

Lothar Fendrich (Hrsg.)

# Handbuch **Eisenbahninfrastruktur**

Lothar Fendrich (Hrsg.)

**Handbuch Eisenbahninfrastruktur**

Lothar Fendrich (Hrsg.)

# Handbuch **Eisenbahninfrastruktur**

mit 900 Abbildungen

 Springer

Professor Dr.-Ing. Lothar Fendrich (Hrsg.)  
SPITZKE AG  
Märkische Allee 39/41  
14979 Großbeeren

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

ISBN-10 3-540-29581-X Berlin Heidelberg New York  
ISBN-13 978-3-540-29581-5 Berlin Heidelberg New York

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funk- sendung, der Mikroverfilmung oder Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Ver- vielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Springer ist ein Unternehmen von Springer Science+Business Media  
[springer.de](http://springer.de)

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2007  
Printed in Germany

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Buch be- rechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jeder- mann benutzt werden dürften. Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für die Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

Umschlaggestaltung: medionet AG, Berlin  
Satz: medionet AG, Berlin

Gedruckt auf säurefreiem Papier 68/3020/m - 5 4 3 2 1 0

# Préface d'un Collègue et Ami

(Übersetzung aus dem Französischen durch den Herausgeber)

Le chemin de fer, conçu il y a deux siècles pour le transport de masse des personnes et des marchandises est certainement promis à un bel avenir de développement compte tenu de la croissance de l'urbanisation et de la mondialisation des échanges. Ce développement porte sur trois axes:

- entre agglomérations (la grande vitesse)
- autour et dans les agglomérations (RER et métros)
- entre les centres logistiques marchandises.

Cette mutation, à la fois stratégique, technologique et économique se manifeste clairement depuis une trentaine d'années: c'est un véritable renouveau du chemin de fer.

Ainsi, la transition lente mais certaine, entre le chemin de fer traditionnel et celui qui est développé aujourd'hui ne fait que s'accélérer car elle est basée sur une vision à long terme, guidée et soutenue, non seulement par l'Union Européenne mais par tous les pays émergents. La voie est donc tracée afin que le chemin de fer reprenne une place significative dans la répartition modale des voyageurs et du fret, constituant ainsi un véritable moteur de l'économie.

Cet ouvrage multi auteurs, faisant le point sur l'état de l'art et des techniques ferroviaires modernes pour l'infrastructure, est une contribution très importante aussi bien pour la formation que pour l'ingénierie ferroviaire.

Je félicite mon Collègue et Ami, Prof. Dr.-Ing. Lothar Fendrich, ainsi que tous les auteurs pour cet important travail qui contribuera aux objectifs de mobilité durable des sociétés modernes.

## Geleitwort eines Kollegen und Freundes

Die Eisenbahn wurde vor zwei Jahrhunderten für den Massentransport von Personen und Gütern konzipiert. Angesichts des Wachstums der urbanen Strukturen und der Globalisierung des Warenaustausches hat sie ohne jeglichen Zweifel noch erhebliches Entwicklungspotenzial. Die Entwicklung weist in drei Richtungen, nämlich

- Hochgeschwindigkeit zwischen den großen Ballungsgebieten,
- Nahverkehrssysteme um und in Ballungsgebieten,
- Güterverkehrsverbindungen zwischen den Logistikzentren.

Dieser sowohl technologische und ökonomische als auch strategische Wandel zeichnet sich klar seit etwa dreißig Jahren ab und führt zu einer ganz neuen Eisenbahn.

Der allmähliche, aber nachhaltige Übergang von der traditionellen Eisenbahn zu dem heutigen Entwicklungsstand wird geleitet und beschleunigt durch eine langfristige Vision, die nicht nur von der Europäischen Union, sondern von allen aufstrebenden

benden Ländern getragen wird. Der Weg ist also vorgezeichnet, durch den die Eisenbahn wieder einen bedeutenden Anteil am Güter- und Personenverkehr gewinnen und somit einen echten Motor der Volkswirtschaften darstellen kann.

Das vorliegende Gemeinschaftswerk vieler Autoren, das den neuesten Stand moderner Eisenbahninfrastruktur umfassend darstellt, ist ein sehr wichtiger Beitrag sowohl für die Ingenieuraus- und -weiterbildung als auch für die Anwendung im Eisenbahningenieurwesen.

