

FAHRWEGE DER BAHNEN

im Nah- und Regionalverkehr in Deutschland

Local and regional railway tracks in Germany



Bundesministerium
für Verkehr, Bau
und Stadtentwicklung

FAHRWEGE DER BAHNEN ***im Nah- und Regionalverkehr in Deutschland*** ***Local and regional railway tracks in Germany***

Die Untersuchung und deren Veröffentlichung sind gefördert von

Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (BG BAU)
Berufsgenossenschaft der Straßen-, U-Bahnen und Eisenbahnen (BG BAHNEN)
Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS)
Deutscher Verkehrssicherheitsrat e.V. (DVR)
Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV)
VDV-Förderkreis e.V.

Sponsored by

Institution for statutory accident insurance and prevention in the building trade (BG BAU)
Statutory accident insurance to Tramways, Underground Railways and Railways (BG BAHNEN)
Federal Ministry of Transport, Building and Urban Affairs (BMVBS)
German traffic security council incorporated society (DVR)
Association of German Transport Undertakings (VDV)
VDV Promotional Group



Bundesministerium
für Verkehr, Bau
und Stadtentwicklung

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

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

Weitere Informationen zu dieser Buchreihe finden Sie unter <http://www.alba-verlag.de>

Further information about this book series is available at <http://www.alba-verlag.de>

Herausgeber
Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV)
VDV-Förderkreis

Mitglieder des Förderkreises siehe S. 672

© 2007, Verband Deutscher Verkehrsunternehmen · VDV-Förderkreis

Übersetzung: Linguanet sprl, Brüssel

Bildbearbeitung: Dipl.-Bibl. Martin Schäfer STUVA e.V.

Gestaltung und Vertrieb:
Alba Fachverlag GmbH + Co. KG
Postfach 110150 · 40501 Düsseldorf

Druck: Druckerei Knipping, Düsseldorf

Erschienen: Mai 2007

ISBN 978-3-87094-674-6

Gesamtbearbeitung · Editors

Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen e.V., Köln
Research Association for Underground Transportation Facilities, Cologne

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

Begleitender Ausschuss · Advisory Committee

Dipl.-Ing. Jürgen Breuer
Leiter Bereich Infrastruktur; Rheinbahn AG,
Düsseldorf

Dipl.-Ing. (FH) Alfred d'Avis
Bundesministerium für Verkehr, Bau und
Stadtentwicklung, Ref. E 14, Bonn

Dipl.-Ing. Georg Drechsler
Vorstandsvorsitzender; Bremer Straßenbahn AG,
Bremen

Dipl.-Ing. Gerhard Dukatz
Bezirksregierung Düsseldorf; Technische
Aufsichtsbehörde für die Straßenbahn- und
O-Busunternehmen in NRW

Baudirektor Dr.-Ing. Dieter Glück
Referatsleiter; Bundesministerium für Verkehr,
Bau und Stadtentwicklung, Ref. E 14, Bonn

Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Lars Jensen
Centerleiter Infrastruktur; Bremer Straßenbahn
AG, Bremen

Dipl.-Ing. Dipl.-Kfm. Bernd Kaiser
Geschäftsführer BFA Eisenbahnoberbau; Haupt-
verband der Deutschen Bauindustrie e.V.,
Wiesbaden

Dipl.-Ing. (FH) Marion Kempte
Bundesministerium für Verkehr, Bau und
Stadtentwicklung, Ref. E 14, Bonn

Dipl.-Ing. Uwe Konrath
Leiter der Bauabteilungen; Verkehrsbetriebe
Karlsruhe GmbH/Albtal- Verkehrs-Gesellschaft
mbH, Karlsruhe

Dipl.-Ing. Peter Matthies
ehem. stv. Leiter der Präventionsabteilung;
BG Bahnen, Hamburg, gleichzeitig Vertreter
für DVR, BG BAU

Dipl.-Ing. Herbert Sladek
Fachbereichsleiter; Verband Deutscher Verkehrs-
unternehmen (VDV), Köln

Autoren von Einzelbeiträgen · Authors of Contributions

Dipl.-Betw. (FH) Thea Beer
Verkehrs- und betriebswirtschaftliche Beratung,
Projektleiterin; DB International GmbH

Dipl.-Ing. Ulrich Bette
Leiter des Labors für Korrosionsschutz und
Elektrotechnik; Technische Akademie
Wuppertal e.V.

Dr.-Ing. Friedhelm Blennemann
Geschäftsführer a. D.; Studiengesellschaft für
unterirdische Verkehrsanlagen e. V. – STUVA –

Dipl.-Ing. Hermann Büchen
Projektleiter; Verkehrsanlagen, RAMS/LCC-
Experte; DB International GmbH

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Günter Girnau
Vorstandsvorsitzender a. D., Studiengesellschaft
für unterirdische Verkehrsanlagen e. V.
– STUVA –

Bauassessor Dr.-Ing. Helmut Grossmann
Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrs-
anlagen e. V. – STUVA –

Dipl.-Ing. Wulf Heineking-Fürstenau
Berliner Verkehrsbetriebe (BVG)

Dipl.-Ing. Jörg Herma
Projektleiter; Betriebliche Infrastrukturplanung,
RAMS/LCC-Experte; DB International GmbH

Dipl.-Ing. Ing. Helmut Hoerber
Berliner Verkehrsbetriebe (BVG), im Ruhestand

Dipl.-Ing. Michael Jäcker-Cüppers
Leiter des Fachgebiets „Lärminderung im
Verkehr“; Umweltbundesamt

Bauassessor Dr.-Ing. Friedrich Krüger
Gruppenleiter; Studiengesellschaft für unterirdi-
sche Verkehrsanlagen e. V. – STUVA –

Dipl.-Ing. Heribert Lehna
Leiter Bereich Systemtechnik Fahrzeug/Fahweg,
IFB – Institut für Bahntechnik GmbH an der
Technischen Universität Berlin

Dipl.-Ing. Gerhard Nimphius
Leiter Bahntechnik; Essener Verkehrs-AG

Dipl.-Ing. Winfried Otto
Berliner Verkehrsbetriebe (BVG)

Dipl.-Ing. Andreas Plamann
Berliner Verkehrsbetriebe (BVG)

Dipl.-Ing. Herbert Sladek
Fachbereichsleiter; Verband Deutscher Verkehrs-
unternehmen (VDV), Köln

Dipl.-Ing. Thomas Wagener
Bereichsleiter; Studiengesellschaft für unterirdi-
sche Verkehrsanlagen e. V. – STUVA –

Dipl.-Ing. Günter Witte
Referatsleiter; Hamburger Hochbahn AG

Inhalt

Vorworte	18	EBO-Bereich	56	Bogenradius, Überhöhung und Querbesehleunigung	76
1 Grundlagen, Rahmenbedingungen	24	Rechtlicher Rahmen	56	Übergangsbogen und Überhöhungsrampe	80
1.1 Bedeutung der Schienenfahrwege	24	<i>Sicherheitsvorgaben des AEG und der EBO</i>	58	Längsneigung und Ausrundung von Neigungswechseln	82
Historischer Rückblick	24	<i>Eisenbahnaufsicht</i>	60	Spurführungsgrundsätze	84
Anfänge und Jahre des Aufschwungs	24	Übergang auf den Schienenweg anderer Bahnen	60	Wirkungsprinzipien	84
Niedergang	26	Gesetzliche Anforderungen an den Arbeits- und Gesundheitsschutz	60	Einfluss der Spurführung auf den Fahrweg	86
Rückbesinnung und Wiederkehr des schienengebundenen ÖPNV	26	Weitere Bestimmungen	62	Spurführungsanforderungen an den Fahrweg	86
Merkmale des Schienenverkehrs	28	Grundsatz	62	Spezielle Spurführungsgrundsätze bei Straßen- und Stadtbahnen	92
Formen des schienengebundenen Nah- und Regionalverkehrs	30	BOStrab-Richtlinien und Technische Regeln im Geltungsbereich der BOStrab	62	<i>Wichtige Begriffe und Maßzeichnungen</i>	92
Straßenbahn	30	Technische Regelwerke für den Arbeits- und Gesundheitsschutz	62	<i>Bezugsebenen und -linien an Radsatz und Gleis</i>	94
Stadtbahn	30	Eisenbahnspezifische Technische Baubestimmungen	64	<i>Ein- und Zweipunktberührung Rad/Schiene</i>	96
U-Bahn	32	Technische Regelwerke der Unternehmen	64	<i>Tiefrillen-Herzstücke in Weichen</i>	96
Bahnen besonderer Bauart	32	Anforderungen aus Sicht der EU	66	<i>Quermaß-Tabelle</i>	98
S-Bahn	32	Rechtsetzungskompetenz	66	<i>Stirnflanken-Quermaß</i>	100
Einige interessante Daten	32	Internationale Verbreitung deutscher Erfahrungen und Erkenntnisse	66	Mischbetrieb von EBO- und BOStrab-Bahnen	102
Übergang auf den Schienenweg anderer Bahnen (Wechselbetrieb)	32	BOStrab-Bereich	66	Lichtraumprofil	102
Zukunft des innerstädtischen und des regionalen Schienenverkehrs	34	<i>LibERTiN</i>	66	Allgemeine Grundsätze	102
1.2 Rechtliche Grundlagen	38	<i>„Urban Rail Directive“ (Draft)</i>	68	Berechnung des Lichtraumbedarfes bei Bahnen nach EBO	104
Anforderungen des Gesetzgebers	38	URBAN TRACK	68	Berechnung des Lichtraumbedarfes bei Bahnen nach BOStrab	104
Zielsetzung	38	EBO-Bereich	70	Grundsätze des Schall- und Erschütterungsschutzes	106
Getrennte Regelwerke für Straßen- und Eisenbahnen	40	<i>Interoperabilitäts-Richtlinie</i>	70	Rechtliche Grundlagen	106
BOStrab-Bereich	42	<i>Europäische Eisenbahngentur</i>	70	Umweltverträglichkeitsprüfung	108
Rechtlicher Rahmen	42	<i>TSI</i>	70	Prüfung auf Lärmvorsorgeansprüche nach der 16. BImSchV	112
Sicherheitsvorgaben der BOStrab	44	Bewertung der unterschiedlichen Anforderungen	72	<i>Allgemeine Hinweise für die schalltechnische Berechnung und Beurteilung</i>	112
Schutz von Personen im Bereich von Schienenfahrweg-Anlagen	48	Kontinuität deutscher Regelungen	72	<i>Schalltechnische Berechnung und Beurteilung von Bahnen nach dem Personenbeförderungsgesetz („Straßenbahnen“)</i>	116
Weitere Anforderungen der BOStrab	50	Vorschriften und Risikoorientierung	72		
Pflichten der Unternehmer	52	Fazit	74		
Pflichten der Betriebsleiter	54	1.3 Technische Grundlagen	76		
Technische Aufsicht, Planfeststellungs- und Genehmigungsbehörden	54	Grundsätze der Trassierung	76		
Staatliche Arbeitsschutzbehörden und gesetzliche Unfallversicherungsträger	56	Allgemeines	76		
		Geschwindigkeiten	76		

Contents

Preface	19	State-run occupational safety and health authorities and statutory accidents insurers	57	Speeds	77
1 Basics, framework conditions	25	EBO systems	57	Curve radius, canting and lateral acceleration	77
1.2 The importance of railway tracks	25	Legal framework	57	Transition curve and superelevation ramp	81
A historical review	25	<i>AEG and EBO safety regulations</i>	59	Longitudinal gradient and transition from one gradient to another	83
Beginnings and boom years	25	<i>Railway inspection</i>	61	Principles of track guidance	85
Decline	27	Transitions to tracks operated by other railways	61	Principles of operation	85
The renaissance and return to favour of rail-bound public transport	27	Statutory requirements for occupational health and safety	61	Effect of track guidance on the track	87
Characteristic features of rail transport	29	Further provisions	61	Track guidance demands on the track	89
Forms of rail-bound local and regional transport	29	Principle	61	Special track guidance principles in tramways and light rail systems	93
Tramways	29	BOStrab guidelines and technical rules within the scope of BOStrab	61	<i>Key terms and given dimensions</i>	93
Light rail systems	31	Technical rules and regulations for occupational safety and health	63	<i>Reference levels and lines on wheelset and track</i>	95
Metros	31	Specific Technical Building Regulations for Railways	65	<i>Wheel/rail one- and two-point contact</i>	97
Special types of railways	31	Technical rules and regulations issued by operators	65	<i>Deeply grooved common crossings in switches</i>	99
Urban railways	31	EU requirements	65	<i>Lateral dimension table</i>	99
Some interesting statistics	33	Legislative competence	65	<i>Lateral dimension of the flange face</i>	101
Transition to tracks of other railways (alternating operation)	33	International dissemination of German experience and knowledge	67	Mixed operation of EBO and BOStrab railways	103
The future of inner-city and regional rail transport	35	BOStrab	67	Clearance	103
1.2 Legal bases	39	<i>LibeRTiN</i>	67	General principles	103
Legislative requirements	39	<i>The Urban Rail Directive (Draft)</i>	69	Calculating the clearance required on EBO railways	105
Objective	39	<i>Urban Track</i>	69	Calculating the clearance required on BOStrab railways	107
Separate regulations for tramways and railways	41	EBO	69	Principles of noise and vibration protection	109
BOStrab systems	43	<i>The Interoperability Directive</i>	69	Legal bases	109
Legal framework	43	<i>European Railway Agency (ERA)</i>	71	Environmental impact assessment	109
BOStrab safety regulations	45	<i>TSIs</i>	71	Checking noise precautions required under the 16th BImSchV	113
Protection of people in the track area	47	Evaluating different requirements	71	<i>General tips for acoustic calculation and assessment</i>	113
Other BOStrab requirements	51	Continuity of the rules applying in Germany	71	<i>Acoustic calculation and assessment of railways under the Passenger Transport Act ("Tramways")</i>	117
Operators' obligations	53	Provisions and risk orientation	73	<i>Raising the assessment level outside the area where the infrastructure is being constructed</i>	117
Obligations of operational managers	53	Conclusion	73	<i>Noise control measures in buildings</i>	119
Technical supervision, planning permission and licensing authorities	55	1.3 Technical bases	77		
		Principles of track layout	77		
		General remarks	77		

