



Bundesministerium
für Verkehr und
digitale Infrastruktur

VDV Die Verkehrs-
unternehmen

Stadtbahnsysteme

Light Rail Systems

Grundlagen – Technik – Betrieb – Finanzierung
Principles – Technology – Operation – Financing



Stadtbahnsysteme

Light Rail Systems

Grundlagen – Technik – Betrieb – Finanzierung
Principles – Technology – Operation – Financing

Die Untersuchung und Veröffentlichung wurden unterstützt vom
Research and publication supported by

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)
Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure (BMVI)



Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e. V. (VDV)
Association of German Transport Companies (VDV)



VDV Industrieforum e. V.
VDV Industry Forum



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar.

Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek

The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliografie; detailed bibliographic data are available on the Internet at <http://dnb.dnb.de>.

Impressum

- Herausgeber: Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e. V. (VDV)
VDV Industrieforum e. V. (Mitglieder des Industrieforums: siehe Seite 988/989)
- Redaktion: Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen e. V. – STUVA, Köln
- Übersetzung: Linguanet sprl, Brüssel
- Gestaltung und Layout: Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e. V. (VDV) /
VDV Industrieforum e. V., Köln
- Bildbearbeitung: Dipl. - Bibl. Martin Schäfer, STUVA e. V., Köln
- Titelbilder: Stadt Düsseldorf, Amt für Verkehrsmanagement
Christoph Seelbach, Kölner Verkehrs - Betriebe AG /
Martin Magunia, Stadtwerke Bonn / Münchner Verkehrsgesellschaft mbH
- Verlag: DVV Media Group GmbH - Eurailpress
Postfach 10 16 09, 20010 Hamburg
Nordkanalstraße 36, 20097 Hamburg
Telefon: +49 (0)40 - 237 14 02
Telefax: +49 (0)40 - 237 14 236
E-Mail: eurailpress@dvvmedia.com Internet: www.eurailpress.de, www.dvvmedia.com
- Vertrieb und Buchservice: Markus Kukuk, Hamburg
- Druck: TZ - Verlag & Print GmbH, Roßdorf
- Copyright: © 2014 STUVA, VDV, VDV Industrieforum, Köln
- ISBN: 978-3-87154-500-9

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung der Rechteinhaber unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Mikroverfilmungen sowie die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen. Trotz sorgfältiger Recherche war es leider nicht in allen Fällen möglich, die Urheber der Bilder zu ermitteln. Sollten ohne Absicht Bilder in unerwünschter Weise veröffentlicht worden sein, teilen Sie dies bitte dem Verlag mit.

Redaktionsschluss: Juni 2014

Gesamtbearbeitung | Responsible Editors

Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen e. V., Köln

Research Association for Underground Transportation Facilities, Cologne

Dr.-Ing. Dirk Boenke (Projektleitung / Project Management)

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Günter Girnau

Begleitender Ausschuss | Advisory Committee

Dipl.-Ing. Wolfgang Arnold

Technischer Vorstand und Sprecher des Vorstands
Stuttgarter Straßenbahnen AG

BauDir Dr. Dieter Glück

Leiter des Referats LA 14
Bundesministerium für Verkehr und
digitale Infrastruktur (BMVI)

Dipl.-Ing. Martin Schmitz

Geschäftsführer Technik
Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e. V.

Dipl.-Ing. (FH) Wilfried Eisenberg

Technischer Vorstand und Sprecher des Vorstands
Bremer Straßenbahn AG

Prof. Dr.-Ing. Adolf Müller-Hellmann

Geschäftsführer
VDV IndustrieForum e. V.

Dipl.-Ing. Jörn Schwarze

Technischer Vorstand
Kölner Verkehrs-Betriebe AG

BauDir Paul H. Gerhardt

Referat LA 14
Bundesministerium für Verkehr und
digitale Infrastruktur (BMVI)

Dipl.-Betr. Wirt André Neiß

Vorsitzender des Vorstands
üsttra Hannoversche Verkehrsbetriebe AG

Dipl.-Ing. Udo Stahlberg

Fachbereichsleiter T1
Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e. V.

Autoren von Einzelbeiträgen | Authors of Contributions

Dr.-Ing. Winfried Becker

ehem. Vertriebsleiter Bahnstromversorgung
Deutschland
Balfour Beatty Rail GmbH

Dipl.-Ing. Gerald Hamöller

Leiter Verantwortungsbereich Deutschland
Verkehrsplanung und Fahrzeugtechnik
TransportTechnologie-Consult Karlsruhe GmbH

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Johann Schmickl

Unternehmensbereichsleiter Betrieb
Stuttgarter Straßenbahnen AG

Dr.-Ing. Dirk Boenke

Gruppenleiter Verkehr & Umwelt
STUVA e. V.

Dipl.-Ing. Paul Lehmann

Bereichsleiter und Betriebsleiter
Würzburger Straßenbahn GmbH

Dr.-Ing. Jörg Schreyer

Geschäftsführer
STUVAtec mbH

Dipl.-Ing. Peter Engelbrecht

ehem. stv. Betriebsleiter BOSTrab/BOKraft
üsttra Hannoversche Verkehrsbetriebe AG

Dipl.-Ing. Klaus-Dieter Lohrmann

ehem. Betriebsleiter und Unternehmensbereichs-
leiter Betrieb
Stuttgarter Straßenbahnen AG

Dipl.-Ing. (FH) Andreas Sommer

Stv. Eisenbahnbetriebsleiter
Albtal-Verkehrs-Gesellschaft mbH

Dipl.-Ing. (FH) Joachim Eßwein

Leiter Hauptabteilung Fahrzeuge und Werkstätten
Verkehrsbetriebe Karlsruhe GmbH

Dipl.-Ing. Thomas Moser

Unternehmensbereichsleiter Schienenfahrzeuge
Stuttgarter Straßenbahnen AG

Dipl.-Ing. (FH) Holger Wagensommer

Planung Verkehrsanlagen
Verkehrsbetriebe Karlsruhe GmbH

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Günter Girnau

Ehrenmitglied des Vorstands
STUVA e. V.

Prof. Dr.-Ing. Adolf Müller-Hellmann

Geschäftsführer
VDV IndustrieForum e. V.

Dipl.-Ing. Dirk Weißer

Projektleiter Forschung
INIT GmbH

Bauassessor Dr.-Ing. Helmut Grossmann

ehem. Projekttingenieur, Abt. Verkehr & Umwelt
STUVA e. V.

Dipl.-Ing. Antonio Piazzolla

Projekttingenieur, Abt. Verkehr & Umwelt
STUVA e. V.

Achim Winkel M.A.

Pressesprecher
KASIG – Karlsruher Schieneninfrastruktur-
Gesellschaft mbH

Dr.-Ing. Friedrich Krüger

Gruppenleiter Schall- und Erschütterungen
STUVA e. V.

Dipl.-Wi.-Ing. Steffen Plogstert

Abteilungsleiter Planung
Rhein-Neckar-Verkehr GmbH

Inhalt

Vorworte	24	2.1.1	Die Aufgabe des ÖPNV	66	
<hr/>		2.1.2	Die Funktion der Stadtbahnen.....	66	
1	Stadtbahnen – Kategorien, Anforderungen, Bürgerbeteiligung	28	2.1.3	Maßgeblicher Rechtsrahmen für Stadtbahnen	70
<hr/>		2.1.4	Wesentliche Reformen: Bahnstrukturreform und Regionalisierung des Nahverkehrs, Föderalismusreform.....	70	
1.1	Kategorien der städtischen Bahnsysteme.....	30	2.2	Europäische Regelungen	70
1.1.1	Regionalbahnen	30	2.2.1	Rechtsetzungskompetenz	70
1.1.2	S-Bahn	30	2.2.2	Verordnung über öffentliche Personen- verkehrsdienste auf Schiene und Straße.....	72
1.1.3	U-Bahn.....	32	2.2.3	Verordnung zur europäischen Normung.....	76
1.1.4	Straßenbahn (Tram)	32	2.2.4	Richtlinie über die allgemeine Produktsicherheit	80
1.1.5	Stadtbahn	32	2.2.5	Richtlinie über Maschinen	82
1.2	Anforderungen und Nutzen von Stadtbahnen	36	2.2.6	Weitere Europäische Verordnungen und Richtlinien mit Bedeutung für Stadtbahn-Komponenten	86
1.2.1	Die Sicht der Kunden	36	2.2.7	Weitere Entwicklung im Rahmen des Mandats „Urban Rail“ (M/486).....	86
1.2.2	Die Sicht der Aufgabenträger	42	2.2.8	Weitere Entwicklung bei Fahrgastrechten.....	92
1.2.3	Die Sicht der Verkehrsunternehmen	46	2.2.9	Richtlinie über Luftqualität und EU-Strategie für nachhaltige Entwicklung	92
1.2.4	Die Sicht der Industrie.....	48	2.3	Regelungen auf Bundesebene.....	94
1.2.5	Fazit	50	2.3.1	Personenbeförderungsgesetz (PBefG).....	94
1.3	Bürgerbeteiligung – ein Kommunikationsprozess	52	2.3.2	Straßenbahn-Bau- und Betriebsordnung (BOStrab)	106
1.3.1	Ausgangssituation.....	52	2.3.3	Technische Regeln zur BOStrab.....	124
1.3.2	Oberste Grundsätze.....	54	2.3.4	Verordnung über die Allgemeinen Beförderungsbedingungen für den Straßenbahnverkehr	128
1.3.3	Praktische Umsetzung.....	56	2.3.5	Weitere Bundesvorschriften	128
1.3.4	Wichtige Erfolgsfaktoren und Kosten	60	2.4	Regelungen der Bundesländer	140
1.3.5	Fahrzeuggestaltung als Bürgerprozess.....	60			
1.3.6	Fazit	62			
1.4	Literatur/Quellen	64			
<hr/>					
2	Rechtliche Grundlagen	66			
<hr/>					
2.1	Gesetzesrahmen für ÖPNV und Stadtbahnen	66			

Contents

Forewords	25	2.1.1	Public transport tasks	67	
<hr/>		2.1.2	Function of light rail	67	
1	Light rail – categories, requirements, citizen involvement	29	2.1.3	Relevant legal framework for light rail	69
<hr/>		2.1.4	Essential reforms: rail structure reform and regionalisation of local public transport, federal system reform	71	
1.1	Categories of urban rail systems	31	2.2	European rules	71
1.1.1	Regional rail	31	2.2.1	Legislative competence	71
1.1.2	Suburban rail (S-Bahn).....	31	2.2.2	Regulation on public passenger transport services by rail and by road	73
1.1.3	Metro	33	2.2.3	Regulation on European Standardisation.....	75
1.1.4	Tramway	33	2.2.4	Directive on general product safety	81
1.1.5	Light rail	33	2.2.5	Machinery Directive.....	83
1.2	Requirements for and benefits of light rail systems.....	37	2.2.6	Further European Regulations and Directives relevant to urban rail components.....	87
1.2.1	Customers' view	37	2.2.7	Further development in connection with the Urban Rail Mandate (M/486).....	87
1.2.2	Responsible authorities' view	43	2.2.8	Further development of passenger rights.....	91
1.2.3	Transport companies' view.....	47	2.2.9	Air quality directive and EU strategy for sustainable development	93
1.2.4	Industry's view	49	2.3	Regulations at federal level.....	95
1.2.5	Conclusion	51	2.3.1	Passenger Transport Act (PBefG).....	95
1.3	Citizen involvement – a communication process	53	2.3.2	Ordinance on the Construction and Operation of Tramways (BOStrab).....	107
1.3.1	Background.....	53	2.3.3	Technical Rules under BOStrab.....	123
1.3.2	Key principles	55	2.3.4	Ordinance on the General Terms of Carriage for Tramway Transport	125
1.3.3	Practical implementation	57	2.3.5	Further federal regulations.....	127
1.3.4	Key factors for success and costs.....	61	2.4	Regulations in the Länder	139
1.3.5	Vehicle design as a citizen-led process.....	61	2.4.1	Land local transport laws.....	139
1.3.6	Conclusion	63	2.4.2	Other Länder regulations.....	139
1.4	Bibliography/Sources	64	2.5	Occupational safety regulations.....	141
<hr/>					
2	Legal framework	67			
<hr/>					
2.1	Legal framework for public transport and light rail	67			