Ich beglückwünsche meinen Kollegen und Freund Prof. Dr.-Ing. Lothar Fendrich sowie alle Autoren zu diesem gewichtigen Werk, das den Zielen einer nachhaltigen Mobilität unserer modernen Gesellschaft dient.

Lausanne, Septembre 2006

*Prof. Dr.-Ing. Robert E. Rivier*  
École Polytechnique Fédérale de Lausanne – EPFL  
Directeur du Laboratoire d'Intermodalité des Transports  
et de Planification – LITEP

# Vorwort

Mit diesem Handbuch wird eine fachübergreifende Darstellung der wesentlichen geltenden Parameter für Bau, Ausbau sowie Instandhaltung und Betrieb von Eisenbahninfrastruktur vorgelegt. Dies entspricht dem dringenden Bedarf nach einem umfassenden, detailreichen und praxisgerechten Nachschlagewerk neueren Datums für Ingenieure der verschiedenen Fachrichtungen im Bereich der Eisenbahninfrastruktur.

Das 1961 von Prof. Dr.-Ing. Ewald Graßmann, Berlin, herausgegebene Handbuch des Eisenbahn-Bauwesens erfüllt heutige Anforderungen nicht mehr. In der Zwischenzeit ist eine Fülle von Fachbüchern erschienen, die sich jeweils nur einem Bereich des Eisenbahnwesens widmen.

Das aktuelle Werk wendet sich an den praktisch tätigen und planenden Ingenieur und auch an Studierende. Es will die technischen und operativen Grundlagen und Zusammenhänge der Eisenbahninfrastruktur in Maß und Zahl darstellen. Der Nutzer soll nicht durch ausufernde Prosatexte ermüdet werden, sondern durch eine knappe, aber fakten- und detailreiche Darstellung einen schnellen Zugriff auf das gesuchte Wissensgebiet respektive auf die nachzuschlagenden Einzelheiten erhalten.

Zugleich sollen die Komplexität und die Verzahnung der Ingenieurdisziplinen der Eisenbahninfrastruktur vermittelt werden, wobei theoretische Grundlagen mit praktischen Erfahrungen verbunden werden. Im Einzelnen werden anerkannte Verfahren und Berechnungen sowie ein umfangreiches Datenwerk mit Bildern, Zahlen, Tabellen und Diagrammen, nach denen man heute unter Zeitdruck meist vergeblich in den verschiedensten Einzelpublikationen sucht, an die Hand gegeben. Der in der Regel in seinem engeren Fachgebiet kundige Leser soll über dieses hinaus gerade in den Kapiteln der anderen Gewerke der Eisenbahninfrastruktur auf umfassende Darstellungen zurückgreifen können, die ihm fundierten Erkenntniszugewinn für seine Arbeit an den vielfältigen Schnittstellen bieten. Insofern ist das Werk auch für Studierende gedacht, die sich mit den Besonderheiten des Systems Schiene vertraut machen wollen.

Inhaltlich orientiert es sich an den „Technischen Spezifikationen für die Interoperabilität (TSI)“, welche die Teilsysteme Infrastruktur, Energieversorgung, Zugsteuerung–Zugsicherung–Signalgebung, Fahrzeuge, Instandhaltung, Betrieb, Umwelt und Fahrgäste ausweist. Bereits in der Gliederung kommt das Grundanliegen zum Ausdruck: die Darstellung der für das System Schiene und damit auch für die Eisenbahninfrastruktur charakteristischen Verbundwirkungen und technischen Integrationen.

Im Gliederungs- und auch inhaltlichen Mittelpunkt steht die Interaktion Rad/Schiene respektive Fahrzeug/Gleis, um die sich die systemischen Wechselwirkungen Pantograph/Oberleitung und Fahrzeug/Trassierung mit Lichtraum sowie Eisenbahninfrastruktur insgesamt/Umfeld-Umwelt gruppieren.

Darüber hinaus wurde Wert darauf gelegt, auch Fachgebiete angemessen darzustellen, die nicht immer im unmittelbaren Blickfeld des Interesses an Eisenbahninfrastruktur stehen, wie die Stromversorgungsanlagen der Infrastruktur, das Lernen aus Schadensfällen des Baugrundes, Kabelanlagen, Funktionale Sicherheit fester Anlagen, Anforderungen an die eisenbahnbetriebliche Kommunikation.