<i>Erhöhung der Beurteilungspegel außerhalb des Baubereiches eines Verkehrsweges</i>	116				
<i>Schallschutzmaßnahmen am Gebäude</i>	118				
Lärmsanierung	118				
Schutz vor Erschütterungen und Sekundärschall	118				
Streustromschutz und Kriterien	122				
Korrosion	122				
Streustromkorrosion	124				
Verringerung von Streuströmen	126				
Streustromkriterien – Allgemeine Anforderungen	128				
Spezielle Anforderungen an Stahlbetonbauwerke	128				
Ableitungsbeläge verschiedener Oberbauformen	130				
Harmonisierung, Standardisierung, Normung	136				
Einführung	136				
Begriffe	136				
Normungsobjekte	138				
Bedeutung der Normung	138				
Grundsätze der Normung	138				
Abgrenzung zwischen Gesetzgebung und Normung	138				
Anwendung und rechtliche Bedeutung von Normen	138				
Ablauf des Normungsprozesses	140				
Normungsarbeit in den Normungs-Organisationen	140				
Nationale Ebene	140				
Europäische Ebene	142				
Internationale Ebene	146				
Andere Regelwerke	146				
Interoperabilität des europäischen Eisenbahnwesens	146				
DIN-Normen im Bereich Oberbau	150				
1.4 Finanzierung von Schienenwegen	152				
Grundlagen	152				
Finanzhilfen nach dem GVFG	154				
Auswirkungen des Entflechtungsgesetzes	158				
Finanzbeträge nach dem Regionalisierungsgesetz	160				
Finanzierung nach dem Bundesschienenwegeausbaugesetz	162				
1.5 Literaturverzeichnis	164				
		2 Bauelemente der Schienenfahrwege	176		
		2.1 Begriffsbestimmungen	176	Ausführungsformen	224
		2.2 Belastungsannahmen und Anforderungen	180	Unmittelbare (direkte) Befestigung	224
		2.3 Untergrund	184	Mittelbare (indirekte) Befestigung	228
		2.4 Unterbau	186	Doppelt mittelbare Befestigung	228
		Eisenbahntechnischer Unterbau	186	Spurstangen	228
		Definition	186		
		Ausführung	186		
		Erdbauplanum, Erdplanum und Planumsschutzschicht	188		
		Dammschüttung und Anschüttung	188		
		Entwässerung des Planums	188		
		Straßenbautechnischer Unterbau	188		
		Definition	188		
		Ausführung	188		
		Besondere Tragkonstruktionen	190		
		Unterirdische Leitungen	190		
		2.5 Frostschutzschicht und Planumsschutzschicht	192		
		Frostschutzschicht	192		
		Planumsschutzschicht	192		
		Geokunststoffe	196		
		2.6 Schotter	198		
		2.7 Schwellen	202		
		Aufgaben	202		
		Holzschwellen	202		
		Betonschwellen	206		
		Anforderungen	206		
		Monoblock-Spannbetonschwellen	208		
		Zweiblockschwellen	210		
		Betonschwellen-Sonderformen	212		
		Stahlschwellen	212		
		Kunststoffschwellen	216		
		2.8 Schienenbefestigungen	220		
		Anforderungen	220		
		Prüfungen	220		
				2.9 Schienen	232
				Arten und Formen	232
				Anforderungen	232
				Technische Lieferbedingungen	234
				Schienenprofile	236
				Werkstoff	238
				Schienenlängen	242
				Vorbiegen von Schienen	242
				Schienenabnutzung	242
				Schienenschweißen	244
				Leitschienen, Schutzschienen, Hilfsführungen	244
				2.10 Weichen/Kreuzungen	248
				Allgemeines	248
				Weichen	248
				Begriffe	248
				Bezeichnung von Weichen	250
				Geometrie	250
				Bereiche einer Weiche	250
				Bauteile einer Weiche	252
				<i>Bauteile im Zungenbereich</i>	252
				<i>Bauteile im Herzstückbereich</i>	256
				<i>Bauteile im Herzstückbereich</i>	256
				Umstellen von Weichen	256
				<i>Antrieb und Verschluss</i>	256
				<i>Auffahren von Weichen</i>	258
				Sicherheit an Weichen	258
				<i>Zungenbereich</i>	258
				<i>Spurführungstechnisch wichtige Maße und Anforderungen im Herzstückbereich</i>	258
				Kreuzungen	260
				Begriffe	260
				Bezeichnung von Kreuzungen	260
				Geometrie	260
				Bereiche und Bauteile einer Kreuzung	260
				Weitere Bauteile von Weichen und Kreuzungen	262
				Werkstoffe	262
				Verwendung und Auswahl der Weichenanlagen	262

Noise abatement	119	2 Components of railway tracks	177	Designs	225
Protection against vibrations and secondary noise	119			Direct fastening	225
Stray current protection and criteria	123	2.1 Definitions	177	Indirect fastening	227
Corrosion	125			Double indirect fastening	229
Stray current corrosion	125	2.2 Load assumption and requirements	181	Ties	229
Reduction of stray currents	127				
Stray current criteria – General requirements	129	2.3 Subsoil	185	2.9 Rails	233
Special requirements for reinforced concrete structures	129			Types and designs	233
Conductances per unit length of various track types	131	2.4 Substructure	187	Requirements	233
Harmonisation, standardisation, normalisation	137	Railway substructure	187	Technical specifications	235
Introduction	137	Definition	187	Rail profiles	237
Definitions	137	Execution	187	Material	239
Subjects of standardisation	137	Earth formation, subsoil formation and protective sub-layer	189	Rail lengths	241
The importance of standardisation	139	Embankments and rockfill	189	Pre-bending rails	243
Principles of standardisation	139	Drainage of the track formation	189	Rail wear	243
Delimitation between legislation and standardisation	139	Road engineering substructure	189	Rail welding	243
The application and legal significance of standards	139	Definition	189	Guard rails, check rails and guiding devices	247
The process of standardisation	139	Execution	189	2.10 Switches and crossings	249
Standardisation work by standards organisations	141	Special supporting structures	191	General remarks	249
National level	141	Underground lines and cables	191	Switches	249
European level	143	2.5 Frost blanket and protective sub-layer	193	Terms	249
International level	147	Frost blanket	193	Designation of switches	251
Other regulatory frameworks	147	Protective sub-layer	193	Geometry	251
Interoperability in the European railway sector	147	Geosynthetics	195	Areas of a switch	251
Track-related DIN standards	151	2.6 Ballast	199	Components of a switch	253
				Tongues	253
1.4 Track financing	153	2.7 Sleepers	203	Components in the closure rail area	257
Principles	153	Tasks	203	Components in the common crossing area	257
Financial assistance under the Municipal Transport Financing Act	155	Wood sleepers	203	Setting of switches	259
Impact of the Unbundling Act (EntflechtG)	159	Concrete sleepers	207	Activating and locking	259
Funding under the Regionalisation Act	161	Requirements	207	Forcing points open	259
Financing under the Federal Railway Extension Act (BSWAG)	163	Monoblock pre-stressed concrete sleepers	209	Switch safety	259
		Bi-block sleepers	211	In the tongue area	259
		Special types of concrete sleepers	213	Important dimensions and requirements for the common connection area that need to be applied in track guidance technology	261
		Steel sleepers	213	Crossings	261
		Plastic sleepers	215	Terms	261
1.5 Bibliography	164	2.8 Rail fastening systems	221	Designation of crossings	261
		Requirements	221	Geometry	263
		Tests	221	Areas and components of a crossing	263
				Other switch and crossing components	263
				Materials	263
				Use and selection of switches	265

Besonderheiten bei Weichenanlagen von Straßenbahnen	266	Offener Oberbau in Verbindung mit Fester Fahrbahn	298	Feste Fahrbahn als Masse-Feder-Systeme	344
Instandhaltung von Weichenanlagen	268			<i>Leichte Masse-Feder-Systeme</i>	344
				<i>Schwere Masse-Feder-Systeme</i>	346
2.11 Entwässerungseinrichtungen	270	3.3 Ausführungsformen des geschlossenen Oberbaues	300	3.5 Ausführungsformen Grünes Gleis	352
Entwässerung des Bahnkörpers	270	Grundsätze	300	Stadtökologische Bedeutung	352
Entwässerung von Spurrillen	270	Mögliche Eindeckungen	300	Grundsätzliche Ausführungsformen	352
Entwässerung an besonderen Stellen im Gleis	272	Grundregeln und Regelwerke	300	Gleis mit tief liegender Vegetationsebene	352
		Asphalteindeckungen/ Asphaltbauweisen	304	Gleis mit hoch liegender Vegetationsebene	356
2.12 Gleisabschlüsse	274	Betoneindeckungen/Betonbauweisen	308	Gleis mit zwischen den Schienen tief und an den Außenseiten hoch liegender Vegetationsebene	356
Definition	274	Pflaster- und Platteneindeckungen	308	Vegetationsarten	356
Aufstoßenergie	274	Geschlossener Oberbau beim Schwellengleis auf Schotter	312	Rasen	358
Angriffspunkte an Schienenfahrzeugen	274	Geschlossener Oberbau bei Fester Fahrbahn	316	Vegetationsmatten	358
Wirkungsweise von Gleisabschlüssen	274	Feste Fahrbahn als Regellösung	316	Sonstige Begrünungssysteme	360
Formen und Anwendungsbereiche	274	Feste Fahrbahn als Betontragplatte	316	Anwendungskriterien	360
Bogengleise	274	Feste Fahrbahn als Bauart Rheda-City	320	Trennung Schiene/Umgebung	364
Grundstellung	274	Feste Fahrbahn in Verbindung mit elastischer Einbettung	320	Schienensteg- und Schienenfußelemente	364
Überwachung und Instandhaltung	276			Schienenkammerfüllprofile	364
				Schienenvergussmasse	366
2.13 Vorrichtungen zur Sicherung der Gleislage	278	3.4 Ausführungsformen Feste Fahrbahn (FF)	324	Konstruktive Lösungen	368
Ziele	278	Definitionen/Grundsätze	324	Grundsätze	368
Seitliche Festlegung des Gleises	278	Einsatzbereiche/Einsatzkriterien	324	Grünes Gleis bei offenem Schotter-Oberbau mit Schwellen	368
Festlegung des Gleises in Längsrichtung	280	Bauarten	326	Grünes Gleis bei Fester Fahrbahn	370
Schwellenanker	280	Vorbemerkungen	326	<i>Grundregel</i>	370
Wanderschutzmittel	280	Setzungsfreier Unterbau	328	<i>Grünes Gleis auf FF aus Ortbetonkonstruktionen</i>	370
		Feste Fahrbahnen als Ortbetonkonstruktion	328	<i>Grünes Gleis auf FF aus Stahlbetonfertigteilen mit Ortbetonergänzungen</i>	372
2.14 Literaturverzeichnis	282	Feste Fahrbahn aus Stahlbetonfertigteilen mit Ortbetonergänzungen	330	<i>Grünes Gleis auf FF aus Stahlbetonfertigteilen</i>	376
		<i>Grundsätze</i>	330		
3 Technische Ausführungsformen der Schienenfahrwege	284	<i>Bauart Freiburg</i>	332		
		<i>Bauart INPLACE</i>	332		
3.1 Definitionen/Begriffe	284	<i>Bauart Bremen</i>	334		
Bahnkörper	284	<i>Bauart Rheda-City</i>	334	3.6 Ausführungsformen in besonderen Bereichen	382
Offener Oberbau	286	<i>Bauart INFUNDO LR-HFT</i>	338	Feste Fahrbahn in Tunneln und auf Brücken	382
Geschlossener Oberbau	288	Feste Fahrbahn aus Stahlbetonfertigteilen	338	FF in Tunneln	382
Offener Oberbau mit Eindeckungen	288	<i>Bauart mit Stahlbetonfertigteile-Längsbalken</i>	338	FF auf Brücken	384
Oberbauqualität	290	<i>Bauart mit Stahlbeton-Fertigteile-Gleisrosten</i>	340	Übergänge zwischen verschiedenen Bauformen	384
		<i>Bauart ATD-G</i>	340	Feste Fahrbahn (FF)/ Schotteroberbau (SchO)	384
3.2 Ausführungsformen des offenen Oberbaues	292	<i>Bauart GETRAC</i>	342	Kunstabauwerk/Erdbauwerk	386
Schwellengleis auf Schotter	292	<i>Bauart BTD/BES</i>	344		
Sonderformen zur Verringerung der Schotterpressungen	294				

