der Demonstrator über ein Radreifenübergangsprofil. Dieses besitzt, abweichend von den herkömmlichen Straßenbahnen, einen Spurkranz von 26mm. Es ist möglich, mit diesem Fahrzeug auf den Strecken der WLB zu fahren, jedoch ist der Betrieb auf dem Netz der Vollbahn nur unter Aufsicht (Schritttempo mit Begleitung von Eisenbahnpersonal neben dem Zug) möglich. Somit ist dieses Fahrzeug auf die Strecken der WL und der WLB beschränkt.

Die zweite betrachtete Möglichkeit, um eine GSB aus dem vorhandenen Fahrzeugpark zu bekommen, ist der Umbau eines Niederflurwagens des Typs ULF. Durch Entfernung von den derzeit im Fahrgastraum befindlichen Sitzplätzen und etwaigen Verstärkungen des Fahrzeugs, kann dieser Raum für die Beförderung von Gütern benutzt werden. Der Vorteil dieser Variante ist die Verwendung eines neueren Fahrzeuges mit entsprechender Leistung und folgenden technischen Daten:

	Typ A	Typ B
Länge	24,40 m	35,50 m
Breite	2,40 m	
Raddurchmesser	670 mm	
Höchstgeschwindigkeit	70 km/h	
max. Anfahrbeschleunigung	1,4 m/s <sup>2</sup>	
max. Bremsverzögerung	3,0 m/s <sup>2</sup>	
Motoren	6x60 kW	8x60 kW

Tab. 14: Technische Daten Fahrzeug ULF Typ A und B  
Quelle: Fanpage der WL: <http://fpdwl.at>, Februar 2006

<sup>10</sup> Der Triebfahrzeugführer muss in einem bestimmten Intervall einen Knopf oder ein Fußpedal drücken und das System damit signalisieren, dass er wach ist. Bei Unterbleiben, gibt das System eine optische und akustische Warnung. Wird auch diese Warnung ignoriert, geht das System von der Handlungsunfähigkeit des Fahrers (z.B. Bewusstlosigkeit) aus und führt automatisch eine Zwangsbremung aus um ein Zugsunglück zu verhindern.

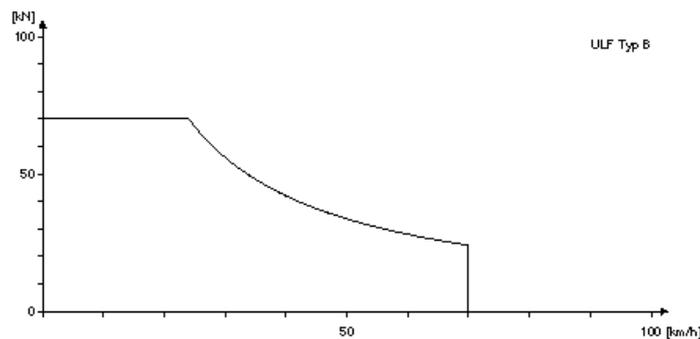


Abb. 23: Zugkraftdiagramm Ulf Typ B  
Quelle: Diatel, Jürgen: Eigenerarbeitung, Februar 2006

Die Leistung, die dieses Fahrzeug aufweist, verschafft ihm im Gegensatz zum Demonstrator, einen Vorteil. Unter der Voraussetzung, dass die Belieferung untertags stattfindet und auf den derzeitigen Strecken der PSB verläuft, erfolgt durch die größere Leistung eine bessere Integration in den herkömmlichen Betrieb. Ein weiterer Vorteil gegenüber dem Demonstrator ist die Tatsache, dass nur ein Mann für den Fahrbetrieb notwendig ist. Der Nachteil eines Umbaus ist neben den entstehenden Kosten, dass dieses Fahrzeug ausschließlich für den Gütertransport benutzt werden kann. Zusätzlich ist das Fahrzeug ULF nicht in der Lage, auf den Schienen der WLB und der Vollbahn zu fahren. Auf den Gleisanlagen der Eisenbahn resultiert dies aus den zu geringen Spurkranzhöhen und Radrückenabständen, obwohl die gleiche Spurweite von 1435 mm gegeben ist. In Folge dessen ist eine Weichenfahrt nicht möglich, da es zu Problemen im Bereich der Herzstücke kommt. Zusätzlich ist die Entgleisungssicherheit nicht gegeben, weil das Radreifenprofil der Straßenbahn kleinere Übergangsradien aufweist, wodurch die Gefahr des Aufkletterns entsteht. Im Netz der WLB kommt es zu einer Überschreitung des zulässigen Pufferdrucks (vgl. zu diesem Kap. [1], [45])

Die Verwendung eines existierenden Fahrzeuges reduziert die Kosten des Gesamtsystems. Es ist allerdings mit betrieblichen Einschränkungen zu rechnen, da diese Fahrzeuge nicht für einen Gütertransport auf anderen Bahnanlagen konzipiert sind. Werden die Lieferungen ausschließlich auf innerstädtische Gebiete beschränkt, kann mit einem Fahrzeugumbau eisenbahntechnisch das Auslangen gefunden werden.

## 6.2 Einführung eines neuen Fahrzeuges

Als Alternative zur Benützung eines bereits vorhandenen Fahrzeuges der WL besteht die Möglichkeit, ein neues System zu entwickeln. Um den Einsatz eines neuen Fahrzeuges oder einer neuen Fahrzeugflotte zu ermöglichen, müssen grundsätzliche Entscheidungen bezüglich der Fahrzeugzusammenstellung getroffen werden (Lok-Wagen-Kombination oder Triebfahrzeug) (siehe Kap. B-1.3). Der Betrieb eines Lok-Wagen-Systems ermöglicht das unabhängige Fahren der Lok und schafft somit weitere Einsatzmöglichkeiten. Im Gegensatz dazu kann die Garnitur durch die Benützung des Raumes im Triebwagen, bei gleicher Länge der Fahrzeuge, einen größeren Transportraum aufweisen.

Im Folgenden wird auf die technischen Aspekte eingegangen, die für beide Zugmodelle anzuwenden und unabdinglich für den Betrieb einer GSB sind. Unter Berücksichtigung der fahrdynamischen Einflüsse ist eine annähernd gleiche, wenn nicht besserer Leistung des Fahrzeuges im Vergleich zu den PSB erforderlich, da es durch das Betreiben auf dem normalen Straßenbahnnetz zu einer Interaktion kommt. Die neueren Modelle in Wien sind Bahnen des Typs ULF (Technische Daten siehe Kap. B-6.1). Folglich sollte ein neues Konzept ein Zugkraftdiagramm im Bereich dieser Straßenbahngarnitur besitzen. Des Weiteren muss das System die beiden Lastfälle – Anfahren und Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit – bewältigen und die notwendigen Zugkräfte auf die Schiene übertragen können (siehe Kap. B-1.1). Dies erfordert das Überwinden aller auftretenden streckenabhängigen Widerstände. Diese sind mit den Trassierungselementen im Straßenbahnnetz in Wien verbunden und stellen sich folgendermaßen dar.

### 6.2.1 Netzsituation in Wien

In Wien ist zum Großteil der eingebettete Oberbau mit Großflächenplatten im Einsatz. Hierfür werden die Profile 210/95+80, 210/95+80a und Ri60 eingesetzt. Einige selbständige Gleiskörper sind mit einem Schotteroberbau und mit den Schienenprofilen S48U, S49 und Xa ausgestattet. Die größte Neigung im Straßenbahnnetz beträgt 63 Promille, im Regelfall ist sie jedoch nicht größer als 50 Promille ausgeführt. Der kleinste Bogenradius (wird bezogen auf die Fahrkantenmitte der Außenschiene) im Netz beträgt 18 m, wobei dies eine Ausnahme darstellt. Diese Bögen sind lediglich zweimal im Netz vorhanden, allerdings in den Gleisharfen jedes Bahnhofs zu finden. Im Normalfall ist auf der Strecke kein Bogen mit einem

Radius kleiner als 20 m eingebaut. Des Weiteren befinden sich rund 1300 Weichen im Netz (1008 Weichen in Tourengleisen), wobei der kleinste Zungenradius 20 m entspricht. Beinahe alle Weichen sind als Flachrillenkonstruktionen gefertigt. Das bedeutet, dass die Straßenbahn nicht auf der Lauffläche sondern auf dem Spurkranz die Weiche passiert. Um dies zu ermöglichen, werden kleine Rampen in die Rille eingebaut an denen der Spurkranz auffährt und die Lauffläche vom Fahrkopf abhebt. Zusätzlich sind alle Verzweigungsweichen mit kodierter wagenseitiger Steuerung ausgestattet. Im Gegensatz zu den Abschnitten mit Rillenschienenprofilen, bei denen in der Regel keine Überhöhungen vorgesehen sind (bis zu 40 mm auch in der Geraden bzw. Unterhöhungen im Bogen mit Radius < 20m möglich), werden die Vignolschienen laut Trassierungsvorschriften überhöht und folglich mit Anrampungen versehen. Alle Ausrundungen von Wannen und Kuppen sind mit einem Radius größer als 600 m ausgeführt.

Ein typisches Schienenprofil ist dem nachfolgenden Bild zu entnehmen.

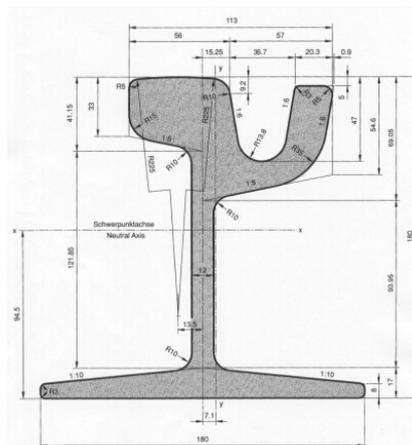


Abb. 24: Schienenprofil RI 60 R 10

Quelle: <http://www.gleisbau-online.de/framset.htm>

Diese Gegebenheiten erfordern neben der Berücksichtigung in fahrdynamischen Überlegungen, entsprechende spurführungstechnische Anforderungen an ein neues System. Es muss in der Lage sein, diese Streckencharakteristika zu bewältigen, z.B. Bögen mit einem Radius von 20m zu befahren (mit einem Vollbahnfahrzeug nicht möglich). Wenn die GSB in der Lage sein soll auf den Strecken der WLB und/oder auf der Vollbahn zu fahren, müssen auch die spurführungstechnischen Anforderungen der Eisenbahn berücksichtigt werden. Im Besonderen sind auf die Entgleisungssicherheit, durch entsprechende Radprofile und die Befahrung der Weichen, durch passenden Radrückenabstand zu achten. Straßenbahnradprofile

sind durch den zu kleinen Spurkranz (Aufklettern) nicht für den Betrieb auf den Vollbahngleisen und Vollbahnradprofile durch den zu großen Spurkranz (Rille im Netz der Straßenbahn zu niedrig) nicht für Straßenbahngleise geeignet. Zusätzlich sind für den Verkehr auf dem Netz der WL und der WLB die Rahmenbedingungen und Vorschriften der beiden Betreiber einzuhalten. In Bezug auf die Spurführungstechnik sind folgende Punkte für einen systemübergreifenden Gütertransport essentiell:

- Spurweite
- Spurkranzhöhe und Spurkranzbreite
- Radrückenabstand, Aufkeilweite, Spurmaß

Für die problemlose Überführung der GSB von einem Netz in ein anderes sind Schnittstellen der Gleisanlagen zwischen den Systemen erforderlich. In den Anlagen der WL befinden sich einige Verbindungsstellen der einzelnen Systeme, an denen eine Überleitung vollzogen werden kann.

Schnittstellen	Straßenbahn	Vollbahn	Wiener Lokalbahn
Hauptwerkstätte	vorhanden	vorhanden	---
Gutheil Schoder Gasse	---	vorhanden	vorhanden
Schedifkaplatz	vorhanden	---	vorhanden

Tab. 15: Auswahl Gleisverbindungsstellen in Wien  
 Quelle: WL GmbH, Endbericht „GüterBim“, S. 24  
 Wien, September 2005

Die unterschiedlichen Systeme weisen zusätzlich zu den spurführungstechnischen Unterschieden auch Abweichungen in Bezug auf die Sicherungstechnik auf. Die Einführung der GSB in die drei Eisenbahnsysteme darf diese auf keinen Fall gefährden und den regulären Betrieb nicht verzögern oder beeinträchtigen. Demzufolge muss eine GSB auf alle Zugsicherungssysteme abgestimmt sein. Für den Betrieb im Netz der Straßenbahn stellt dies kein Problem dar, da die Betriebsweise „Fahren auf Sicht“ (siehe Kap. B-3.1) ohne Schwierigkeiten realisiert werden kann. Für die Integration im Netz der Wiener Lokalbahn sind zusätzliche Anforderungen zu erfüllen. In den innerstädtischen Gebieten, vom Karlsplatz bis zum Schedifkaplatz, wird auch diese Bahn straßenbahnmäßig betrieben. Außerhalb der Stadtgrenze wird sie allerdings über Signale gesichert. Folglich muss eine GSB mit zugehörigen technischen Geräten auf diese Einsatzbedingungen abgestimmt werden. Für den Fall der Fahrt auf der Vollbahn muss die Zugsicherung der eines Personenzuges der ÖBB

gleichen. Ferner werden durch die Einführung des ETCS (siehe Kap. B-3.5) in Zukunft weitere Anforderungen an eine GSB gestellt. Dementsprechend ist eine Ausstattung mit den technischen Komponenten dieses Systems notwendig.

Ein weiterer zu beachtender Punkt ist die Tatsache, dass die drei Bahnsysteme in Wien mit unterschiedlichen Stromspannungen betrieben werden. Die Straßenbahn verkehrt mit 600 Volt Gleichstrom. Die WLB fährt innerstädtisch ebenfalls mit 600 Volt, außerhalb von Wien allerdings mit 1000 Volt Gleichstrom. Die Vollbahn der ÖBB verwendet für ihr Netz 15.000 Volt Wechselstrom mit einer Betriebsfrequenz von 16,7 Hz. Das führt zu einem Traktionssystem, das in der Lage ist, nicht nur unterschiedliche Spannungen sondern auch verschiedene Stromarten verbinden zu können. Hierfür ist ein Mehrsystemfahrzeug notwendig, das diese Umstellung vollziehen kann. Verschiedene Beispiele der praktischen Umsetzung solcher Fahrzeuge sind in Kap. B-5 beschrieben. Eine Alternative stellt eine andere Form der Traktion dar. Ein Fahrzeug mit Dieselantrieb ist in der Lage, sowohl auf dem Straßenbahnnetz, als auch auf dem Netz der Vollbahn zu fahren. Der vom Stromsystem unabhängige Antriebsmotor kann auf allen Netzen uneingeschränkt eingesetzt werden. Allerdings ist zu beachten, dass eine GSB eine Reduktion der LKW-Fahrten und einen Rückgang der Emissionen bewirken soll und unter diesem Gesichtspunkt ein Dieselmotor gegenüber einem elektrischen Antrieb gewisse marketingtechnische Nachteile aufweist. Eine andere zukunftssträchtige Traktionsvariante ist der Flüssiggasmotor oder der Antrieb mit Brennstoffzellen, die jedoch zum derzeitigen Stand der Technik noch nicht vollständig einsatzbereit sind.

Das größte Problem bei einer Fahrzeugneukonstruktion ist die Abstimmung auf die unterschiedlichen Bahnsysteme. Der große Vorteil, der durch die Erweiterung in die Region erzielt werden kann, ist mit dem Nachteil von Entwicklungs- und Anschaffungskosten verbunden. (vgl. zu diesem Kap. [1], [46], [47])

## **7 Rechtliche Rahmenbedingungen (Mikschofsky)**

Zusätzlich zu den technischen Gesichtspunkten müssen für den Betrieb rechtliche Aspekte und Verordnungen eingehalten werden, auf die im folgenden Kapitel näher eingegangen wird. Als rechtliche Grundlagen für den Betrieb einer GSB sind folgende Gesetze und Verordnungen anzusehen:

- Eisenbahngesetz
- Straßenbahnverordnung
- Straßenverkehrsordnung
- Betriebsvorschriften der WL
- Arbeitnehmerschutzgesetze

### **7.1 Eisenbahngesetz vom 13. Februar 1957, idF 2002**

Das Eisenbahngesetz wurde im Februar 1957 beschlossen und regelt den Bau und Betrieb von Eisenbahnen. Für den Betrieb einer GSB ist die Fassung des Jahres 2002 heranzuziehen.

Zunächst wird zwischen öffentlichen und nichtöffentlichen Eisenbahnen unterschieden. Öffentliche Eisenbahnen im Sinne dieses Gesetzes sind Haupt- und Nebenbahnen, Straßenbahnen sowie Haupt- und Kleinseilbahnen. Zu den nichtöffentlichen Bahnen gehören Anschlussbahnen, Materialbahnen und Materialseilbahnen.

Der §5 des Eisenbahngesetzes definiert genau den Begriff Straßenbahn. Demnach sind Straßenbahnen für den öffentlichen Verkehr innerhalb eines Ortes bestimmte Eisenbahnen (Ortsstraßenbahnen). Eine weitere Unterteilung erfolgt in straßenabhängige und straßenunabhängige Bahnen. Straßenabhängige Bahnen sind solche, die zumindest teilweise den Verkehrsraum öffentlicher Straßen benützen und sich in ihrer Betriebsweise dem Straßenverkehr anpassen. Straßenunabhängige Bahnen verkehren ausschließlich auf einem eigenen Bahnkörper, wie Hoch- und Untergrundbahnen, Schwebbahnen oder ähnliche Bahnen besonderer Art. (vgl. zu diesem Kap. [48])

### **7.2 Straßenbahnverordnung idF 3. März 2000**

Diese Verordnung gilt, zusätzlich zum Eisenbahngesetz, für den Bau und Betrieb von Straßenbahnen, nicht aber für Oberleitungs-Omnibusse. Im Sinne dieser Verordnung gilt als Bau der Neubau, die Änderung und die Instandhaltung von Eisenbahnanlagen und Fahrzeugen. Als Betrieb bezeichnet man die Gesamtheit aller Handlungen und Vorgänge, die der Beförderung von Personen und Gütern durch Bewegen der Fahrzeuge dienen.