2.4.1	Landes-Nahverkehrsgesetze	140
2.4.2	Weitere Vorschriften der Bundesländer	140
2.5	Arbeitsschutzvorschriften	142
2.6	Weitere Standards und Regeln der Technik	144
2.6.1	VDV-Schriften	144
2.6.2	Sonstige Regeln, Praxisempfehlungen und anerkannte Regeln der Technik	146
2.7	Literatur/Quellen	147

3 Stadtbahnbau seit 2000 und bauliche Besonderheiten 154

3.1	Neue Stadtbahnstrecken in Deutschland seit 2000	156
3.2	Bauliche Besonderheiten bei unter- und oberirdischen Stadtbahnstrecken	166
3.2.1	Umfangreiche Sicherungsmaßnahmen und Bauen in historischem Untergrund – Nord-Süd Stadtbahn Köln	168
3.2.2	Anspruchsvolle Gebäudeunterfahrungen – Wehrhahnlinie Düsseldorf	178
3.2.3	Infrastrukturelle Lösungen für ÖPNV und MIV – Kombilösung Karlsruhe	186
3.2.4	Stadtbahnausbau und Netzgestaltung unter dem Einfluss von Großprojekten	194
3.2.5	Projekt Zehn Siebzehn – Ausbau der Stadtbahnlinien 10 und 17 in Hannover	200
3.2.6	Integrierte Stadtentwicklung und nach- haltige Gestaltung – Tram St. Emmeram	202
3.2.7	Umweltschutz und Nachhaltigkeit – „Grüne Linie 1“ in Bremen	206
3.3	Kapazitätserweiterungen bei Stadtbahnen	208
3.3.1	Beispiel Bielefeld	208
3.3.2	Beispiel Rostock	210

3.3.3	Beispiel Bremen	212
3.4	Literatur/Quellen	214

4 Stadtbahnhaltestellen 218

4.1	Grundlegende Gestaltungsmerkmale bei Stadtbahnhaltestellen	218
4.1.1	Haltestellen in Hoch- und Tieflage	220
4.1.2	Unterirdische Haltestellen	222
4.1.3	Ebenerdige Haltestellen	224
4.2	Prinzipien bei der Gestaltung von Stadtbahnhaltestellen	232
4.2.1	Dimensionierung von Haltestellen	232
4.2.2	Fahrgastkomfort und Barrierefreiheit	236
4.2.3	Ausstattung von Haltestellen	238
4.2.4	Soziale Sicherheit	240
4.2.5	Vorbeugender Brandschutz	244
4.3	Ökologische Aspekte beim Betrieb von Stadtbahnhaltestellen	250
4.3.1	Energieeffiziente Beleuchtung und Nutzung von Photovoltaik	252
4.3.2	Nutzung von Tageslicht an unterirdischen Haltestellen	254
4.3.3	Nutzung von oberflächennaher Geothermie für Zugänge und Bahnsteige	256
4.4	Verknüpfungsanlagen – Planungsprinzipien und Umsetzung	258
4.4.1	Verknüpfungsanlagen Stadtbahn – Bus	258
4.4.2	Verknüpfungsanlagen zwischen Stadtbahnen	264
4.4.3	Verknüpfungsanlagen zwischen Stadtbahn und Regional- oder Fernbahnverkehr	266
4.4.4	Verknüpfungen mit anderen Verkehrsmitteln	268
4.5	Beispiele für stadtintegrativ gestaltete Haltestellen	278

2.6	Other standards and rules of engineering practice	143
2.6.1	VDV publications	143
2.6.2	Other rules, practical recommendations and recognised good engineering practices	145
2.7	Bibliography/Sources	147

3 Light rail system tracks since 2000 and special structural characteristics 155

3.1	New light rail lines built in Germany since 2000	157
3.2	Special structural characteristics: underground and above-ground light rail tracks	167
3.2.1	Extensive protective measures and construction in a historical substrate – Cologne’s north-south light rail line	169
3.2.2	Complex measures for building underneath existing structures – the Wehrhahn line in Düsseldorf	179
3.2.3	Infrastructure solutions for public transport and private motorised transport – Karlsruhe’s combi-solution	187
3.2.4	Expanding and restructuring light rail networks due to the influence of major projects	195
3.2.5	Projekt Zehn Siebzehn – Expansion of light rail lines 10 and 17 in Hannover	201
3.2.6	Integrated urban development and sustainable rail system design – the St Emmeram tramway	203
3.2.7	Environmental protection and sustainability – Bremen’s ‘greenline 1’	207
3.3	Increasing the capacity of light rail networks	209
3.3.1	Bielefeld example	209

3.3.2	Rostock example	213
3.3.3	Bremen example	213
3.4	Bibliography/Sources	214

4 Light rail stops 219

4.1	Key design characteristics for light rail stops	219
4.1.1	Elevated stops and stops in cuttings	221
4.1.2	Underground stops	223
4.1.3	Street-level stops	225
4.2	Design principles for light rail stops	231
4.2.1	Stop size	231
4.2.2	Passenger comfort and freedom from barriers	237
4.2.3	Stop fittings	239
4.2.4	Social safety	241
4.2.5	Preventive fire protection	243
4.3	Environmental considerations for the operation of light rail stops	251
4.3.1	Energy-efficient lighting and use of photovoltaics	253
4.3.2	Using daylight in underground stops	257
4.3.3	Using near-surface geothermal energy for entrances and platforms	257
4.4	Interchanges – Planning principles and realisation	259
4.4.1	Facilities for transfer between light rail and bus	259
4.4.2	Facilities for transfer between light rail lines	267
4.4.3	Facilities for transfer between light rail and regional or main-line rail	267
4.4.4	Interchanges with other modes of transport	267
4.5	Examples of stops integrated into the urban area	279

4.5.1	Kassel – Straßenbahnhaltestellen auf historischem Stadtplatz	278
4.5.2	Oberhausen – Prägende Architektur der Haltestelle Neue Mitte	278
4.5.3	Köln – Stadtbahnhaltestelle mit besonderem Ortsbezug	280
4.5.4	München – Bahnsteighalle als städtebauliches Element	280
4.5.5	Stuttgart – Städtebauliche Integration von Hochbahnsteigen	280
4.5.6	Dresden – Neugestaltung eines zentralen Stadtplatzes und ÖPNV-Knotenpunkts	282
4.5.7	Frankfurt am Main – Ein besonderes Lichtkonzept	284
4.5.8	Projekt Busstops Hannover – Haltestellen als Kunst im öffentlichen Raum	284
4.5.9	Dortmund – Haltestellen als prägendes Element eines neugestalteten Ortsmittelpunkts	286
4.5.10	Bielefeld – Eine architektonische Landmarke	286
4.5.11	Bremen – Neugestaltung einer Umsteigeanlage im Zuge eines Stadtumbaus	288
4.6	Literatur/Quellen	290

5	Aktuelle Themen der Fahrweggestaltung	292
----------	--	------------

5.1	Streckenlagen und Oberbauformen	292
5.2	Verringerung von Schall- und Erschütterungsemissionen	296
5.2.1	Anhalts- und Grenzwerte	298
5.2.2	Emissionen und Immissionen	298
5.2.3	Streckenführung	300
5.2.4	Konstruktive Lösungen für einen emissionsarmen Fahrweg	304

5.2.5	Einflussmöglichkeiten der Verkehrsunternehmen	312
5.2.6	Bewertung der Maßnahmen	316
5.3	Grüne Gleise	320
5.3.1	Bauformen	320
5.3.2	Schall- und Erschütterungsemissionen	320
5.3.3	Stadtgestaltung und Ökologie	324
5.4	Nutzung der Erdwärme am Fahrweg	326
5.4.1	Energieeffiziente Weichenheizungen	326
5.4.2	Nutzung von unterirdischen Fahrwegen zur Energiegewinnung	328
5.5	Literatur/Quellen	332

6	Besondere Aspekte bei Stadtbahnfahrzeugen	334
----------	--	------------

6.1	Fahrzeugkonzepte	334
6.1.1	Einflussfaktoren und Anforderungen	334
6.1.2	Fahrzeugklassen	336
6.1.3	Realisierung niveaugleicher Einstiege	338
6.2	Drehgestelle und Fahrwerke	342
6.2.1	Für Übergangslösungen von der Hochflur- zur Niederflurtechnik	342
6.2.2	Für Niederflurfahrzeuge mit vollständigem Niederflurbereich	348
6.3	Fahrzeuggelenke	358
6.4	Stromrichtergespeiste Antriebe von Stadtbahnen	364
6.4.1	Definitionen / Symbole	364
6.4.2	Antriebskategorien	364
6.4.3	Prinzipielle Schaltungsaufbauten verschiedener Lösungsvarianten	368
6.4.4	Schaltungsaufbau Zweisystemfahrzeuge	370
6.5	Strukturauslegung moderner Multigelenkfahrzeuge	372

4.5.1	Kassel – Tramway stops on a historic city plaza	279	5.3	Green tracks	319
4.5.2	Oberhausen – standout stop architecture in the Neue Mitte	279	5.3.1	Types	319
4.5.3	Cologne – a light rail stop with a special connection to its location	281	5.3.2	Noise and vibration emissions	323
4.5.4	Munich – a platform shelter as an urban design feature	281	5.3.3	Urban design and the environment	325
4.5.5	Stuttgart – integrating a high platform into its urban surroundings in a plaza	283	5.4	Using geothermal energy for tracks	327
4.5.6	Dresden – redesigning a key urban square and public transport hub	285	5.4.1	Energy-efficient switch-heating systems	327
4.5.7	Frankfurt am Main – a unique lighting design	285	5.4.2	Using underground tracks to recover energy	329
4.5.8	Busstops project in Hannover – stops as art in a public space	287	5.5	Bibliography/Sources	332
4.5.9	Dortmund – stops as a defining component of a district’s new focal point	287			
4.5.10	Bielefeld – an architectural landmark	289	6	Special considerations regarding light rail vehicles	335
4.5.11	Bremen – redesigning an interchange point as part of an urban renovation project ..	289			
4.6	Bibliography/Sources	290			
<hr/>					
5	Topical issues of track design	293			
<hr/>					
5.1	Track positions and track types	293	6.1	Vehicle designs	335
5.2	Reduction of noise and vibration emissions	295	6.1.1	Influencing factors and requirements	335
5.2.1	Guide values and limit values	299	6.1.2	Vehicle types	339
5.2.2	Emissions and immissions	299	6.1.3	Step-free access	341
5.2.3	Line layout	301	6.2	Running gear and bogies	343
5.2.4	Structural solutions for a low-emission track	305	6.2.1	From high-floor to low-floor technology: transitional solutions	343
5.2.5	Ways transport companies can influence emissions	313	6.2.2	100 % low-floor light rail vehicles	347
5.2.6	Evaluating measures	317	6.3	Articulation systems	359
			6.4	Converter-fed light rail vehicle drives	365
			6.4.1	Definitions/Symbols	365
			6.4.2	Drive types	365
			6.4.3	Switching systems	367
			6.4.4	Dual-system vehicles	369
			6.5	Structural design of modern multi-articulated vehicles	371
			6.5.1	Limitations of the old calculation procedure for stress	373
			6.5.2	Recommendations on load assumptions and strength tests	373
			6.5.3	Impact on technical regulations	375