Specific features of tram switches	267	Basic rules and regulations	301	Basic designs	357
Switch maintenance	269	Asphalt coverings and asphalt construction methods	305	Track with low vegetation	357
2.11 Drainage	271	Concrete coverings and concrete construction methods	309	Track with high vegetation	357
Drainage of the track formation	271	Sett paving and slab coverings	309	Track with low vegetation between the rails and high vegetation outside	357
Drainage of flange grooves	273	Covered superstructure with sleeper track on ballast	315	Types of vegetation	357
Drainage at particular places in the track	273	Covered track with slab track	317	Grass	357
2.12 Track stops	275	Slab track as a standard solution	317	Vegetation mats	359
Definition	275	Slab track as a supporting concrete slab	317	Other greenery systems	359
Impact energy	275	The Rheda City ballastless track system	321	Criteria for use	363
Points of contact on rail vehicles	275	Slab track with elastic bedding	321	Rail-environment separation	365
Types of track stop	275	3.4 Slab track	325	Rail web and rail base elements	365
Design variants and areas of application	275	Definitions and principles	325	Rail chamber filling profiles	365
Curved tracks	275	Areas of application and criteria for use	325	Rail grout	367
Normal position	275	Designs	327	Structural solutions	369
Monitoring and maintenance	275	Preliminary remarks	327	Principles	369
2.13 Securing the track position	279	Subsidence free substructure	327	Green track with an open ballast superstructure with sleepers	369
Objectives	279	Slab track as a cast-in-place concrete structure	329	Green track with slab track	371
Side fastening	279	Slab track made of precast reinforced concrete units with added cast-in-place concrete	331	<i>Basic rule</i>	371
Longitudinal track fastening	281	<i>Basics</i>	331	<i>Green slab track made of cast-in-place concrete structures</i>	373
Sleeper anchors	281	<i>Freiburg design</i>	331	<i>Green slab track made of precast reinforced concrete units with added cast-in-place concrete</i>	373
Rail-anchoring device	281	<i>INPLACE design</i>	333	<i>Green slab track made of precast reinforced concrete units</i>	375
2.14 Bibliography	282	<i>Bremen design</i>	335	3.6 Designs used for special applications	383
3 Types of track	285	<i>Rheda City design</i>	335	Slab track in tunnels and on bridges	383
3.1 Definitions and concepts	285	<i>INFUNDO LR-HFT design</i>	339	Slab track in tunnels	383
Track formations	285	Slab track on precast reinforced concrete units	339	Slab track on bridges	385
Open track	287	<i>Designs featuring precast reinforced longitudinal concrete beams</i>	339	Transitions between different designs	385
Covered track	289	<i>Design with precast reinforced concrete track panels</i>	341	Slab track/ballast superstructure	385
Covered open tracks	289	<i>ATD-G design</i>	341	Engineering structure/earth structure	387
Superstructure quality	291	<i>GETRAC design</i>	343	Track design at stops	389
3.2 Open track	293	<i>BTD/BES design</i>	345	Requirements	389
Sleeper track on ballast	293	Slab track as mass-spring-systems	345	Platform-track demarcation	391
Special designs for reducing ballast compression	295	<i>Light mass-spring-systems</i>	345	Track variants	395
Open track in conjunction with slab track	299	<i>Heavy mass-spring-systems</i>	345	Level crossings	397
3.3 Covered track	301	3.5 Green track	353	Requirements	397
Principles	301	Importance to urban ecology	353	Level crossings based on road design criteria	399
Possible coverings	301			Level crossings using precast reinforced concrete units	399
				<i>Precast concrete units as cover slabs</i>	399

Fahrweggestaltung in Haltestellenbereichen	386	4.2 Technische Lösungen	444	Transporte von im Werk vormontierten Weichenanlagen	478
Anforderungen	386	Überblick	444	Weicheneinbau von im Werk vormontierten Weichenanlagen	478
Abgrenzung Bahnsteig/Fahrweg	390	Primärschall	444	Gleisstopfen	478
Fahrwegvarianten	390	Erschütterungen	446	Stopfmaschinen	478
Bahnübergänge	396	Sekundärschall	448	Weichenstopfmaschinen	480
Anforderungen	396	Einfügungsdämm-Maß	448	Stopfen mit Kleinmaschinen	480
Bahnübergänge nach Straßenbaukriterien	398	Elastische Schienenlagerungen	450	Bettungsreinigung	482
Bahnübergänge mit Stahlbetonfertigteilen	398	Kontinuierlich elastische Schienenlagerungen	452	Gleisgebundene Bettungsreinigungsmaschinen	482
<i>Betonfertigteile als Abdeckplatten</i>	398	Bedämpfte Schienen	452	Gängige Bettungsreinigungsmaschinen	484
<i>Betonfertigteile als Gleistragplatte</i>	400	Elastische Schwellenbesohlung	452	Flankenreinigungsmaschinen	484
Bahnübergänge mit Gummi-Elementen	400	Unterschottermatten	454	Konventionelle Bettungsreinigung	484
Sonstige Bahnübergänge	402	Leichte Masse-Feder-Systeme	454	Untergrundsanie rung	484
3.7 Bewertung und Empfehlungen zu den Einsatzbereichen der Fahrwegausführungsformen	404	Schwere Masse-Feder-Systeme	454	Konventionelle Methode	484
Technische Aspekte	404	Sondermaßnahmen	456	Untergrundsanie rung mittels Planumsverbesserungsmaschinen	486
Vereinheitlichung der Lösungsvielfalt	404	4.3 Prüfungen	458	5.2 Baumaschinen, Geräte und Werkzeuge für die Fahrwegeherstellung	488
Anwendungsregeln für Fahrwegarten	406	Luftschall	458	Maschinen zur Herstellung von Unterbau und Schutzschichten	488
Technische Grundsätze für Feste Fahrbahnen	406	Erschütterungen	458	Maschinen für den Schotteroberbau	488
Grundsätze für Grünes Gleis	410	4.4 Bewertung der Einsatzbereiche der verschiedenen Lösungen	462	Schottereinbau	488
Wirtschaftliche Aspekte der Ausführungsformen	412	Luftschall	462	Schwellen-, Schienen- und Weicheneinbau	488
Grundsätzliche Erkenntnisse	412	Erschütterungen und Sekundärschall	462	Maschinen bei Fester Fahrbahn	490
Zu berücksichtigende Einzelfaktoren	414	4.5 Zukünftige Entwicklungen	466	5.3 Umweltschutzaspekte bei der Bauausführung	492
Betriebliche Aspekte	416	4.6 Literaturverzeichnis	468	Bodenschutz	492
3.8 Zukünftige Entwicklungen und notwendige Erprobungen	418	5 Bauausführung und Umweltschutz	470	Anforderungen und Regelungen	492
3.9 Literaturverzeichnis	422	5.1 Baumaschinen, Geräte und Werkzeuge für die Fahrwegeinstandsetzung	470	Erhebung von Bodendaten	492
4 Einfluss der Fahrwege auf Schall- und Erschütterungsemissionen	426	Instandsetzungsarbeiten	470	Bodenkundliche Baubegleitung durch Sachverständige	494
4.1 Grundsätzliche Zusammenhänge	426	Schienenwechsel	470	Bodenabtrag	494
Städtebau	426	Maschineller Schienenwechsel	472	Bodenzwischenlagerung	494
Trassenführung	426	Schienenwechsel mit Spezial- vorrichtungen an Baumaschinen	472	Bodeneinbau, Bodenverbesserung, Bodenaustausch	496
Schallschutz	430	Schienenwechsel mit Umsetzböcken	476	Maschinenwahl für den Erdbau	496
Erschütterungsschutz	436	Schwellenwechsel	476	Materialtransporte	498
		Schwellenwechselmaschinen	476	Abfälle	498
		Schwellenwechsel von Hand	476	Einstufung	498
		Weichenwechsel	478	Abfallvermeidung	498
				Zuführung einer Wiederverwertung	498

<i>Precast concrete units as a track base plate</i>	399	Heavy mass-spring systems	455	The conventional method	485
Level crossings with rubber elements	401	Special measures	455	Restoring subsoil using formation improvement machines	487
Other types of level crossings	403	4.3 Tests	459		
3.7 Assessment and recommendations re applications of different track designs	405	Airborne noise	459	5.2 Plant, equipment and tools for track production	489
Technical aspects	405	Vibrations	459	Machines for making substructure and protective layers	489
Harmonising the wide range of solutions	405	4.4 Assessing the applicability of various solutions	463	Machines for ballast superstructure	489
Rules of application for track types	405	Airborne noise	463	Installing ballast	489
Technical principles applying to slab track	407	Vibrations and secondary noise	463	Fitting sleepers, rails and points	489
Principles applying to green track	411	4.5 Future developments	467	Machinery used on slab track	491
Economic aspects of designs	413	4.6 Bibliography	468	5.3 Protecting the environment during construction work	493
Basic findings	413			Soil protection	493
Individual factors to consider	415	5 Construction and environmental protection	471	Requirements and rules	493
Operational aspects	417			Collecting soil data	493
		5.1 Plant, equipment and tools for track corrective maintenance	471	Construction work supervision by soil scientists	495
3.8 Future developments and necessary trials	419	Corrective maintenance work	471	Soil removal	495
3.9 Bibliography	422	Rail replacement	471	Temporary soil storage	495
		Machine rail replacement	473	Soil filling, improvement and exchange	497
		Rail replacement using specially equipped plant	473	Selecting machinery for earthworks	499
		Rail replacement using transfer frames	473	Transporting material	499
		Sleeper replacement	477	Waste	499
		Sleeper replacement machines	477	Classification	499
		Manual sleeper replacement	477	Waste avoidance	499
		Replacing points	479	Consignment of waste for recovery	501
		Transporting factory-preassembled points	479	Reprocessing contaminated materials	501
		Installation of factory-preassembled points	479	Disposing of non-recyclable waste and submitting proof	503
		Track tamping	479	Contaminated sites and harmful changes to soil	503
		Tamping machines	481	Contaminated sites	503
		Points tamping machines	481	Hazardous substances and other harmful changes to soil	503
		Small tamping machines	481	Monitoring contaminated sites and harmful substances	503
		Cleaning ballast	481	Protection of trees, plants and vegetation	505
		Track-bound ballast cleaning machines	483	Potential hazards	505
		Common ballast cleaning machines	483	Protection of trees and vegetation against mechanical damage	505
		Flank cleaning machines	485	Protecting roots during the application and removal of soil	505
		Conventional ballast cleaning	485	Protecting roots during the excavation of troughs and ditches	505
		Subsoil corrective maintenance	485		