Der Grundsatz dieser Verordnung besagt, dass alle Betriebsanlagen und Fahrzeuge so beschaffen sein müssen, dass sie den Anforderungen der Sicherheit genügen. Sind die

Betriebsanlagen und Fahrzeuge gemäß den Bestimmungen der Straßenbahnverordnung gebaut, gelten die Anforderungen als erfüllt.

### 7.2.1 Anforderungen an die Betriebsanlagen

Im IV. Abschnitt der Verordnung sind die Anforderungen an die Betriebsanlagen (Bahnkörper, Oberbau, Streckenführung) geregelt. Laut §16 besteht ein Bahnkörper aus dem Oberbau und den ihn tragenden Unterbau. Bahnkörper werden in folgende drei Kategorien unterteilt.

**Straßenbündige Gleiskörper** – sind mit ihren Gleisen in Straßenfahrbahnen oder Gehwegflächen eingebettet.

**Selbstständige Gleiskörper** – sind von der Fahrbahn durch bauliche Einrichtungen getrennte, dem Verkehr mit Schienenfahrzeugen vorbehaltene Bahnkörper im Verkehrsraum.

**Eigene Bahnkörper** – sind auf Grund ihrer Lage oder ihrer Bauart vom übrigen Verkehr unabhängig.

### 7.2.2 Anforderungen an die Fahrzeuge

Ein wichtiger Punkt im Hinblick auf eine GSB sind die Anforderungen an die Fahrzeuge. Laut §33 Abs. 2 darf bei Personenzugfahrzeugen eine Nutzlast von 750 N pro Sitzplatz und 5000 N/m<sup>2</sup> Stehplatzfläche angenommen werden. Da für eine GSB in der Verordnung keine entsprechenden Angaben enthalten sind, sind die vorgeschriebenen Achslasten heranzuziehen. Derzeit gilt auf allen Systemen der WL eine höchstzulässige Achslast von 12,5 Tonnen. Bei einem siebenteiligen ULF der Type B entspricht das einer Nutzlast von maximal 33 Tonnen, wenn man von einem Eigengewicht von 42 Tonnen ausgeht. Das heißt, die gesetzlichen Annahmen für die Nutzlast von 5000 N/m<sup>2</sup> (entspricht 0,5t/m<sup>2</sup>) werden bei diesem Fahrzeug und diesen Annahmen nicht überschritten. Laut Gesetz darf ein ULF Typ B eine Nutzlast von 42 Tonnen erreichen, was aber eine Überschreitung der vorgeschriebenen Achs- bzw. Radlasten zur Folge hat. Es ist dabei zu beachten, dass diese Lasten teilweise asymmetrisch auftreten.

Ein weiterer Aspekt, der eingehalten werden muss, sind die Abmessungen der Fahrzeuge. Die genauen Daten hierfür sind im §34 Abs. 3 angeführt. Auf Grund dessen darf die

Fahrzeugbreite, bis zu einer Höhe von 3,40 m über Schienenoberkante, 2,65 m nicht überschreiten. Oberhalb von 3,40 m über Schienenoberkante beträgt die maximal zulässige Fahrzeugbreite 2,25 m. Die Höhe zwischen Schienenoberkante und Oberkante des eingezogenen Stromabnehmers darf höchstens 4,0 m betragen. Die maximale Länge eines Straßenbahnzuges ist mit 75 Metern gegeben.

Die Fahrzeuge müssen über zwei verschiedene unabhängige Bremssysteme verfügen.

Generell verkehren Straßenbahnen auf Sicht (siehe Kap. B-3.1). Davon ausgenommen sind Züge straßenunabhängiger Bahnen, sowie Züge straßenabhängiger Bahnen, wenn sie schneller als 70 km/h fahren oder sich in einem Tunnel befinden. Die zulässige Höchstgeschwindigkeit ergibt sich aus den für den Bau und Betrieb erforderlichen Genehmigungen und aus den Regelungen der STVO (siehe Kap. B-7.3). Demnach beträgt die maximale Geschwindigkeit 50 km/h. Einschränkungen sind durch folgende Punkte gegeben:

- Bei der Vorbeifahrt an Haltestellen darf eine Geschwindigkeit von 40 km/h nicht überschritten werden.
- Bei engen Bogenradien ist eine entsprechende Geschwindigkeitsreduktion vorzunehmen
- Bei Fahrt gegen die Weichenspitze von nicht formschlüssig festgelegten Weichen darf mit maximal 15 km/h gefahren werden.

(vgl. zu diesem Kap. [49])

### **7.3 Straßenverkehrsordnung idF 2005**

Dieses Bundesgesetz wurde im Jahr 1960 verabschiedet und 2005 das letzte Mal geändert. Es regelt dabei die Benützung von Straßen mit öffentlichem Verkehr. Als solche gelten Straßen, die von jedermann unter den gleichen Bedingungen benützt werden können. Da eine Straßenbahn ebenfalls den Straßenraum mitbenützt, gelten auch für sie die Anforderungen und Bestimmungen der Straßenverkehrsordnung, wobei einige Punkte gesondert betrachtet werden.

So muss sie sich auch an die festgelegten Höchstgeschwindigkeiten halten, die in §20 Abs. 2 dieses Gesetzes angeführt sind. Weiters sei zu erwähnen, dass ein schienengebundenes Fahrzeug als Sonderfahrzeug eingestuft wird. Es hat somit, sofern sich aus den

Vorrangbestimmungen nichts anderes ergibt, Vorrang gegenüber anderen Fahrzeugen. Beim Herannahen eines Schienenfahrzeuges haben andere Straßenbenützer die Gleise so rasch wie möglich zu verlassen, um der Straßenbahn Platz zu machen.

Ein weiterer Punkt betrifft die Ladetätigkeit, welche im §62 geregelt ist. Demnach darf durch eine Ladetätigkeit im Straßenraum keine Beeinträchtigung der Sicherheit und der Leichtigkeit des Verkehrs eintreten. Weiters ist nach Möglichkeit jeder Lärm beim Be- und Entladen zu vermeiden. Eine Ladetätigkeit muss sofort nach Aufstellen eines Fahrzeuges auf der Straße begonnen und durchgeführt werden. (vgl. zu diesem Kap. [50])

#### **7.4 Arbeitszeitgesetz idF 11. Dezember 1969**

Die ArbeitnehmerInnenschutzgesetze bestehen aus allen Rechtsvorschriften, die das Leben, die Gesundheit und die Sittlichkeit der ArbeitnehmerInnen schützen. Besonderes Augenmerk gilt dem Arbeitszeitgesetz von 11. Dezember 1969 mit der letzten Änderung im Jahr 2004. Dieses regelt vor allem, wann und wie lange der Arbeitgeber seine Arbeitnehmer beschäftigen darf und welche arbeitsfreien Zeiten und Ruhepausen er ihnen gewähren muss. Das geschieht insbesondere durch die Begrenzung der täglichen und wöchentlichen Arbeitszeit. Die tägliche Arbeitszeit ist mit 8 Stunden, die wöchentliche mit 40 Stunden, festgelegt. Eine Erhöhung dieser Zeiten kann durch gesonderte Bestimmungen laut Gesetz, oder durch kollektivvertragliche Regelungen erzielt werden. Als Ruhepause versteht man eine Unterbrechung der täglichen Arbeit, wenn diese länger als sechs Stunden dauert. Die Pause soll mindestens 30 Minuten betragen. Arbeitsfreie Zeiten oder Ruhezeiten sind nach Beendigung der Tagesarbeitszeit im Ausmaß von mindestens 11 Stunden zu gewähren. Änderungen dieser Zeiten sind durch Betriebsvorschriften und Kollektivverträge geregelt. (vgl. zu diesem Kap. [51])

#### **7.5 EisenbahnarbeitnehmerInnenschutzverordnung idF 1. März 2005**

Diese Verordnung gilt für Betriebe und Tätigkeiten, die dem Bundesgesetz über die Verkehrs-Arbeitsinspektion unterliegen, im Bereich von Gleisen von Haupt- und Nebenbahnen, Straßenbahnen und Anschlussbahnen. Demzufolge besteht der Gefahrenraum eines Gleises aus dem Raum des Schienenfahrzeuges selbst, zuzüglich deren Ladung und den Bereichen oberhalb, unterhalb und neben dem Fahrzeug, in dem ein Arbeitnehmer gefährdet werden kann. Die Größe dieses Bereiches unterscheidet sich je nach Geschwindigkeit des

---

jeweiligen Schienenfahrzeuges. Darüber hinaus muss noch ein Sicherheitsraum vorhanden sein, welcher einem Arbeitnehmer einen sicheren Aufenthalt neben einem vorbeifahrenden Fahrzeug gewährleistet. Dieser Sicherheitsraum muss eine Breite von mindestens 0,5 Meter und eine Höhe von nicht weniger als 2 Meter aufweisen. Ein weiterer Paragraph betrifft Bestimmungen bezüglich einer Laderampe. Demnach müssen Laderampen möglichst nahe am Gleis und grundsätzlich in geraden Teilstücken liegen, um die Ladetätigkeit zu erleichtern. (vgl. zu diesem Kap. [52])

## **TEIL C: Betriebliche Aspekte**

Dieses Kapitel behandelt die möglichen Einsatzgebiete einer GSB in einem Ballungsraum in Abhängigkeit von unterschiedlichen Betriebsformen. Zunächst werden die denkbaren Transportformen – Punkt zu Punkt Verkehr, standortbezogener Verkehr, Kettenbelieferung – erläutert und anschließend eine Reihe von Liefermöglichkeiten, die sowohl der Versorgung als auch der Entsorgung entsprechen, aufgelistet. Im Anschluss werden die Eignungen der einzelnen Einsatzmöglichkeiten bzw. die Anforderungen an die Fahrzeuge und Infrastruktur beleuchtet. Im letzten Abschnitt wird an einem konkreten Beispiel demonstriert wie vorstellbare Routen aussehen können und welche Probleme bei der Be- und Entladung der GSB bei den einzelnen Stationen auftreten können. Es handelt sich dabei um die Belieferung von Filialen der Lebensmittelkette Billa.

Alle Ergebnisse beruhen auf den Annahmen, dass die Art und Weise der Belieferung ähnlich der eines LKWs ist. Das bedeutet, dass der Gütertransport während des Tages durchgeführt wird, nur eine Arbeitskraft (FahrerIn) für die Belieferung zuständig ist und der Transport auf einer bestehenden Gleisanlage erfolgt. Es werden keine Auswirkungen durch bauliche Maßnahmen<sup>11</sup> (z.B. zusätzliche Gleise oder Weichen) oder Umgestaltung der Fahrpläne der PSBlinien berücksichtigt. Dies erfolgt aufgrund der Tatsache, dass keine Neuplanung sondern die Integration in ein bestehendes öffentliches Verkehrsnetz angepeilt wird.

### **1 Betriebsformen (Mikschofsky)**

Beim Transport von Waren und Gütern mittels LKW oder schienengebundenem Fahrzeug gibt es prinzipiell mehrere Möglichkeiten, die sich durch die Art des Betriebsablaufs unterscheiden. Für den Einsatz einer GSB werden in dieser Arbeit drei verschiedene Varianten

---

<sup>11</sup> Ausnahme ist der Umbau für die standortbezogene Betriebsform

beleuchtet. Es handelt sich dabei um den Punkt zu Punkt-, den standortbezogenen Verkehr und der Kettenbelieferung. Im Folgenden sind die drei Transportformen näher erläutert.

### 1.1 Punkt zu Punkt Verkehr

Der Punkt zu Punkt Verkehr ist als Fahrtroute ohne Zwischenstationen charakterisiert. Das bedeutet, dass ein Transportmittel lediglich am Beginn und am Ende der Route einen planmäßigen Aufenthalt aufweist. Diese Tatsache ist der große Vorteil dieser Art von Transport, denn Haltepunkte auf dem Schienennetz der Straßenbahn führen zu erheblichen Problemen mit den gleichzeitig verkehrenden Personengarnituren, während lediglich die Mitbenützung der vorhandenen Gleisanlagen keine Schwierigkeiten verursacht.

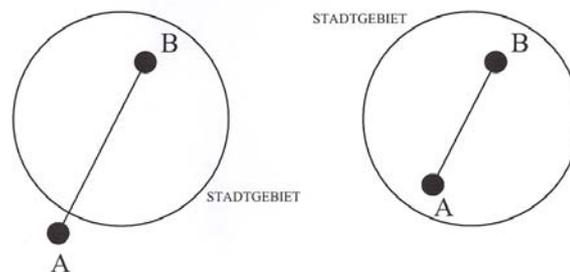


Abb. 25: Betriebsform: Punkt zu Punkt Verkehr  
Quelle: Mikschofsky, Michael: Eigenerarbeitung, März 2006

Bei den erwähnten Haltepunkten (A) handelt es sich beispielsweise um Güterverteilzentren (GVZ), Lagerräume, Magazine, Werkstätten und dergleichen. Die weiteren Stationen (B) sind Abnehmer (z.B. Großbetriebe) und Standorte, zu denen die Waren geliefert werden. Beim Punkt zu Punkt Verkehr ist es entscheidend, dass diese Stationen oder Kleinterminals spezifischen Anforderungen entsprechen. Infrastrukturseitig müssen ein Gleisanschluss und ausreichende Ladezonen vorhanden sein, um einen reibungslosen und sicheren Warenumsschlag durchführen zu können. Deshalb ist der Punkt zu Punkt Verkehr hauptsächlich für große Firmen und Betriebe geeignet, die auch über die nötigen Flächen zur Be- und Entladung verfügen. In diesem Zusammenhang treten zwei Formen des Punkt zu Punkt Verkehrs auf (siehe Abb. 26). Bei der ersten Möglichkeit befindet sich das GVZ (oder ähnliches) außerhalb und der Empfänger der Ware innerhalb des Stadtgebietes. Da das Straßenbahnnetz in den meisten Fällen nicht über die Stadtgrenzen hinausreicht, muss dort auf einem anderen Schienennetz gefahren werden. In diesem Fall sind spezielle Fahrzeuge oder Adaptionen an der Strecke von Nöten (siehe Kap. B-5). Die andere Möglichkeit zeigt einen

innerstädtischen Binnenverkehr, bei dem sowohl das GVZ als auch der Abnehmer im Stadtgebiet situiert sind. Hier kann man zur Gänze auf dem Straßenbahnnetz verkehren. Punkt zu Punkt Verkehre sind bereits in Dresden (siehe Kap. A-2) und in Wien beim Demonstratorverkehr des Projekts „GüterBim“ (siehe Kap. A-1) realisiert.

## 1.2 Standortbezogener Verkehr

Beim standortbezogenen Verkehr wird in dieser Arbeit vom Transport von und zu fixen Punkten ausgegangen und es werden mehrere mögliche Standorte (A, B, C), die über den gesamten Ballungsraum verteilt sind, in Betracht gezogen.

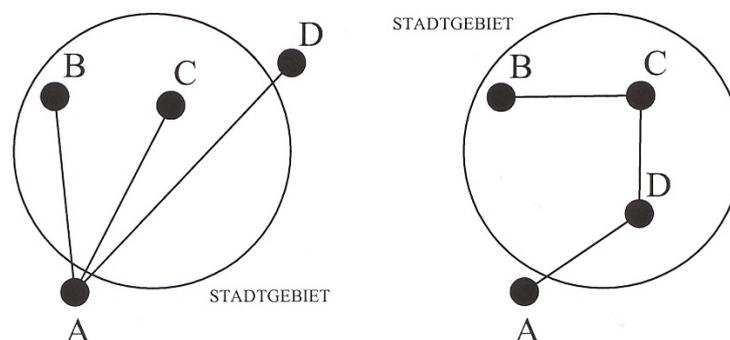


Abb. 26: Betriebsform standortbezogener Verkehr  
Quelle: Mikschofsky, Michael: Eigenerarbeitung, März 2006

An diesen Plätzen müssen ein zusätzliches Gleis, auf dem die GSB ungehindert halten kann, Platz für Ladezonen und Laderampen vorhanden sein. Beim standortbezogenen Verkehr halten die Fahrzeuge ebenfalls nicht auf dem Netz der Straßenbahn, die Personengarnituren werden daher nicht behindert. Wie die Abbildung 26 zeigt, sind auch hier zwei Möglichkeiten von Bedeutung. Zum einen kann ein Transport sternförmig erfolgen, zum anderen werden die Haltepunkte der Reihe nach bedient. Der große Unterschied zur Kettenbelieferung (siehe Kap. C-1.3) liegt darin, dass auch an den Standorten (B, C, D) zusätzliche Gleise für den Warenumschlag vorhanden sein müssen. Die Route verläuft vom GVZ (oder ähnlichem) über alle zu beliefernden Standorte und wieder zurück. Beim sternförmigen Transport handelt es sich um eine Weiterentwicklung des Punkt zu Punkt Verkehrs dahingehend, dass nicht nur ein Empfänger beliefert wird sondern mindestens zwei. Eine Route führt in diesem Fall von einem Startpunkt ausgehend zunächst zum ersten Abnehmer und wieder zurück. Anschließend werden die nächsten Haltepunkte in gleicher Weise beliefert. In dieser Weise werden alle vorhandenen Standorte bedient. Bei dieser Betriebsform ist nicht nur eine Ver- sondern auch

eine Entsorgung möglich. Als Beispiel eines solchen Modells sei die Müllentsorgung in Zürich (siehe Kap. A-3) erwähnt.