Als Autoren konnten 31 anerkannte Fachleute aus Deutschland und Österreich gewonnen werden. Naturgemäß ergeben sich durch die Vielzahl der Autoren aus den verschiedenen Fachgebieten unterschiedliche Sicht- und Darstellungsweisen. Es ist mir wichtig festzustellen, dass die Individualität der jeweiligen Autoren nicht eingeeengt wurde, sondern im Gegenteil die inhaltlichen Schwerpunkte, die die Autoren gesetzt haben, deutlich blieben.

Bei der Bearbeitung der einzelnen Kapitel wurde den Autoren auch deshalb große individuelle Gestaltungsfreiheit eingeräumt, um eine lehrbuchhafte Attitude zu vermeiden und stattdessen dem jeweiligen individuellen Erfahrungs- und Erkenntnis-schatz des Bearbeiters Vorrang zu geben.

An erster Stelle gilt mein herzlichster Dank allen Autoren, die sich von Anfang an bereitwillig, ja enthusiastisch für dieses Gemeinschaftswerk engagiert haben und auch in der terminengen Schlussphase nicht nachließen.

Mein Dank gilt Herrn Dipl.-Ing. Thomas Lehnert vom Springer-Verlag, der den Anstoß zu diesem Handbuch gab und sein Werden umsichtig begleitete und förderte. Ein besonderer Dank gebührt Frau Sigrid Cuneus von der Redaktion Technik des Springer-Verlages, die die Herausforderungen von Autorenviefalt und Detailteufeln vorbildlich gemeistert hat.

Möge dieses Handbuch Eisenbahninfrastruktur viele Leser und Nutzer finden, und zwar nicht nur in den deutschsprachigen DACH-Staaten, sondern insbesondere auch in den neuen und künftigen Mitgliedsländern der Europäischen Union.

Berlin, im September 2006

*Lothar Fendrich*



# Inhalt

Autorenverzeichnis . . . . .	XXI
------------------------------	-----

<b>1</b>	<b>Trassierung und Gleisplangestaltung . . . . .</b>	<b>1</b>
----------	--	----------

*Manfred Weigend*

<b>1.1</b>	<b>Längsneigung der Eisenbahn . . . . .</b>	<b>1</b>
1.1.1	Längsneigung der Streckengleise . . . . .	1
1.1.2	Längsneigung in Bahnhöfen . . . . .	3
1.1.3	Ausrundungen in der Längsneigung . . . . .	3
<b>1.2</b>	<b>Allgemeine Regeln der Linienführung im Grundriss . . . . .</b>	<b>4</b>
1.2.1	Grundregel für durchgehende Hauptgleise . . . . .	4
1.2.2	Grundregel für die übrigen Haupt- und Nebengleise . . . . .	5
<b>1.3</b>	<b>Elemente der Linienführung im Kreisbogen . . . . .</b>	<b>5</b>
1.3.1	Radius, Überhöhung und Geschwindigkeit . . . . .	5
1.3.2	Größe der Überhöhung. . . . .	7
1.3.3	Der Überhöhungsfehlbetrag . . . . .	8
1.3.4	Die Regelüberhöhung. . . . .	10
1.3.5	Wahl der Bogenradien . . . . .	10
1.3.6	Längen der Kreisbögen und Geraden . . . . .	11
1.3.7	Gleisverziehungen. . . . .	11
<b>1.4</b>	<b>Übergangsbogen und Überhöhungsrampe . . . . .</b>	<b>12</b>
1.4.1	Die Klothoide mit gerader Überhöhungsrampe . . . . .	12
1.4.2	Übergangsbogen- und Rampenlänge . . . . .	15
1.4.3	Der Übergangsbogen mit geschwungener Rampe. . . . .	16
<b>1.5</b>	<b>Der Bogen ohne Übergangsbogen . . . . .</b>	<b>18</b>
1.5.1	Krümmungswechsel und Vergleichsradius. . . . .	18
1.5.2	Längen der Zwischengeraden oder Zwischenbögen . . . . .	20
1.5.3	Gegenbogen mit kleinen Radien . . . . .	21
<b>1.6</b>	<b>Entwurf der Spurpläne . . . . .</b>	<b>22</b>
1.6.1	Wahl und Anordnung der Weichen . . . . .	22
1.6.2	Die Weiche als Spurplanelement . . . . .	23
<b>1.7</b>	<b>Optimierung vorhandener Anlagen . . . . .</b>	<b>31</b>
1.7.1	Maßnahmen zur Fahrzeitverkürzung. . . . .	31
1.7.2	Linienkorrekturen. . . . .	31
1.7.3	Einsatz von Neigetechnikfahrzeugen . . . . .	32
	Anhang. . . . .	34