6.5.4	Categories for vehicles, running gear and crashworthiness	375	7.5.1	Coach body	451
6.5.5	Determining strength	377	7.5.2	Bogies and running gear	451
6.5.6	Summary	393	7.5.3	Drive/power converter	451
6.6	Requirements for quiet light rail vehicles	393	7.5.4	Control technology and cabling	453
6.6.1	Acoustic acceptance of (new) rail vehicles	397	7.5.5	On-board electronic systems	455
6.6.2	Measures to reduce vehicle noise	401	7.5.6	Lighting	455
6.6.3	Measures implemented in practice	401	7.5.7	Driver's cab	455
6.7	Requirements for doors, vehicle interior design and fire protection	421	7.5.8	Passenger space	457
6.7.1	Doors	421	7.5.9	Passenger doors	457
6.7.2	Vehicle interior design	421	7.5.10	Climate control	459
6.7.3	Fire protection	427	7.5.11	Passenger information	459
6.8	Bibliography/Sources	430	7.5.12	Fire protection	459
<hr/>			7.5.13	Freedom from barriers	461
7	Renovation of light rail vehicles	435	7.5.14	Passenger safety	461
<hr/>			7.6	The experiences of various transport companies	461
7.1	Why light rail vehicles need to be modernised	435	7.6.1	Stuttgarter Straßenbahnen AG	461
7.2	Options for vehicle fleet modernisation	439	7.6.2	Stadtwerke Bonn (SWB)	465
7.3	Prerequisites for and benefits of a general overhaul	441	7.6.3	Kölner Verkehrs-Betriebe AG	469
7.4	Steps to take ahead of a general overhaul	443	7.6.4	Hamburger Hochbahn	473
7.4.1	Advance planning and progression planning	443	7.6.5	Berliner Verkehrsbetriebe	473
7.4.2	Test dismantlement	445	7.7	Conclusion	477
7.4.3	Mock-ups and prototypes	445	7.8	Bibliography/Sources	478
7.4.4	Material needs	447	<hr/>		
7.4.5	Material procurement	449	8	Railway energy supply	481
7.4.6	Quality assurance	449	<hr/>		
7.4.7	BOStrab acceptance	449	8.1	Tasks and requirements	481
7.5	Measures to be taken as part of a general overhaul	449	8.2	Power supply and operation concepts	483
			8.3	Rectifier sub-stations	485
			8.3.1	Protection and control units	489
			8.3.2	Station control technology	493
			8.3.3	Buildings	495
			8.4	Cable facilities	497
			8.5	Catenary systems	499

8.3	Gleichrichterwerke	484	9.3.3	Barrierefreier Zugang bei Mischbetrieb und Zweisystem-Technik	562
8.3.1	Schutz- und Steuereinrichtungen	488	9.3.4	Fazit	566
8.3.2	Stationsleittechnik	492	9.4	Anwendungsbeispiele in Deutschland	568
8.3.3	Gebäude	494	9.4.1	Das Karlsruher Modell	568
8.4	Kabelanlagen	496	9.4.2	Tram-Train-Umsetzungen in Kassel	576
8.5	Oberleitungsanlagen	500	9.4.3	Die Stadtbahn Saarbrücken	584
8.5.1	Oberleitungen und Quertrageinrichtungen	500	9.4.4	Das Chemnitzer Modell	588
8.5.2	Maste und Gründungen	508	9.4.5	Das Zwickauer Modell	594
8.5.3	Städtebauliche Verträglichkeit	510	9.4.6	Straßenbahn Nordhausen und Harzer Schmalspurbahn	598
8.6	Schienenrückleitung und Streuströme	510	9.5	Literatur/Quellen	602
8.7	Schutzmaßnahmen an Strecken	514			
8.8	Leitzentralen	518			
8.9	Aktuelle Themen und Entwicklungen	520			
8.9.1	Optimierung der Instandhaltung	520	10	Kundenbezogene Technik	606
8.9.2	Maßnahmen zum energieeffizienten Einsatz rückspeisefähiger Fahrzeuge	522			
8.9.3	Stationäre Energiespeicher	526	10.1	ITCS	608
8.9.4	Einsatz regenerativer Energien für das DC-Bahnnetz	530	10.1.1	Bedeutung der Begrifflichkeiten RBL und ITCS	610
8.9.5	Fahrdrahtlose Fahrstromversorgung	532	10.1.2	Telematik in den Fahrzeugen	612
8.9.6	Energiespeicher auf Fahrzeugen	536	10.1.3	Leitstelle	616
8.10	Literatur/Quellen	540	10.1.4	Telematik auf der Strecke	620
			10.1.5	Umsetzung von RBL/ITCS im Stadtbahn- bereich	620
9	Mischbetrieb und Zweisystem-Technik	542	10.2	Fahrgastinformation und -entertainment	622
			10.2.1	Technische Möglichkeiten und Rahmen- bedingungen der visuellen Fahrgast- Information	624
9.1	Schaffung der Zulassungsvoraussetzungen	544	10.2.2	Technische Möglichkeiten und Rahmen- bedingungen der akustischen Fahrgast- Information	628
9.2	Kategorisierung von Mischbetrieb und Zweisystem-Technik	546	10.2.3	Stationäre Fahrgast-Information an den Haltestellen	632
9.3	Entwicklung, technische und betriebliche Auswirkungen	548	10.2.4	Fahrgast-Information in den Fahrzeugen	636
9.3.1	Entwicklung der Zweisystem-Technik	550	10.2.5	Mobile Fahrgast-Information	638
9.3.2	Technische und betriebliche Auswirkungen aus dem Mischbetrieb	554	10.2.6	Zunehmende Vernetzung der Fahrgast- Information/Datendreh scheiben	638

8.5.1	Catenaries and cross-span elements	501	9.4.3	The Saarbrücken light rail system	585
8.5.2	Masts and foundations	511	9.4.4	The Chemnitz Model	589
8.5.3	Compatibility with the urban environment . . .	511	9.4.5	The Zwickau Model	595
8.6	Rail return and stray currents	513	9.4.6	Nordhausen tramway and Harzer Schmalspurbahn	599
8.7	Protective measures on sections	515	9.5	Bibliography/Sources	602
8.8	Control centres	519			
8.9	Topical issues and developments	519			
8.9.1	Maintenance optimisation	519	10	Customer-oriented telematics	607
8.9.2	Measures for energy- efficient use of regenerative vehicles	521			
8.9.3	Stationary energy storage devices	527			
8.9.4	Use of recovered energy for the DC rail network	531	10.1	ITCS	609
8.9.5	Catenary-free traction current supply	531	10.1.1	Meaning of CAD/AVL and ITCS	609
8.9.6	Energy storage devices on vehicles	537	10.1.2	Telematics in vehicles	611
8.10	Bibliography/Sources	540	10.1.3	Control centre	615
			10.1.4	Telematics on the lines	619
			10.1.5	Implementation of CAD/AVL/ITCS in the light rail sector	621
			10.2	Passenger information and entertainment . . .	623
9	Mixed operation and the dual-system approach	543	10.2.1	Technical possibilities and general conditions for visual passenger information	625
			10.2.2	Technical possibilities and general conditions for acoustic passenger information	629
9.1	Creating the conditions for authorisation	545	10.2.3	Stationary passenger information at stops . . .	633
9.2	Classification of mixed operation and dual-system solutions	547	10.2.4	Passenger information in vehicles	637
9.3	Development, technical and operational effects	549	10.2.5	Mobile passenger information	637
9.3.1	The emergence of the dual-system approach	551	10.2.6	Increasing interconnection of passenger information/data platforms	639
9.3.2	Technical and operational effects of mixed operation	555	10.3	Ticketing	643
9.3.3	Barrier-free access to mixed-operation and dual-system transport	563	10.3.1	Staff-operated systems	643
9.3.4	Conclusion	567	10.3.2	Customer-operated system	643
9.4	Practical examples from Germany	569	10.3.3	Paperless ticketing systems	645
9.4.1	The Karlsruhe Model	569	10.4	Video surveillance (vehicle/stops)	649
9.4.2	Tram-train solutions in Kassel	579	10.4.1	Legal aspects	651
			10.4.2	Video surveillance systems at stops	651

10.3	Ticketing	642	11.3	Instandhaltung der Fahrzeuge	682
10.3.1	Personalbediente Systeme	642	11.3.1	Auswirkungen der Fahrzeugtechnik auf die Werkstätten	684
10.3.2	Kundenbediente Systeme	642	11.3.2	Fahrfertigmachen und Wartung	688
10.3.3	Papierlose Ticketing-Systeme	646	11.4	Umwelt- und Klimaschutz auf Betriebshöfen	692
10.4	Videoüberwachung (Fahrzeug/Haltestellen) ...	650	11.4.1	Verringerung der Flächenversiegelung	692
10.4.1	Rechtliche Aspekte	650	11.4.2	Schall- und Erschütterungsschutz	694
10.4.2	Videoüberwachungssysteme an Haltestellen	652	11.4.3	Nutzung regenerativer Energie	696
10.4.3	Videoüberwachungssysteme in Fahrzeugen	652	11.4.4	Energieeinsparung und Energieeffizienz	702
10.5	Automatische Fahrgastzählung	654	11.5	Literatur/Quellen	706
10.5.1	Infrarot-Technik	656	<hr/>		
10.5.2	Laser-Technik	658	12	Personaleinsatz und Personalausbildung	708
10.5.3	Video-Technik	658	<hr/>		
10.5.4	Indirekte Verfahren	658	12.1	Fahren	708
10.6	Auswirkungen von ITCS auf die Betriebsleitstellen	658	12.1.1	Aufgaben und Anforderungen	708
10.7	Kommunikationstechnologien/ Datenübertragung	660	12.1.2	Personalauswahl, Aus- und Weiterbildung ...	710
10.7.1	Analogfunk	662	12.1.3	FIF - Fachkraft im Fahrbetrieb	724
10.7.2	Digitalfunk	664	12.1.4	Personalbedarf und Einsatzplanung im Fahrdienst	724
10.7.3	Öffentlicher digitaler Funk (Mobilfunk)	666	12.1.5	Fahrerbetreuungsmodelle	728
10.8	Literatur/Quellen	670	12.1.6	Betreuung des Fahrpersonals nach schweren Unfällen und Übergriffen	728
<hr/>			12.2	Steuern	730
11	Betriebshöfe und Werkstätten	674	12.2.1	Aufgaben und Ziele	730
<hr/>			12.2.2	Personalauswahl, Aus- und Weiterbildung ...	736
11.1	Gestaltung moderner Stadtbahn-Betriebshöfe	674	12.2.3	Information im Störfall	740
11.1.1	Planungsgrundsätze	674	12.3	Prüfen	742
11.1.2	Einsatz eines Betriebshofmanagementsystems	676	12.3.1	Aufgaben und Ziele	742
11.2	Fahrzeugaufstellung	678	12.3.2	Personalauswahl, Aus- und Weiterbildung ...	742
11.2.1	Freiabstellung	678	12.3.3	Durchführung von Fahrausweisprüfungen ...	746
11.2.2	Überdachte Abstellung	680	12.3.4	Ausstattung des Prüfdienstes	748
11.2.3	Abstellhalle	680	12.3.5	Flankierende Aufgaben und Maßnahmen	750
			12.4	Sicherheit	750

10.4.3	Video surveillance systems in vehicles	653	11.5	Bibliography/Sources	706
10.5	Automatic passenger counting	653			
10.5.1	Infrared technology	657			
10.5.2	Laser technology	657			
10.5.3	Video technology	659			
10.5.4	Indirect methods	659			
10.6	Effects of ITCS on control centres	659			
10.7	Communication technologies/data transmission	661			
10.7.1	Analogue radio	663			
10.7.2	Digital radio	665			
10.7.3	Public digital radio (mobile radio)	667			
10.8	Bibliography/Sources	670			
<hr/>					
11	Depots and workshops	675	12	Staff deployment and training	709
<hr/>			<hr/>		
11.1	Design of modern light rail depots	675	12.1	Driving	709
11.1.1	Planning principles	675	12.1.1	Tasks and requirements	709
11.1.2	Deployment of a depot management system	677	12.1.2	Staff hiring, training and further training	711
11.2	Vehicle parking	679	12.1.3	Vehicle Operation Experts (FIFs)	723
11.2.1	Outdoor parking	679	12.1.4	Staffing requirements and staff scheduling at Driving departments	725
11.2.2	Covered parking	681	12.1.5	Driver support models	727
11.2.3	Parking shed	681	12.1.6	Support for drivers further to serious accidents and assault	729
11.3	Vehicle maintenance	683	12.2	Operational Control	731
11.3.1	Effects of vehicle technology on the workshops	685	12.2.1	Tasks and goals	731
11.3.2	Preparation for operation, servicing	689	12.2.2	Staff hiring, training and further training	735
11.4	Environmental and climate protection at depots	693	12.2.3	Supply of information in the event of a disruption	739
11.4.1	Reduction of surface sealing	693	12.3	Inspection	743
11.4.2	Protection from noise and vibrations	693	12.3.1	Tasks and goals	743
11.4.3	Use of renewable energy	699	12.3.2	Staff hiring, training and further training	743
11.4.4	Energy conservation and energy efficiency	703	12.3.3	Ticket inspection	745
			12.3.4	Support systems and equipment	747
			12.3.5	Associated tasks and measures	749
			12.4	Safety and security	749
			12.4.1	Tasks and goals	749
			12.4.2	Staff hiring, training and further training	753
			12.4.3	Communication technology and CCTV	755
			12.4.4	Security partnerships	757
			12.5	Customer Service	759
			12.5.1	Tasks and goals	759
			12.5.2	Staff hiring, training and further training	759
			12.6	Preventive measures to protect staff	759