Aufbereitung von kontaminierten Materialien	500	Gesetz zur Regelung der gewerbsmäßigen Arbeitnehmerüberlassung (AÜG)	530	Optische Warn- und Signalmittel des Streckenpersonals	560
Entsorgung von nicht verwertbaren Abfällen und Nachweisführung	502	Arbeitsschutzbestimmungen der Träger der gesetzlichen Unfallversicherung	530	<i>Signalfahne</i>	560
Altlasten und schädliche Bodenveränderungen	502	Weitere Arbeitsschutzbestimmungen	532	<i>Handleuchte</i>	560
Altlasten	502	6.2 Verteilung der Verantwortlichkeiten	534	6.4 Schutzmaßnahmen bei bestimmten Arbeiten	562
Sonstige schädliche Bodenveränderungen und Gefahrenstoffe	502	Bahnbetreiber	534	Arbeiten in der Nähe von Fahrleitungsanlagen	562
Überwachung von Altlasten und schädlichen Stoffen	502	Unternehmer	534	Schweißarbeiten	562
Schutz von Bäumen, Pflanzen und Vegetationsflächen	504	Verantwortung	534	Arbeiten im Tunnel	564
Schädigungsgefahren	504	Anzeigepflicht	534	Staub und Schadstoffbelastungen	564
Schutz von Bäumen und Vegetationsflächen gegen mechanische Schäden	504	Anweisungen	534	Belüftung	564
Schutz der Wurzelbereiche beim Bodenauftrag und Bodenabtrag	504	Unterweisungen	536	Beleuchtung	564
Schutz der Wurzelbereiche beim Aushub von Gräben und Baugruben	504	Zusammenwirken mehrerer Unternehmer	538	Sicherheitsräume	564
Lärmschutz	506	Koordinationspflicht	538	Manuelles Heben und Tragen von Lasten	568
Erschütterungsschutz	508	Sicherheits- und Gesundheitsschutzplan (SiGe-Plan)	540	6.5 Zukunftsperspektiven	570
Luftreinhaltung	510	6.3 Sicherung gegen Gefahren aus dem Bahnbetrieb	542	6.6 Literaturverzeichnis	572
Grundwasser- und Binnengewässerschutz	512	Grundsätzliches Verhalten der Beschäftigten im Gleisbereich	542	7 Instandhaltung der Schienenfahrwege	574
Grundwasserschutz	512	Sicherungsplanung	544	7.1 Allgemeines	574
Bauen im Bereich von Grundwasser und Gewässern	512	Organisatorische Sicherungsmaßnahmen	548	Begriffe	574
Wasser- und Abwasserableitung	514	Gleissperrung/Sperrfahrten	548	Rechtliche Vorgaben	574
Inanspruchnahme von Flächen	514	Langsamfahrstellen und Fahren auf Sicht	548	Ziele der Instandhaltung	576
Eingriff in die Natur und Landschaft	514	Technische Sicherungsmaßnahmen	548	Methoden	576
Denkmalschutz und archäologische Funde	516	Automatische Warnsysteme	548	Betriebliche Rahmenbedingungen für die Instandhaltung	576
5.4 Zukunftsperspektiven	518	Signalabhängige Sicherungsanlagen	550	7.2 Wartung	578
5.5 Literaturverzeichnis	520	Automatische Warnsysteme für mobilen Einsatz	550	Schienen- und Spurkranzschmierung	578
6 Sicherheitsaspekte bei Bau und Instandhaltung von Schienenfahrwegen	522	Anwendung Automatischer Warnsysteme bei BOStrab-Bahnen	552	Zweck der Schmierung	578
6.1 Arbeitsschutzbestimmungen	522	Feste Absperrungen	552	Schmiertechniken	578
Staatliche Arbeitsschutzbestimmungen	522	Feste Absperrungen mit integrierter akustischer und optischer Warnung	552	Schmiermittel	578
Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG)	522	Haltscheiben und Schranken	554	Anordnung der Schmieranlagen	580
Arbeitssicherheitsgesetz (ASiG)	528	Technische Sicherungsmaßnahmen für Arbeitsstellen im Bereich von Straßen	554	Reinigung der Gleisanlagen	580
Geräte- und Produktsicherheitsgesetz (GPSG)	528	Personelle Sicherungsmaßnahmen	556	Oberflächenreinigung	580
Siebttes Buch Sozialgesetzbuch (SGB VII) – Unfallversicherung	528	Sicherungsposten (Sipo)	556	Bettungsreinigung	582
		Sicherungsaufsicht (Sakra)	556	Rillenreinigung	584
		Selbstsicherung in Kleingruppen	558	Weichenreinigung	584
		Akustische Warn- und Signalmittel des Streckenpersonals	558	Reinigung der Gleisentwässerungsanlagen	584
		<i>Tyfon</i>	560	Pflege und Kontrolle der Vegetation	586
		<i>Mehrklangsignalhorn</i>	560	Rückschnitt von Baum- und Strauchbewuchs	586

Noise protection	507	Coordination requirement	539	6.5 Future prospects	571
Vibration protection	509	Safety and health protection plan	541	6.6 Bibliography	572
Air quality management	511				
Protecting groundwater and inland waterways	513	6.3 Protection against hazards of rail operation	543		
Protecting groundwater	513	Basic conduct of workers in the track area	543	7 Track maintenance	575
Building near groundwater and bodies of water	513	Safety planning	545	7.1 General considerations	575
Water drainage and sewage	515	Organisational safety measures	547	Terms	575
Land use	515	Track closure/blocked runs	547	Legal standards	575
Intervention in nature and the landscape	515	Speed restriction sections and running at sight	549	Aims of maintenance	577
Monument conservation and archaeological discoveries	517	Technical safety measures	551	Methods	577
		Automatic warning systems	551	The operating environment for maintenance	577
5.4 Future prospects	519	Signal-dependent protection systems	551		
5.5 Bibliography	520	Automatic warning systems for mobile use	551	7.2 Servicing	579
		Use of automatic warning systems on BOStrab railways	553	Rail and flange lubrication	579
6 Safety considerations when constructing and maintaining railway tracks	523	Fixed barriers	553	The purpose of lubrication	579
6.1 Health and safety provisions	523	Fixed barriers with integrated audible and visual warnings	553	Lubrication techniques	579
Federal occupational health and safety provisions	523	Stop signal discs and barriers	555	Lubricants	581
Protection of Labour Act (ArbSchG)	523	Technical safety measures for work sites in street spaces	555	Where to place rail lubricators	581
Occupational Safety Act (ASiG)	529	Personal safety measures	557	Cleaning track systems	581
Equipment and Product Safety Act (GPSG)	529	Lookouts	557	Surface cleaning	581
Book VII of the Social Code (SGB VII) – Accident insurance	529	Safety supervisor	557	Cleaning ballast	583
Law governing the supply of temporary labour (AÜG)	529	Self-protection in small groups	557	Cleaning rail grooves	583
Occupational health and safety provisions of the providers of statutory accident insurance	531	Audible warnings and signals by section personnel	559	Cleaning switches	585
Further occupational health and safety provisions	533	Tyfon	561	Cleaning track drainage systems	587
		Multitone horn	561	Care and control of vegetation	587
6.2 Division of responsibilities	535	Visual warning and signal devices used by section personnel	561	Trimming back tree and bush growth	587
Rail operators	535	Signal flag	561	Suppressing uncontrolled plant growth on tracks	587
Entrepreneurs	535	Hand lamp	561	Caring for green tracks	587
Responsibility	535	6.4 Protective measures for certain types of work	563	Snow clearing and ice removal in winter	589
Notification requirement	535	Work near catenary systems	563		
Instructions	535	Welding	563	7.3 Inspection	591
Directions and guidance	537	Working in tunnels	565	Basic options	591
Collaboration between multiple entrepreneurs	537	Dust and pollutants	565	Track parameters to keep an eye on	591
		Ventilation	565	Checking track geometry	591
		Lighting	565	Non-destructive rail inspection	593
		Safety areas	565	Measuring methods and measuring devices	595
		Manual lifting and carrying of loads	569	Devices with measuring wheels and axles mounted beneath standard vehicles	595
				Methods involving the use of self-contained measuring devices	597
				Laser light-section procedure	597

Bekämpfung von Pflanzen-Wildwuchs im Gleiskörper	586	Instandsetzung bei geschlossenem Oberbau	608	8.3 Ergänzende Wirtschaftlichkeitsaspekte bei der Instandhaltung der Fahrwege	634
Pflege Grüner Gleise	588	Schäden am Deckenschluss	608	Bedeutung von Qualität und Kennwerten	634
Winterdienst	588	Schäden am Fugenverguss	608	Verbesserungen durch interdisziplinäre Instandhaltungsteams	636
7.3 Inspektion	590	Schäden im Schienenbereich	610	Fahrweginstandhaltung mit EDV-Unterstützung	636
Grundsätzliche Möglichkeiten	590	Auftragsschweißen	610	Verbesserungen bei Gleisbaumaschinen	638
Zu überwachende Gleisparameter	590	Ziel des Auftragsschweißens	610		
Überprüfung der Gleisgeometrie	590	Randbedingungen des Auftragsschweißens	610		
Zerstörungsfreie Schienenprüfung	592	Arten des Auftragsschweißens	612		
Messverfahren und Messgeräte	594	Schweißzusatzwerkstoffe	612	8.4 Qualitätsmanagement	642
Messgestelle mit Messrädern und -achsen unter Regelfahrzeugen	594	Reparaturarbeiten	612		
Verfahren mit autark arbeitenden Messgeräten	596	7.5 Zukünftige Entwicklungen	616	8.5 LCC im Gleisbau	646
Laser – Lichtschnitt – Verfahren	596	7.6 Literaturverzeichnis	618	Bedeutung	646
Kombinierte Verfahren	598			Strukturierung und Komponenten	648
Mechanische/elektronische Konturmessung des Schienenkopfes	598	8 Wirtschaftliche Aspekte	620		
Ultraschallprüfung des Schienenkopfes	598	8.1 Bedeutung	620	8.6 RAMS-Analysen	652
Handmessgerät für Riffel	600	8.2 Wiederverwendung von Oberbaustoffen	624	Wichtige Kennwerte	652
Laufflächenüberwachung der Räder durch Geräte im Gleis	600	Wirtschaftliche und rechtliche Grundlagen	624	Ziele und Nutzen von RAMS	654
Ziele	600	Wiederverwendung von Schotter	624	Risikoanalyse als Bestandteil der RAMS-Analyse	656
Erfassung des Verschleißzustandes der Radprofile	600	Schotterverschmutzung	624	Verfahrensablauf	656
Erfassung der Kreisförmigkeit der Radreifen	600	Recyclen oder deponieren	626	Vorgehen zur Erstellung der FMEA	658
7.4 Instandsetzung	604	Wirtschaftlichkeit verschiedener Aufbereitungsmöglichkeiten	626	Dokumentation und Auswertung der Ergebnisse	660
Schienenbearbeitung im Gleis	604	Schienenaufarbeitung und Lebensdauererlängerung	626	Prognose von Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit und Instandhaltbarkeit	662
Zweck der Schienenbearbeitung	604	Schienenverschleiß/Lebensdauer	626	Datengrundlagen/Datenerfassung und -pflege	662
Schienenbearbeitungsmethoden	604	Schienenausbaukriterien	628	Datenauswertung/Erstellung von Berichten	662
Eingesetzte Geräte	606	Schienenkreislauf/ Stufenbewirtschaftung	628		
Abnahme der Schienenbearbeitung	606	Aufarbeitungsmethoden	630	8.7 Bewertung und zukünftige Entwicklungen	666
Gleisregulierung im Schotterbett	606	Wirtschaftlichkeit der Schienenaufarbeitung	630		
Eingriffskriterien	606	Liegedauererlängerungen	632	8.8 Literaturverzeichnis	670
Vorbereitung der Gleisregulierung	606	LCC-Ergebnisse bei Rillenschienen	632		
Durchführung der Gleisregulierung	608				
Abnahme der Gleisregulierung	608				

Combined methods	599	7.5 Future developments	617	8.4 Quality management	643
Mechanical and electronic measurement of rail head profiles	599	7.6 Bibliography	618	8.5 LCCs in a track-laying context	647
Ultrasonic testing of the rail head	599			Importance	647
Hand-held measuring device for corrugations	601			Structure and components	649
Monitoring wheel running surfaces using devices in the track	601	8 Economic aspects	621	8.6 RAMS analyses	653
Objectives	601	8.1 Importance	621	Important characteristic values	653
Ascertaining wear on wheel profiles	601	8.2 Re-using superstructure materials	625	Goals and benefits of RAMS	655
Ascertaining the circularity of wheel rims	603	Economic and legal bases	625	Risk evaluation as an element of the RAMS analysis	657
7.4 Corrective maintenance	605	Re-using ballast	625	The procedure	657
Machining rails in track	605	Ballast contamination	625	Procedure for producing an FMEA	659
Why machine rails?	605	Recycle or landfill?	627	Documentation and evaluating results	661
Rail machining methods	605	The economics of various options	627	Predicting reliability, availability and maintainability	663
Devices used	607	Reconditioning tracks and extending their service life	627	Databases, data acquisition and data administration	663
Acceptance of rail machining	607	Track wear and service life	627	Data analysis and drawing up reports	663
Rail alignment in the ballast bed	607	Rail removal criteria	629		
Criteria for taking action	607	Rail cycle and staged management	629	8.7 Assessment and future developments	667
Preparing for rail alignment	607	Reconditioning methods	631		
Rail alignment procedures	609	The economics of rail reconditioning	631	8.8 Bibliography	670
Acceptance of rail alignment	609	Extending service life	631		
Maintaining covered track	609	LCC results with grooved rails	633		
Damage to the covering	609	8.3 Additional economic aspects of track maintenance	635		
Damage to joint sealant	609	The importance of quality and characteristic values	635		
Damage to rails	611	Improvements by interdisciplinary maintenance teams	637		
Build-up welding	611	Computer-supported track maintenance	637		
The aim of build-up welding	611	Improvements with track-laying machines	639		
Ancillary conditions for build-up welding	611				
Types of build-up welding	611				
Filler metals	613				
Repair work	613				

Vorwort



Wolfgang Tiefensee
Bundesminister für Verkehr, Bau und
Stadtentwicklung

S-Bahnen, U-Bahnen, Stadt- und Straßenbahnen bilden das Rückgrat eines attraktiven Verkehrsangebotes in den Städten und Regionen. Qualität und Kundenorientierung bestimmen dabei maßgeblich den Markterfolg von Produkten für den öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) und tragen zu einem lebenswerten Umfeld entscheidend bei.

Die Qualität der Bahnen wird nachhaltig durch den Fahrweg bestimmt: Sicherheit des Betriebsablaufs, Integration in das Stadtbild, Fahrkomfort, Verfügbarkeit eines dichten Angebotes, Fahrzeugbeanspruchung, Lärm- und Erschütterungsschutz sowie nicht zuletzt die Bau- und Unterhaltungskosten sind Kriterien, die entscheidend von der Fahrweggestaltung geprägt werden.