<b>2</b>	<b>Querschnittsgestaltung der Bahnanlagen . . . . .</b>	<b>43</b>
	<i>Walter Mittmann</i>	
<b>2.1</b>	<b>Fahrzeuggrenzung und Lichtraumprofil . . . . .</b>	<b>43</b>
<b>2.2</b>	<b>Elemente des Streckenquerschnitts . . . . .</b>	<b>46</b>
2.2.1	Lichter Raum . . . . .	46
2.2.2	Gleisabstand . . . . .	50
2.2.3	Fahrbahnbreite . . . . .	53
2.2.4	Abstand fester Anlagen von Gleismitte . . . . .	55
2.2.5	Lichte Weite und Höhe unter Überführungsbauwerken . . . . .	57
<b>2.3</b>	<b>Streckenquerschnitt der freien Strecke . . . . .</b>	<b>58</b>
2.3.1	Streckenquerschnitt auf Erdkörpern . . . . .	58
2.3.2	Streckenquerschnitt auf Brücken und in Tunneln . . . . .	58
<b>2.4</b>	<b>Abstände in Gleisanlagen mit Arbeitsstätten und Verkehrswegen . . . . .</b>	<b>60</b>
<b>2.5</b>	<b>Parallelführung von Schienenweg und Straße . . . . .</b>	<b>63</b>
<b>2.6</b>	<b>Bahnsteiganlagen . . . . .</b>	<b>64</b>
2.6.1	Grundsätze für die Konzeption und Gestaltung . . . . .	64
2.6.2	Abmessungen . . . . .	66
2.6.3	Konstruktionssysteme . . . . .	69
2.6.4	Sicherheitselemente . . . . .	69
<b>3</b>	<b>Eisenbahndämme und Einschnitte . . . . .</b>	<b>75</b>
	<i>Horst Rahn</i>	
<b>3.1</b>	<b>Einführung . . . . .</b>	<b>75</b>
<b>3.2</b>	<b>Baugrundtechnische Bewertung der Erdbauwerke und des Baugrundes . . . . .</b>	<b>77</b>
3.2.1	Geologische, hydrologische Situation, Einfluss aus der Verwitterung . . . . .	79
3.2.2	Umweltschäden . . . . .	82
3.2.3	Aufschluss des Baugrundes . . . . .	86
3.2.4	Baugrundgutachten/geotechnischer Bericht . . . . .	88
<b>3.3</b>	<b>Gründung von Erdbauwerken auf tragfähigem Baugrund . . . . .</b>	<b>89</b>
3.3.1	Oberbodenabtrag und Untergrundplanum . . . . .	91
3.3.2	Dammaufbau . . . . .	93
3.3.3	Aushub tiefer Baugruben mit Unterwasserbaggerung/ Saugwirkung . . . . .	142
<b>3.4</b>	<b>Gründung von Erdbauwerken auf wenig tragfähigem Baugrund .</b>	<b>145</b>
3.4.1	Allgemeine Grundlagen bei der Bewertung der Bahndämme auf wenig tragfähigem Baugrund . . . . .	145
3.4.2	Die Entstehung der Moore und die bautechnische Nutzung in ihrer Eigenschaften . . . . .	146
3.4.3	Besonderheiten der Erkundung und Baugrundbeurteilung . . . . .	149