### 1.3 Kettenbelieferung

Eine völlig andere Herangehensweise liegt der Kettenbelieferung zu Grunde. Hier sollen auf einer Route möglichst viele Abnehmer von Waren, etwa Filialen von Einzelhandelsketten liegen. Aufgrund der Vielzahl der zu bedienenden Verkaufsstellen und des in den meisten Fällen nicht vorhandenen Platzes, ist ein zusätzliches Gleis bei jedem Standort nicht zu realisieren. Demnach sind auf der Strecke viele Haltepunkte vorgesehen, was gleichzeitig auch das größte Problem dieser Belieferungsmethode darstellt. Da GSBen auf dem Netz der PSB verkehren sollen, behindert jeder zusätzliche Aufenthalt den Betrieb der regulären Linien sowie bei fehlendem selbständigen Gleiskörper und mangelnder Überholmöglichkeit, den MIV. Darüber hinaus stellt der Warenumschatz zwischen dem Fahrzeug und den einzelnen Filialen ein weiteres Problem dar, da dieser aufgrund der geringen möglichen Haltezeiten, sehr rasch erfolgen muss.

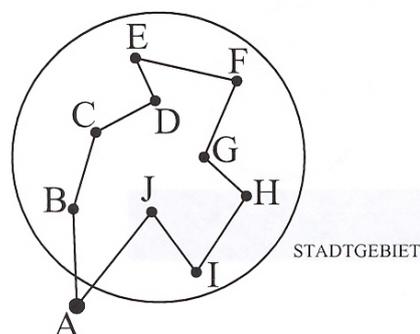


Abb. 27: Betriebsform Kettenbelieferung  
Quelle: Mikschofsky, Michael: Eigenerarbeitung, März 2006

Die Route einer GSB soll das gesamte Stadtgebiet umfassen können und ausgehend von einem GVZ (oder ähnlichem) alle nötigen Standorte in einer Linie miteinander verbinden (siehe Abb. 28). Die Anzahl der pro Fahrt zu belieferten Filialen wird von der Menge der Güter, die die jeweiligen Filialen bekommen, sowie vom Platzangebot des Fahrzeuges bestimmt. Nachdem man so viele Standorte wie möglich auf einer Route beliefern möchte, ist die Nutzlast des Fahrzeuges oder die maximale Achslast die begrenzende Komponente.

## **2 Möglichkeiten für den Gütertransport (Mikschofsky)**

Ausgehend von den vorher genannten Betriebsformen gibt es eine Vielzahl von Transport- und Liefermöglichkeiten für eine GSB in einem Ballungsraum. In der folgenden Einteilung in Kategorien sind Betriebe zusammengefasst, die entweder ähnliche Waren und Güter benötigen oder Lieferungen im gleichen Ausmaß erhalten. Eine zusätzliche Unterscheidung der Kategorien wird zwischen Versorgung und Entsorgung getroffen. Dies erfolgt aufgrund der Tatsache, dass bei den Versorgungslieferungen fast ausschließlich die Kettenbelieferung zur Anwendung kommt. Bei der Entsorgung sind auch die beiden anderen Betriebsformen möglich.

### **2.1 Kategorien – Versorgung**

**Apotheke** – Apotheken sind Abnehmer für Güter geringer Mengen. Dementsprechend wird eine GSB nicht lange vor der jeweiligen Filiale anhalten müssen. Die Waren werden in Kartons oder Paletten transportiert.

**Gastronomie klein** – Bei „Gastronomie klein“ handelt es sich vor allem um Kaffeehäuser und Imbissstände, die mit geringen Mengen beliefert werden. Eine GSB wird daher nur einen Aufenthalt von wenigen Minuten vor dem jeweiligen Betrieb haben. Angeliefert werden die Waren in Kisten, Fässern und Kartons, wobei es sich sowohl um Trocken- als auch Tiefkühlware handelt. Das hat zur Folge, dass mindestens eine zweite Lieferung am Tag notwendig ist, es sei denn, es besteht die Möglichkeit, in einem Fahrzeug beide Waren zu transportieren.

**Gastronomie groß** – Hier handelt es sich um größere Betriebe wie Restaurants und Restaurantketten. Dementsprechend größer sind die Liefermengen und die zu erwartende Haltezeit vor dem Lokal. Des Weiteren wird zwischen Trockenware und Tiefkühlware unterschieden und es entstehen dieselben Probleme wie bei der Kategorie Gastronomie klein. Generell werden die benötigten Waren in Kisten und Fässern ausgeliefert.

**Drogeriemärkte** – Es handelt sich um Einzelfilialen einer großen Handelskette. Das Problem bei diesen Filialen ist, dass sie je nach Größe, sehr viele Waren pro Tag bekommen.

Das führt zu sehr langen Haltezeiten vor den Geschäften. Transportiert werden die Güter auf Paletten und in Rollwägen.

**Bäckereien (Konditoreien)** – Bäckereien sind, was die Menge der Waren betrifft, mit der „Gastronomie klein“ zu vergleichen und sind als Einzelfilialen einer Handelskette zu verstehen. Es ist ebenfalls notwendig, dass eine zweite Lieferung oder ein geeignetes Fahrzeug eingesetzt wird. Transportiert werden die Güter in Kisten. Großer Vorteil dieser Kategorie ist, dass die Belieferung auch in den frühen Morgenstunden vonstatten gehen kann. Die Haltezeiten vor den Filialen stellen kein Problem dar, solange die PSB noch nicht in Betrieb sind.

**Tabak-Trafik** – In dieser Kategorie sind keine großen Zeitschriftengeschäfte inkludiert. Aufgrund der geringen Menge, die Trafiken bekommen, ist mit einer kurzen Ladezeit zu rechnen. Darüber hinaus können die Waren durch die kleinen Verpackungen schnell aus dem Transportfahrzeug geladen werden, was den Entladevorgang erleichtert und dementsprechend verkürzt.

**Modegeschäfte** – Diese Kategorie fasst jegliche Art von Bekleidungs-, Schuh- und Sportgeschäfte zusammen. Diese Geschäfte erhalten in der Regel große Warenmengen, was zu langen Ladezeiten führt. Wie bereits erwähnt, handelt es sich generell um Kettenbelieferungen. Ausnahmen bilden in diesem Zusammenhang Mega-Stores am Stadtrand, die mit einem Punkt zu Punkt, oder einem standortbezogenen Verkehr beliefert werden können. Grundvoraussetzung dafür ist ein vorhandener Gleisanschluss.

**Post** – Beim Posttransport kann im Prinzip zwischen zwei Arten unterschieden werden. Zum einen in den Transport zwischen dem Hauptpostamt und den einzelnen Postämtern. Hierbei wird die Ware in Kartons und Postsäcken transportiert. In Bezug auf die Haltezeiten ergeben sich erhebliche Unterschiede zwischen Briefen und größeren Paketen. Die zweite Möglichkeit betrifft den Paketdienst.

**Lebensmittelketten** – Bei Lebensmittelketten verhält es sich ähnlich wie bei Drogeriemärkten, nur dass hier noch zusätzlich zwischen Trockenware und Tiefkühlware unterschieden werden muss. Im Allgemeinen bekommt jede Filiale eine große Menge an Waren, was lange Haltezeiten verursacht. Die Waren werden mit Hilfe von Paletten,

---

Rollwägen und Kartons transportiert. Eine nähere Betrachtung und Erläuterung der auftretenden Probleme bei der Belieferung von Lebensmittelketten wird im nächsten Kapitel (siehe Kap. C-4) ausführlich beleuchtet.

**Papier-Bücher** – Hier sind alle Papierwarengeschäfte, Buchhandlungen sowie Einzelfilialen von Handelsketten zusammengefasst. Aufgrund der Belieferung mit Hilfe von Paletten ist mit einer langen Stehzeit vor den Filialen zu rechnen. Des Weiteren werden die Waren teilweise in Kartons geliefert.

**Blumen** – Beim Blumentransport handelt es sich um die Auslieferung von Pflanzen und Blumen von einem Großgrünmarkt zu den jeweiligen Blumengeschäften. Dabei werden die Pflanzen in Kartons, Kisten oder Kübeln transportiert. Aufgrund der unterschiedlichen Art von Pflanzen hinsichtlich Größe und Menge (Blumenstöcke, Schnittblumen, etc.) können verschiedene Haltezeiten auftreten.

**Feinkost** – Bei der Kategorie „Feinkost“ handelt es sich um einzelne Lebensmittelgeschäfte, die keiner großen Kette angehören. Nachdem diese Geschäfte (z.B.: „Greißler“) klein sind, halten sich die Liefermengen in Grenzen. Die Waren werden in Kisten und Kartons transportiert. Es ist mit einer geringen Haltezeit zu rechnen.

**Elektro** – Bei dieser Kategorie handelt es sich um einzelne Elektrobetriebe sowie um Filialen von Handelsketten. Wegen der großen, sperrigen Güter (Bsp.: Kühlschrank) kommt es beim Entladevorgang zu erheblichen Wartezeiten. Ein weiteres Indiz für eine lange Haltezeit ist, dass die Waren mit Paletten und Kartons angeliefert werden. Die Betriebsform kann analog zu den Modegeschäften variieren (Stichwort Mega-Stores).

## 2.2 Kategorien – Entsorgung

**Schneeräumung** – Bei der Schneeräumung handelt es sich in erster Linie um einen standortbezogenen Verkehr (siehe Kap. C-1.2). Dabei sollen große Schneemengen an bestimmten Orten im Stadtgebiet gesammelt und anschließend mit einer GSB abtransportiert werden. In diesem Fall kann unterschieden werden, ob der Schnee von einem einzigen Sammelplatz abgeholt wird (Punkt zu Punkt Verkehr) oder mehrere Plätze angesteuert werden. Dies hängt von der anfallenden Schneemenge ab. Eine weitere Möglichkeit, eine

GSB im Winter einzusetzen, ist die Schneeräumung der Gleisanlagen. Anstelle von LKW-Räumfahrzeugen können Straßenbahngarnituren umgerüstet werden und die Schneeräumung übernehmen. (Anm.: In Wien wird dies zum Teil schon praktiziert.)

**Bauschutt** – Beim Abtransport von Bauschutt kann es sich entweder um standortbezogenen Verkehr oder um Punkt zu Punkt Verkehr handeln, wobei aufgrund der großen anfallenden Mengen, die zweite Variante besser geeignet ist. Eine unumgängliche Tatsache ist, dass sich die Baustelle in der Nähe eines Straßenbahngleises befindet und dass bei der Baustelleneinrichtung ein Anschlussgleis, sowie entsprechende Maßnahmen hinsichtlich Ladezonen berücksichtigt werden müssen.

**Müllentsorgung** – Die Müllentsorgung ähnelt dem Abtransport des Bauschutts, wobei bei geringen Mengen ein standortbezogener Verkehr durchführbar ist. Im Prinzip gelten die gleichen Rahmenbedingungen. In Zürich wird schon seit ein paar Jahren ein sehr gut funktionierendes System zur Müllentsorgung mit Hilfe einer „Cargotram“ betrieben. (siehe Kap. A-3).

### 2.3 Leichentransport

Eine weitere denkbare Einsatzmöglichkeit für die GSB ist der Transport von verstorbenen Menschen. So abwegig das im ersten Moment klingen mag, ein Blick in die Geschichte Wiens, zu Beginn des 20. Jahrhunderts, zeigt, dass solche Transporte schon einmal durchgeführt wurden. Damals waren andere Beweggründe ausschlaggebend, doch das Prinzip der Beförderung ändert sich nur geringfügig.

Am Ende des Ersten Weltkrieges mussten aufgrund der enormen Anzahl an Todesopfer und den damit verbundenem Engpass an geeigneten Transportmitteln (damals wurden hauptsächlich Pferdefuhrwerke verwendet) Straßenbahngarnituren zur Leichenbeförderung eingesetzt werden. Aus diesem Grund wurden einige Beiwagen in Leichentransportwagen, welche 12 Särge aufnehmen konnten, umgebaut. Ab März 1918 verkehrten Straßenbahngarnituren als Leichenwagen zwischen den Krankenanstalten Lainz, Steinhof, dem Allgemeinen Krankenhaus und dem Wiener Zentralfriedhof. Nach der zwischenzeitlichen Einstellung des Betriebs am Ende der 1920er Jahre wurde der Transport von Verstorbenen mit Beginn des Zweiten Weltkrieges wieder aufgenommen. Aufgrund der

---

schweren Beschädigungen des Schienennetzes in den letzten Tagen des Krieges wurde der Leichentransport abermals eingestellt. Zu einer erneuten Wiederaufnahme kam es bis dato nicht. (vgl. zu diesem Kap. [53])

Aus heutiger Sicht ist ein Leichentransport aufgrund anderer Überlegungen vorstellbar. Da derartige Beförderungen ohne weiteres nachts durchgeführt werden können, entstehen aus straßenbahnbetrieblichen Gesichtspunkten keine Konflikte mit den herkömmlichen Straßenbahnen. Die Haltezeiten, sowohl vor dem jeweiligen Krankenhaus, als auch am Zentralfriedhof, oder einem anderen Friedhof welcher Anschluss an das Wiener Straßenbahnnetz hat, sind damit nicht von Bedeutung. Allerdings müssen die Fahrzeuge gewisse Voraussetzungen erfüllen, was in erster Linie eine Neuanschaffung oder eine Adaption eines bestehenden Fahrzeuges bedingt. Die notwendigen Bestimmungen sind im Wiener Leichen- und Bestattungsgesetz – WLBG 17/09/2004 angeführt.

*WLBG 2004 §14, Abs. 3: „Zum Transport von Leichen dürfen nur Fahrzeuge verwendet werden, die zur Unterbringung von Särgen geeignet sind. Straßenfahrzeuge aller Art sind hierzu nur dann geeignet, wenn sie ausschließlich zur Beförderung von Leichen bestimmt sind. Im Laderaum dürfen gemeinsam mit Leichen nur Trauergegenstände und Aufbahrungsgegenstände transportiert werden.“*

### **3 Betriebliche Anforderungen (Diatel)**

Im folgenden Punkt wird eine tabellarische Zusammenstellung der Eignungs- und Anforderungskriterien, die an den Betrieb einer GSB gestellt werden, angeführt. Mit dieser Tabelle soll ein Überblick über die Eignung der Betriebsform und die notwendigen Anforderungen an ein GSB-Fahrzeug und an die Infrastruktur gegeben werden. Die Spalten Kategorie und Betriebsform beziehen sich auf die vorangegangenen Punkte dieser Arbeit. (siehe Kap. C-1 bzw. C-2)

#### **3.1 Prognostizierte Haltezeit im Netz**

Unter dem Punkt prognostizierte Haltezeit wird zwischen drei unterschiedlichen Aufenthaltszeiten bei Bedarfshaltestellen im Straßenbahnnetz unterschieden. Diese Zeiten sind mit dem Ladevorgang verbunden und haben direkten Einfluss auf die in Betrieb

befindlichen Straßenbahnlinien. Durch den Stopp auf dem Netz einer herkömmlichen PSB kann es zu einer Beeinträchtigung kommen. Je kürzer der Aufenthalt desto geringer sind die zu erwartenden Auswirkungen. Dabei ist zu beachten, dass bei vielen Belieferungsvorgängen nicht nur Güter entladen, sondern auch häufig Leergut beladen werden muss. In weiterer Folge sind diese Haltezeiten von der Fahrzeugkonstruktion, der Art der zu befördernden Transportbehälter, von der Größe der einzelnen Lieferungen und von der Geschwindigkeit der Be- und Entladung abhängig. Die Ladegeschwindigkeit hängt ihrerseits von der Art des Umschlags, ob mechanische oder maschinelle Hilfsmittel (z.B. Hubwagen) eingesetzt werden, von der Anzahl der beteiligten Personen am Ladeprozess und von Störungen durch infrastrukturelle Einrichtungen oder motorisiertem Individualverkehr ab.

Die drei verwendeten prognostizierten Aufenthaltszeiten werden als Zeiträume definiert und sind wie folgt festgelegt:

- „kurze“ prognostizierte Aufenthaltszeit → bis 5 min.
- „mittlere“ prognostizierte Aufenthaltszeit → 5 bis 10 min.
- „lange“ prognostizierte Aufenthaltszeit → 10 bis 15 min.

Es wird bei Straßenbahnen von einem max. Intervall von 15 Minuten ausgegangen. Das Haltezeitenintervall „lang“ wird somit ebenfalls auf 15 Minuten beschränkt. Es stellt somit eine obere Grenze für den Ladeprozess dar<sup>12</sup>. Bei längeren Aufenthaltszeiten ist kein regulärer Straßenbahnpersonenverkehr durchführbar.

### 3.2 Eignungsstufen

Die Spalte „Eignungsstufe“ resultiert aus der Kombination des beschriebenen Zeitintervalls und der gewählten Betriebsform. Die Wertungen beziehen sich auf die Integration der GSB in das bestehende Straßenbahnnetz. Sie ist eingeteilt in drei Kategorien:

**Eignungsstufe 1** – gut geeignet; es kommt zu keinen negativen Auswirkungen durch die Einführung einer GSB

---

<sup>12</sup> Diese Betrachtung gilt nur für Belieferungen in der Betriebszeit.