12.4.1	Aufgaben und Ziele	750	13.2.5	Regelungen / Dienstanweisungen	784
12.4.2	Personalauswahl, Aus- und Weiterbildung.....	754	13.2.6	Technische und betriebliche Vorsorge.....	786
12.4.3	Kommunikationstechnik und Videoüberwachung.....	756	13.2.7	Aus- und Fortbildung / Übungen.....	786
12.4.4	Einrichtung von Ordnungs- und Sicherheitspartnerschaften	758	13.2.8	Meldepflicht.....	788
12.5	Kundendienst	760	13.3	Organisation des Störfallmanagements.....	788
12.5.1	Aufgaben und Ziele	760	13.3.1	Störfallentgegennahme.....	788
12.5.2	Personalauswahl, Aus- und Fortbildung.....	760	13.3.2	Benachrichtigungs- und Meldekettens.....	790
12.6	Präventionsmaßnahmen zu Schutz der Beschäftigten	760	13.3.3	Grundsätzliche Bearbeitung von Regelstörungen	792
12.6.1	Technische Maßnahmen	762	13.3.4	Bewältigung von außergewöhnlichen Vorfällen.....	792
12.6.2	Organisatorische Maßnahmen	762	13.3.5	Nachbereitung.....	796
12.6.3	Personenbezogene Maßnahmen.....	764	13.4	Ausgewählte Fallbeispiele	798
12.7	Mischarbeit und Gesundheitsmanagement....	766	13.4.1	Störungen im Fahrbetrieb	798
12.7.1	Mischarbeit – Definition	766	13.4.2	Störungen in oder an Betriebsanlagen	800
12.7.2	Ziele der Mischarbeit im Fahrdienst.....	766	13.4.3	Brand in unterirdischen Anlagen.....	802
12.7.3	Modelle für Mischarbeit.....	768	13.4.4	Telefonische Bedrohungen	806
12.7.4	Mischarbeit im Zentralen Servicedienst.....	768	13.4.5	Geiselnahme.....	808
12.7.5	Betriebliches Gesundheitsmanagement	770	13.4.6	Terroristische Anschläge.....	808
12.8	Literatur/Quellen	771	13.4.7	Großveranstaltungen und Großdemonstrationen	810
13	Störfallmanagement	774	13.4.8	Pandemie.....	814
13.1	Grundlegende Begriffe und Vorgaben.....	776	13.4.9	Längerer Stromausfall	816
13.1.1	Rechtliche Vorgaben.....	776	13.4.10	Naturereignisse	820
13.1.2	Sicherheit – Safety und Security	776	13.5	Literatur/Quellen.....	824
13.1.3	Klassifizierung von Ereignissen	780	14	Lebenszykluskosten (LCC) von Stadtbahnsystemen und deren Ermittlung	826
13.1.4	Schutzziele	780	14.1	Bedeutung der Ermittlung von LCC	828
13.2	Planung eines Sicherheitsmanagements.....	780	14.1.1	Gründe für die Anwendung von LCC.....	828
13.2.1	Schutz-/Sicherheitskonzept.....	780	14.1.2	LIFE CYCLE COSTING (LCC) gemäß DIN EN 60300-3-3.....	830
13.2.2	Ziele des Managements.....	782	14.1.3	LCC im Schienengebundenen Verkehr.....	834
13.2.3	Zusammensetzung des Managements	782			
13.2.4	Raumkonzept.....	784			

12.6.1	Technical measures	761	13.3.3	Basic handling of routine disruptions	791
12.6.2	Organisational measures	761	13.3.4	Managing extreme incidents	791
12.6.3	Staff-related measures	761	13.3.5	Follow-up	797
12.7	Multiple skills and health management	765	13.4	Examples of specific incidents	799
12.7.1	Multiple skills – Definition	765	13.4.1	Service disruptions	799
12.7.2	The purpose of multi-skilled activity at Driving	765	13.4.2	Disruptions involving operating facilities	801
12.7.3	Multi-skilled work models	765	13.4.3	Fires in underground facilities	801
12.7.4	Multi-skilled activity at the Central Service Department	767	13.4.4	Threats over the telephone	807
12.7.5	Corporate health management	767	13.4.5	Hostage situation	809
12.8	Bibliography/Sources	771	13.4.6	Terrorist attacks	809
<hr/>			13.4.7	Large events and major demonstrations	811
13	Management of incidents	775	13.4.8	Pandemic	813
<hr/>			13.4.9	Major power cut	817
13.1	Key terms and requirements	777	13.4.10	Natural phenomena	819
13.1.1	Legal requirements	777	13.5	Bibliography/Sources	824
13.1.2	Safety and security	777	<hr/>		
13.1.3	Incident classification	781	14	Life-cycle costs (LCC) of light rail systems and their calculation	827
13.1.4	Goals of protection	781	<hr/>		
13.2	Planning safety management	781	14.1	The importance of calculating LCC	829
13.2.1	Protection/safety concept	781	14.1.1	Reasons for life-cycle costing	829
13.2.2	Management goals	781	14.1.2	LIFE-CYCLE COSTING as per DIN EN 60300-3-3	831
13.2.3	Composition of the management structure	783	14.1.3	LCC for rail-bound transport	835
13.2.4	Room design	785	14.1.4	LCC and other cost considerations	837
13.2.5	Regulations/staff instructions	785	14.1.5	Factors to bear in mind when calculating LCC for rail-bound transport	839
13.2.6	Technical and operational preparation	787	14.2	RAM(S) analyses	841
13.2.7	Initial and further training/drills	787	14.2.1	Reliability	843
13.2.8	Obligation to report	789	14.2.2	Availability	845
13.3	Organising incident management	789	14.2.3	Maintainability	847
13.3.1	Receiving notice of incidents	789	14.2.4	Safety	849
13.3.2	Notification and reporting chain	791			

14.1.4	LCC und andere Kostenbetrachtungen.....	836
14.1.5	Zu beachtende Faktoren bei LCC im schienengebundenen Verkehr.....	838
14.2	RAM(S)-Analysen.....	842
14.2.1	Reliability – Zuverlässigkeit.....	842
14.2.2	Availability – Verfügbarkeit.....	844
14.2.3	Maintainability – Instandhaltbarkeit.....	846
14.2.4	Safety – Sicherheit.....	846
14.2.5	Von der RAM(S)-Analyse zur LCC-Berechnung.....	848
14.2.6	Besondere Gesichtspunkte bezüglich RAMS-Analysen für Stadtbahnsysteme.....	848
14.3	LCC bei Fahrzeugen.....	850
14.3.1	Ertüchtigung von alten Stadtbahnfahrzeugen.....	850
14.3.2	Modulare Baukonzepte für Fahrzeuge.....	854
14.3.3	Wirtschaftlichkeitsaspekte bei der Instandhaltung von Stadtbahnen.....	856
14.3.4	Qualitätsmanagement.....	858
14.4	LCC bei der Infrastruktur.....	860
14.4.1	EU-Forschung „Urban Track“.....	860
14.4.2	Modulare Baukonzepte.....	864
14.4.3	Wirtschaftlichkeitsaspekte bei der Instandhaltung der Fahrwege.....	866
14.4.4	Wiederverwendung von Oberbaustoffen.....	868
14.4.5	Qualitätsmanagement.....	870
14.4.6	EDV-unterstützte Schienenfahrweginstandhaltung.....	872
14.5	LCC in der Ausschreibung.....	874
14.5.1	Fahrzeuge.....	874
14.5.2	Infrastruktur.....	880
14.6	Fazit und Ausblick.....	882
14.7	Literatur/Quellen.....	886

15	Finanzierung des ÖPNV in Gegenwart und Zukunft	888
-----------	---	------------

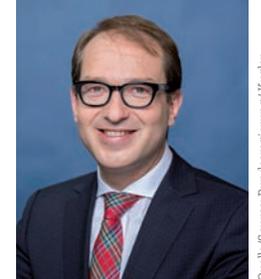
15.1	Ausgangssituation.....	890
15.1.1	Die drei Säulen der ÖPNV-Finanzierung.....	890
15.1.2	Derzeitige Finanzaufwendungen für den ÖPNV.....	900
15.1.3	Nachholbedarf bei Erneuerungsinvestitionen.....	902
15.1.4	Mittel- und langfristige Entwicklung des investiven Finanzierungsbedarfs.....	904
15.1.5	Mittel- und langfristige Entwicklung des konsumtiven Finanzierungsbedarfs.....	906
15.2	Grundlagen der bisherigen und der künftigen Finanzierung.....	908
15.2.1	Verfassungsrechtliche Grundlagen und Föderalismusreform.....	908
15.2.2	Finanzhilfen nach dem Gemeindeverkehrs- finanzierungsgesetz (GVFG) – Bundesprogramm.....	912
15.2.3	Auswirkungen des Entflechtungs- gesetzes (EntflechtG 2006/2013).....	920
15.2.4	Finanzbeträge nach dem Regionalisierungsgesetz (RegG).....	920
15.2.5	Finanzierung durch die Bundesländer.....	926
15.2.6	Sonderprogramme (Konjunktur-, Kfw-, Lärmsanierungs-Programme, Aufbauhilfefonds, EFRE).....	930
15.2.7	Private Ko-Finanzierung: Verlängerung der Stadtbahnlinie 5 in Köln.....	932
15.3	Alternativen einer künftigen ÖPNV-/Stadtbahn-Finanzierung.....	934
15.3.1	Vorhandene Optionen und unkonventionelle Finanzierungsalternativen.....	936
15.3.2	Verstärkte Berücksichtigung umwelt- und klimarelevanter Maßnahmen bei der Förderung.....	944

14.2.5	From RAM(S) analysis to life-cycle costing	849	15.1.4	Medium- and long-term development of financial requirements for investments	905
14.2.6	Special considerations when conducting RAMS analyses on light rail systems	849	15.1.5	Medium- and long-term development of consumption-related financial requirements	907
14.3	LCC for vehicles	851	15.2	The bases for current and future financing	909
14.3.1	Upgrading old light rail vehicles	851	15.2.1	Constitutional bases – The reform of the federal system	909
14.3.2	Modular vehicle designs	855	15.2.2	Financial assistance under the Municipal Transport Financing Act (GVFG) – Federal programme	915
14.3.3	Cost-effectiveness considerations in light-rail vehicle maintenance	855	15.2.3	Effects of the Unbundling Act (EntflechtG 2006/2013)	921
14.3.4	Quality management	859	15.2.4	Funding under the Regionalisation Act (RegG)	921
14.4	LCC for infrastructure	859	15.2.5	Financing by the Länder	927
14.4.1	The EU research project Urban Track	859	15.2.6	Special programmes (Economic Recovery Programme, KfW subsidy scheme, noise abatement programmes, reconstruction assistance fund, ERDF)	931
14.4.2	Track modules	865	15.2.7	Private cofinancing: the extension of light rail line 5 in Cologne	933
14.4.3	Cost-effectiveness considerations in track maintenance	867	15.3	Alternatives for future public transport/light rail financing	937
14.4.4	Re-using superstructure materials	871	15.3.1	Existing options and unconventional financing alternatives	937
14.4.5	Quality management	873	15.3.2	Financing increasingly linked to environmentally- and climate-friendly measures	947
14.4.6	Software-based rail track maintenance	873	15.3.3	The report on The Future of Transport Infrastructure Financing (Daehre Commission)	947
14.5	LCC in tendering	875	15.3.4	Concluding Report of the North Rhine-Westphalia Commission on the Future of Public Transport	949
14.5.1	Vehicles	875	15.3.5	Position of the BMVI Advisory Council	959
14.5.2	Infrastructure	881			
14.6	Conclusion and outlook	883			
14.7	Bibliography/Sources	886			
<hr/>					
15	The financing of public transport now and in the future	889			
<hr/>					
15.1	Initial situation	891			
15.1.1	The three pillars of public transport financing	891			
15.1.2	Current expenditure on public transport	903			
15.1.3	Shortfall in investment for renovation	903			