Aus diesen Gründen fördert die Bundesregierung – gemeinsam mit den Ländern – bereits seit Mitte der 60er-Jahre über das Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz (GVFG) den Bau der Schienenfahrwege des ÖPNV in Stadt und Region. Allein in den Jahren zwischen 1992 und 2005 sind 5,9 Milliarden Euro in den Bau der Schienen-

fahrwege von S-, U-, Stadt- und Straßenbahnen geflossen. 1996 wurde die ÖPNV-Finanzierung um die Regionalisierungsmittel erweitert, von denen ebenfalls große Anteile in die Verkehrswege der Bahnen geflossen sind.

Der Erfolg dieses Engagements von Bund und Ländern ist deutlich sichtbar: die Erschließung der deutschen Städte und Regionen durch moderne und leistungsfähige Nahverkehrsbahnen hat nicht nur einen weltweit führenden Stand erreicht, sondern auch die Nachfrage durch die Kunden ist deutlich angestiegen – in zahlreichen Fällen hat sie sich vervielfacht. Das trägt maßgeblich zur Straßenverkehrsentlastung und zum Umweltschutz in Form von CO₂-Einsparungen bei.

Um diesen Weg auch in Zukunft konsequent fortzusetzen, nimmt sich auch die Europäische Union dieser Fragen an. Seit 2006 fördert sie das europaweite Projekt „Urban Track“ mit dem Ziel, die einzelnen Erkenntnisse eines modernen Fahrwegebaues für Nahverkehrsbahnen zusammenzuführen sowie neue Entwicklungen und Verbesserungen voran zu treiben. Dieser

wichtige Schritt zum Wissenstransfer in alle Mitgliedsländer der EU und zur Vereinheitlichung in Europa wird auch von der Bundesregierung begrüßt.

Das hier vorgelegte Buch „Fahrwege der Bahnen im Nah- und Regionalverkehr in Deutschland“ soll den Fahrwegbau fördern und zur praktischen Umsetzung in hoher Qualität beitragen. Es kann für die europäische Initiative als ein äußerst wichtiger Beitrag angesehen werden, denn es fasst die in Deutschland gewonnenen vielfältigen Erkenntnisse in allen Bereichen des Fahrwegebaues zusammen, bewertet sie und weist den Weg für zukünftige weitere Entwicklungen und Verbesserungen. Wissenschaft und Praxis können weltweit davon profitieren. Nicht zuletzt deshalb wurde das Werk zweisprachig in deutscher und englischer Sprache angelegt.

Allen, die zur Entstehung dieses neuen Buches beigetragen haben, insbesondere dem Gesamtbearbeiter und Koordinator STUVA, danke ich für das Engagement und das Einbringen des weit verstreut vorliegenden Wissens.

Preface

Wolfgang Tiefensee

Federal Minister of Transport, Building and
Urban Affairs

Rapid transit systems, underground railways, light rail systems and trams form the backbone of an attractive range of transport services in cities and regions. Quality and customer focus are key factors in determining the commercial success of local public transport products and make a crucial contribution to creating a liveable environment.

The quality of rail-based systems is determined to a large extent by the track. Safe operation, integration into the townscape, passenger comfort, the availability of a dense public transport network, vehicle stress, noise and vibration mitigation and, last but not least, construction and maintenance costs are criteria that are crucially determined by track design.

For this reason, the Federal Government – together with the federal states – has, since the mid-1960s, been providing assistance to the construction of local public transport rail infrastructure in cities and regions by means of the Local Authority Transport Infrastructure Financing Act. In the period from 1992 to 2005 alone, a total of 5.9 billion euros was provided for the construc-

tion of track for rapid transit systems, underground railways, light rail systems and trams. In 1996, local public transport funding was augmented by the state subsidies for local and regional passenger rail services, a large proportion of which has also been used to fund rail infrastructure.

The success of this commitment by the Federal Government and the federal states is plain to see. Not only has the provision of modern and efficient local rail services in German cities and regions reached a level that makes Germany a world leader. Customer demand has also risen significantly – in many cases it has increased several times. This is a major contribution to reducing road congestion and to protecting the environment by cutting CO₂ emissions.

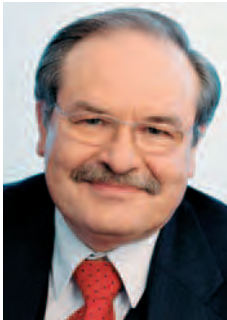
In order to systematically continue along this road in the future, the European Union is also addressing these issues. Since 2006, it has been funding the Europe-wide “Urban Track” project, the aim of which is to consolidate the individual findings of modern track construction for local rail-based systems and to progress new develop-

ments and improvements. This major step towards a transfer of knowledge in all EU Member States and towards standardization in Europe is also welcomed by the Federal Government.

The present book, “Local and Regional Railway Tracks in Germany”, is intended to promote track construction and make a contribution to its high-quality practical implementation. For the European initiative, it can be regarded as an extremely important contribution, because it summarizes the multiplicity of findings gained in Germany in all fields of track construction, assesses them and points the way ahead for future developments and improvements. Scholars and practitioners throughout the world can benefit from it. This is one of the main reasons why the book has been published in German and English.

I would like to thank all those involved in the production of this new book, especially the Research Association for Underground Transportation Facilities (STUVA) as the overall editors and coordinators, for their commitment and for contributing knowledge that is widely scattered all over the world.

Vorwort



Dipl.-Kfm. Günter Elste
Präsident des Verbandes Deutscher
Verkehrsunternehmen (VDV)



Dr.-Ing. Dieter Klumpp
1. Sprecher des
VDV-Förderkreises e.V.

Die Schienenbahnen des öffentlichen Nahverkehrs stehen im Fokus des Interesses von Öffentlichkeit und Politik ebenso wie von Kunden und Fachwelt. Das zeigte sich schon im Jahre 2000, als der VDV und der VDV-Förderkreis, in Zusammenarbeit mit der STUVA, in dieser Reihe ein Buch „Stadtbahnen in Deutschland“ herausgegeben haben. Es war so erfolgreich, dass etwa 5000 Exemplare in kurzer Zeit vergriffen waren. Wenn wir heute ein neues Werk über die Fahrwege der Nahverkehrsbahnen herausgeben, so folgt dies konsequent dem mit den Stadtbahnen erfolgreich eingeschlagenen Weg.

Die Idee, ein solches Buch erarbeiten zu lassen, entstand beim VDV und seinem Ausschuss für Bahnbau vor dem Hintergrund des Wandels und der dadurch ausgelösten vielfältigen Entwicklungen auf diesem bedeutenden Marktsegment des ÖPNV. Darüber hinaus sollte – ergänzend zu den bereits vorliegenden Oberbau-Richtlinien und einschlägigen VDV-Schriften – ein Werk geschaffen werden, dass die gesamten Entwicklungen zusammenfasst. Dabei setzten wir ein äußerst anspruchsvolles Ziel: ausgehend von den rechtlichen und technischen Grundlagen, über die konstruktiven Lösungen,

den Lärm- und Erschütterungsschutz, die Gerätetechnik, die Fahrwegunterhaltung, die Arbeitsschutzgesichtspunkte bis hin zum Infrastruktur-Management sowie zu den wirtschaftlichen Aspekten und der Finanzierung sollte ein Werk geschaffen werden, dass die gesamte breite Palette dieses wichtigen Fachgebietes darstellt.

Das hiermit vorgelegte Buch stellt nicht nur den aktuellen Stand des Wissens und der Technik dar, sondern es verdeutlicht auch, wie die einzelnen Bereiche zusammenwirken und sich gegenseitig beeinflussen. Bemerkenswert ist schließlich, dass zur technischen Lösung immer auch die Auswirkungen auf Kosten und Wirtschaftlichkeit angesprochen werden. Damit gibt das Buch wichtige Hinweise im laufenden Restrukturierungsprozess der Verkehrsunternehmen und öffnet den Blick in die Zukunft.

Das Werk dokumentiert aber auch, welche gewaltigen Bauleistungen und Entwicklungen bei den VDV-Unternehmen gerade in den letzten 15 Jahren im Fahrwegbau der Schienenbahnen erbracht wurden. Der Weg vom herkömmlichen offenen Schotteroberbau zur unterhaltungsarmen Festen Fahr-

bahn und zum ästhetisch ansprechenden Grünen Gleis dokumentiert diesen Prozess, der gleichzeitig auch einen Wertewandel kennzeichnet.

Damit bestätigt sich nachdrücklich: die (Mit-)Finanzierung der Schienenfahrwege im Nah- und Regionalverkehr durch Bund und Länder im Rahmen des Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetzes und des Regionalisierungsgesetzes hat sich gelohnt. Ohne diese Unterstützung wären die dargestellten positiven Entwicklungen nicht möglich gewesen. Da die Verkehrsunternehmen auch in Zukunft nicht in der Lage sein werden, die Infrastruktur durch Fahrgeldeinnahmen zu erwirtschaften, lässt sich die positive Entwicklung nur fortsetzen, wenn die öffentlichen Finanzmittel zur ÖPNV-Förderung erhalten bleiben.

Der Dank des VDV und des VDV-Förderkreises gilt einerseits den Partnern, die dieses Projekt mitfinanziert haben, andererseits aber vor allem dem begleitenden Ausschuss, den Bearbeitern und der STUVA, die in bewährter Weise die Gesamtbearbeitung durchgeführt hat. Die Qualität des Werkes spricht für sich. Es wird der „Blauen Buchreihe“ des VDV und des VDV-Förderkreises zur Ehre gereichen.

Preface

Dipl.-Kfm. Günter Elste
President of the Association of
German Transport Undertakings (VDV)

Dr.-Ing. Dieter Klumpp
First Spokesperson for the Promotional Group
of the Association of German Transport
Undertakings (Förderkreis des VDV)

Both the public and policymakers, as well as customers and experts, have a keen interest in local rail services. This became evident as far back as 2000, when the VDV and the VDV Promotional Group, in cooperation with STUVA, the Research Association for Underground Transportation Facilities, produced a book in this series entitled “Light Rail in Germany”, which was so successful that some 5,000 copies were quickly snapped up. Today we are presenting a new work on local railway tracks as the logical extension of the path taken with regard to light rail.

The idea behind the book came from the VDV and its Committee on Rail Construction and was prompted both by the transformation which the important sector that is public transport is currently undergoing and by the numerous developments triggered by this process of change. In addition, building on the superstructure guidelines and relevant VDV publications already available, the intention was to create a book that summed up all the relevant recent developments. In so doing, we set ourselves an extremely ambitious goal. Starting with the legal and technical bases

and extending to design solutions, noise and vibration protection, equipment engineering, track maintenance, occupational safety and health aspects, infrastructure management, and economic aspects and financing, the idea was to compile a book that covers the entire, broad spectrum of this key domain.

This book has achieved this objective remarkably well. Not only does it describe the present state of the art; it also clarifies how individual areas work together and influence each other. Another remarkable achievement is that not only technical solutions, but also their cost- and profitability-related consequences are always addressed. Thus the book provides important information for transport companies’ ongoing restructuring and affords us a preview of what lies ahead.

At the same time, the book also documents the tremendous leaps made in track construction and development by VDV companies over just the last 15 years. The progression from conventional open ballast superstructures to low-maintenance ballastless tracks and aesthetically appealing green tracks bears witness to this process,

whilst at the same time also reflecting a shift in values.

This emphatically confirms the fact that the (co)financing – by Germany’s federal government and the governments of its respective federal states (*Länder*) – of tracks used by local and regional rail operators under the Municipal Transport Financing Act (GVFG) and the Regionalisation Act (RegG) has been worth it. Without such support, the positive strides forward presented here would not have been possible. Since in future transport companies will remain unable to make a profit on infrastructure from fare revenues, this positive trend can only be continued if public coffers remain a source of funding for public transport.

The VDV and the VDV Promotional Group would like to thank the partners who helped to finance the project, but above all the committee monitoring the project, those who worked on its contents, and STUVA, who edited it in their tried-and-tested manner. The quality of the work speaks for itself. It does credit to the ‘blue series’ published by the VDV and the VDV Promotional Group. May it enjoy a wide readership, both in Germany and also internationally.

Grundlagen, Rahmenbedingungen

1.1 Bedeutung der Schienenfahrwege

Historischer Rückblick

Anfänge und Jahre des Aufschwungs

Die Geschichte des Schienenverkehrs und damit der Schienenfahrwege begann mit dem Bau von Eisenbahnstrecken des „Fernverkehrs“, wobei die damaligen Entfernungen nach heutigen Maßstäben allenfalls dem Regionalbereich zuzuordnen wären (Tabelle 1.1/1).

Die fortschreitende Industrialisierung und Bürokratisierung im 19. Jahrhundert und damit verbunden die starke Ausdehnung der Städte sowie der wachsende Bedarf an Arbeitskräften machten aber schließlich auch in den Städten die Einrichtung eines öffentlichen Personenverkehrs dringend erforderlich. Dessen erste Anfänge bestanden darin, dass in die Straßen Schienen eingelassen wurden, auf denen Wagen fuhren, die – auch hinsichtlich der Größe – starke Ähnlichkeit mit Postkutschen hatten und ebenso wie diese von Pferden gezogen wurden.