**Eignungsstufe 2** – mit Einschränkungen geeignet; es können Wartezeiten bzw. Verspätungen bei den Linien des Personenverkehrs auftreten, die Dimension ist abhängig von der tatsächlichen Aufenthaltszeit der GSB und der Ankunft der nachfolgenden Straßenbahn

**Eignungsstufe 3** – nicht geeignet; der GSB-Betrieb verursacht den Zusammenbruch des regulären Straßenbahnverkehrs

Eine Verbesserung der Eignung ist einerseits durch die Umstellung auf eine andere Betriebsform (schwer zu bewerkstelligen) oder durch die Reduzierung der prognostizierten Haltezeit möglich. Eine verkürzte Haltezeit, z.B. durch den Einsatz von zusätzlichem Personal oder maschineller Unterstützung, hat somit großen Einfluss auf die Eignungsstufe. Ein weiterer entscheidender Einflussparameter ist die Anzahl der verkehrenden Linien des Personenverkehrs auf dem Gleis, bei dem es zu Aufenthalten kommt. Mit steigender Linienanzahl wachsen die Schwierigkeiten für einen problemlosen Güterverkehr. In der Eignungs- und Anforderungstabelle sind keine Linien, weder in der Anzahl noch im Intervall enthalten, da sie einen generellen Überblick gibt und sich nicht auf eine bestimmte Stadt, Strecke oder Gleis bezieht. Es wird von einem Intervall von 10 Minuten ausgegangen, wobei sich dieses nicht auf eine Linie, sondern auf hintereinander eintreffende Fahrzeuge bezieht. Aus diesem Grund wird in der Tabelle der Wert der Fahrzeugfolgezeit mit 10 Minuten angesetzt. Bei einer Verkürzung dieser Zeit, sei es durch ein kürzeres Intervall von Fahrzeugen einer Linie oder aufgrund von mehreren verkehrenden Linien ergibt sich eine Verschlechterung der Eignungsstufe. Umgekehrt bewirkt eine Verlängerung eine Erhöhung der Eignung und somit eine verbesserte Systemverträglichkeit. Diese Auswirkungen sind Tabelle 18 zu entnehmen und ermöglichen eine Bewertung von konkreten Anwendungsfällen.

### **3.3 Transportgut**

Die Spalte „Transportgut“ gibt Auskunft darüber, mit welcher Art von Transportbehälter zu rechnen ist. Dies hat Einfluss auf das optimale Zugmodell und somit auf die Anforderungen, die auf das Fahrzeug und die Infrastruktur gestellt werden.

### **3.4 Geeignetes Zugmodell**

Unter „geeignetes Zugmodell“ wird das aus den Transportbehältern, der Versorgungskategorie und der Betriebsform resultierende optimale Zugmodell angeführt.

---

Unterschiede ergeben sich aus den Be- und Entladevorgängen, für die mitunter verschiedene Zugmodelle geeignet sind. Unter diesem Punkt wird kein Zusammenhang mit fahrdynamischen Einflussgrößen, z.B. Streckensteigungen (die eine große Rolle bei der Wahl eines geeigneten Zugmodells spielen) (siehe Kap. B-1.3), berücksichtigt. Es wird lediglich die Optimierung der Ladevorgänge zwecks Reduktion der Aufenthaltszeit betrachtet. Aufgrund der Tatsache, dass nur bei der Kettenbelieferung diese Zeit ausschlaggebend ist, ergibt sich für diese Betriebsform die Niederflurgarnitur als optimales Modell. Im Vergleich dazu resultieren beim Lok-Wagen-System durch seine hohe Ladefläche ohne bauliche Einrichtungen am Entladeort schwierige Ladebedingungen. Bei den beiden anderen Betriebsformen Standort- und Punktbelieferung ist dieser Nachteil nicht gegeben, da sie unabhängig von der Haltezeit sind. Durch entsprechende Einrichtungen oder maschinelle Hilfsmittel (z.B. Hubstapler) kann der Ladevorgang problemlos durchgeführt werden. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, bei besonders großen oder schweren Transporten eine weitere Lok zu verwenden und somit auf zeitweise außergewöhnliche auftretende Belastungen zu reagieren.

### 3.5 Anforderungen

Die letzten beiden Spalten berücksichtigen die Anforderungen an das Fahrzeug und die Infrastruktur. Sie ergeben sich aus dem Transport, der Art der transportierten Güter, dem Be- und Entladen, dem Zusammenspiel mit dem motorisierten Individualverkehr (MIV) und den infrastrukturellen Einrichtungen. Zum Teil sind diese Forderungen Systemvoraussetzung für die GSB und zum anderen erleichtern sie den Betrieb und stellen Verbesserungsmöglichkeiten dar.

#### Anforderungskatalog Fahrzeug

- A .... Platz, Stauraum und Sicherungsmöglichkeiten für Paletten
- B .... Platz, Stauraum und Sicherungsmöglichkeiten für Rollwagen
- C .... Platz, Stauraum und Sicherungsmöglichkeiten für Kartons/Pakete bzw. Kübel
- D .... Platz, Stauraum und Sicherungsmöglichkeiten für Kisten/Fässer
- E .... Hubwagengerät für den Be- und Entladevorgang der Paletten

- F .... Maschinelles Ladegerät
- G .... Hilfsgerät für die Entladung von Karton/Pakete bzw. Kübel und Kisten/Fässer (z.B. Rodel)
- H .... Niederflurwaggon für Niveaugleichheit zwischen Gehsteig und Be- und Entladeniveau, genügend Lademöglichkeiten (Türen/Öffnungen) über die Fahrzeuglänge verteilt
- I .... ausfahrbare bzw. ausklappbare Rampe für die Überwindung von Abständen zwischen Fahrzeuginnenraum und Entladezone
- J .... Wagen mit Kühlsystem und Kühltechnik
- K .... Wagen mit Schneebeladesystem und Entladesystem
- L .... Wagen mit Schuttladeraum und Entladesystem
- M .... Wagen mit Müllbeladesystem und Entladesystem

#### **Anforderungskatalog Infrastruktur**

- i .... Bedarfshaltestelle, Lademöglichkeit und Laderaum für die Be- und Entladung von Gütern und Leergut; Lagerfläche für kurzfristiges Abstellen von Gütern direkt am Gleis
- ii .... Gleiches Niveau zwischen Gehsteig und Entladefläche
- iii .... Beeinflussung des MIV bei fehlendem selbständigen Gleiskörper, parkenden und vorbeifahrenden Fahrzeugen
- iv .... Entfernung von hindernden infrastrukturellen Einrichtungen (z.B. Poller, Geländer oder Parkbänke)
- v .... Anschlussgleis mit Ladezone
- vi .... Eigener Gleisabschnitt mit Möglichkeiten der Be- und Entladung, Sammelplatz und Zugangsmöglichkeiten

In Tabelle 16 werden alle Kategorien nach ihrer Eignungsstufe zusammengefasst.

Nr.	Versorgungs- Kategorie	Betriebs- form	prog. Haltezeit im Netz	Eignungs- stufe	Transportgut	geeignetes Zugmodell	Anford. Fahrz.	Anford. Infrastr.
1	Apotheke	Kette	mittlere	2	Trockenware, Kartons/Pakete	Garnitur	C, G, H	i, iii, iv
2	Gastronomie - klein	Kette	mittlere	2	Tiefkühl/Trockenware, Kisten/Fässer	Garnitur	D, G, H, I, J	i, ii, iii, iv
3	Gastronomie - groß	Kette	lange	3	Tiefkühl/Trockenware Kisten/Fässer	Garnitur	D, G, H, I, J	i, ii, iii, iv
4	Drogeriemärkte	Kette	lange	3	Trockenware, Paletten, Rollwagen	Garnitur	A, B, E, H, I	i, ii, iii, iv
5	Bäckereien - Konditoreien	Kette	mittlere	2	Tiefkühl/Trockenware, Kisten/Fässer	Garnitur	D, G, H, I, J	i, ii, iii, iv
6	Tabak - Trafik	Kette	kurze	1	Trockenware, Kartons/Pakete	Garnitur	C, G, H	i, iii, iv
7	Modegeschäfte	Kette/ Stand./Pkt.	lange	3	Trockenware Kartons/Pakete, Paletten	Garnitur Lok-Wagen	A, C, E, G, H, I	i, ii, iii, iv, v, vi
8	Post	Kette	mittlere	2	Trockenware, Kartons/Pakete	Garnitur	C, G, H	i, iii, iv
9	Lebensmittel - ketten	Kette	lange	3	Tiefkühl/Trockenware, Paletten, Rollwagen, Kartons/Pakete	Garnitur	A, B, C, E, G, H, I, J	i, ii, iii, iv
10	Papier - Bücher	Kette	lange	3	Trockenware Kartons/Pakete, Paletten	Garnitur	A, C, E, G, H, I	i, ii, iii, iv
11	Blumen	Kette	mittlere	2	Trockenware, Kartons/Pakete, Kübel	Garnitur	C, G, H	i, iii, iv
12	Feinkost	Kette	mittlere	2	Trockenware, Kartons/Pakete, Kisten/Fässer	Garnitur	C, D, G, H, I	i, ii, iii, iv
13	Elektro	Kette	lange	3	Trockenware, Paletten, Kartons/Pakete	Garnitur	A, C, E, G, H, I	i, ii, iii, iv
<b>Nr.</b>	<b>Entsorgungs- Kategorie</b>	<b>Betriebs- form</b>	<b>prog. Haltezeit im Netz</b>	<b>Eignungs- stufe</b>	<b>Transportgut</b>	<b>geeignetes Zugmodell</b>	<b>Anford. Fahrz.</b>	<b>Anford. Infrastr.</b>
1	Schnee	Standort	nicht rel.	1	Container	Lok-Wagen	K, F	vi
2	Bauschutt	Punkt	nicht rel.	1	Container	Lok-Wagen	L, F	v
3	Müll	Standort	nicht rel.	1	Container	Lok-Wagen	M, F	vi

Fahrzeugfolgezeit 10 min.

Tab. 16: Anforderungen und Eignungen Versorgungs- und Entsorgungskategorien  
Quelle: Diatel, Jürgen: Eigenerarbeitung, März 2006

Versorgungskategorien		
Eignungsstufe 1 (gut geeignet)	Eignungsstufe 2 (mäßig geeignet)	Eignungsstufe 3 (schlecht geeignet)
Tabak-Trafik	Apotheke	Gastronomie groß
	Gastronomie klein	Drogeriemärkte
	Bäckereien-Kondit.	Modegeschäfte
	Post	Lebensmittelketten
	Blumen	Papier-Bücher
	Feinkost	Elektro

Entsorgungskategorien		
Eignungsstufe 1 (gut geeignet)	Eignungsstufe 2 (mäßig geeignet)	Eignungsstufe 3 (schlecht geeignet)
Schnee		
Bauschutt		
Müll		

Tab. 17: Übersicht Kategorieneignung  
 Quelle: Diatel, Jürgen: Eigenerarbeitung, März 2006

Betriebsform	progn. Haltezeit im Netz	Intervall	Beeinträchtigung der Personenstrb.	Eignungsstufe
Pkt - Pkt Standort	keine	nicht rel.	nicht gegeben	1
		nicht rel.	nicht gegeben	1
Kette	kurze (bis 5 min.)	15	nicht gegeben	1
		10	nicht gegeben	1
		7-8	nicht gegeben	1
		5	gering	2
Kette	mittlere (5 bis 10 min.)	15	nicht gegeben	1
		10	gering	2
		7-8	groß	3
		5	groß	3
Kette	lange (10 bis 15 min.)	15	gering	2
		10	groß	3
		7-8	groß	3
		5	groß	3

Tab. 18: Zusammenhang Intervallverkürzung – Eignungsstufe  
 Quelle: Diatel, Jürgen: Eigenerarbeitung, März 2006

Die Tabellen zeigen, dass die meisten Kategorien (je sechs) der Versorgung mäßig bzw. schlecht geeignet sind. Durch zu lange prognostizierte Haltezeiten kommt es zu Problemen der Integration und somit zu dieser Bewertung. Auftretende Probleme und Verbesserungsansätze sind in den nachfolgenden Kapiteln angeführt. Die Kategorie Tabak-Trafik ist bereits ohne Veränderungen gut geeignet für die Belieferung mit einer GSB. Durch geringe Liefermengen und Transportgüter, die ideal für eine schnelle Entladung sind und kein Problem durch auftretende Höhenunterschiede verursachen, ergibt sich eine Eignungsstufe 1.

Durch die Betriebsform resultiert für alle drei Kategorien der Entsorgung die Stufe 1 (gut geeignet). Dies ergibt sich aus der Entkopplung der Ladetätigkeit und dem Transport der Güter vom Netz der PSBlinien. Die GSB befindet sich lediglich für die Fahrdauer in „direktem“ Kontakt mit anderen Linien; beim Ladevorgang findet keine Korrelation statt. Dies stellt einen großen Vorteil gegenüber den Versorgungskategorien dar. Es muss jedoch bedacht werden, dass die Verlegung des Laderaums durch bauliche Maßnahmen und mit Kosten verbunden ist.

#### **4 Annahmen für die Belieferung einer Lebensmittelkette in Wien (Mikschofsky)**

Ausgehend von den vorangegangenen Kapiteln können nun für jede der möglichen Kategorien Logistikkonzepte und Fahrtrouten festgelegt werden. Die Ungleichheiten beziehen sich dabei auf die unterschiedlichen Liefermengen, die Art der Betriebsform sowie den Typus des Fahrzeuges (Garnitur oder Lok-Wagen-System). In dieser Arbeit ist in weiterer Folge die Belieferung einer Lebensmittelkette (Billa-Konzern) näher erläutert.

Der Billa-Konzern betreibt im Wiener Stadtgebiet 241 Filialen (vgl. [54]). Von diesen Filialen liegen 86 am Netz der Wiener Straßenbahn (vgl. [55]). Eine weitere Einschränkung wird bezüglich der Anzahl der Personenlinien, die auf den jeweiligen Strecken im Einsatz sind, getroffen. Da ein sinnvoller und effizienter Betrieb einer GSB nur auf Abschnitten wo lediglich eine reguläre Linie verkehrt möglich ist, reduziert sich die Anzahl der zu ins Auge fassenden Filialen auf 63. Für deren Belieferung werden folgende Annahmen getroffen.

#### 4.1 Kapazitätsannahmen

Aufgrund der Erkenntnisse aus dem letztem Kapitel (siehe Kap. C-3 und Tab. 16) ist für die vorliegende Betriebsform (Kettenbelieferung) eine Straßenbahngarnitur (Niederflur) das am besten geeignete Fahrzeug.

- Jede Filiale wird täglich beliefert und bekommt, je nach Bedarf und Größe, im Schnitt acht bis neun Rollcontainer pro Lieferung.
- Die Kapazität eines adaptierten Niederflurfahrzeugs wird mit 35 Rollcontainern festgelegt.
- Das Fahrzeug ist folglich in der Lage pro Fahrt maximal vier Billa-Filialen zu bedienen.
- Das hat zur Folge, dass 16 Fahrten bzw. Fahrtrouten für die Bedienung der 63 Filialen von Nöten sind, um die gesamte Ware rechtzeitig und in gewünschter Menge zu liefern.
- Niederflurfahrzeug das in der Lage ist sowohl auf Gleisen der WL als auch auf der WLB zu fahren.
- Die Haltezeit vor den Filialen beträgt maximal sieben Minuten.

Dabei wird in dieser Arbeit ausschließlich der Transport von Trockenware berücksichtigt. Weil Billa-Filialen auch Tiefkühlwaren bekommen, muss dafür eine gesonderte Betrachtung herangezogen werden.

#### **Übersichtsplan der Billa-Filialen (ausklappbarer Plan) siehe nächste Seite**

*Quelle: Plan: WL, Februar 2006*

*Quelle: Standorte: Emberger, Günter: TU Wien – Institut für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik*



## 4.2 Fahrtrouten zur Belieferung

Zur Festlegung der erforderlichen Fahrtrouten wird das Wiener Stadtgebiet in einen Nord- bzw. Südteil aufgegliedert. Diese Spaltung ergibt, dass sich 32 Filialen – oder acht erforderliche Fahrtrouten – auf der Nordseite und 31 Filialen – oder acht notwendige Fahrtrouten – auf der Südseite befinden. Die Grenze zwischen den beiden Hälften verläuft annähernd horizontal auf Höhe des Stephansplatzes. Diese Trennung wird aus logistischen Gründen vorgenommen, damit eine GSB bei einer Fahrt jeweils nur das halbe Stadtgebiet durchqueren muss. Die Abstände der einzelnen Bedarfshaltestellen der GSB auf einer Route müssen diverse Kriterien erfüllen. Aufgrund der geringen möglichen Haltezeit (vgl. [56]) (Basiswert 7 Minuten) muss die GSB vor dem Entladen dicht hinter dem Vorderzug aufgefahren sein um eine maximale Ladezeit zu erzielen. Das heißt, sie benötigt nach dem vorherigen Ladevorgang einen bestimmten Weg auf der Strecke um die voraus fahrende PSB wieder einzuholen. Zur Abschätzung dieser Wegstrecke wird eine Simulation mit Hilfe der Eisenbahnsimulationssoftware „OPENTRACK“ durchgeführt.

### 4.2.1 Simulation – Wegabschätzung

Wie vorhin bereits erwähnt ist ein bestimmter Weg notwendig, damit die GSB nach dem Entladen den Vorderzug wieder einholen kann. Relevant dabei sind allerdings nur Strecken wo zwischen zwei aufeinander folgenden Filialen ein und dieselbe Personenlinie verkehrt und weder Schleifen noch Betriebsbahnhöfe oder sonstige zusätzliche Gleise vorhanden sind. In der Simulation soll gezeigt werden, nach welcher Distanz eine GSB die vorausseilende PSB eingeholt hat wenn die PSB in jeder Station eine Haltezeit von 20 Sekunden beansprucht und die GSB am Startpunkt 7 Minuten nach der regulären Linie abfährt.