15.3.3	Kommissionsbericht „Zukunft der Verkehrsinfrastrukturfinanzierung“ (Daehre-Kommission).....	946	15.3.7	Beschluss der Sonder-Verkehrsministerkonferenz „Nachhaltige Verkehrsinfrastrukturfinanzierung“.....	964
15.3.4	Abschlussbericht der „ÖPNV-Zukunftskommission NRW“.....	948	15.3.8	Koalitionsvertrag für die 18. Legislaturperiode und Regierungserklärung vom 29.01.2014.....	968
15.3.5	Stellungnahme des Wissenschaftlichen Beirats beim BMVI.....	956	15.3.9	Fazit: Handlungsbedarf für eine nachhaltige Finanzierung.....	978
15.3.6	Empfehlungen der Kommission „Nachhaltige Verkehrsinfrastrukturfinanzierung“ (Bodewig-Kommission).....	960	15.4	Literatur/Quellen.....	982
				Mitgliedsunternehmen des VDV Industrieforum e. V.....	988

15.3.6	Recommendations of the Commission on Sustainable Transport Infrastructure Financing (Bodewig Commission)	961	15.3.9	Conclusion: a need for action to ensure sustainable financing.	979
15.3.7	Conclusions by the Special Conference of Transport Ministers (VMK) on Sustainable Transport Infrastructure Financing	965	15.4	Bibliography/Sources	982
15.3.8	The Coalition Agreement for the 18th legislature and the policy statement of 29 January 2014	969		Members of the VDV Industry forum.	989

Vorwort



Quelle/Source: Bundesregierung / Kugler

Alexander Dobrindt MdB
Bundesminister für Verkehr
und digitale Infrastruktur

Mobilität ist ein Grundbestandteil moderner Gesellschaften. Mobilität zu ermöglichen und zu sichern ist daher unabdingbar. Stadtbahnen als Teil des öffentlichen Personennahverkehrs sind gerade in den immer stärker wachsenden und sich verdichtenden städtischen Räumen ein wesentlicher Garant dieser Mobilität: Stadtbahnen sind aus unseren Ballungsräumen nicht mehr wegzudenken und schreiben damit Erfolgsgeschichte. Dank der wichtigen Gemeinschaftsleistung von Bund, Ländern und Kommunen sowie von Verkehrsunternehmen, Wissenschaft und Industrie verfügen wir heute in Deutschland über eines der attraktivsten und modernsten Stadtbahnssysteme mit internationalem Vorbildcharakter. Dieser Erfolg der Stadtbahnen ist zugleich auf das Engste mit der Förderung im Zuge des Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetzes verbunden. Und nicht zuletzt stehen die Stadtbahnssysteme für Elektromobilität im ureigenen Sinn.

In den letzten beiden Jahrzehnten hat vor allem der dynamische Einzug der digitalen Technik auch im Stadtbahnbereich für wesentliche Entwicklungsschübe gesorgt. Verfeinerungen der Fahrzeugsteuerung, die weitere Verbesserung des Sicherheitsniveaus, mehr Kundenfreundlichkeit durch Echtzeitinformationen an den Haltestellen oder über mobile Anwendungen, das elektronische Ticket – all dies sind Beispiele dafür, wie die Verkehrsunternehmen Zugangshemmnisse abbauen und die Attraktivität ihrer Angebote erhöhen können.

Auch der konsequente Abbau von Barrieren bei der bestehenden Infrastruktur und der Einsatz barrierefreier Fahrzeuge leisten einen maßgeblichen Beitrag, den Stadtbahnverkehr zu verbessern und mobilitätseingeschränkte Menschen als Fahrgäste zu gewinnen. Diesen Weg gilt es auch in der Zukunft konsequent weiter zu verfolgen. Denn der Erfolg, der auch an den steigenden Fahrgastzahlen im öffentlichen Personennahverkehr zu beobachten ist, gibt den Unternehmen Recht.

Der Titel der vorliegenden Publikation deutet es bereits an: Stadtbahnssysteme sind komplex und anspruchsvoll. Angesichts der hohen Anforderungen an Umwelt- und Klimaschutz, an die Integration in das städtische Umfeld oder an die Barrierefreiheit, besteht ein hoher Informationsbedarf. Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) und der Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) wollen diesem Informationsbedarf mit diesem neu aufgelegten Standardwerk gemeinsam Rechnung tragen. Im Rahmen eines Forschungsprojektes haben BMVI und VDV die STUVA - Studiengesellschaft für unterirdische Anlagen e. V. - beauftragt, aktuelle Erkenntnisse auf dem Gebiet der Stadtbahnssysteme zusammenzutragen, auszuwerten und aufzuarbeiten. Die STUVA konnte dabei auf einer ähnlichen Untersuchung von 1999 / 2000 aufbauen.

Vorrangiges Ziel dieses Projektes ist es, dem besonderen Systemcharakter der Stadtbahn

mit den einzelnen thematischen Schwerpunkten gerecht zu werden. Zu diesem umfassenden System zählen die Anforderungen an Planung, Umsetzung und Bürgerbeteiligung, die Berücksichtigung aktueller rechtlicher Grundlagen, die Integration von Fahrwegen, Haltestellen, Betriebshöfen und Fahrzeugen in das Stadtbild, die Beachtung von Nachhaltigkeitsaspekten, die Einbeziehung moderner, kundenbezogener Telematiklösungen sowie wirtschaftliche Aspekte und Finanzierungsfragen.

Der STUVA ist bei diesem Projekt gelungen, das fachlich weit gefächerte Themenfeld Stadtbahnen mit der erforderlichen Sorgfalt, Bearbeitungstiefe und Qualität aufzubereiten. Der STUVA, dem projektbegleitenden Ausschuss und allen Bearbeitern danke ich für ihre tatkräftige Mitarbeit. Die Ergebnisse der Forschungsarbeiten erscheinen in deutscher und englischer Sprache in der inzwischen auch international renommierten Reihe „Blaue Bücher“ des VDV. Auch dafür gebührt unser Dank, denn damit können wir das umfangreiche Wissen und die Erkenntnisse aus dem hohen Entwicklungsstand auch allen Interessierten im europäischen und internationalen Umfeld zur Verfügung stellen. Ich wünsche dieser neuen Handreichung, dass es als „Standardwerk“ wieder den Weg in die Praxis findet und eine wichtige Hilfestellung für die Weiterentwicklung von Stadtbahnssystemen bietet.

Foreword

Alexander Dobrindt, Member of the German Bundestag,
Federal Minister of Transport and Digital Infrastructure

Mobility is a key element of modern societies. Facilitating and ensuring mobility is thus indispensable. As part of local public transport, above all in rapidly growing urban areas with a constantly increasing density, light rail systems play an important part in guaranteeing this mobility. It is impossible to imagine our agglomerations without light rail systems. They are a real success story. Thanks to the important joint effort made by the Federal Government, the federal states and local authorities as well as by transport operators, academia and industry, Germany today has some of the most attractive and modern light rail systems, thus setting an example of best practice on a global scale. At the same time, this success achieved by light rail systems is very closely linked with the financial assistance provided under the German Local Authority Transport Infrastructure Financing Act. And, not least, light rail systems stand for electric mobility in the original sense of the word.

During the last two decades, the fact that digital technology dynamically found its way into all areas of our society also boosted development in the field of light rail systems. Refining vehicle control systems, improving the safety level even more, increasing customer friendliness by providing real-time information at stops or via mobile applications, electronic ticketing – all these are examples of what transport operators can do in order to facilitate access to their services and make them more

attractive. The systematic removal of barriers in the existing infrastructure and the use of accessible vehicles are making an important contribution to improving light rail services and encouraging mobility-impaired passengers to use public transport. This is the approach that needs to be continued with all determination. For the success, which is also reflected in a growing number of passengers using local public transport, shows that the operators have adopted the right strategy.

The title of this publication says it all. Light rail systems are complex and challenging. In view of the high requirements to be met in the fields of environmental protection and climate change mitigation, integration into the urban fabric and accessibility, there is a great demand for information. The Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure and the Association of German Transport Companies (VDV) want to satisfy this demand for information by jointly publishing a new edition of this standard reference work. Within the framework of a research project, the Ministry and the VDV commissioned the STUVA – the Research Association for Underground Transportation Facilities – to compile, evaluate and process the most recent findings in the field of light rail systems. The STUVA was able to build on a similar study from 1999/2000.

The main objective of this project has been to do justice to the special character of light

rail as a system comprising various individual thematic focuses. This comprehensive system includes planning, implementation and public participation requirements, the consideration of the current legal basis, the integration of tracks, stops, depots and vehicles into the townscape, the consideration of sustainability aspects, the use of modern, customer-related telematics applications as well as economic aspects and funding issues.

In this project, the STUVA successfully addressed the wide range of issues in connection with light rail systems with the necessary degree of diligence, detail and quality. I thank the STUVA, the project-monitoring committee and all those involved for their active collaboration. The outcome of their research work has been published in German and English in the VDV's internationally renowned "Blue Series". We are very grateful for this because it means that we can make available the extensive knowledge and findings gained from the high level of development reached in Germany to all interested parties in Europe and worldwide. I hope that this new toolkit will yet again become a standard reference work and thus find its way into everyday use and serve as a valuable basis for the further development of light rail systems.

Vorwort

Jürgen Fenske
Präsident Verband Deutscher
Verkehrsunternehmen e.V. (VDV)



Dr. Dieter Klumpp
Vorstandsvorsitzender
VDV Industrieforum e.V.



Stadtbahnen bilden in sehr vielen deutschen und europäischen Großstädten – aber inzwischen auch weltweit – ein wichtiges Rückgrat des öffentlichen Personennahverkehrs. Das hat viele gute Gründe: Sie sind für die Kunden sehr attraktiv, hochleistungsfähig, aber auch an unterschiedliche Nachfragen flexibel anpassbar. Sie sind oberirdisch, unterirdisch, im Straßenraum und sogar auf Eisenbahnstrecken einsetzbar und sie können bei Neubauten abschnittsweise in Betrieb genommen und damit sehr schnell einem Nutzwert zugeführt werden. Diese herausragenden Eigenschaften haben den Siegeszug der Stadtbahn in den letzten 50 Jahren begründet.

Allerdings kommt bei keinem anderen öffentlichen Verkehrsmittel die Notwendigkeit einer Systembetrachtung mehr zum Ausdruck als bei Stadtbahnen:

- Die Bauausführungen (vor allem bei Tunneln) müssen stadt- und umweltverträglich gestaltet werden und die Akzeptanz der Bürger finden;
- Fahrwege und Haltestellen müssen harmonisch in das Stadtbild integriert werden;
- die Stadtbahnfahrzeuge sind bereits heute ein wesentlicher Teil der vermehrt angestrebten „Elektro-Mobilität“, müssen jedoch auch selbst wachsenden Umwelt- und Klimaschutzkriterien entsprechen;
- der Bahnstromversorgung kommt unter dem Aspekt des zunehmenden Einsatzes erneuerbarer Energien eine wachsende Bedeutung zu;

- die Kooperation von Stadtbahn und Eisenbahn weitet sich aus und ermöglicht vermehrt kundenfreundliche, umsteigefreie Verbindungen zwischen Umland und Stadt;
- die sich rapide ausweitende Telematik ermöglicht völlig neue Formen der direkten Kommunikation zwischen Verkehrsunternehmen und Fahrgast, vor allem in den Bereichen Fahrgastinformation, Ticketing und Fahrgastsicherheit;
- die Themen Wirtschaftlichkeit und Ökologie bei Betriebshöfen sowie über die Lebensdauer angelegte Kostenbetrachtungen (LCC) bei Ausschreibungen und Vergaben gewinnen eine immer größere Bedeutung;
- die Fragen eines flexiblen und gesundheitlich ausgewogenen Personaleinsatzes (Mischarbeitsplätze) haben zu neuen diesbezüglichen Strategien geführt.