Diese erste Form eines Öffentlichen Personen-Nahverkehrs (ÖPNV) konnte aber auf längere Sicht und mit zuneh-

mender Nachfrage den gestellten Anforderungen nicht gerecht werden.

Den Pferdebahnen folgte – in Anlehnung an die Eisenbahn – die Einführung von durch Dampfmaschinen angetriebenen Straßenbahnen, die dem heutigen Bild einer Straßenbahn schon näher kamen, aber nur für kurze Zeit Bestand hatten.

Der eigentliche und massive Aufschwung der Straßenbahn begann schließlich mit Einführung des elektri-

schen Antriebs nach 1880. In der Folgezeit richtete eine Vielzahl von Städten Straßenbahnen („die Elektrische“) ein, zunächst allerdings oft in erster Linie mit der Absicht, schneller an das im Aufbau befindliche Netz der allgemeinen Stromversorgung angeschlossen zu werden. Die Straßenbahnnetze erreichten teilweise eine beachtliche Ausdehnung und Dichte.

Schon frühzeitig wurde auch die „zweite“ Ebene für den schienen-

Tabelle 1.1/1: Meilensteine der Entwicklung des Schienenverkehrs

Fernverkehr		1. Eisenbahnstrecke: 1825 in England (Darlington–Stockton, Länge 18 km) 1. Eisenbahnstrecke in Deutschland: 1835 (Nürnberg–Fürth, Länge 6 km)
	Straßenbahn, von Pferden gezogen (Pferdebahn)	1. Strecke: 1832 (New York) 1. Strecke in Europa: 1840 (Wien) 1. Strecke in Deutschland: 1865 (Berlin)
Nahverkehr	Straßenbahn mit Dampfantrieb	1. Strecke in Deutschland: 1877 (Kassel)
	Straßenbahn mit elektrischem Antrieb	1. Strecke: 1881 (Berlin)
	unterirdische Bahnen (U-Bahnen)	1. Strecke mit Dampfantrieb: 1863 (London) 1. Strecke mit elektrischem Antrieb: 1896 (Budapest) 1. Strecke mit elektrischem Antrieb in Deutschland: 1902 (Berlin)

Basics, framework conditions

The importance of railway tracks

1.1

A historical review

Beginnings and boom years

The history of rail transport, and therefore of railway tracks, began with the construction of ‘long-distance’ rail lines, though by today’s standards the distances covered back then would be classified as regional at the most (see Table 1.1/1).

Yet ultimately the progress of industrialisation and advances in bureaucracy made in the 19th century, and accompanying tide of considerable urban expansion and rising demand for labour, entailed an urgent need to also create public transport within cities. The first steps consisted in embedding rails in streets on which coaches were ridden. Those vehicles strongly resembled stagecoaches (including in terms of their size), and like them were horse-drawn.

But in the longer term, rising demand meant that this initial form of public transport system was unable to meet the requirements placed on it.

Following the pattern set by the railway, the original horse-drawn cars were followed by the introduction of

steam-powered tramways, which came closer to today’s image of a tramway but were short-lived.

The real – and truly massive – boom enjoyed by tramways finally began with the introduction of the electric drive after 1880. Thereafter a large number of cities introduced (‘electric’) tramway systems. Admittedly, many cities initially took this step with a view to being more rapidly connected to the general power grid being developed at the time. Some tram networks attained a considerable size and density.

The ‘second level’ of rail-bound public transport was also opened quite early on, with the opening of the (initially steam-powered) London Underground as early as 1863 (see Table 1.1/1). One reason for building it was the fear among city-dwellers that an overground tramway, along with all the equipment required for its operation, would overly spoil the cityscape.

The extremely rapid growth of cities in the 19th century and the swift expansion of urban railway tracks were

Table 1.1/1: Milestones in the development of rail transport

Mainline		First railway line: 1825 in England (Darlington–Stockton, length 18 km) First railway line in Germany: 1835 (Nuremberg – Fürth, length 6 km)
	Tramway, horse-drawn (horse tramway)	First line: 1832 (New York) First line in Europe: 1840 (Vienna) First line in Germany: 1865 (Berlin)
Urban	Steam tramway	First line in Germany: 1877 (Kassel)
	Electric tramway	First line: 1881 (Berlin)
	Underground railways (metros)	First steam-driven line: 1863 (London) First electric line: 1896 (Budapest) First electric line in Germany: 1902 (Berlin)

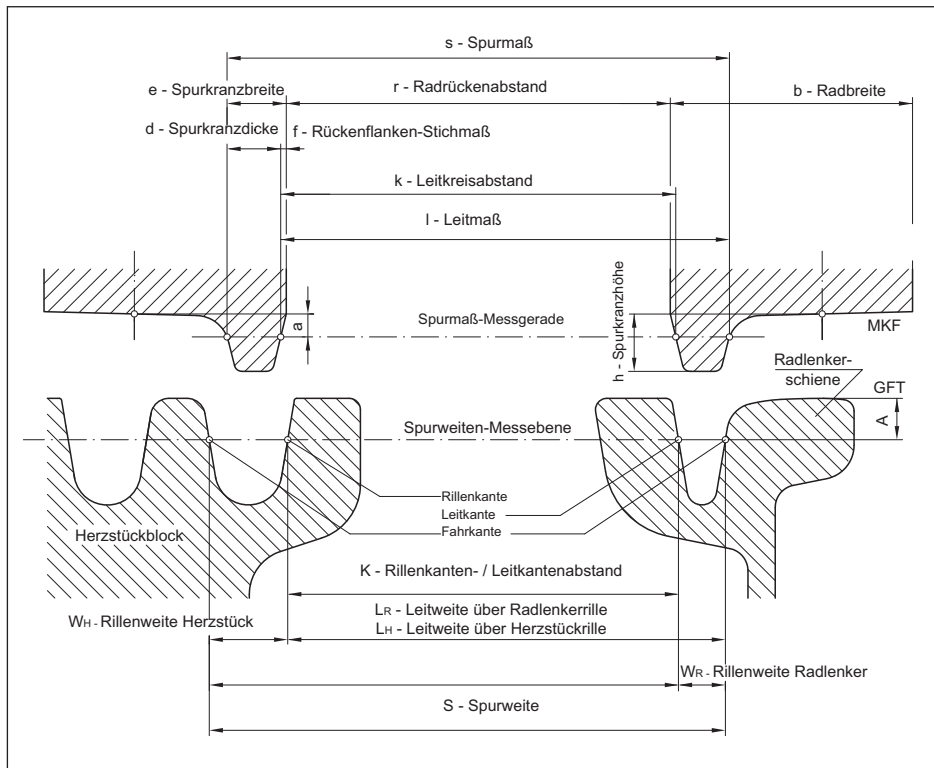


Bild 1.3/10: Leitweiten beim Rillenschienen-Blockherzstück (aus TR Sp [1.2/70])

Die Erfüllung dieser aus Gründen der Spurführungssicherheit an den Fahrweg bestehenden Anforderungen trägt außerdem zur Verminderung des Rad/Schiene-Verschleißes bei und verringert die Beanspruchungen von Fahrzeugteilen.

Spezielle Spurführungsgrundsätze bei Straßen- u. Stadtbahnen

Wichtige Begriffe und Maßbezeichnungen

Vor allem im BOStrab-Bereich mit Gleisbogenhalbmessern bis zu 15 m, mit Radreifenbreiten von 95 mm (bei historischen Fahrzeugen auch 85 mm) und oft außergewöhnlichen Anlenkstrukturen zwischen Fahrwerk und Wagenkasten, ist eine optimale Spurführung aus der Sicht der Entglei-

sungssicherheit, des Verschleißes an Rad und Schiene, der Geräuschemission und nicht zuletzt des Fahrkomforts ein existenzielles Problem. Um den aktuellen spurführungstechnischen Gegebenheiten Rechnung zu tragen, wurden die seit 1986 gültigen und 1994 ergänzten Spurführungsrichtlinien zur BOStrab grundlegend überarbeitet und im Mai 2006 vom BMVBS der Fachwelt als „Technische Regeln Spurführung zur BOStrab (TR Sp)“ [1.2/70] vorgestellt. Im Folgenden wird neben weitergehenden Ausführungen zum Thema „Spurführung“ (speziell zu den Besonderheiten im BOStrab-Bereich) auf diese TR Sp Bezug genommen.

Um bei allen Spurführungsproblemen und -betrachtungen eine einheitliche

Sprache zu sprechen, sollte zuerst Klarheit über alle die Spurführung betreffenden Begriffe an Rad und Schiene bzw. Radsatz und Gleis geschaffen werden. An Rad und Schiene werden alle spurführungstechnisch wichtigen Bereiche entsprechend Bild 1.3/9 bezeichnet (an der Schiene finden große Buchstaben, am Rad kleine Buchstaben Anwendung). Analog zu diesen Begriffen sind an Gleis und Radsatz die Bezeichnungen vorzunehmen (Bilder 1.3/7 und 1.3/11), wobei die Endung „...weite“ charakteristisch ist für das Gleis und die Endung „...maß“ für den Radsatz (vgl. Spurweite – Spurmaß oder auch Leitweite – Leitmaß).

Daneben ist festzulegen, wo und wie im Gleis gemessen wird (z. B. bei der Gleisverlegung oder beim Verschleiß), um vergleichbare Werte zu erhalten. Diesem Ziel dienen die Bezeichnungen in den Bildern 1.3/7 und 1.3/11.

Die *Spurmaß-Messgerade* ist eine gedachte horizontale Gerade 10 mm unter dem Messkreisfußpunkt (MKF), die beide Räder einer Achse verbindet (gegebenenfalls können dies auch Einzelräder sein, z. B. in Einzelrad-Einzel-Fahrwerken EEF). Auf ihr werden neben dem Rückenflanken-Stichmaß auch das Spurmaß, die Spurkranzdicke und die Spurkranzbreite gemessen, die Spurkranzbreite allerdings von der Spurkranzstirn bis zum verlängerten Radrücken.

Der *Messkreisfußpunkt* ist ein Punkt auf dem Fahrflächenprofil des Rades, der zum Messkreisfußpunkt des gegenüberliegenden Rades einen Abstand von Nennspurweite plus 65 mm haben soll, bei einer Nennspurweite von 1435 mm also 1500 mm. Dieses Maß ergibt sich aus dem Abstand der Radaufstandspunkte einer Eisenbahn-Radachse in Mittelstellung auf S49-Schienen (1:40 geneigt stehend) im jeweils unverschlissenen Zustand.

obtuse crossings are to be avoided simply because they result in longer sections of track on which vehicles' wheels are not guided. Where this is not feasible, in the case of overly long sections of track on which wheels are not guided, guard rails raised beyond the common running surface should be used if possible, as will usually be the case if the tracks in question are not covered.

In addition, meeting these track guidance safety requirements helps to curb wheel/rail wear and lessens the stresses to which vehicle parts are subjected.

Special track guidance principles in tramways and light rail systems

Key terms and dimensions

In BOStrab networks, especially those with track curve radii of down to 15 m, wheel rim widths of 95 mm (and also 85 mm on historical vehicles), and often unusual hinging mechanisms between running gear and coach bodies, optimal track guidance is critical from the standpoints of derailment safety, wear caused to wheels and rails, noise emissions, and – last, but not least – travel comfort. To take account of the features of current track guidance technology, the BOStrab track guidance guidelines in effect since 1986 and supplemented in 1994 were fundamentally revised and presented to the experts in May 2006 by the Federal Ministry of Transport, Building and Urban Development (BMVBS), published (in German), the translated English title being Technical Rules for Track Guidance for BOStrab Railways (TR Sp) [1.2/70]. These TR Sp are referred to below, supplemented by further comments on the subject of track guidance (and specific features of BOStrab networks in particular).