#### **Simulationsannahmen:**

Die Teststrecke wird als gerade Strecke, auf der sich im Abstand von je 500 Metern Haltepunkte befinden, abgebildet. Diese Haltepunkte stellen die Stationen der Personenlinie dar, wobei 500 Meter der durchschnittlichen Entfernung von zwei Straßenbahnstationen entsprechen. Den technischen Motor- und Fahrzeugdaten liegt ein ULF der Type B zugrunde, der in der Simulation sowohl für das Personen- als auch für das Güterfahrzeug herangezogen wird. Des Weiteren werden in der Simulation VLSA, Weichen, Störungen, Verspätungen,

---

sowie der motorisierte Individualverkehr nicht berücksichtigt. (Im Fall einer Realisierung müssen die gesteuerten VLSA nicht nur durch Personen sondern auch durch die GSB beeinflusst werden.) Ergebnis dieser Simulation ist das folgende Zeit-Weg-Diagramm, welches bei einer maximalen Geschwindigkeit von 50 km/h (sowohl Personen ULF als auch Güter ULF) entsteht.

## Startpunkt - Zielpunkt

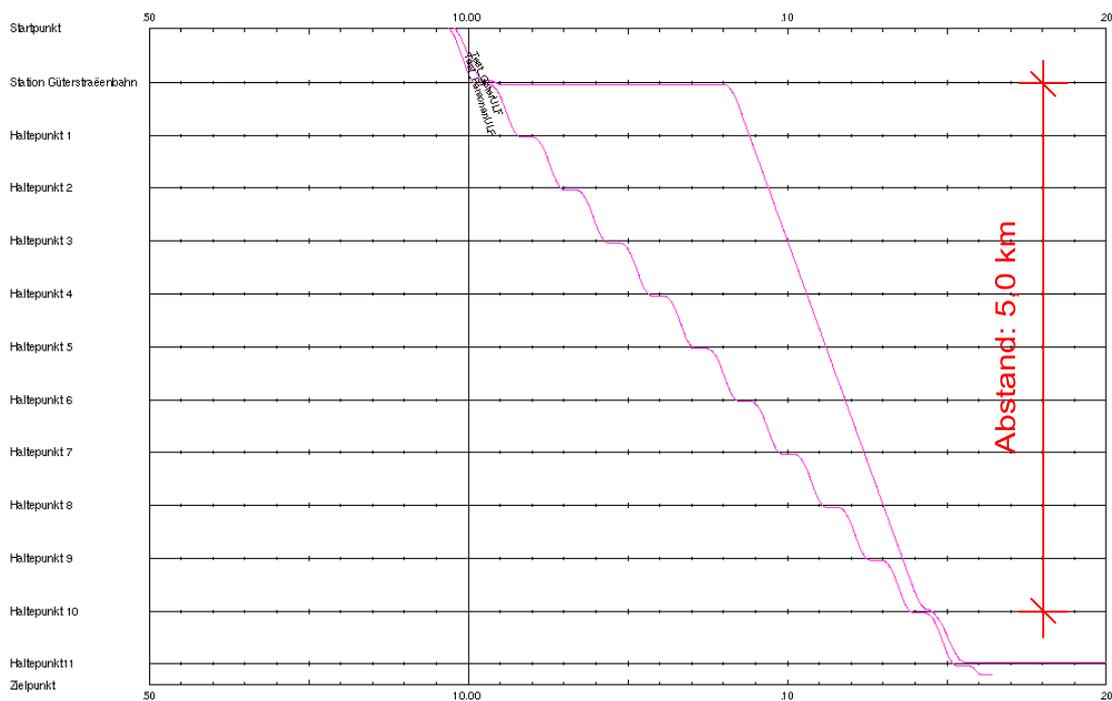


Abb. 28: Auswertung Zeit-Weg-Diagramm, Geschwindigkeit 50 km/h  
Quelle: Mikschofsky, Michael: Eigenerarbeitung, April 2006

In dieser Abbildung kann man deutlich erkennen wann die GSB den Vorderzug wieder eingeholt hat. Aufgrund dieser Simulation ergibt sich ein Abstand von mindestens 5,0 Kilometer zwischen zwei zu beliefernden Filialen. Dieser Abstand muss eingehalten werden damit eine möglichst lange Ladezeit entsteht.

In manchen Bereichen des Straßenbahnnetzes wo selbstständige Gleiskörper bzw. eigene Bahnkörper vorhanden sind, ist eine höhere Geschwindigkeit des Güter ULF zulässig. In solchen Fällen erreicht die Straßenbahngarnitur eine Höchstgeschwindigkeit von 70 km/h und kann somit die Personenlinie früher einholen. (vgl. zu diesem Kap. [57])

## Startpunkt - Zielpunkt

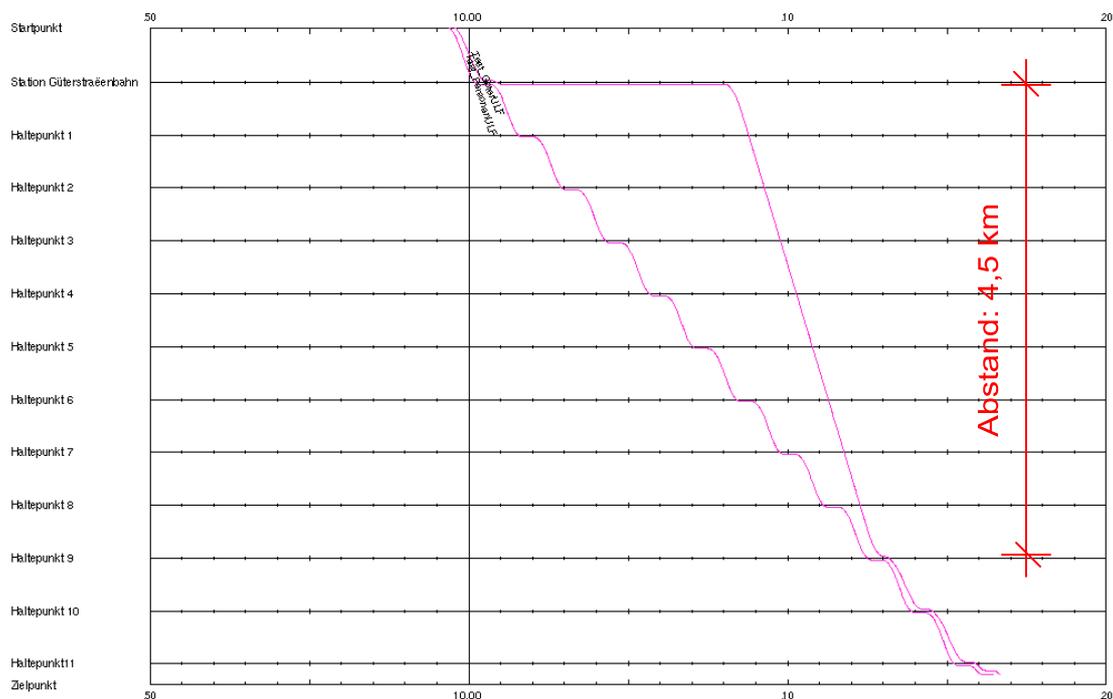


Abb. 29: Auswertung Zeit-Weg-Diagramm, Geschwindigkeit 70 km/h  
 Quelle: Mikschofsky, Michael: Eigenerarbeitung, April 2006

In den anderen Fällen wo zwei aufeinanderfolgende Filialen auf zwei oder mehreren Linien liegen, bzw. Schleifen und Betriebsbahnhöfe oder sonstige zusätzliche Gleise vorhanden sind, ist dieser Abstand nicht von so großer Bedeutung wie im vorher geschilderten Fall. In solchen Schleifen (Betriebsgleise, etc.) ist es möglich eine GSB aus betrieblichen Gründen kurzfristig aus dem Verkehr zu nehmen um sie später hinter einer Personenlinie wieder einzugliedern, damit nach wie vor die längstmöglichen Ladezeiten genutzt werden können. Ein weiteres die Route betreffendes wichtiges Kriterium ist die Lage der Filiale bezogen auf die Straßenseite. Es ist günstig wenn sich die Filiale auf der in Fahrtrichtung gesehenen rechten Seite befindet, da es in diesem Fall zu weniger Konflikten mit dem motorisierten Individualverkehr und entgegenkommenden Straßenbahnen kommt. (siehe Kap. C-5)

#### 4.2.2 Auflistung der Fahrtrouten

Wie schon erwähnt unterteilen sich die Routen in einen Nord- und einen Südteil. Zunächst werden 16 mögliche Routen<sup>13</sup>, getrennt in Nord und Süd, aufgelistet. Anschließend wird eine davon ausführlich beschrieben. Grundsätzlich ist zu erwähnen, dass jeder Weg seinen Start- und Endpunkt im Billa-Logistikzentrum Süd in Wiener Neudorf hat. Über die WLB<sup>14</sup> gelangt man anschließend ins Wiener Stadtgebiet, wobei die Nordrouten die gemeinsame Strecke bis Karlsplatz bzw. Börse haben und die Südrouten bis Wien Meidling/Philadelphiabrücke. Von diesen Punkten ausgehend verlaufen die Fahrtrouten individuell und bedienen alle 63 involvierten Billa-Filialen.

##### 4.2.2.1 Nordrouten

**Route A** – Karlsplatz, Börse – **1. Haltepunkt, Billa Berggasse 3 (Nr. 3)** – Franz-Josefs-Bahnhof – Schleife Augasse (Linie D) – Floridsdorf, Franz Jonas Platz – Kagran – **2. Haltepunkt, Billa Wagramer Straße 55 (Nr. 60)** – Schleife Oberdorferstraße (Linie 25) – Kagran – **3. Haltepunkt, Billa Donaufelder Straße 23-25 (Nr. 10)** – Floridsdorf, Franz Jonas Platz – Brigittenau – **4. Haltepunkt, Billa Klosterneuburger Straße 31-33 (Nr. 31)** – Schottenring – Karlsplatz.

**Route B** – Karlsplatz, Börse, Schleife Börse – Schottentor – **1. Haltepunkt, Billa Alser Straße 34 (Nr. 2)** – Schleife Neuwaldegg (Linie 43) – **2. Haltepunkt, Billa Hernalser Hauptstraße 215 (Nr. 23)** – Elterleinplatz – Gersthof – Schleife Pötzleinsdorf (Linie 41) – **3. Haltepunkt, Billa Gersthof Straße 141 (Nr. 16)** – Gersthof – Elterleinplatz – **4. Haltepunkt, Billa Ottakringer Straße 55 (Nr. 43)** – Schottentor – Karlsplatz.

**Route C** – Karlsplatz, Börse – **1. Haltepunkte, Billa Julius-Tandler-Platz 3, FJB (Nr. 14)** – Schleife Augasse (Linie D) – Floridsdorf, Franz Jonas Platz – Kagran – **2. Haltepunkt, Billa Langobardenstraße 124 (Nr. 34)** – Schleife Oberdorferstraße (Linie 25) – Kagran – **3.**

---

<sup>13</sup> Es sind viele verschiedene Kombinationen möglich.

<sup>14</sup> Anschlussgleis zur WLB ist zu errichten.

**Haltepunkt, Billa Donauefer Straße 177A (Nr. 9)** – Floridsdorf, Franz Jonas Platz – **4. Haltepunkt, Billa Prager Straße 274 (Nr. 45)** – Schleife Strebersdorf (Linie 26) – Floridsdorf, Franz Jonas Platz – Brigittenau – Schottenring – Karlsplatz.

**Route D** – Karlsplatz – Schwedenplatz – **1. Haltepunkt, Billa Praterstern (Nr. 7)** – Franz-Josefs-Bahnhof – Altes AKH – Josefstädter Straße – **2. Haltepunkt, Billa Ottakringer Straße 158 (Nr. 42)** – Schleife Ottakring, Thaliastraße (Linie J) – Altes AKH – **3. Haltepunkt, Billa Döblinger Hauptstraße 74 (Nr. 8)** – Schleife Hohe Warte (Linie 37) – Schleife Schottentor – Gersthof – Schleife Herbeckstraße (Linie 40) – **4. Haltepunkt, Billa Alesegger Straße 29 (Nr. 1)** – Gersthof – Elterleinplatz – Altes AKH – Schottentor – Karlsplatz.

**Route E** – Karlsplatz, Börse – Franz-Josefs-Bahnhof – Schleife Nussdorf (Linie D) – **1. Haltepunkt, Billa Heiligenstädter Straße 83 (Nr. 22)** – Schleife Augasse (Linie D) – Schleife Nussdorf (Linie D) – **2. Haltepunkt, Billa Heiligenstädter Straße 161 (Nr. 21)** – Franz-Josefs-Bahnhof – Brigittenau – **3. Haltepunkt, Billa Kaschlgasse 4 (Nr. 29)** – Billa liegt in einer Schleife) – Floridsdorf, Franz Jonas Platz – Kagran – Schleife Oberdorferstraße (Linie 25) – **4. Haltepunkt, Billa Hartlebengasse 1-17 (Nr. 19)** – Kagran – Floridsdorf, Franz Jonas Platz – Schottenring – Karlsplatz.

**Route F** – Karlsplatz – Parlament, Stadiongasse – **1. Haltepunkt, Billa Neulerchenfelder Straße 75-77 (Nr. 41)** – Schleife Ottakring, Thaliastraße (Linie J) – Schleife Joachimsthalerplatz (Linie 46) – Hernals, Dornbach – Elterleinplatz – **2. Haltepunkt, Billa Hormayrgasse 6 (Nr. 65)** – Schleife Antonygasse (Linie 42) – Schleife Schottentor – Schleife Grinzing (Linie 38) – **3. Haltepunkt, Billa Strassergasse 3 (Nr. 54)** – Betriebsbahnhof Gürtel – Franz-Josefs-Bahnhof – Betriebsbahnhof Brigittenau – **4. Haltepunkt, Billa Untere Augartenstraße 30 (Nr. 59)** – Schottenring – Karlsplatz.

**Route G** – Karlsplatz – Schwedenplatz – Am Tabor – **1. Haltepunkt, Billa Wallensteinstraße 55 (Nr. 61)** – Betriebsbahnhof Brigittenau – Floridsdorf, Franz Jonas Platz – **2. Haltepunkt, Billa Pragerstraße 82-86 (Nr. 46)** – Schleife Strebersdorf (Linie 26) – Floridsdorf, Franz Jonas Platz – Kagran – Schleife Oberdorferstraße (Linie 25) – **3. Haltepunkt, Konstanziagasse 60-62 (Nr. 32)** – Kagran – Floridsdorf, Franz Jonas Platz –

---

Franz-Josefs-Bahnhof – Schleife Augasse (Linie D) – **4. Haltepunkt, Billa Porzellangasse 21 (Nr. 44)** – Börse – Karlsplatz.

**Route H** – Karlsplatz – Parlament, Stadiongasse – Schleife Ottakring, Thaliastraße (Linie J) – Schleife Joachimsthalerplatz (Linie 46) – Schleife Hernals, Dornbach (Linie 10, 44) – **1. Haltepunkt, Billa Wilhelminenstraße 63-65 (Nr. 64)** – Johann–Nepomuk–Berger Platz – Elterleinplatz – Gersthof – Schleife Pötzleinsdorf (Linie 41) – **2. Haltepunkt, Billa Salierigasse 43 (Nr. 50)** – Gersthof – Volksoper – Schleife Grinzing (Linie 38) – **3. Haltepunkt, Billa Billrothstraße 49 (Nr. 5)** – Betriebsbahnhof Gürtel – Schleife Augasse (Linie D) – Schleife Nußdorf (Linie D) – **4. Haltepunkt, Billa Heiligenstädter Straße 123 (Nr. 20)** – Börse – Karlsplatz.

#### 4.2.2.2 Südrouuten

**Route I** – Philadelphiabrücke – Matzleinsdorfer Platz – Quellenplatz – **1. Haltepunkt, Billa Quellenstraße 49 (Nr. 47)** – Schleife Grillgasse (Linie 6) – **2. Haltepunkt, Billa Simmeringer Hauptstraße 35 (Nr. 51)** – St. Marx – **3. Haltepunkt, Billa Markhofgasse 1-9 (Nr. 11)** – Billa liegt in einer Schleife) – Schleife St. Marx (Linie 18, 71) – **4. Haltepunkt, Billa Rennweg 9 (Nr. 49)** – Schleife Schwarzenbergplatz (Linie 71) – Schleife Südbahnhof (Linie D) – Matzleinsdorfer Platz – Philadelphiabrücke.

**Route II** – Philadelphiabrücke – Schleife Eichenstraße (Linie 62) – **1. Haltepunkt, Billa Speisinger Straße 63 (Nr. 53)** – Schleife Dreiständegasse (Linie 60) – **2. Haltepunkt, Billa Geßlgasse 17 (Nr. 17)** – Hietzing, Kennedybrücke – Schleife Baumgarten (Linie 52) – **3. Haltepunkt, Billa Hütteldorfer Straße 149 (Nr. 26)** – Urban-Loritz-Platz – Schleife Volkstheater (Linie 46, 49) – **4. Haltepunkt, Billa Thaliastraße 98-100 (Nr. 57)** – Schleife Joachimsthaler Platz (Linie 46) – Volkstheater – Karlsplatz – Philadelphiabrücke.