Schließlich wird die Zukunft der Stadtbahn sehr wesentlich von der nationalen und europäischen Gesetzgebung und Normung, vor allem aber von klaren und eindeutigen politischen Entscheidungen zur Finanzierung bestimmt.

All dies hat den Bundesminister für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) in enger Kooperation mit dem VDV und dem VDV Industrieforum dazu veranlasst, diese Fragestellungen aufzugreifen, in einer Untersuchung zu analysieren und aufzubereiten sowie letztendlich zu einer Buchveröffentlichung zu verarbeiten, die den neuesten

Stand des Systems „Stadtbahn“ wiedergibt. Das Werk knüpft an das Buch „Stadtbahnen in Deutschland“ aus dem Jahr 2000 an, hat aber den neuen Anforderungen und dem erweiterten Systemgedanken entsprechend, eine völlig neue Ausrichtung erfahren. Beide Werke ergänzen sich somit optimal.

Mit der Gesamtbearbeitung wurde wiederum die Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen e. V. (STUVA) beauftragt, welche die äußerst vielgestaltige und fachlich breit interdisziplinär angelegte Aufgabe mit Unterstützung zahlreicher externer Experten zu Einzelbereichen sehr erfolgreich und termingerecht abgewickelt hat.

Unser Dank gilt allen Beteiligten: Dem BMVI für die Förderung der inhaltlichen Bearbeitung; dem forschungsbegleitenden Ausschuss für seine kritische Durchsicht und konstruktiven Anregungen; der STUVA für die Projektleitung, die Bearbeitung vieler Kapitel und die fachliche Begleitung bis zum fertigen Buch; den externen Experten für ihre Zuarbeit zu wichtigen Einzelbereichen; den Übersetzern für die gekonnte Umsetzung der anspruchsvollen Fachtexte in die englische Sprache; den Mitarbeiterinnen des VDV Industrieforums für die Gestaltung und nicht zuletzt der DVV Media Group für die Umsetzung dieses umfangreichen Werkes in die Buchform.

Wir wünschen dem Buch und damit dem „System Stadtbahn“ eine weite Verbreitung.

Foreword

Jürgen Fenske

President of the Association of
German Transport Companies e.V. (VDV)

Dr. Dieter Klumpp

Chairman of the
VDV Industrieforum e.V.

Light rail networks are one of the backbones of public transport in a great many German and European cities, and are now beginning to take on that role worldwide too. It is easy to see why: they are extremely attractive to customers, perform very well, and can also be flexibly adjusted to meet different demands. They can be run above ground, below ground, in the road space and even on railway tracks. When a new line is built, it can be commissioned one section at a time and so brings in economic benefits very quickly. Thanks to these impressive characteristics, light rail has gone from strength to strength over the last 50 years.

At the same time, no other means of public transport has a greater need to be viewed as an interconnected system than light rail:

- Structures (especially tunnels) must be designed to be environmentally friendly and compatible with their urban surroundings and must be acceptable to the population;
- Tracks and stops must seamlessly blend into the urban environment;
- While today's light rail vehicles already fulfil many requirements regarding electric mobility, they must also meet an ever-longer list of environmental and climate protection criteria;
- Given the growing tendency towards using renewable energies, traction current supply is an increasingly important issue;

- Cooperation between light rail and railway systems is expanding, enabling more and more customer-friendly, direct connections between cities and the regions surrounding them;
- Telematics, which is evolving rapidly, is enabling completely new forms of direct communication between transport companies and passengers, particularly in terms of passenger information, ticketing and passenger safety;
- Cost-effectiveness and environmental impact are becoming ever more important at depots, and cost assessments covering entire service lives (LCCs) are gaining ground in tendering and contracts;
- The issues associated with flexible, healthful staff deployment (multi-skilled activities) have prompted the emergence of new strategies in that field.

Finally, the future of light rail will very much be shaped by national and European legislation and standards, but most of all by clear, unambiguous political decisions on financing.

All of these considerations prompted the Federal Minister for Transport and Digital Infrastructure (BMVI), in close cooperation with VDV and the VDV Industry Forum, to examine these issues, analyse and present them as part of a research project and, finally, publish the findings in a book that reflects the current state of

affairs regarding the light rail system. This publication may be considered a successor of sorts to the 2000 book *Light rail in Germany*, though its focus is completely different as it takes account of new requirements and the trend towards examining the system as a whole. As such, the two books complement one another perfectly.

The Research Association for Underground Transportation Facilities (STUVA) was once more given overall responsibility for the book, and completed the highly varied, extremely interdisciplinary task very successfully and punctually, with support from a number of external experts on specific subjects.

We would like to thank all those who contributed to the book: BMVI for its support with the content; the advisory committee for its critical revisions and constructive remarks; STUVA for coordinating the project, writing many of the chapters and providing expert advice right up to the book's publication; the external experts for efforts on a number of important topics; the translators for skilfully translating the book's demanding technical texts into English; the staff of the VDV Industry Forum for the book's design; and, last but not least, the DVV Media Group for putting this comprehensive work into book format.

We hope that the book enjoys a broad readership and that the light rail system flourishes as a result.

1 Stadtbahnen – Kategorien, Anforderungen, Bürgerbeteiligung

In Deutschland existiert eine sehr ausgeprägte Differenzierung der Bahnsysteme insbesondere im städtischen Bereich, die international eher unüblich ist und nicht selten zur Verwirrung führt. Besonders wirkt sich dies bei der immer umfassender betriebenen europäischen Normung aus. Hier gibt es eigentlich nur zwei Kategorien: „Heavy Rail“ für die Eisenbahnen und „Light Rail“ für die städtischen Bahnen. Dadurch bedingt werden z. B. an Straßenbahnen oft Anforderungen definiert, die diese nicht erfüllen können und die von den deutschen Verkehrsunternehmen oft als „überzogen“ angesehen werden. In Deutschland sind die Bahnsysteme jedoch historisch gewachsen und haben sich in den Grenzen der hierdurch bedingten Vorgaben sinnvoll weiterentwickelt. Das unterscheidet sie somit von völlig neuen Systemen. Diesem Gesichtspunkt muss jedoch in der europarechtlichen Gestaltung und bei der Normensetzung unbedingt Rechnung getragen werden, wenn die Weiterentwicklungen sich auch wirtschaftlich in einem angemessenen Rahmen bewegen sollen.

Vor diesem Gesamthintergrund ist es wichtig, die Kategorien der in Deutschland im Einsatz befindlichen städtischen Bahnsysteme genau zu definieren (Kapitel 1.1), um Missverständnisse zu vermeiden. Innerhalb der verschiedenen Kategorien stellen die Stadtbahnen das Rückgrat eines hoch leistungsfähigen und attraktiven

ÖPNV in den Ballungsräumen dar. Auf sie kommt es somit entscheidend an, wenn die möglichen Nutzen ausgeschöpft werden sollen. Um dies zu erreichen, sind die Anforderungen an Stadtbahnen nicht nur extrem vielfältig in den verschiedenen fachlichen Bereichen, die bei diesem Verkehrsmittel eine Rolle spielen; sie sind auch sehr unterschiedlich – je nachdem von wem sie erhoben und aus welcher Perspektive sie betrachtet werden. Im Fokus stehen dabei stets die Sicht der Kunden, der Aufgabenträger (Städte), der Verkehrsunternehmen und der Industrie. Bei vielen Anforderungen ist deren Sichtweise übereinstimmend; nicht selten sind sie aber auch gegensätzlicher Natur. Das gilt vor allem dann, wenn von allen Seiten – wie heute oft üblich – „Höchstforderungen“ gestellt werden. Die enge Zusammenarbeit und Abstimmung der Partner ist somit vor allem im kommunalen Schienenverkehr unabdingbar, weil es hierbei nicht nur um Fahrzeuge, sondern auch um Fahrwege mit all ihren Facetten (Oberbau, Fahrleitung, Wetterschutz, Infoeinrichtungen, Möblierung usw.) und den Betrieb (Sicherheit, Zuverlässigkeit, Wirtschaftlichkeit) geht. Darüber entstehen direkte Auswirkungen auf die Stadtgestaltung, sodass die einfühlbare Einfügung von Fahrwegen und Haltestellen eine sehr große – und in den letzten Jahren ständig zunehmende – Rolle spielt. Die Ergebnisse des „Systems Stadtbahn“ sind sehr wesentlich dadurch beeinflusst, wie dieses Zusammenspiel

der Partner gelingt und wie deren unterschiedliche Anforderungen und Interessen zusammengefügt werden können.

Besonderes Augenmerk ist somit bei jeder Planung und Bauausführung von Stadtbahnen darauf zu legen, dass der mögliche und antizipierte Nutzen auch wirklich weitgehend optimal zum Tragen kommt. Insofern stellen Anforderungen und Nutzen eine Einheit dar. Das eine ist gewissermaßen der „Input“; das andere der „Output“. Sie werden deshalb in einem einleitenden Kapitel 1.2 in einem Überblick auch zusammengefasst behandelt.

Aber auch wenn die dargestellten Anforderungen weitestgehend erfüllt und der Nutzen für die Allgemeinheit objektiv belegt sind, lassen sich Stadtbahnprojekte – ähnlich wie andere bedeutende Infrastrukturvorhaben – nicht ohne weiteres durchsetzen. In der Regel ist eine umfangreiche Bürgerbeteiligung erforderlich, um die erwünschte Akzeptanz in der Bevölkerung zu erzielen. Versäumnisse auf diesem Gebiet können zu großangelegten Protestaktionen und zu erheblichen Projektverzögerungen, meist verbunden mit deutlichen Kostensteigerungen, führen. Aus diesem Grunde wird in Kapitel 1.3 auf die wichtigsten Grundlagen und die erkannten Erfolgsfaktoren einer Bürgerbeteiligung eingegangen. Deren Beachtung prägt maßgeblich eine erfolgreiche Projektrealisierung.

1 Light rail – categories, requirements, citizen involvement

In Germany, a very clear distinction is drawn between the various types of rail system, especially in urban areas. In other countries, however, this distinction is unusual and is a frequent source of confusion at international level. This is especially obvious in the ever-expanding set of European standards in the domain. In fact, European standards only recognise two categories: heavy rail for conventional railways and light rail for urban rail systems. On the basis of these standards, tramways (to cite one example) are often subject to requirements which they cannot meet and which German transport companies often consider to be excessive. In Germany, by contrast, rail systems have developed through history and have continued to evolve in line with the parameters defined by the times, which sets them apart from completely new systems. This must be taken into consideration when drafting European legislation and setting standards if an appropriate framework (in economic terms too) is to be formed for further development of rail systems.

In view of this situation, it is important to clearly define all of the categories of urban rail system operating in Germany (section 1.1) so as to avoid misunderstandings. Among the various categories, light rail systems form the backbone of high-performance, attractive public transport in conurbations. Consequently,

they play a vital role when it comes to fully exploiting the potential benefits of public transport. This being the case, the demands placed on light rail systems not only stem from highly diverse sources – coming as they do from the wide range of specialist domains that can influence this transport mode – they are also very different, depending on who makes them and the standpoint from which they are considered. The views of customers, responsible authorities (towns and cities), transport companies and industry are always key concerns. These different groups often share the same requirements, but conflicting views are not uncommon either. Clashes are especially likely to arise when all of the groups have 'priority requirements', a common scenario nowadays. Consequently, close cooperation and coordination between the partners is essential, especially in the field of municipal rail transport as it does not only cover vehicles; it also covers all aspects of tracks (e.g. superstructures, catenaries, weather protection, information displays, stop furniture) and operation (safety, reliability, cost-effectiveness). Moreover, rail transport directly affects urban design, such that townscape-sensitive integration of tracks and stops has a major – and increasingly important – role to play. The results achieved by any light rail system are very much determined by how well the partners manage to cooperate and reconcile their requirements and interests.