Before we can use common terminology when referring to all track guidance

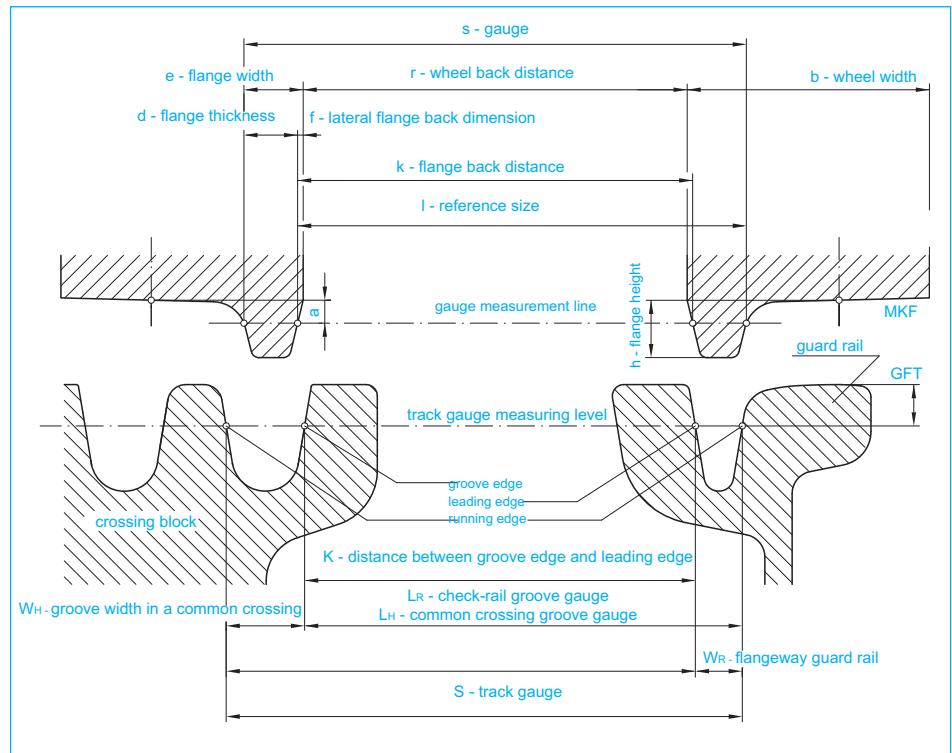


Figure 1.3/10: Check-rail gauges in a monobloc crossing with grooved rails (from TR Sp [1.2/70])

problems and considerations, we first need to be clear about all track guidance terms that refer to wheels, rails or wheelsets and tracks. On wheels and rails, all areas important to track guidance technology are designated in the manner shown in Fig. 1.3/9 (with capital letters used for rails and small letters for wheels). By analogy with these terms, for tracks and wheelsets German designations may be used (see Figs. 1.3/7 and 1.3/11), whereby words ending in ...weite characterise tracks and words ending in ...maß characterise wheelsets.

In addition, it must be specified where, when and how measurements are to be taken (e.g. when the particular section of track is being laid or when it is checked for wear) for comparable val-

ues to be obtained. The designations used in Figs. 1.3/7 and 1.3/11 serve this purpose.

The *gauge measurement* line is an imaginary horizontal straight line 10 mm below the tread datum point (MKF) connecting the two wheels of an axle (if necessary, these can also be individual wheels, e.g. in single running gear). Besides the dimension of the rear side of the flange, gauge, flange thickness and flange width are also measured here, but flange width is measured from the flange face to the extended wheel back.

The *tread datum* point is the point on the running surface profile of the wheel which should be the nominal track gauge plus 65 mm away from the tread

2

Bauelemente der Schienenfahrwege

2.1 Begriffsbestimmungen

	Oberbegriffe	Flächen	Schichten / Bauteile
Bahnkörper	↑ ↑ ↑ Gleis ↓	△ Schienen - Oberkante	Gleise, Weichen und Kreuzungen
		△ Schienenunterstützungs- unterkante	Bettung (z. B. Schotter), Betontragschicht, bituminöse Trag- schicht
	↑ ↑ Trag- schichten ↓ ↓	△ Planum	Unterschottermatten, Planums- schutzschicht, Frostschutzschicht
		△ Erdbauplanum (Unterbaukronen)	verdichtete oder verbesserte Übergangsschicht
	↓ ↓ ↓ Unterbau ¹⁾ ↑		verdichtete Unterbauschiichtung
		↓ ↓ ↓ Untergrund ↑	△ Erdplanum
↓ ↓ ↓ Untergrund ↓ ^{1) nach Bedarf}			gewachsener Boden

Bild 2.1/1: Begriffsbestimmungen zum Oberbau, Unterbau und Untergrund im BO-Strab-Bereich (in Anlehnung an [1.2/2011])

Fahrwege für Schienenbahnen bestehen aus dem Oberbau – dieser wiederum aus dem Gleis und den darunter liegenden Tragschichten – dem Unterbau und dem Untergrund. Bild 2.1/1 veranschaulicht die Begriffsbestimmungen gemäß den Oberbau-Richtlinien des VDV [1.2/2011] für den BO-Strab-Bereich.

Zum *Oberbau* gehören als Schichten/ Bauteile (nach [1.2/2011]):

- Gleise, Weichen und Kreuzungen mit Schienen, Schienenbefestigungsmitteln und Schienenstützelementen (Schwellen, Längsbalken, Platten), Spurstangen
- Tragschichten, bestehend aus
 - Bettung (z.B. Schotter), Betontragschicht, Asphalttragschicht,
 - Planumsschutzschicht, Frostschutzschicht¹.

¹ Nach der EBO [1.2/5], die auch für Regionalbahnen gilt, zählen diese Schichten zum Unterbau. Nach den Oberbau-Richtlinien für Nichtbundeseigene Eisenbahnen (Obri-NE) [2/1] werden diese Schichten der Bettung zugerechnet.

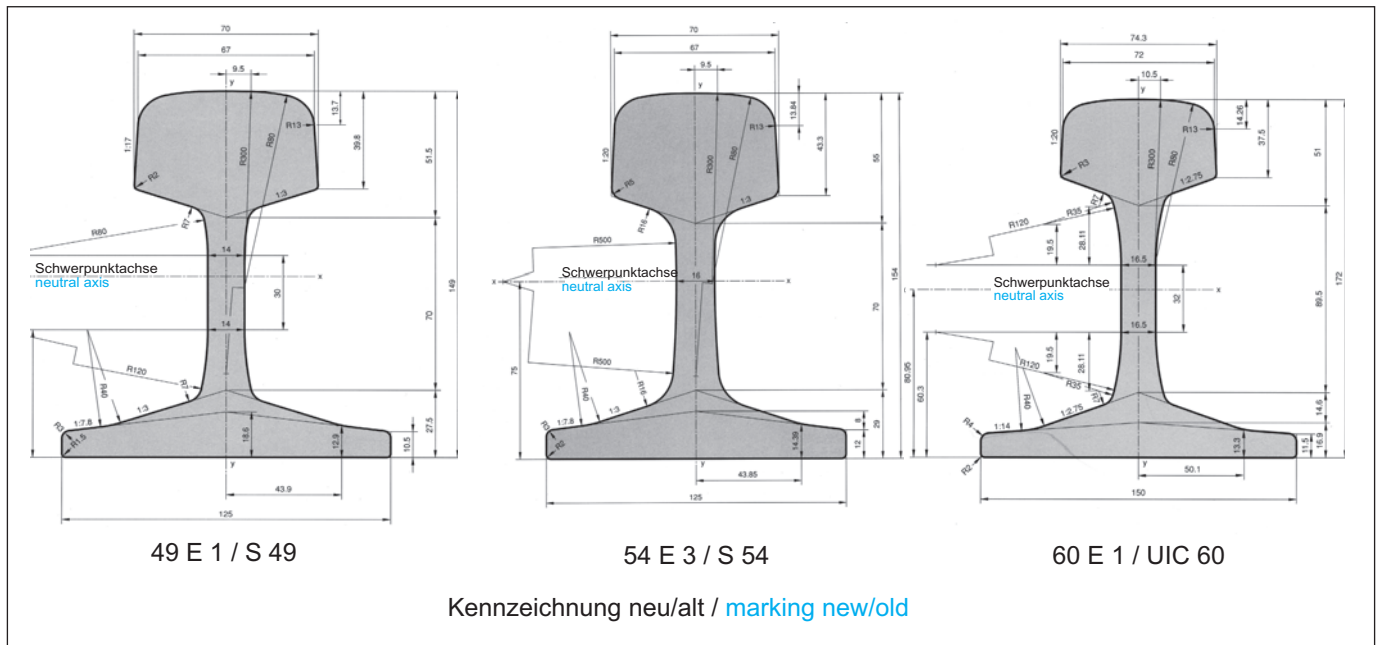


Bild 2.9/2: Beispiele für Profile von rillenlosen Schienen
Figure 2.9/2: Examples of profiles for vignol rails

Auch die Oberbau-Richtlinien des VDV [1.3/201] verweisen hinsichtlich der technischen Lieferbedingungen für rillenlose Schienen auf diese Vorschriften.

Schienenprofile

Schienenprofile sollen den folgenden Anforderungen genügen [2/20]:

- Die Schienenlauffläche soll genügend breit sein und so ausgeformt werden, dass die Kontaktverhältnisse zwischen Rad und Schiene die Flächenpressung minimal halten.
- Die Höhe des Schienenkopfes soll im Hinblick auf eine lange Liegedauer ausreichenden Abnutzungsspielraum bieten.
- Der Schienensteg soll ausreichend dick sein, damit Tragfähigkeit und Biegesteifigkeit gewährleistet sind.

- Der Schienenfuß soll genügend breit sein, damit die Standsicherheit hoch und die auf die unter dem Schienenfuß liegenden Bauteile wirkenden Flächenpressungen gering sind.
- Das Widerstandsmoment der Schiene soll vertikal und horizontal den vorgesehenen Belastungen angepasst sein.
- Für einen günstigen Spannungsverlauf sollen die Übergänge zwischen Schienenkopf und -steg bzw. Schienensteg und -fuß mit ausreichend großen Radien versehen werden.
- Schienenhöhe und -fußbreite sollen so gewählt sein, dass ausreichende Kippsicherheit garantiert ist.
- Der Schwerpunkt der Schiene soll aus statischen Gründen etwa in halber Schienenhöhe liegen.

Diese Forderungen widersprechen einander zum Teil. Die Entwicklung von Schienen mit optimierter Form ist daher schwierig und oft nur durch den

langjährigen Praxiseinsatz zu erbringen.

Die Industrie bietet für die beiden in Bild 2.9/1 dargestellten Querschnittgrundformen von Fahrsschienen für den internationalen Markt eine Fülle von Varianten an.

Die Bilder 2.9/2 und 2.9/3 enthalten einige in Deutschland häufig angewandte Formen für Fahrsschienen in Streckengleisen mit ihren Abmessungen. Nach den Technischen Lieferbedingungen der DB AG BN 918 254-1 [2/59] werden z. B. ausschließlich Schienen der Profile 49 E 1, 54 E 3 bzw. 60 E 2 bestellt. Das Profil 60 E 2 ist bisher allerdings nicht in der Norm EN 13674-1 enthalten [2/48]. Es wurde aufgrund langjähriger Untersuchungen zur Optimierung der Berührungsgeometrie zwischen Rad und Schiene entwickelt [2/50]. Das Schienenkopfprofil ist hierbei stetig gekrümmt, während bei den übrigen Profilen die

Antrieb durch einen Elektromotor unmittelbar an der Weiche, der bei Eisenbahnen sowie in U-Bahn- und teilweise in Stadtbahnssystemen von einem Stellwerk aus ferngesteuert wird. Bei Straßenbahnen wird der Stellvorgang einer Weiche vom Fahrzeug aus über Fahrleitungskontakte oder Magnetimpulse ausgelöst, der Antrieb kann auch hydraulisch oder über Elektromagnete erfolgen. Eine Hand-Umstellvorrichtung erhalten nur Weichen, die selten befahren bzw. Weichen, die im Regelfall „stumpf“ befahren werden.

Wenn der Umstellvorgang abgeschlossen ist und die Zungen ihre Endlage erreicht haben, dürfen diese sich nicht mehr bewegen lassen, sondern müssen in ihrer planmäßigen Stellung (für Fahrt auf dem Stammgleis oder dem Zweiggleis der Weiche) festgelegt sein. Die an der Backenschiene anliegende Zunge muss also fest mit ihr verschlossen werden; die von der anderen Backenschiene abliegende Zunge muss in bestimmtem Abstand von ihr festgehalten werden. Diesen Zwecken dient der Weichenverschluss, eine mechanische Einrichtung, die die einwandfreie Endlage der Weichenzungen nach dem Umstellvorgang sichert. Bei den im Nahverkehr gebräuchlichen Weichen reichen dafür meist der an der Zungenspitze angreifende Klammerspitzenverschluss oder gleichwertige Systeme (Bild 2.10/8) aus; bei langen Weichen wird zusätzlich ein Verschluss in der Mitte der Zunge angeordnet. Einfache Stellantriebe der Straßenbahn führen zwar den Stellvorgang elektromagnetisch durch, legen aber die Zungen in der Endlage nicht fest und dürfen deshalb in „spitz“-befahrerlicher Richtung nur mit 15 km/h befahren werden.

Zur Prüfung der richtigen Lage der Zungen sind die Weichenantriebe teilweise mit Zungenprüfern ausgestattet.

In größeren Bahnhöfen in Systemen, bei denen die Weichensteuerung von Stellwerken aus erfolgt, werden die Weichen, die der Zug bei der Einfahrt befahren muss, um auf das vorgesehene Gleis zu gelangen, oder bei der Ausfahrt, um das für die Weiterfahrt vorgesehene Streckengleis zu erreichen, zusammenwirkend so gestellt, dass jeweils alle Weichen gemeinsam eine „Fahrstraße“ bilden.