**Route III** – Philadelphiabrücke – Matzleinsdorfer Platz – Quellenplatz – **1. Haltepunkt, Billa Geiselbergstraße 34-36 (Nr. 15)** – Schleife Grillgasse (Linie 6) – St. Marx – **2. Haltepunkt, Billa Rennweg 65 (Nr. 48)** – Wien Mitte – Schleife Prater/Hauptallee (Linie N) – **3. Haltepunkt, Billa Löwengasse 33 (Nr. 37)** – Wien Mitte – Südbahnhof – Quellenplatz – **4. Haltepunkt, Billa Favoritenstraße 138 (Nr. 13)** – Schleife Verteilerkreis (Linie 67) – Quellenplatz – Matzleinsdorfer Platz – Philadelphiabrücke.

---

**Route IV** – Philadelphiabrücke – Schleife Eichenstraße (Linie 62) – **1. Haltepunkt, Billa Boerggasse 4 (Nr. 6)** – Schleife Fehlingergasse (Linie 60, 62) – Schleife Hietzing, Kennedybrücke (Linie 10, 60) – **2. Haltepunkt, Billa Hietzinger Hauptstraße 66 (Nr. 24)** – Schleife Hummergasse (Linie 58) – Hietzing, Kennedybrücke – Schleife Joachimsthaler Platz (Linie 46) – **3. Haltepunkt, Billa Hütteldorfer Straße 194 (Nr. 27)** – Schleife Baumgarten (Linie 52) – Westbahnhof – **4. Haltepunkt, Mariahilfer Straße 120 (Nr. 38)** – Josefstädter Straße – Parlament, Stadiongasse – Karlsplatz – Philadelphiabrücke.

**Route V** – Philadelphiabrücke – Matzleinsdorfer Platz – Quellenplatz – **1. Haltepunkt, Billa Grillgasse 6 (Nr. 18)** – Schleife Grillgasse (Linie 6) – St. Marx – Rennweg – Schleife Hintere Zollamtstraße (Linie O) – Wien Mitte – **2. Haltepunkt, Billa Ungargasse 52 (Nr. 58)** – St. Marx – Schleife Leberstraße (Linie 71) – Rennweg – Schwarzenbergplatz – Ring – Parlament, Stadiongasse – Schleife Ottakring, Thaliastraße (Linie J) – **3. Haltepunkt, Billa Thaliastraße 149 (Nr. 55)** – Schleife Breitensee (Linie 49) – Urban-Loritz-Platz – **4. Haltepunkt, Billa Westbahnstraße 15 (Nr. 62)** – Volkstheater – Karlsplatz – Philadelphiabrücke.

**Route VI** – Philadelphiabrücke – Matzleinsdorfer Platz – Quellenplatz – Schleife Grillgasse (Linie 6) – **1. Haltepunkt, Billa Simmeringer Hauptstraße 99 (Nr. 52)** – St. Marx – Rennweg – Wien Mitte – Schleife Hintere Zollamtstraße (Linie O) – Wien Mitte – **2. Haltepunkt, Billa Fasangasse 23 (Nr. 12)** – Südbahnhof – Matzleinsdorfer Platz – Westbahnhof – **3. Haltepunkt, Billa Neubaugürtel 38 (Nr. 40)** – Schleife Urban-Loritz-Platz (Linie 49) – **4. Haltepunkt, Billa Hütteldorfer Straße 146 (Nr. 25)** – Schleife Baumgarten (Linie 52) – Urban-Loritz-Platz – Westbahnhof – Philadelphiabrücke.

**Route VII** – Philadelphiabrücke – Matzleinsdorfer Platz – Südbahnhof – St. Marx – Schleife Leberstraße – **1. Haltepunkt, Billa Leberstraße 2A (Nr. 36)** – Billa liegt in Schleife) – Rennweg – Schwarzenbergplatz – Ring – Volkstheater – Thaliastraße – **2. Haltepunkt, Billa Kandlerstraße 22 (Nr. 30)** – Betriebsbahnhof Rudolfsheim – Westbahnhof – Urban-Loritz-Platz – Schleife Volkstheater (Linie 46, 49) – **3. Haltepunkt, Billa Westbahnstraße 18 (Nr. 63)** – Urban-Loritz-Platz – Westbahnhof – Quellenplatz – **4. Haltepunkt, Billa Laxenburger Straße 59 (Nr. 35)** – Schleife Betriebsbahnhof Favoriten – Matzleinsdorfer Platz – Philadelphiabrücke.

---

**Route VIII** – Philadelphiabrücke – Schleife Westbahnhof (Linie 52, 58) – Betriebsbahnhof Rudolfsheim – **1. Haltepunkt, Billa Maroltingergasse 52 (Nr. 39)** – Schleife Ottakring, Thaliastraße (Linie J) – **2. Haltepunkt, Billa Thaliastraße 85 (Nr. 56)** – Schleife Volkstheater (Linie 46, 49) – Urban-Loritz-Platz – Schleife Breitensee – **3. Haltepunkt, Billa Hütteldorfer Straße 73-75 (Nr. 28)** – Urban-Loritz-Platz – Westbahnhof – Philadelphiabrücke.

### 4.3 Fahrtroute Nord A

**Plan mit Route Nord A (ausklappbarer Plan) siehe nächste Seite**

*Quelle Plan: WL, Februar 2006*

*Quelle Fotos, Route: Mikschofsky, Michael: Eigenerarbeitung, April 2006*



In diesem Kapitel wird eine von den vorher genannten Fahrtrouten näher beschrieben und auf Probleme, welche bei den Haltepunkten entstehen, hingewiesen. Bei der vorliegenden Strecke handelt es sich um die Route A im Nordteil der Stadt. Die angegebenen Zeiten bei den Filialen sind Annahmen, die auf den vorhandenen Fahrplänen (vgl. [58]) der WLB sowie auf einem Fahrzeitenplan (vgl. [59]) der WL beruhen. Um die Spitzenstunden im Wiener Frühverkehr, oder die Abendspitzen zu umgehen, ist es zweckmäßig die Belieferungsfahrten am Vormittag beziehungsweise am frühen Nachmittag oder am späteren Abend durchzuführen. Das folgende Szenario schildert eine Belieferung in den Morgenstunden.

Startpunkt der Nordroute A ist, wie auch bei allen anderen Routen, das Billa-Logistikzentrum im IZ-Süd<sup>15</sup> welches sich in Wiener Neudorf befindet. Die angenommene Startzeit ist 8.00 Uhr morgens. Zunächst gelangt man über ein zirka 300 Meter langes Anschlussgleis auf die Strecke der WLB. Auf der Lokalbahn sind keine Haltepunkte vorgesehen. Darüber hinaus sind die Intervalle der Badner Bahn ausreichend groß, sodass eine zusätzliche Garnitur (oder mehrere zusätzliche Garnituren) keine Behinderung der Personengarnituren verursacht. Im Weiteren folgt die Route der GSB jener der WLB. Der nächste Knotenpunkt ist die Station Wien Meidling, Philadelphiabrücke. Hier trifft die GSB auf die regulären Linien der Wiener Straßenbahn und verkehrt als solche bis in die Innenstadt zum Karlsplatz. Charakteristikum der Nordrouten ist, dass sie bis dorthin keine Stationen anfahren. Deswegen kann eine GSB auch ohne weiteres über die Wiedner Hauptstraße – wo zwei Straßenbahnlinien (Linie 62, 65) sowie die WLB in Betrieb sind – zur Oper geführt werden. Eine Ladetätigkeit ist an diesem Verkehrsweg schwer durchzuführen. Bedingt durch die vorhandene Gleislage muss am Karlsplatz ein Umweg gefahren werden. Um von der Wiedner Hauptstraße in den Ring einzubiegen muss zunächst die Schleife der Linien 62 und 65 und anschließend jene der Linie J durchfahren werden(siehe Abb. 31).

---

<sup>15</sup> IZ – Süd: Industriezentrum Süd



Abb. 30: Schleifenfahrt Linie 62, 65 und J

Quelle: <http://www.wien.gv.at/stadtplan/>, April 2006

Auf der Wiener Ringstraße ist die GSB bis zur Börse am Schottenring unterwegs. Nach der Station Börse biegt sie in die Schlickgasse ein und folgt der Linie D Richtung Norden. In diesem Bereich sind Schleifen und zusätzliche Betriebsgleise vorhanden um etwaige Fahrplandifferenzen auszugleichen. Nach ein paar Metern auf der Schlickgasse und dem Passieren des Schlickplatzes erreicht die GSB ihren ersten planmäßigen Aufenthalt, die Billa-Filiale Berggasse 26. Die Fahrzeit vom IZ-Süd bis hierher beträgt in etwa 50 Minuten, wonach die GSB zirka um 8.50 Uhr vor der Filiale eintreffen wird. Die Abfahrt ist nach einer gewählten maximalen Haltezeit von 7 Minuten für ca. 9.00 Uhr vorgesehen.



Abb. 31: Erster Haltepunkt, Billa – Filiale Berggasse 26

Quelle: <http://www.wien.gv.at/stadtplan/>, April 2006

Nach der Haltestelle folgt die Strecke weiterhin dem Verlauf der Linie D, passiert den Franz-Josefs-Bahnhof am Julius-Tandler Platz und gelangt schließlich zur Schleife in der Augasse. Diese wird benötigt, da man am Julius-Tandler Platz nicht direkt von der

Porzellangasse in die Alserbachstraße einbiegen kann, sondern selbiges nur vom Norden kommend möglich ist. Die weitere Strecke führt über die Alserbachstraße und die Friedensbrücke in die Wallensteinstraße im 20. Wiener Gemeindebezirk. An der Kreuzung Klosterneuburger Straße – Wallensteinstraße zweigt die Route von der Wallensteinstraße ab und folgt der Linie 31 bis zur Station Floridsdorf, Franz Jonas Platz. Auf dem Weg dorthin passiert die GSB den Betriebsbahnhof Brigittenau. Hier besteht erneut die Möglichkeit, bei betrieblichen Engpässen und Störungen, PSBen vorzuziehen und die GSB dahinter einzureihen, um den Betrieb der regulären Linien so wenig wie möglich zu stören. Nach dem Betriebsbahnhof folgt der Fahrtweg der Stromstraße sowie der Marchfelder Straße zum Friedrich-Engels Platz. Nach der Querung der Donau über die Floridsdorferbrücke gelangt man zur Station Floridsdorf, Franz Jonas Platz. In dieser Haltestelle ist darauf zu achten, dass die GSB auf das dritte Gleis geführt wird, damit sie anschließend in die Schloßhofer Strasse einbiegen kann. (siehe Abbildung 32)

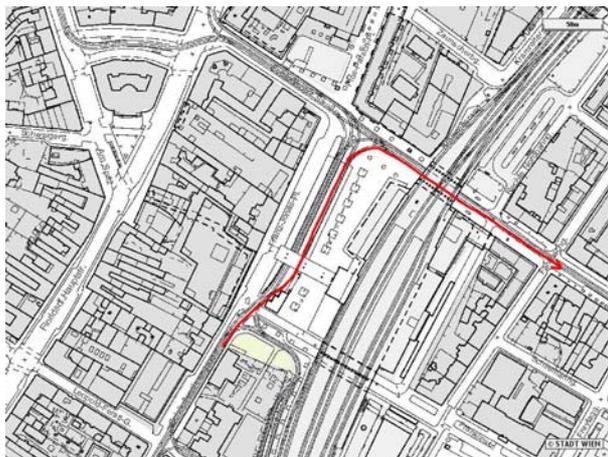


Abb. 32: Station Floridsdorf Franz Jonas Platz  
Quelle: <http://www.wien.gv.at/stadtplan/>, April 2006

Auf der Schloßhofer Straße und in weiterer Folge auf der Donaufelder Straße sind die Garnituren der Linie 26 im Einsatz. Am Kagraner Platz mündet die Route in die Wagramer Straße und erreicht danach den nächsten großen Knotenpunkt, Kagran. Wie schon in den vorangegangenen Beispielen sind auch bei diesem Knoten, durch zusätzlich verfügbare Gleise und Schleifen, betriebliche Korrekturen durchführbar. Anschließend verkehrt die GSB auf den Gleisen der Linie 25 und gelangt nach wenigen Minuten zum zweiten Haltepunkt der Route A. Dieser befindet sich in der Wagramer Straße 55, vor der Kreuzung zur Erzherzog-Karl Straße. Die Fahrzeit zwischen den beiden Billa-Filialen beträgt ungefähr eine dreiviertel

Stunde, was zu einer Ankunftszeit von ungefähr 9.45 Uhr führt. Die Ladezeit vor der Filiale nimmt wie gehabt 7 Minuten in Anspruch, sodass die GSB gegen 9.52 Uhr die Bedarfshaltestelle in der Wagramer Straße wieder verlässt.

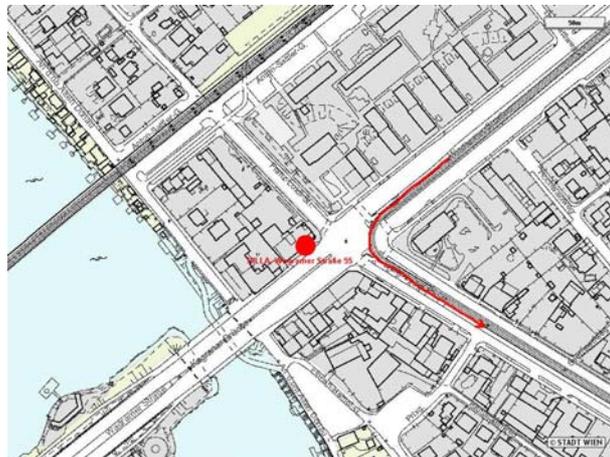


Abb. 33: Zweiter Haltepunkt, Billa-Filiale Wagramer Straße 55  
Quelle: <http://www.wien.gv.at/stadtplan/>, April 2006

Eine Schwierigkeit dieser Route betrifft wiederum die Infrastruktur der Gleisanlagen. Um zur nächsten Billa-Filiale zu gelangen ist eine Umkehrschleife erforderlich, welche sich aber erst nach einiger zusätzlicher Fahrzeit in Aspern in der Oberdorferstraße befindet. Die GSB muss folglich einen Umweg und eine längere Fahrzeit in Kauf nehmen um ihr Ziel zu erreichen. Nachdem sie an der Schleife gewendet hat und erneut am Billa in der Wagramer Straße vorbeigefahren ist, passiert sie wieder den Knoten Kagran. Von dort folgt sie, wie bei der Hinfahrt, die Strecke der Linie 26 über den Kagraner Platz und die Donaufelder Straße bis nach Floridsdorf, Franz Jonas Platz. Unterwegs erreicht sie nach einer Fahrzeit von etwa 45 Minuten die dritte Billa-Filiale der Route Nord A. Diese ist in der Donaufelder Straße 23-25 situiert, wobei die Ankunftszeit ungefähr 10.35 Uhr ist.



Abb. 34: Dritter Haltepunkt, Billa-Filiale Donaufelder Straße 23-25  
Quelle: <http://www.wien.gv.at/stadtplan/>, April 2006

Nach der üblichen vorgesehenen Ladezeit von 7 Minuten verlässt die GSB die Bedarfshaltestelle nahezu um 10.45 Uhr in Richtung Bahnhof Floridsdorf. Am Franz Jonas Platz schwenkt die Route A wieder in die Fahrstrecke der Linie 31 ein und folgt dieser bis zum Schottenring. Nach dem Überqueren der Donau sowie dem Passieren des Betriebsbahnhofes Brigittenau gelangt man zum vierten und letzten Aufenthalt dieser Route. Es betrifft die Billa-Filiale in der Klosterneuburger Straße 31-33. Die Fahrzeit dorthin ist mit 20 Minuten veranschlagt. Demzufolge erreicht die GSB diesen Standort um zirka 11.00 Uhr.



Abb. 35: vierter Haltepunkt, Billa-Filiale Klosterneuburger Straße 31-33  
Quelle: <http://www.wien.gv.at/stadtplan/>, April 2006

Die Weiterfahrt der GSB ist mit 11.07 Uhr angesetzt. Sie folgt, wie bereits erwähnt, den Gleisen der Linie 31 bis zum Schottenring. Dort schwenkt sie nach rechts ab und biegt in die Wiener Ringstraße ein. Auf dieser verkehrt sie erneut bis zum Karlsplatz. In diesem Fall ist es, anders als bei der Hinfahrt, kein Problem vom Ring in die Wiedner Hauptstraße einzumünden.

Nach dieser Kreuzung befindet sich das Fahrzeug bereits wieder auf der Strecke der WLB, der sie bis Wiener Neudorf folgt. Über das Anschlussgleis gelangt die GSB zum Ausgangspunkt der Route, dem Billa-Logistikzentrum im IZ-Süd zurück, welches um zirka 12.00 Uhr erreicht wird. Für die Belieferung der Filialen der Route A werden demnach etwa vier Stunden in Anspruch genommen.

## **5 Hindernisse, Probleme und Lösungsansätze (Diatel)**

Basierend auf den Annahmen, die in Punkt C-4 festgelegt sind und der virtuellen Route durch Wien, (siehe Kapitel C-4.2) folgt eine Zusammenstellung der Schwierigkeiten des Be- und Entladevorgangs bei Lebensmittelfilialen im Allgemeinen und von den vier gewählten Billa-Filialen im Speziellen. Die Erkenntnisse stammen einerseits durch direkte Beobachtungen und Begehungen der Filialen, von Analysen der Ladevorgänge und von einer bereits bestehenden Arbeit (vgl. [56]), die sich ebenfalls mit dem Problem der Be- und Entladung von Straßenbahnen befasst.