Thus when planning and building a light rail system, special attention should be paid to ensuring that potential, anticipated benefits really do materialise in an optimal form. In that sense, requirements and benefits could be said to constitute one single unit, with one being the input and the other being the output. With that in mind, section 1.2 of this introductory chapter handles them together.

However, even when requirements have been met as closely as possible and there is objective proof of the benefits to be reaped by the general public, light rail projects (like any other major infrastructure projects) cannot simply be implemented without further ado. It is generally necessary to take extensive measures for citizen involvement to ensure that the local population accepts the project. Failing to do so can lead to large-scale demonstrations and significant delays in implementation, which are often coupled with considerable cost increases. In recognition of this situation, section 1.3 has been given over to examining the main principles of citizen involvement and the key factors for success. Bearing all of these elements in mind can make a substantial contribution to a successful project.

1.1 Kategorien der städtischen Bahnsysteme

Die städtischen Bahnsysteme in Deutschland unterscheiden verschiedene Einzelsysteme, die aufeinander abgestimmt betrieben werden und die sich in ihren Angeboten an den Fahrgast somit ergänzen. Es handelt sich dabei um:

- Eisenbahnen: Regionalbahn und S-Bahn, beide auf der Rechtsgrundlage des AEG [1/25] auf völlig unabhängigen Bahnkörpern betrieben.
- Kommunalbahnen: U-Bahn, Stadtbahn, Straßenbahn und Bahnen besonderer Bauart (Bergbahnen; Schwebbahn), alle betrieben auf der Rechtsgrundlage des PBefG [1/26]. Diese Bahnen sind z. T. auf unabhängigen Bahnkörpern geführt (U-Bahn und in Teilbereichen Stadtbahn); aber auch die Führung auf besonderem Bahnkörper sowie im Straßenraum gemeinsam mit dem motorisierten Individualverkehr (MIV) sind gängige Praxis.

Die wichtigsten Kennzahlen der Systeme sind in Tabelle 1/1 zusammenfassend dargestellt. Nicht in allen Großstädten sind auch alle Systeme vorhanden. Sinnvolle Einsatzbereiche richten sich vielmehr in erster Linie nach der Stadtgröße und der Einwohnerzahl sowie nach der Flächenausdehnung und der Besiedlungsdichte im Umland.

1.1.1 Regionalbahnen

Regionalbahnen gehören zur Kategorie der Eisenbahnen. Sie werden von der DB AG sowie von nichtbundeseigenen Eisenbahnen (sog. NE-Bahnen) betrieben. Die Vergabe der Linien oder zusammenhängender Netzteile erfolgt heute praktisch ausschließlich im

Tabelle 1/1: Wichtige Kennzahlen der Eisenbahnen im Nahverkehr und der kommunalen Bahnen; Stand 2012 [1/1]

Bahnkategorie	Fahrgäste (Mio.)	Personen-km (Mio.)	Fahrzeuge (Stück)	Streckenlänge (km)
DB-Gruppe (Nahverkehr)	1.839	43.288	13.925	k. A.
Nichtbundeseigene Eisenbahnen (NE-Bahnen)	282	3.811	1.337	7.480
Kommunale Bahnen	U-Bahnen	1.217	5.763	385
	Straßenbahnen/ Stadtbahnen	2.582	10.646	3.402

Ausschreibungswettbewerb. Regionalbahnen bedienen in erster Linie das Umland großer Ballungsräume, aber auch der Groß- und Mittelstädte. Sie zeichnen sich gegenüber den kommunalen Bahnen durch große mittlere Reiseweiten aus (im Schnitt 37 km gegenüber 4 - 5 km). Das Fahrgastaufkommen ist jedoch meist deutlich geringer als das der kommunalen Bahnen (Tabelle 1/2). Aus wirtschaftlichen Gründen sollte es allerdings bestimmte Mindestwerte nicht unterschreiten, denn sonst ist eine Umstellung auf die wesentlich kostengünstigere Busbedienung angezeigt.

Vor allem im letzten Jahrzehnt (2000 bis 2010) wurden im Regionalverkehr erhebliche Verbesserungen vorgenommen (Haltestellen und Streckenausbau sowie Sanierung; neue Fahrzeuge; Taktverdichtung; Fahrzeitverkürzungen). Dadurch sind die Fahrgastzahlen im Vergleich vorher/nachher überproportional gestiegen. So wies z. B. die Sparte PVE – Personenverkehr mit Eisenbahnen (einschließlich Fernverkehr) im VDV von 2011 nach 2012 mit + 2,2 % den höchsten prozentualen Zuwachs auf [1/1].

1.1.2 S-Bahn

S-Bahnen gehören ebenfalls zur Kategorie der Eisenbahnen. Im Gegensatz zu den Regionalbahnen erfüllen sie jedoch neben dem Anschluss der Kerngebiete an das

Umland auf den stark verkehrsbelasteten Magistralen großer Ballungsräume auch wesentliche innerstädtische Bedienungsfunktionen. Das Fahrgastaufkommen ist hierdurch bedingt wesentlich höher als das der Regionalbahnen (Tabelle 1/2). Betreiber der S-Bahnen ist bis heute ausschließlich die DB AG bzw. deren Tochtergesellschaften (z. B. eigene S-Bahngesellschaften in Hamburg und Berlin). In 15 deutschen Städten bzw. Ballungsräumen¹⁾ werden derzeit S-Bahnen betrieben. In den Innenstädten von Berlin, Frankfurt/Main, Hamburg, Leipzig, München und Stuttgart werden sie – oft zu mehreren Linien gebündelt – in Tunneln und mit unterirdischen Haltestellen versehen unter der Kernstadt hindurch geführt. Sie erhalten dadurch eine zentrale Erschließungsfunktion und eine enge Verknüpfung mit den kommunalen Verkehrsmitteln, mit denen sie betrieblich wie tariflich praktisch eine Einheit bilden (Verkehrsverbünde). Dem Ausbau folgend sind die Fahrgastzahlen der S-Bahnen in den letzten Jahren nicht nur prozentual, sondern auch in den Absolutwerten überproportional gestiegen.

¹⁾ Berlin; Dresden; Hamburg; Hannover; Halle; Leipzig; Magdeburg; München; Nürnberg; Rhein-Main; Rhein-Neckar; Rhein-Ruhr; Rhein-Sieg; Rostock; Stuttgart.

1.1 Categories of urban rail systems

When looking at Germany's urban rail systems, we must differentiate between a number of individual systems that are coordinated with one another in terms of operation and offer passengers complementary services. These systems are:

- Railways: regional rail and S-Bahn (suburban rail), both of which are operated in line with the General Railway Act (AEG) [1/25] and run on independent track formations;
- Municipal rail systems: metro, light rail, tramway and specific types of railway system (mountain railway, cable railway), all of which are operated in line with the Passenger Transport Act (PBefG) [1/26]. Some of these systems run on independent track formations (metro and, in some areas, light rail), but it is also common in practice for them to run on special track formations or even in the road space alongside private motorised transport.

Table 1/1 provides an overview of the key figures for the various systems. Not every large city has all of these systems. Rather, sensible operating areas for the systems tend to be determined by looking at the size of the city, the number of residents, the area it covers and the population density of the region around the city.

1.1.1 Regional rail

Regional rail systems belong to the 'railways' category. They are operated both by DB AG and by non-state-owned (NE) railways. Nowadays, contracts for the construction of lines or connected network components are almost always awarded through competitive tendering

Table 1/1: Key figures for regional railways and municipal rail systems (as at 2012) [1/1]

Category of rail system		Passengers (millions)	Passenger-km (millions)	Vehicles (number)	Track length (km)
DB Group (regional transport)		1,839	43,288	13,925	Not specified
Non-state-owned railways (NE railways)		282	3,811	1,337	7,480
Municipal rail systems	Metro systems	1,217	5,763	1,507	385
	Tramway/light rail systems	2,582	10,646	5,216	3,402

procedures. Regional rail systems primarily serve the areas around major conurbations, but also large and medium-sized cities. The average journey distances for regional rail are larger than for municipal rail systems (on average, 37 km as opposed to 4-5 km), but passenger volumes are generally far lower than for municipal rail (see Table 1/2). For economic reasons, however, it must be ensured that patronage does not fall below set minimum values; should this occur, it would be advisable to replace rail services with buses, which are more cost-effective.

Substantial improvements have been made to regional rail transport (stop and track development, renovations, new vehicles, more frequent services, shorter journey times) over the past decade in particular (2000-2010), with the result that passenger numbers have risen out of all proportion compared to previous years. For instance, statistics from the Association of German Transport Companies (VDV) show that passenger transport on railways (including long-distance transport) grew by 2.2% between 2011 and 2012 – the highest percentage increase of all the transport types surveyed [1/1].

1.1.2 Suburban rail (S-Bahn)

S-Bahn systems are also counted as railways. In contrast to regional rail's area

of responsibilities, S-Bahn systems both serve busy routes that link the core areas in major conurbations to the areas surrounding them and connect up destinations within towns and cities. As a result, patronage tends to be far higher than on regional rail systems (see Table 1/2). To date, S-Bahns are exclusively operated by DB AG and its subsidiaries (e.g. the S-Bahn companies in Hamburg and Berlin). At the time of writing, 15 German cities and conurbations¹⁾ have S-Bahn systems. In the city centres of Berlin, Frankfurt am Main, Hamburg, Leipzig, Munich and Stuttgart, S-Bahn routes – often several routes together – are run in tunnels beneath city centres and serve underground stops there. This gives them a key role in connecting up their respective cities and produces sound connections with municipal transport, with which they practically form a single unit in terms of both operations and fares (transport alliances). Following the expansion of S-Bahn services, there have been above-average rises in passenger numbers, in both percentage and real terms.

¹⁾ Berlin; Dresden; Hamburg; Hannover; Halle; Leipzig; Magdeburg; Munich; Nuremberg; Rhine-Main; Rhine-Neckar; Rhine-Ruhr; Rhine-Sieg; Rostock; Stuttgart.

Tabelle 1/2: Mittelwerte realer Fahrgastzahlen bei verschiedenen öffentlichen Verkehrsmitteln in Deutschland (nach Erhebungen des VDV aus [1/2])

	Verkehrsmittel	Mittlere reale Fahrgastzahlen [Fahrgäste/Tag] ¹⁾
Bahn-Linienverkehr	S-Bahn	20.000-120.000
	U-Bahn	100.000-200.000
	Stadtbahn	20.000-100.000
	Straßenbahn	10.000-30.000
	Regionalbahn	2.000-5.000
Bus-Linienverkehr	Stadtbus in Verdichtung	2.000-15.000
	Regionalbus in Fläche	1.000-3.000
Bedarfsverkehr	Bedarfsbus (Richtungsband)	500-1.000
	Anrufsammel-Taxi (Gebiet) ²⁾	40-100
	Bürgerbus (Gebiet) ²⁾	20-50

¹⁾ Es handelt sich nicht um Leistungsfähigkeiten, sondern um mittlere, reale Werte pro Tag in beiden Richtungen für die Bedienungsgebiete bzw. Linien, in Einzelfällen sind somit Über- bzw. Unterschreitungen der Zahlen möglich.

²⁾ Einsatz meist nur zu bestimmten Tageszeiten.

1.1.3 U-Bahn

Die U-Bahn ist das öffentliche Verkehrsmittel mit der höchsten Leistungsfähigkeit und den höchsten Fahrgastzahlen (Tabelle 1/2). Es wird von den kommunalen Verkehrsunternehmen in der Eigentümerschaft der Großstädte betrieben. Nur vier deutsche Städte – Berlin, Hamburg, München, Nürnberg – verfügen über klassische U-Bahnen.