Auffahren von Weichen

Das unplanmäßige „stumpfe“ Befahren einer Weiche bei für die betreffende Relation falscher Stellung der Zungen soll weder eine Entgleisung des Fahrzeugs noch eine Beschädigung der Weiche (speziell: der Zungenvorrichtung) oder des Verschlusses zur Folge haben. Dies kann durch die „Auffahrbarkeit“ der Weiche erreicht werden: Die falsche Lage der Zungen wird durch das vom Herzstück her in den Zungenbereich der Weiche einfahrende Fahrzeug aufgehoben, wobei das Umstellen der Zungen in die richtige Lage durch die von den Rädern auf die abliegende Zunge ausgeübte horizontale Kraft ausgelöst wird. Der Weichenverschluss muss der Bewegung der Zungen schadlos folgen können. Bei Straßenbahnen ist das „stumpf“ Befahren von „falsch“ stehenden Zungen im Regelfall üblich und deshalb werden derartige Weichen auch nur mit Handumstellvorrichtungen ausgestattet und die Zungen werden in der Endlage nicht festgelegt.

Bei planmäßigem stumpfen Befahren von Weichen können Rückfallweichen eingesetzt werden. Eine Rückfallweiche bringt die Weiche jedes Mal, wenn sie von einer Radachse aufgeschnitten worden ist, in den Grundzustand zurück. Um dieses Zurückfallen der Zungen aus Geräusch- und Verschleißgründen zu verlangsamen, kann es hydraulisch gebremst werden.

Sicherheit an Weichen

Zungenbereich

Um Weichen problemlos und sicher befahren zu können, sind u. a. folgende Grundregeln zu beachten:

□ Die Zungen müssen sich jeweils in der planmäßigen Endlage befinden; es dürfen keine Halbstellungen auftreten.

□ Die anliegende Zunge muss an der zugehörigen Backenschiene anliegen. Ein eventuell auftretender Spalt, in den der Spurkranz eines Rades hineingeraten könnte („Klaffen“ der Zunge), darf eine definierte Größe (z. B. 3 mm) nicht überschreiten.

□ Die abliegende Zunge muss ausreichenden Abstand von der zugehörigen Backenschiene haben, damit der freie Raddurchlauf sichergestellt ist. Es darf nicht dazu kommen, dass ein Rad gegen die Zungenspitze fährt oder sein Spurkranz auf die eigentlich abliegende Zunge gerät.

□ Die Zungen müssen während der Überfahrt eines Fahrzeugs in ihrer planmäßigen Stellung festgehalten sein; sie dürfen sich unter dem Fahrzeug nicht in eine andere Lage bewegen können und auch nicht umstellen lassen. Wenn dies bei Straßenbahnen nicht gewährleistet werden kann, dann darf die Fahrgeschwindigkeit nicht schneller als 15 km/h betragen.

□ Die Zungen müssen gleichmäßig auf den Gleitstuhl bzw. Gleitplatten aufliegen.

□ Die Höhendifferenz zwischen Zunge und Backenschiene darf ein bestimmtes, von der Spurführungsgometrie abhängiges Maß nicht übersteigen.

□ Die Räder dürfen nicht auf die Zungen aufsteigen oder aufklettern.

Spurführungstechnisch wichtige Maße und Anforderungen im Herzstückbereich

Damit die Weichen spurführungstechnisch sicher befahren werden können,

Notbefahrbarkeit (Bild 3.5/8 a) sowie sogar mit Befahrbarkeit durch Busse (Bilder 3.5/8 b und c) realisieren.

Die Lösung ist einfach und preiswert. Sie ist vor allem auch nachträglich realisierbar und kann unter Betrieb ohne Streckensperrungen durchgeführt werden. Allerdings müssen bei notwendigen Stopfarbeiten die zusätzlichen Einbauten für die Begrünung im jeweiligen Bereich entfernt werden. Mit Hilfe des Geotextils/der Folie ist jedoch eine flä-

chige Aufnahme und Wiederverlegung möglich [3/43 e].

Bei der Begrünung eines klassischen Schotteroberbaues mit speziell geformten (zur Erreichung der Vegetationshöhe) Stahlbetonquerschwellen wurden in Bremen Vegetationsmatten mit zusätzlicher Armierung eingesetzt. Diese können bei später notwendigen Stopfarbeiten aufgerollt, abgelegt und nach Abschluss der Arbeiten wieder eingebaut werden.

Es hat sich jedoch als sinnvoll erwiesen, die erste Begrünung erst nach dem 2. Stopfgang (etwa ein halbes Jahr nach Inbetriebnahme des Schienenfahrweges) vorzunehmen, wenn das Gleisbett eine ausreichende Stabilität aufweist [3/44 f].

Grünes Gleis bei Fester Fahrbahn

Grundregel

Hierbei können praktisch alle Varianten der Festen Fahrbahn zur Anwendung kommen, die in dem besonderen Unterkapitel „Feste Fahrbahn“ dargestellt worden sind. Dabei sollte allerdings systemunabhängig eine Grundregel beachtet werden: Dauerhafte Feuchtigkeit unter dem Begrünungssystem kann zur Absenkung des pH-Wertes und dadurch langfristig zur Zerstörung der Betonoberflächen der Festen Fahrbahn führen [3/44 h]. Es ist deshalb zu empfehlen, bei derartigen Gegebenheiten als Säureschutz für den Beton der FF zunächst ein Geotextil oder eine Folie auszulegen und darauf dann das Begrünungssystem anzuordnen.

In der Praxis in Deutschland lassen sich die folgenden Formen des Grünen Gleises bei Fester Fahrbahn zusammenfassen (s. auch Tabelle 3.5/4).

Grünes Gleis auf FF aus Ortbetonkonstruktionen

Bei den Lösungen mit Ortbetonplatten steht bei tief liegender Vegetationsebene nur wenig Höhe für die Begrünung zur Verfügung (s. z. B. Bild 3.4/13 b in Kap. 3.4). Es kommen daher nur Vegetationsmatten in Betracht. Bei hoch liegender Vegetationsebene kann demgegenüber der gesamte Bereich zwischen den Schienen für eine Wachstumsschicht von 10 bis 15 cm Höhe genutzt werden. Dabei werden der Beton mit einem Geotextil und die Schienen mit Schienenkammer-Füllprofilen geschützt. Auf der

Tabelle 3.5/4: Lösungen für das Grüne Gleis in Verbindung mit Fester Fahrbahn

Grundprinzip	Bauarten FF	Ausführung der Begrünung
Grünes Gleis auf FF aus Ortbetonkonstruktionen	Ortbetonplatte	Wachstumsschicht auf Vlies zwischen den Gleisen; darauf beliebiges Vegetationssystem. Bei tief liegender Lösung: Vegetationsmatten
	Ortbetonlängsbalken	Wachstumsschicht zwischen Betonlängsbalken; darauf beliebig gewähltes Vegetationssystem
	INFUNDO LR-MTP	Wachstumsschicht zwischen den Gleiströgen; darauf beliebig gewähltes Vegetationssystem
	BES	Ausführung nur mit hoch liegender Vegetationsebene und Vegetationsmatten
Grünes Gleis auf FF aus Stahlbeton-Fertigteilen mit Ortbetonergänzungen („eingelagerte Systeme“)	Freiburg	Wachstumsschicht zwischen Betonlängsbalken; darauf beliebig gewähltes Vegetationssystem
	Rheda-City	Wachstumsschicht auf Vlies zwischen den Gleisen; darauf beliebiges Vegetationssystem. Bei tief liegender Lösung: Vegetationsmatten
	INPLACE	Bei Längsbalken wie Freiburg; bei Lösung mit Ortbetonplatten sehr niedrige Wachstumsschicht: daher Vegetationsmatten
	Bremen	Wegen niedriger Höhe der Wachstumsschicht oberhalb der Schwellen kommen vorzugsweise Vegetationsmatten oder Rollrasen in Betracht
	INFUNDO LR-HFT	Gleistrog wird mit Wachstumsschicht aufgefüllt; darauf beliebig gewähltes Vegetationssystem.
Grünes Gleis auf FF aus Stahlbeton-Fertigteilen („aufgelagerte Systeme“)	Stahlbeton-Fertigteil-Längsbalken	Wachstumsschicht zwischen den Fertigteil-Längsbalken; darauf beliebig gewähltes Vegetationssystem
	Stahlbeton-Fertigteil-Gleisroste	Wachstumsschicht in Gleisrostrog einfüllen; darauf beliebig gewähltes Vegetationssystem
	ATD-G	Zwischen Asphalttschicht und Zweiblock-Schwellen Wachstumsschicht einfüllen; darauf beliebig gewähltes Vegetationssystem
	Getrac	Wegen niedriger Höhe oberhalb der Spannbeton-Schwellen vorzugsweise Vegetationsmatten
	BTD	Wegen niedriger Höhe oberhalb der Spannbeton-Schwellen vorzugsweise Vegetationsmatten

Sicherheitsaspekte bei Bau und Instandhaltung von Schienenfahrwegen

6.1 Arbeitsschutzbestimmungen

Unter dem Begriff „Arbeitsschutz“ werden Maßnahmen zur Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten bei der Arbeit verstanden, die aus einer umfassenden Sicht zur Verhütung von Arbeitsunfällen, Berufskrankheiten und arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren dienen.

Der Erlass der dafür erforderlichen Arbeitsschutzgesetze und -Verordnungen sowie der entsprechenden Unfallverhütungsvorschriften erfolgt in der Bundesrepublik Deutschland in einem dualen Arbeitsschutzsystem: durch den Staat und durch die gesetzlichen Unfallversicherungsträger.

Staatliche Arbeitsschutzbestimmungen

Die Arbeitsschutzbestimmungen des Bundes gliedern sich in Gesetze, zugehörige Verordnungen, Allgemeine Verwaltungsvorschriften, Richtlinien und weitere Technische Regeln.

Nachfolgend sollen die im Zusammenhang mit dem Verkehrswegebau wichtigsten Arbeitsschutzbestimmungen des Bundes aufgezeigt werden.

Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG)

Das Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) [1.2/18] dient dazu, die Sicherheit und den Gesundheitsschutz der Beschäftigten bei der Arbeit durch Maßnahmen des Arbeitsschutzes zu sichern. Es regelt für alle Tätigkeitsbereiche:

- Allgemeine Grundsätze bei der Planung und Bauausführung,
- die grundlegenden Pflichten des Arbeitgebers,
- die Pflichten und Rechte der Beschäftigten,
- die Überwachung des Arbeitsschutzes nach diesem Gesetz durch staatliche Behörden.

Im § 4 des ArbSchG sind „Allgemeine Grundsätze“ dargestellt (Bild 6.1/1), nach denen die Planung und die Aus-

führung eines Bauvorhabens im Hinblick auf Sicherheit und Gesundheit zu erfolgen hat.

Diese Grundsätze sind bei der Ermittlung sowie bei der Festlegung der erforderlichen Maßnahmen des Arbeitsschutzes, ihrer Durchführung und der Kontrolle ihrer Wirksamkeit zu berücksichtigen.

Ziel ist es, durch eine integrative Berücksichtigung dieser Grundsätze Sicherheits- und Gesundheitsrisiken vorausschauend zu vermeiden bzw. zu minimieren und frühzeitig Maßnahmen mit einer möglichst großen Reichweite und Wirksamkeit zu ergreifen.

Dies erfordert in sämtlichen Phasen der Planung und der Ausführung einer Baumaßnahme eine Abschätzung, ob durch die vorgesehenen Planungen Risiken für Sicherheit und Gesundheit bei der Ausführung des Bauvorhabens entstehen können und wie die Planungen ggf. zur Vermeidung bzw.

Safety considerations when constructing and maintaining railway tracks

Health and safety provisions

6.1

The term 'health and safety' includes a comprehensive set of measures designed to ensure the health and safety of employees by preventing industrial accidents, occupational diseases and job-related health hazards.

In Germany, the requisite occupational health and safety laws and ordinances and corresponding accident prevention regulations are promulgated under a dual system: the former by the State, and the latter by statutory accident insurers.

Federal occupational health and safety provisions

The provisions adopted by the federal government are divided into laws, associated ordinances, general administrative provisions, guidelines, and additional technical rules.

The key provisions relating to the construction of transport infrastructure are touched on below.

Protection of Labour Act (ArbSchG)

The Protection of Labour Act (ArbSchG) [1.2/18] serves to guarantee employees' protection at work through occupational health and safety measures. For all areas of activity it regulates the following:

- general principles at the planning and construction stages;
- the basic obligations of employers;
- the rights and obligations of employees;
- the monitoring of the law's occupational health and safety provisions by government agencies.

Article 4 ArbSchG sets out some general principles (see Fig. 6.1/1) and stipulates that construction projects have to be planned and executed with due consideration of health and safety factors.

These principles must be taken into account when identifying and defining

the necessary health and safety measures, implementing them, and monitoring their effectiveness.

The objective is to be proactive and avoid or minimise health and safety risks through integrated consideration of the requisite principles, and also adopt the broadest and most effective measures at the earliest possible stage.

A prerequisite for this is the assessment at all stages during the planning and execution of a construction project of whether the proposed plans could create health and safety risks during the project's implementation and consideration of how the plans can be optimised, if necessary, to avoid or reduce any such dangers (risk analysis).

Article 15 (1) specifies that employees must participate as much as they can. They must also take steps to safeguard the health and safety of those