Für die vorgesehene Belieferung erfolgt die Beladung der GSB in Wr. Neudorf, im Verteilzentrum der Kette Billa. Es besteht kein Unterschied zum LKW-Transport bezüglich der Minimierung der Aufenthaltszeit der Straßenbahn für den Beladeprozess im Standortareal (zwecks Auslastungsoptimierung). Demzufolge müssen die Lieferungen vorsortiert, bereitgestellt und auf die entsprechenden Routen abgestimmt werden. Im Unterschied zum LKW hat die Sortierung nicht in der Entladereihenfolge zu geschehen (die Rollcontainer der zuerst angefahrenen Filiale werden zuletzt eingeladen), sondern muss auf die Länge und Entlademöglichkeiten (Türen) der Straßenbahn abgestimmt werden. Bei den verschiedenen Stationen kann es zu unterschiedlichen Haltestellen und Entladeplätzen bezogen auf die Gesamtlänge der GSB kommen, weshalb die Beladungsreihenfolge bzw. örtliche Platzzuweisung in der Bahn berücksichtigt werden muss. Weiteres müssen im Verteilzentrum in Wr. Neudorf die infrastrukturellen Einrichtungen, Laderampe, Gleisanlagen, Schleifen bzw. Wendeanlagen und Anschlüsse an die Vollbahn vorhanden sein, und auf eine Straßenbahn ausgelegt werden. (Es ist zu beachten, dass bei der Benützung eines Lok-Wagen-Systems eine maschinelle Ladeeinheit oder eine erhöhte Laderampe vorzusehen ist.)

Im folgenden Abschnitt werden für die vier Billa-Filialen (F) die Abkürzungen

- Berggasse 26 → F1
- Wagramer Strasse 55 → F2
- Donaufelderstrasse 23 – 25 → F3
- Klosterneuburgerstrasse 31-33 → F4

benutzt. Wenn Problemstellungen nicht nur allgemein gültig sind sondern auf eine spezielle Filiale zutreffen, wird die Abkürzung als Klammerausdruck angeführt.

Bei den einzelnen zu beliefernden Filialen ist zunächst zu klären, ob sich eine Haltestelle für die PSB in unmittelbarer Nähe befindet (F1, F2). In diesem Fall ist zu berücksichtigen, dass wartende Fahrgäste, das Wartehaus und eventuell vorhandene Bänke, den Ladevorgang behindern können. Andererseits kommt es bei den wartenden Personen zu einer Beeinträchtigung des Reisekomforts, da sich durch die Ladetätigkeit unvermeidbare Berührungspunkte ergeben. Falls sich keine Haltestelle auf der Strecke befindet (F3, F4), muss eine Bedarfshaltestelle eingerichtet werden. Regulär verkehrende Linien haben hier keinen fahrplanmäßigen Aufenthalt. Die GSB unterbricht jedoch ihre Fahrt für die Belieferung.

Ein ausschlaggebender Faktor in diesem Fall ist das Vorhandensein eines selbständigen Gleiskörpers. Wenn dies nicht zutrifft, kommt es nicht nur zu einer Interaktion mit den anderen Straßenbahnlinien, sondern auch mit dem MIV (F3, F4). Durch den Belieferungsvorgang kommt es zwangsläufig zu längeren Haltezeiten und zu einem Rückstau des MIV wenn keine problemlose Überholmöglichkeit gegeben ist. Diese kann durch entgegenkommende PKWs, LKWs, Straßenbahnlinien etc. gestört werden (F3, F4). Selbst bei einer schnellen Wareneinstellung von nur fünf Minuten, die in der Regel nicht eingehalten werden kann, würde die GSB eine Beeinträchtigung des MIV verursachen. Sowohl bei Bedarfs- als auch bei normalen Haltestellen ist der Abladeraum von Bedeutung. Um die Entladung der Güter zu bewerkstelligen, muss direkt am Gleis ein Abladeraum vorhanden sein, um dem Fahrer die Gelegenheit zu geben die Rollcontainer aus der GSB zu bewegen. Behinderungen können durch Personen (bei Haltestellen, F1), parkende Autos (F4),

Grünstreifen mit Bäumen und Sträuchern, Poller, Geländer oder Absperrungen, Parkbänke, Fahrradabstellplätze oder vorbeifahrenden MIV entstehen. Ein direkter freier Zugang ohne Gefährdung oder Behinderung des Fahrers muss gegeben sein.

Problematisch wird der Ladeprozess bei großen Höhenunterschieden zwischen der Ladefläche des Fahrzeuges und der Entladezone. Selbst bei der Annahme eines Niederflurfahrzeugs kann es bei Bedarfshaltestellen auf der Strecke und fehlender vorgezogener Gehsteigkanten zu einer Höhendifferenz von rund 20 cm bis zur Fahrbahn kommen (F3, F4). Bei Fehlen eines annähernd gleichen Niveaus ist somit eine Rampe vorzusehen, die entweder automatisch ausgefahren werden kann, oder vom Fahrer händisch ausgeklappt werden muss (wie in den Niederflurbussen vorhanden). Es ist zu berücksichtigen, dass die zweite Möglichkeit den Ladevorgang verzögert.

Eine weitere ausschlaggebende Beeinträchtigung entsteht durch zu große Entfernungen zwischen der Ladezone am Gleis und der Filiale, unter der Annahme, dass – wie bei der LKW Belieferung – der Fahrer für den Transport der Güter in die Filiale bzw. den Lagerraum verantwortlich ist. Derzeit sind die FilialmitarbeiterInnen in den Ladevorgang nicht eingebunden, sondern ausschließlich der Fahrer. Durch die Einführung der GSB in den Belieferungsablauf soll keine Verschlechterung der Arbeitsverhältnisse der Billa MitarbeiterInnen entstehen. Deshalb wird die Annahme getroffen, dass der Fahrer allein für den Transport der Güter verantwortlich ist. Umgelegt auf den Straßenbahntransport bedeutet das, dass auch hier der Fahrer alle Wege mit den Rollcontainern zurücklegen muss und daher die Entfernung der Gleise bzw. der (Bedarfs-) Haltestelle vom Lagerraum entscheidend ist.

Dieses Problem stellt sich beim LKW-Transport nicht, da dieser unabhängig vom Standort der Billa-Räumlichkeiten seinen LKW direkt beim Lager parken kann und dies, teilweise ohne Rücksicht auf die STVO, (parken auf dem Abbiegestreifen oder auf dem Gehsteig) tut. Durch die Distanzabhängigkeit ergeben sich Korrelationen zu den örtlichen Gegebenheiten rund um den Haltepunkt der GSB. Schwierigkeiten entstehen zum Beispiel durch Überquerungen von Fahrstreifen des MIV (Drei Fahrstreifen für geradeaus fahrenden und zwei für abbiegenden Verkehr F2), parkenden MIV (F3, F4), Einfahrten und entgegenkommenden MIV (F1), oder Straßenbahnen wenn sich die Filiale auf der Tür abgewandten Seite der GSB befindet. Die Zugangsmöglichkeit des Lagers von der Straße hat

---

ebenfalls direkten Einfluss auf die Dauer der Belieferung, da bei fehlendem äußerem Zugang die Waren und Container durch den Kundenbereich transportiert werden müssen. Insofern ergibt sich für den erfolgreichen GSBverkehr die Haltezeit als maßgebliches Kriterium. Die benötigte Zeit ist, abgesehen vom Zusammenhang mit den PSBlinien (Störung bei der regulären Durchführung), direkt abhängig von der Ladegeschwindigkeit.

Die Ladezeit muss, abhängig von den örtlichen Gegebenheiten, bei den Filialen minimiert werden, um das System praktikabel zu gestalten. Im Idealfall ist von einer möglichen Haltezeit bis zu sieben Minuten auszugehen<sup>16</sup>. Idealfall bedeutet, dass ein selbständiger Gleiskörper vorhanden, kein direkter Kontakt mit dem MIV gegeben ist, und sich außerdem nur eine Linie des Personenverkehrs auf den Gleisanlagen befindet. Es ist zu beachten, dass in dieser Zeit nicht nur Güter entladen, sondern auch Leergut (bis zu 10 Rollcontainer) eingeladen werden muss. Diese Zeitspanne ist allerdings nur vorhanden, wenn die GSB durch eine geeignete Routenführung in der Lage ist auf die vor ihr fahrende Straßenbahn „aufzufahren“ (siehe Kap. C-4.2.1). Nach dem Entladevorgang muss die GSB erneut die Gelegenheit bekommen Abstand zum nachfolgenden Fahrzeug zu gewinnen. Dies ist durch den Umstand möglich, dass sie nicht bei den regulären Stationen anhalten muss (so wie dies bei der vor ihr fahrenden Garnitur der Fall ist). Allerdings muss die Distanz zur nächsten zu beliefernden Filiale groß genug gewählt werden (siehe Kap. C-4.2.1).

Durch die Tatsache, dass die GSB nicht nur auf den Gleisen einer Linie fährt, kommt es bezüglich „Auffahren“ bei der Schnittstelle mit einer anderen Linie zu den selben Anforderungen. Im Optimalfall wartet die GSB auf das nächste vorbeifahrende Fahrzeug und reiht sich unmittelbar danach in die neue Linie ein. Da sich dies häufig als schwierig bzw. unmöglich herausstellt, da ansonsten der gewöhnliche Verkehr nicht mehr aufrecht erhalten werden kann, muss auch hier der Abstand zwischen dem Eingliederungspunkt und der nächsten Filiale groß genug sein um erneut auf die vordere Straßenbahn auffahren zu können. Somit ist neben der Minimierung der Haltezeit auch die Wahl der Route wichtig für den Erfolg des GSB-Transportes.

---

<sup>16</sup> Voraussetzung Intervall von 7-8 Minuten der PSBlinien

Ein direktes Resultat der Analyse des Ladevorgangs ist, dass sich nicht jede Filiale an den innerstädtischen Gleisen, unter den angenommenen Voraussetzungen (siehe Kap. C-4), für die Belieferung mit der Straßenbahn eignet. Folgende Beispiele sind Hindernisse beim Ladevorgang:

- Fehlen eines selbständigen Gleiskörpers
- Zu große Entfernung der Filiale vom Gleis
- Kreuzen mehrerer Fahrstreifen des MIV
- Höhenunterschiede zwischen Ladefläche und Entladerraum
- Fehlender Abladeraum (Behinderung durch Bebauungen)

Diese Faktoren beeinflussen die Ladegeschwindigkeit nachteilig. Beim Auftreten mehrerer dieser Einflüsse ist es einem Fahrer nicht mehr möglich den Ladevorgang und den Transport der Güter in den Lagerraum alleine durchzuführen. Eine Alternative ist, den Verkehr mit zwei Arbeitskräften zu bewältigen, wobei zwei Möglichkeiten des Ablaufs bestehen. Zum Ersten können beide Personen in der GSB mitfahren, gemeinsam den Ladevorgang bewältigen und anschließend gemeinsam weiterfahren. Zum Zweiten kann nur der Fahrer den Entladevorgang durchführen, die Güter direkt neben dem Gleis abstellen (wenn eine geeignete Ladezone vorhanden ist) und sich somit die Wege zum Lager ersparen. Die zweite Arbeitskraft übernimmt die Überfuhr der Güter zur Filiale und ist daher nicht mehr an die kurze Aufenthaltszeit gebunden. Zur nächsten Filiale kann diese Kraft die PSBlinien benutzen. Für diesen Fall muss eine gesicherte Verwahrung (Umzäunung) direkt neben dem Gleis möglich sein, da die Güter unbeaufsichtigt sind. Eine weitere Chance zur Verringerung der Ladezeit besteht in der zusätzlichen Einführung eines Fahrzeuges für den Leerguttransport. Diese würde nicht für Lieferdienste in Anspruch genommen, sondern nur für den Abtransport von Leergeschirr verwendet werden.

Eine völlig andere Möglichkeit ist, den Transport nicht am Tag sondern in den Nachtstunden abzuwickeln. Dies entfernt die Komplikationen mit den anderen Linien und reduziert die Konfliktpunkte mit dem MIV. Durch diese Maßnahme erhöht sich die Anzahl der möglichen, zur Belieferung geeigneten Filialen. Geschäftsstellen auf Gleisabschnitten auf denen mehrere Linien verkehren und bei denen tagsüber keine Chance auf eine Belieferung

---

besteht, können folglich beliefert werden. Es ergibt sich allerdings das Problem, dass nur von außen zugängliche Lager beliefert werden können, da ansonsten der Filialbereich von einem/einer firmenunabhängigen MitarbeiterInnen durchquert werden muss. Nachteilig ist, dass in den Nachtstunden keine FirmenmitarbeiterInnen zugegen sind welche die Ware in Empfang nehmen und bestätigen können. Außerdem entsteht durch diese Lieferart ein erhöhter Lärmpegel und folglich eine Beeinträchtigung der Anrainer. (Ferner ist ein eisenbahntechnisches Problem zu berücksichtigen. Einige Streckenabschnitte in Wien sind nicht die ganze Nacht über elektrifiziert.)

Speziell bei der Belieferung von Lebensmittelfilialen entsteht das Problem des Transports von Tiefkühlware. Um die Kühlkette nicht zu unterbrechen muss entweder ein Teil der Garnitur abgeschlossen und gekühlt, oder ein eigener Kühlstraßenbahnwagen angehängt werden.

Die folgenden Überlegungen werden der Vollständigkeit halber angeführt, sind jedoch aufgrund mangelnder technischer Entwicklungen auf diesem speziellen Gebiet des Eisenbahnwesens, wegen zu großer resultierenden Kosten, oder aufgrund mangelnder Akzeptanz schwer umsetzbar.

Eine Methode ist die Einführung eines eigenen mechanischen Be- und Entladesystems, welches durch die Erhöhung der Ladegeschwindigkeit die Systemverträglichkeit steigert. Mit eigenen Transportcontainern, in welche die herkömmlichen Rollcontainer passen, und einer automatischen Entladevorrichtung, ist die Reduktion der Ladezeit denkbar. Diese können von einer GSB entladen werden. Eine unabhängige Arbeitskraft befördert die Rollcontainer ohne zeitliche Einschränkung in die Lagerräume. Anschließend werden die leeren Transportcontainer von einer anderen GSB automatisch geladen und mitgenommen. Allerdings ist derzeit kein geeignetes System für eine Straßenbahn erhältlich.

Durch zusätzliche Gleise und Weichen ergeben sich häufig Vereinfachungen in der Routenführung, da nahe beieinander liegende Filialen vielfach nur durch Umwege zu erreichen sind. Weil nicht an jeder Gleiskreuzung die Fahrt in alle Richtungen möglich ist, kann durch einen gezielten Weicheneinbau eine Verkürzung der Fahrtstrecke erreicht werden.

Bauliche Veränderungen wie z.B. die Bildung eines Caps (wie es beim Busverkehr bzw. bei den Personenlinien vorkommt) Beschränkungen von Parkplätzen durch Schaffung von eigenen Ladezonen, Entfernung von infrastrukturellen Einrichtungen wie z.B. Absperrungen und Umleitungen des MIV (Fahrspurverlegung) erleichtern die Durchführbarkeit eines Gütertransportes.

## **TEIL D: Kernaussagen**

### **1 Conclusio (Diatel)**

Um den Betrieb einer GSB zu ermöglichen sind vor allem eisenbahntechnische, rechtliche als auch betriebliche Aspekte relevant. Im Bereich der Fahrzeugtechnik ist zu unterscheiden, ob das Fahrzeug ausschließlich auf dem Straßenbahnnetz verkehrt, oder zusätzlich die Gleisanlagen der Regionalbahn bzw. Vollbahn benützt. Für den ersten Fall kann ein herkömmliches Straßenbahnfahrzeug, das für den Gütertransport umgebaut wird, verwendet werden. Es muss jedoch beachtet werden, dass durch diese Beschränkung zwangsläufig eine Systemgrenze erzeugt wird, weil es zu technischen Hindernissen beim Befahren der Vollbahnstrecken kommt.

Für die Erweiterung ins Umland kann die Kompatibilität durch einen Umbau oder Einführung eines neuen Fahrzeugs erreicht werden. Für ein neues Fahrzeugkonzept müssen die spezifischen örtlichen Trassierungen und die bereits bestehenden Personenlinien berücksichtigt werden (Zugkräfte, Nutzlast, Leistung). Dies ist für die Vermeidung von Komplikationen im gemeinsamen Betrieb essentiell. Ferner kommt es durch die unterschiedlichen Bahnsysteme zu technischen Schwierigkeiten im Bereich der Spurführung, Zugsicherung und Traktion. Unterschiedliche Schienenprofile (Rillenschiene, Vignolschiene) und Weichensysteme führen zu Entgleisungssicherheitsproblemen. Für den sicheren Transport sind daher spezielle Radprofile notwendig, die sowohl für die Straßenbahn als auch für die Vollbahn geeignet sind.

Zusätzlich muss aufgrund unterschiedlicher Zugsicherungssysteme („Fahren auf Sicht“, Blocksystem, induktive Zugsicherung, LZB) die technische Ausstattung des Fahrzeugs angepasst werden. Im Fall der Beibehaltung der Elektrotraktion wird außerdem durch unterschiedliche Stromformen (Gleichstrom, Wechselstrom, verschiedene Nennspannungen) ein Zwei- oder Mehrsystemfahrzeug erforderlich. Dieses Problem kann durch die Wahl einer anderen Traktionsform behoben werden. Durch mangelnde technische Entwicklungen im Bereich der alternativen Energieformen (Flüssiggas, Brennstoffzelle, etc. ) für die Eisenbahn,

ist nur mehr der Dieselmotor in der Lage die notwendige Antriebsenergie zu liefern. Durch den Einsatz einer dieselbetriebenen GSB wird der gewünschte Effekt der umweltfreundlichen Alternative zum LKW-Transport allerdings nicht erreicht.