Der Betrieb einer U-Bahn erfolgt uneingeschränkt auf unabhängigem Bahnkörper und mit Zugsicherung. Große Abschnitte der U-Bahnen liegen im Tunnel oder – meist auf alten Streckenabschnitten in Berlin und Hamburg – auf Brücken. In Außenbereichen ohne querenden Verkehr gibt es auch abgetrennte ebenerdige Streckenabschnitte. Die völlig unabhängige Führung ermöglicht nicht nur hohe Fahrgeschwindigkeiten, sondern auch einen vollautomatischen fahrerlosen Betrieb mit hoher Bedienungsqualität, wie er z. B. in Nürnberg verwirklicht wurde. In allen vier deutschen U-Bahnstädten werden auch heute (2014) noch die Systeme weiter ausgebaut oder ergänzt (vgl. auch Kap. 3.1), so z. B.:

- Die U5 in Berlin (Verbindung Hbf zum Alexanderplatz);
- Die U4 in Hamburg (Verbindung Jungfernstieg zur Hafencity und Verlängerung zu den Elbbrücken);
- U-Bahnverlängerungen U4 (West und Ost) und U6 (West) sowie Haltestellenneubau/-umbau (sog. „Kunstabahnhöfe“) in München;
- Verlängerung der U3 Nordwest zum Nordwestring in Nürnberg.

Die hohe Leistungsfähigkeit der U-Bahn kann vor allem dann wirkungsvoll ausgeschöpft werden, wenn einerseits leistungsfähige Buszubringer und andererseits die Verknüpfung mit anderen öffentlichen Verkehrsmitteln sowie mit dem Individualverkehr (P+R, B+R, Car Sharing) realisiert wird.

1.1.4 Straßenbahn (Tram)

Bei den kommunalen Bahnen, die dem PBefG und der BOStrab [1/27] unterliegen, bildet die Straßenbahn das untere Ende der Leistungsfähigkeitsskala (Tabelle 1/2). Das liegt vor allem daran, dass diese Bahnen

überwiegend im Bereich der Straßen auf straßenbündigem Bahnkörper verkehren und somit den Behinderungen durch den motorisierten Individualverkehr unterliegen. Das Hauptbestreben der klassischen Straßenbahnstädte/-Verkehrsunternehmen besteht somit darin, zumindest eine Bevorzugung des Bahnverkehrs an Lichtsignalanlagen durchzusetzen oder besser noch, Streckenabschnitte in kritischen Bereichen auf besonderem Bahnkörper zu führen. Dadurch lassen sich Reisegeschwindigkeit und vor allem Zuverlässigkeit der Bedienung deutlich erhöhen.

Straßenbahnen fahren überwiegend „auf Sicht“, d. h. sie verfügen weder über Zugsbeeinflussungs- noch über Zugsicherungssysteme. Ihre Haltestellen lagen anfänglich im Straßenraum, wodurch die Fahrgäste beim Ein- und Ausstieg meist große Höhenunterschiede zwischen Fahrbahn und Fahrzeugfußboden (bis 1 m) überwinden mussten. Im Zuge des Ausbaues wurden die Haltestellen deutlich verbessert (Anlage von Bahnsteigen z. B. an Haltestelleninseln und Haltestellenkaps) und die Höhenunterschiede verringert. Mit der Einführung der Niederflurstraßenbahnen ab Mitte der 1980er Jahre mit einer Fußbodenhöhe im Einstiegsbereich von 280 bis 350 mm wurde sogar ein weitgehender Ausbau mit völliger Barrierefreiheit (= stufenloser Einstieg) auch im klassischen Straßenbahnbetrieb möglich und weitgehend realisiert. Heute werden von den Verkehrsunternehmen bei Neubeschaffungen praktisch nur noch Niederflurstraßenbahnen bestellt, so dass sich die Altbestände an Hochflurstraßenbahnfahrzeugen sukzessive abbauen.

1.1.5 Stadtbahn

In vielen Großstädten erwies sich Mitte der 1960er Jahre, als der ÖPNV-Ausbau in Deutschland in großem Stil begann, der

Table 1/2: Mean values for real patronage of various public transport modes in Germany (based on VDV surveys from [1/2])

	Transport mode	Mean real patronage [passengers/day] ¹⁾
Rail: line operation	S-Bahn	20,000-120,000
	Metro	100,000-200,000
	Light rail	20,000-100,000
	Tramway	10,000-30,000
	Regional rail	2,000-5,000
Bus: line operation	City bus in built-up area	2,000-15,000
	Regional bus in rural area	1,000-3,000
Demand-responsive services	On-demand bus (directional band)	500-1,000
	Dial-a-shared taxi (region) ²⁾	40-100
	Citizens' bus (region) ²⁾	20-50

¹⁾ Not performance capacities, but mean, real values per day in both directions for operating areas or lines, where applicable; higher or lower figures may be possible in individual cases.

²⁾ Mostly only operated at certain times of the day.

1.1.3 Metro

Metro is the public transport mode with the highest capacity and the highest passenger volume (see Table 1/2). Metro systems are operated by city-owned municipal transport companies. Only four German cities – Berlin, Hamburg, Munich and Nuremberg – have conventional metro systems.

Metros operate entirely on independent track formations and use train protection systems. Large sections of Germany's metro networks are located in tunnels or – mostly on old track sections in Berlin and Hamburg – on bridges. In outlying areas, where there is no traffic crossing the lines, track sections are run at ground level, separate from the road. Since metro systems are completely independent of any other form of transport, they can achieve high operating speeds and are also suited to fully automated, driver-free operation with high service quality. A driver-free system has already been implemented in Nuremberg, for example. At the time of writing (2014), all four German cities with metro

systems are expanding or enhancing their networks (see Chapter 3.1). Examples of projects include:

- line U5 in Berlin (connection between the central station and Alexanderplatz);
- line U4 in Hamburg (connection between Jungfernstieg and Hafencity and extension to the Elbe bridges);
- extension of metro lines U4 (west and east) and U6 (west), plus construction/conversion of metro stations (into art stations) in Munich;
- north-west extension of line U3 to Nordwestring in Nuremberg.

The high capacities of a metro system can be exploited particularly effectively when there is a high-performance feeder bus service and when there are close interconnections with other public transport modes and with individual transport (park + ride, bike + ride, car-sharing).

1.1.4 Tramway

Tramway systems have the lowest performance capacity of all the municipal rail systems operated in accordance

with PBefG and the Ordinance on the Construction and Operation of Tramways (BOStrab) [1/27] (see Table 1/2). The main reason for this is that the vast majority of tramways operate on tracks embedded in the road space, and so are subject to delays caused by private motorised transport. Consequently, the primary goal for the towns/cities and companies running conventional tramways is to at least implement a system giving trams priority at traffic lights or, better yet, build special track formations for line sections in critical areas. Such measures boost operating speeds and, more importantly, make services more reliable.

The vast majority of tramways are run 'on sight', meaning that they do not have train control or train protection systems. To begin with, tramway stops were located in the road space, so passengers generally had to negotiate substantial height differences between the road and the vehicle floor (up to 1 m) when boarding and alighting. As tramway systems evolved, the stops were significantly improved (platforms were built as e.g. island stops or peninsula stops) and height differences were reduced. The introduction of low-floor trams in the mid-1980s, with their floor heights of 280 to 350 mm in the boarding area, paved the way for further enhancements to achieve complete freedom from barriers (= stepless boarding), and many companies made the corresponding changes. These days, transport companies practically order nothing but low-floor trams when they are purchasing new vehicles, and their older high-floor trams are being phased out.

1.1.5 Light rail

In the mid-1960s, when public transport

Tabelle 1/3: Anwendungsbereiche und Entwurfsparameter verschiedener Kategorien von Stadtbahnsystemen (nach [1/3]; zitiert aus [1/2])

klassische U-Bahnbau als zu teuer. Auch die hohe Leistungsfähigkeit von U-Bahnen wurde dort nicht benötigt. Deshalb wurde nach Wegen gesucht, einerseits die ÖPNV-Bahnen grundlegend zu verbessern, aber andererseits auch die bestehenden Strukturen der Straßenbahn so weitgehend wie möglich zu nutzen. Das Ergebnis war die Stadtbahn. Sie wurde fahrzeugtechnisch aus der Straßenbahn weiterentwickelt, in der Trassenführung wesentlich vom übrigen Straßenverkehr getrennt (unabhängiger bzw. besonderer Bahnkörper; Bevorrechtigung an Lichtsignalanlagen), betrieblich aber in der Nähe der Straßenbahn belassen (Zugbeeinflussungsanlagen nur in den unterirdischen Abschnitten, sonst Fahren auf Sicht). Auf diese Weise ließ sich die Stadtbahn variabel den verschiedenartigen örtlichen Gegebenheiten einzelner Städte anpassen: Wo es die Stadtstruktur und die Nachfrage erforderten, konnte sie sich mehr in Richtung U-Bahn orientieren (z. B. in Rhein-Ruhr, Frankfurt/M, Hannover, Köln, Stuttgart); in anderen Städten dagegen mehr in Richtung Straßenbahn (z. B. in Bielefeld, Bonn, Bremen, Dresden, Karlsruhe, Saarbrücken). Im Buch „Stadtbahnen in Deutschland“ [1/2] ist dieser Zusammenhang gemäß Tabelle 1/3 sehr übersichtlich dargestellt. Dort sind die Anhaltswerte und die Entwurfsparameter den verschiedenen Kategorien von Stadtbahnsystemen zugeordnet. Dazu wird ergänzend gesagt: „In der Praxis kommen dabei auch Mischformen der dargestellten Kategorien vor. Auch kann eine zeitliche Entwicklung geplant sein, indem in mehreren Stufen „höherwertige“ Kategorien erreicht werden. Jede Entwicklungsstufe kann für

		Straßenbahn ähnlich ←————→ U-Bahn ähnlich			
		Kategorie 1	Kategorie 2	Kategorie 3	Kategorie 4
Klassifikation der Stadtgröße und des Verkehrsbedarfs	Stadtgröße	kleine Stadt	mittlere Stadt	Großstadt/ Ballungsgebiet	Metropole/ Ballungsgebiet
	Einwohnerzahl im Einzugsgebiet (Mio.)	0,2-0,5	0,5-1,0	1,0-2,0	2,0-5,0
	Bevölkerungsdichte im Verkehrskorridor (Einw./km ²)	2.000	3.000	5.000	8.000
	ÖPNV-Nachfrage in einem 15 km langen Korridor (Fahrgäste/ Wochentag)	30.000	60.000	100.000	> 160.000
	Zusätzliche Nachfrage aus Zubringerverkehr (Fahrgäste/ Wochentag)	5.000	15.000	25.000	> 40.000
Kriterium für die Wahl der Kategorie	Mindestverkehrsaufkommen pro Wochentag (Personen-km/Strecken-km)	2.000	5.000	10.000	> 15.000
Strecke	Streckenlage	Ebenerdig 20% allgemeiner Verkehrsraum	5 % Tunnel/ Hochlage, 10% allgemeiner Verkehrsraum	20 % Tunnel/ Hochlage	> 50 % Tunnel/ Hochlage
		80 % besonderer Bahnkörper	85 % besonderer Bahnkörper	80% besonderer Bahnkörper	< 50 % besonderer Bahnkörper
Stationen	Durchschnittlicher Abstand (m)	500	600	750	1.000
	Bahnsteiglänge (m)	40	60	90	100
Fahrzeuge	Betriebsform	Ein-/ Zweirichtungsbetrieb	Zweirichtungsbetrieb	Zweirichtungsbetrieb	Zweirichtungsbetrieb
	Fahrzeugbreite (m)	< 2,40	2,40/2,65	2,65	2,65
	Fahrgastkapazität für 6-achsiges Fahrzeug	160	200-230	260	300
Betrieb	Fahrzeuge pro Zug	2	2	3	4
	Min. Zugfolge (sec.)	90	90	90	90
	Max. Kapazität (Plätze/h und Richtung)	13.000	18.000	31.000	48.000
	Zugsicherung	keine; Fahren auf Sicht	einige Abschnitte mit Zugsicherung	überwiegend mit Zugsicherung	durchgehend mit Zugsicherung
	Beeinflussung Lichtsignalanlagen	überwiegend	durchgehend	Vorrangsystem	integriert in Zugsicherung
	Durchschnittliche Reisegeschwindigkeit (km/h)	20	25	30	40

Anmerkung: Die in [1/3] noch aufgeführten Parameter Bahnsteighöhe und Einstiegshöhe sind heute keine Kriterien für die Differenzierung der Kategorien mehr. Auch in großen Städten werden Niederflurfahrzeuge eingesetzt. Anzustreben ist in allen Fällen ein möglichst stufenloser Einstieg.