In Bezug auf die betrieblichen Gesichtspunkte ist zu beachten, dass die Einführung einer GSB in ein Personenliniennetz ohne Adaptierungen der Infrastruktur Komplikationen hervorruft, bzw. das System unwirtschaftlich machen kann. Dies zeigt sich bei der Be- und Entladung der Straßenbahn. Ohne Anschluss an ein Regionalnetz – um ein außerhalb gelegenes GVZ zu erreichen – muss die Ladung im Straßenbahnnetz aufgenommen werden. Dies kann jedoch nur in einem umgebauten Betriebsbahnhof oder einer neu zu errichtenden Lagerstelle erfolgen. Auf offener Strecke ist dies durch den regelmäßig fahrenden Personenverkehr untertags nicht möglich. Des Weiteren kommt es zu Hindernissen durch fehlende Weichenverbindungen und somit zu Umwegen bei der Routenbildung der GSB.

Ein zusätzliches Problem stellt die Beschaffenheit der Haltepunkte dar. Nachdem für den Personenverkehr Höhendifferenzen, Abstände zwischen dem Niveau des Fahrgastraums und der Gehsteigkante und infrastrukturelle Einrichtungen nicht in dem Maße ausschlaggebend sind wie für die Güterbelieferung, sind die Haltestellen nicht uneingeschränkt für den Entladevorgang geeignet. Außerdem kommt es bei Bedarfshaltestellen zu weiteren Komplikationen wenn dieselben Transportbehälter wie beim LKW-Transport verwendet werden. Alternative Frachtcontainer sind hingegen mit zusätzlichen Kosten für die Anschaffung und Entwicklung verbunden und verringern dadurch möglicherweise die Konkurrenzfähigkeit der GSB. Durch die Beibehaltung der LKW-Behälter entsteht ein entscheidendes Problem des Betriebs, die Haltezeit. Auf die Minimierung der Aufenthaltszeit am Entladeort muss das größte Augenmerk gelegt werden, um den Verkehr der Personenlinien nicht zu behindern. Eine Alternative stellt die Nachtlieferung dar, die sich mitunter als schwierig erweist, da derzeit kein Personal die Waren in Empfang nehmen kann. Falls durch externe Lagerräume oder Depots die Güter aufgenommen werden können, ist die Belieferung in den Nachtstunden betrieblich gesehen eine günstige Variante, da keine Interaktion der GSB mit anderen PSB entsteht.

## 2 Résumé (Diatel)

Eine Annahme dieser Arbeit ist die Einführung der GSB in ein bestehendes Verkehrsnetz. Dieses ist aufgrund historischer Entwicklungen und des derzeitigen Nichtvorhandenseins von Gütertransporten speziell auf den Personenverkehr zugeschnitten. Sowohl die Trassenführungen als auch die Möglichkeiten zur Routenbildung (Weichen) sind nicht ideal für die Einführung eines großräumigen Güterverkehrs. Eine Konsequenz daraus ist zum Beispiel, dass sich nicht alle Güter und Standorte gleichermaßen für die Belieferung mit einer GSB eignen. Strecken auf denen mehrere PSB-Linien fahren und somit eine Fahrzeugfolgezeit von wenigen Minuten aufweisen, sind für einen Aufenthalt ungeeignet. Zusätzlich stellt die Optimierung, bzw. die vollständige Ausnutzung der Streckenkapazitäten ein großes Problem dar. Da für die Personenlinien die zeitlichen Reserven häufig durch Intervallverkürzungen und Fahrplanverdichtungen minimiert sind, ist die Integration einer zusätzlichen Linie schwierig. Der Trend zur Rückbildung von Gleisanlagen (Abbau von nicht verwendeten und gering belasteten Gleisen und Weichen, z.B.: Wien Linie 25 von Kagan nach Leopoldau) wirkt ferner erschwerend.

Im Gegensatz zur zusätzlichen Einführung eines Gütertransportfahrzeuges in einen bereits bestehenden Fahrplan, ist es sinnvoll für die Erstellung von Fahrplänen und bei der Trassierung neuer Strecken auf einen GSB-Verkehr Rücksicht zu nehmen. Die Bedachtnahme bereits im Planungsstadium kann über den Erfolg oder Misserfolg einer Güterbeförderung im öffentlichen Personennahverkehr entscheiden.

### **3 Anhang**

#### **3.1 Abbildungsverzeichnis**

Abb. 1: Typenbild Demonstrator .....	10
Abb. 2: Route der „CarGoTram“ .....	11
Abb. 3: „CarGoTram“ Dresden .....	12
Abb. 4: Beispiel Zugkraftdiagramm .....	16
Abb. 5: Eine Lok mit Wagen .....	21
Abb. 6: Zwei Loks mit Wagen (Tandemmodell).....	22
Abb. 7: Loks an beiden Enden, dazwischen Wagen.....	22
Abb. 8: Ein gesamter Triebwagen .....	22
Abb. 9: Zwei halbe Triebwagen.....	22
Abb. 10: Zugkraftdiagramme Triebwagen ohne Ladung.....	29
Abb. 11: Zugkraftdiagramme Triebwagen mit Ladung.....	30
Abb. 12: Zugkraftdiagramme Lok-Wagen-System ohne Ladung .....	31
Abb. 13: Zugkraftdiagramme Lok-Wagen-System mit Ladung.....	32
Abb. 14: Radaufbau .....	37
Abb. 15: Rillenschiene RI 59 R13 .....	39
Abb. 16: Vignolschiene UIC 60.....	39
Abb. 17: Streckenblock.....	42
Abb. 18: Zweisystem-Stadtbahnen in Europa .....	48

---

Abb. 19: GT8 – 100D/2S-M .....	50
Abb. 20: Typenbild Saarbahn .....	52
Abb. 21: Typenbild RegioTram.....	53
Abb. 22: Zugkraftdiagramm LH.....	56
Abb. 23: Zugkraftdiagramm Ulf Typ B.....	58
Abb. 24: Schienenprofil RI 60 R 10 .....	60
Abb. 25: Betriebsform: Punkt zu Punkt Verkehr.....	69
Abb. 26: Betriebsform standortbezogener Verkehr .....	70
Abb. 27: Betriebsform Kettenbelieferung.....	71
Abb. 28: Auswertung Zeit-Weg–Diagramm, Geschwindigkeit 50 km/h .....	87
Abb. 29: Auswertung Zeit-Weg-Diagramm, Geschwindigkeit 70 km/h.....	88
Abb. 30: Schleifenfahrt Linie 62, 65 und J.....	96
Abb. 31: Erster Haltepunkt, Billa – Filiale Berggasse 26.....	96
Abb. 32: Station Floridsdorf Franz Jonas Platz .....	97
Abb. 33: Zweiter Haltepunkt, Billa–Filiale Wagramer Straße 55 .....	98
Abb. 34: Dritter Haltepunkt, Billa–Filiale Donaufelder Straße 23-25.....	99
Abb. 35: vierter Haltepunkt, Billa–Filiale Klosterneuburger Straße 31-33.....	99

---

### 3.2 Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Technische Daten Fahrzeug LH .....	10
Tab. 2: Ladesystem .....	10
Tab. 3: Fahrzeugdaten „CarGoTram“ Dresden.....	12
Tab. 4: Fallbeispiele Lok-Wagen-System.....	25
Tab. 5: Fallbeispiele Triebwagen.....	26
Tab. 6: Widerstandssummen, Werte in ‰ .....	27
Tab. 7: Luftwiderstände, Werte in ‰ .....	28
Tab. 8: Geschwindigkeitsgrenze Triebwagen mit und ohne Ladung.....	33
Tab. 9: Geschwindigkeitsgrenze Lok-Wagen-System mit und ohne Ladung .....	34
Tab. 10: Technische Daten der Zwei-System-Fahrzeuge Karlsruhe .....	50
Tab. 11: Technische Daten Saarbahn.....	52
Tab. 12: Technische Daten RegioTram Kassel.....	53
Tab. 13: Technische Daten Fahrzeug LH .....	56
Tab. 14: Technische Daten Fahrzeug ULF Typ A und B .....	57
Tab. 15: Auswahl Gleisverbindungsstellen in Wien.....	61
Tab. 16: Anforderungen und Eignungen Versorgungs- und Entsorgungskategorien.....	81
Tab. 17: Übersicht Kategorieneignung .....	82
Tab. 18: Zusammenhang Intervallverkürzung – Eignungsstufe .....	82

---

### 3.3 Quellenverzeichnis

- [1] **WL GmbH**, Endbericht „GüterBim“  
Wien, September 2005
- [2] **Ossberger, Markus**: Technische Details der „GüterBim“,  
<http://www.gueterbim.at> Mai 2005
- [3] **Pucka, Andreas**: Die Dresdner „CarGoTram“ kommt! – Stadtverkehr,  
45. Jg, 2000, Nr. 4, S. 6-7
- [4] **Weber, Manfred**: Die Dresdner Verkehrsbetriebe – Verkehr und Technik  
1997, Nr. 3, S. 103 – 109
- [5] **Oelmann, Winfried**: Dresdner Verkehrsbetriebe AG –  
e-mail Auskunft 23.11.2005
- [6] **Müller-Eberstein, Frank/Franke, Martin**: Projekt „CarGoTram“ Dresden –  
Glasers Annalen, 124. Jg., 2000, Mai, S. 337 – 340
- [7] **Pucka, Andreas**: “Roll –out” der „CarGoTram“ Dresden – Stadtverkehr  
46. Jg., 2001, Nr. 1, S. 44 – 45
- [8] **Schwager, Michael**: Morgenwelt,  
<http://www.morgenwelt.de/wissenschaft/010521-“CarGoTram“ .htm>, 21.5. 2001
- [9] **Fernandez, Sandra**: ZVV – Contact – e-mail Auskunft 23.11.2005
- [10] **Verkehrsbetriebe Zürich**: Cargo- und E-Tram,  
[http://www.vbz.ch/vbz\\_opencms/opencms/vbz/deutsch/Dienstleistungen](http://www.vbz.ch/vbz_opencms/opencms/vbz/deutsch/Dienstleistungen), Zürich  
2005
- [11] **Stadt Zürich**: Das „CarGoTram“ – ein neues Angebot von VBZ und ERZ,  
[http://www3.stzh.ch/content/internet/mm/home/mm03/april\\_03](http://www3.stzh.ch/content/internet/mm/home/mm03/april_03), Zürich 14. April  
2003
- [12] **Herk, S.**: Skriptum Schienenverkehrswesen, Fachgebiet Verkehrswesen,  
Fachbereich Bauingenieurwesen, Fachhochschule Bochum, 2005, S. 21
- [13] **Ostermann, Norbert**: Skriptum Eisenbahnwesen, IEW, TU Wien, 2004
- [14] **Institut für Eisenbahnwesen**: Übungsskriptum, TU Wien, 2003
- [15] **Ossberger, Markus**: Theorie Eisenbahnwesen – IEW, TU Wien, 2003
- [16] **Müller, Roland**: Aktuelle Probleme der Berührgeometrie Rad/Schiene – Glasers  
Annalen, 127. Jg., 2003, Oktober, S. 496-497

- 
- [17] **Bergander, Bernd/Dendl, Günter/Nefzger Anton/Nicklisch Dirk:** Die Entwicklung von Rad- und Schienenprofilen – Glasers Annalen, 127. Jg., 2003, Oktober, S. 482-493
- [18] **Rollinger, Wolfgang:** Skriptum Bahnerhaltung, IEW, TU Wien, April 2005
- [19] **Frank, Marcel:** Radsatz/Radpaar – Ein Prinzipvergleich passiver Spurführung – Glasers Annalen, 128. Jg., 2004, April, S. 132-139
- [20] **Pachl, Jörn:** Systemtechnik des Schienenverkehrs, B.G. Teubner Stuttgart, Leipzig 1999, S. 37
- [21] **Pachl, Jörn:** Systemtechnik des Schienenverkehrs, B.G. Teubner Stuttgart, Leipzig 1999, S. 39
- [22] **Pachl, Jörn:** Systemtechnik des Schienenverkehrs, B.G. Teubner Stuttgart, Leipzig 1999, S. 76
- [23] **Wegener, Marco:** Die Welt des Schienenverkehrs, <http://members.surfeu.de/marco.wegener/technik/indusi.htm>, 17.02.2005
- [24] **Pachl, Jörn:** Systemtechnik des Schienenverkehrs, B.G. Teubner Stuttgart, Leipzig 1999, S. 82
- [25] **Wegener, Marco:** Die Welt des Schienenverkehrs, <http://members.surfeu.de/marco.wegener/technik/lzb.htm>, 30.09.2004
- [26] **Grahnert, Marcus:** Fernverkehr, <http://www.grahnert.de/fernbahn/lzb/lzb.htm>, 13.02.2006
- [27] **Pachl, Jörn:** Systemtechnik des Schienenverkehrs, B.G. Teubner Stuttgart, Leipzig 1999, S. 86
- [28] **Wegener, Marco:** Die Welt des Schienenverkehrs, <http://members.surfeu.de/marco.wegener/technik/etcs.htm>, 30.09.2004
- [29] **Rotter, Richard/Petrowitsch, Helmut:** Triebfahrzeuge der österreichischen Eisenbahn, Elektrische Lokomotiven und Triebwagen, Alba Düsseldorf 1999
- [30] **Doleschal/Gerl/Petrowitsch/Saliger:** Triebfahrzeuge der österreichischen Eisenbahn, Diesel Lokomotiven und Triebwagen, Alba Düsseldorf 1999
- [31] **Österreichischer Verband für Flüssiggas:** <http://www.fluessiggas.net>, Juni 2006
- [32] **Bewag:** <http://www.innovation-brennstoffzelle.de/h2/haupt4b.html>, Februar 2006
- [33] **Initiative Brennstoffzelle:** <http://www.initiative-brennstoffzelle.de/de/ibz/live/ibzglossar/detail/3.html>, Februar 2006
-

- 
- [34] **Ludwig, D./ Forcher, P./ Schlitter, Kai:** Das Zweisystemfahrzeug Karlsruhe – Der Nahverkehr, 1998, Nr. 4, S. 40-44
- [35] **Schulz, Tim:** Karlsruhe: Expansion der Stadtbahn – Nahverkehrs Praxis, 1997, Nr. 10, S 18-23
- [36] **Hamüller, G./ Hinterkopf T./ van Ieperen, J.:** Das Karlsruher Modell, <http://www.karlsruher-modell.de>, Februar 2006
- [37] **Albrecht, Bernd/ Petz, Michael:** Zweisystem-Niederflur-Stadtbahnwagen Saarbrücken – Glasers Annalen, 122. Jg., 1998, Sept./Okt., S. 498-509
- [38] **Walter, Norbert:** Die Saarbahn: Renaissance der Schiene in High-Tech, <http://www.ebn24.biz>, 03.02.2006
- [39] **Walter, Norbert:** Die Saarbahn: Innovation im schienengebundenem ÖPNV, <http://www.ebn24.biz>, 03.02.2006
- [40] **Hondius, Harry: Neuentwicklung:** Regiotram-Fahrzeuge für den Raum Kassel – Stadtverkehr, 47. Jg., 2002, Nr. 5, S. 6-10
- [41] **Roßkothen P./ Beinhauer M.:** Die Bedeutung der RegioTram für den Wirtschaftsstandort Kassel, <http://www.ebn24.biz>, 04.02.2006
- [42] **Wolff, N./ Haßelmann D.:** Die Planung der RegioStadtBahn im Großraum Braunschweig – ETR, 50. Jg., 2001, Nr. 7/8, S. 427-434
- [43] **RSAG:** Ostseebahn gegründet – Rostock plant Zweisystemstadtbahn – Stadtverkehr, 47. Jg., 2002, Nr. 9, S. 50
- [44] **Framenau, Jörg:** Ein Tram-Train-System für Mulhouse (Mühlhausen im Elsass) – Stadtverkehr, 47. Jg., 2002, Nr. 3, S. 10-18
- [45] **Ehrlich, Julius:** WL GmbH – e-mail Auskunft am 21.02.2006
- [46] **Rollinger, Wolfgang:** WL GmbH-mündliche Auskunft am 22.12.2005
- [47] **Ehrlich, Julius:** WL GmbH – e-mail Auskunft am 21.02.2006
- [48] **Eisenbahngesetz** vom 13. Februar 1957 in der Fassung von 2002
- [49] **Straßenbahnverordnung** in der Fassung vom 3. März 2000
- [50] **Straßenverkehrsordnung** in der Fassung von 2005
- [51] **Arbeitszeitgesetz** in der Fassung vom 11. Dezember 1969
- [52] **EisenbahnarbeitnehmerInnenschutzgesetz** in der Fassung vom 1. März 2005
-

- [53] **Bestattung Wien:** [http://progs.wiennet.at/addedvalue/f6000\\_bestattung/](http://progs.wiennet.at/addedvalue/f6000_bestattung/), April 2006
- [54] **Billa Homepage:** <http://www.billa.at>, April 2006
- [55] **Emberger, Günter:** Geschäftserhebung, IVV, TU Wien, Jänner 2006
- [56] **Diatel, Jürgen/ Mikschofsky, Michael:** Große Projektarbeit – “GüterBim” – Machbarkeitsstudie über einen Gütertransport in Wien.
- [57] **Ehrlich, Julius:** WL GmbH – e-mail Auskunft am 26.04.2006
- [58] **Wiener Lokalbahn AG:** Fahrplan: <http://www.wlb.at>, April 2006
- [59] **WL GmbH:** Kantenfahrzeitenplan, April 2005