3.4.4	Überschütten von Moorflächen mit einer Arbeits- und Filterschicht . . . . .	152
3.4.5	Analyse der Schäden schwimmend gegründeter Bahndämme. . . . .	156
3.4.6	Wahl der Sanierungs- und Ertüchtigungsmethode bei Arbeiten an in Betrieb befindlichen Bahndämmen auf weichem Untergrund . . . . .	167
<b>4</b>	<b>Ingenieurbauwerke. . . . .</b>	<b>215</b>
	<i>Manfred Curbach, Dirk Jesse</i>	
<b>4.1</b>	<b>Eisenbahnbrücken . . . . .</b>	<b>215</b>
4.1.1	Zur Geschichte . . . . .	215
4.1.2	Allgemeines . . . . .	216
4.1.3	Regelwerk für die Planung von Eisenbahnbrücken . . . . .	217
4.1.4	Neubau von Bahnbrücken . . . . .	224
4.1.5	Instandhaltung und Instandsetzung . . . . .	231
4.1.6	Beispiele . . . . .	234
<b>4.2</b>	<b>Eisenbahntunnel . . . . .</b>	<b>237</b>
4.2.1	Allgemeines . . . . .	237
4.2.2	Zur Geschichte . . . . .	238
4.2.3	Regelwerk der DB AG für die Planung von Eisenbahntunneln . . . . .	238
4.2.4	Tunnelbauverfahren . . . . .	243
4.2.5	Beispiele . . . . .	247
<b>5</b>	<b>Beanspruchung von Gleisen und Weichen. . . . .</b>	<b>253</b>
	<i>Johannes Franz</i>	
<b>5.1</b>	<b>Verkehrslasten auf Gleisen . . . . .</b>	<b>253</b>
5.1.1	Vertikallasten – charakteristische Werte (statische Anteile) . . . . .	253
5.1.2	Vertikallasten – dynamische Einwirkungen . . . . .	254
5.1.3	Vertikallasten – Radlastverlagerung. . . . .	255
5.1.4	Vertikallasten auf Betonschwellen und weitere Lastannahmen für ihre Bemessung . . . . .	255
5.1.5	Horizontallasten – charakteristische Werte . . . . .	256
5.1.6	Lastangriff der Kräfte Q und Y am Schienenkopf . . . . .	256
5.1.7	Längsgerichtete Einwirkungen. . . . .	256
<b>5.2</b>	<b>Die Schiene als elastisch gelagerter Längsträger. . . . .</b>	<b>257</b>
5.2.1	Bettungszahl C beim Schotteroberbau . . . . .	257
5.2.2	Bettungszahl C und Längsträgerbreite b bei der Festen Fahrbahn. . . . .	259
5.2.3	Stützpunktsteifigkeit c beim Schotteroberbau . . . . .	260
5.2.4	Elastisch gelagerter Längsträger unter vertikaler Belastung . . . . .	260
5.2.5	Dynamische Wirkungen am elastisch gelagerten Längsträger unter vertikaler Belastung . . . . .	263
5.2.6	Elastisch gelagerter Längsträger unter vertikal exzentrischer und horizontaler Belastung . . . . .	270

<b>5.3</b>	<b>Rad-Schiene-Kontaktspannungen . . . . .</b>	<b>277</b>
5.3.1	Örtliche Pressungen aus dem Rollkontakt zwischen Rad und Schiene . . . . .	277
5.3.2	Schubbeanspruchung im Inneren des Schienenkopfes . . . . .	278
5.3.3	Zulässige Schubspannungen . . . . .	281
5.3.4	Weiterführende Untersuchungen . . . . .	282
<b>5.4</b>	<b>Schienenspannungen und Längenänderungen der Schienen aus Temperatureinwirkungen . . . . .</b>	<b>282</b>
5.4.1	Längsverschiebe- und Durchschubwiderstand. . . . .	282
5.4.2	Verschiebung der reibungsgelagerten Schiene durch Temperaturänderungen im lückenlosen Gleis . . . . .	285
5.4.3	Temperatursprung . . . . .	285
5.4.4	Stetige Temperaturänderung. . . . .	286
5.4.5	Einkoppeln von Längskräften bzw. Schienenspannungen in die Schienen des lückenlosen Gleises bei einteiligen Tragwerken und bei Trägerketten . . . . .	288
5.4.6	Größe der gleichmäßigen Schienenlängskräfte und Schienenspannungen im lückenlosen Gleis bei extremen Schienentemperaturen . . . . .	291
<b>5.5</b>	<b>Dauerfestigkeitsnachweis für die Biegezugspannung in Schienenfußmitte . . . . .</b>	<b>291</b>
<b>5.6</b>	<b>Vertikalspannungen in Schotter, Schutzschicht und Untergrund . . . . .</b>	<b>293</b>
5.6.1	Spannungsverlauf im Mehrschichtsystem Schotter/Schutzschicht/ Untergrund . . . . .	293
5.6.2	Äquivalente Ersatzdicken für Mehrschichtsysteme Schotter/Schutz- schicht/Untergrund mit unterschiedlichen E-Modulen des Untergrundes . . . . .	295
<b>5.7</b>	<b>Gleislagestabilität . . . . .</b>	<b>296</b>
5.7.1	Stabiler und gestörter Gleichgewichtszustand . . . . .	296
5.7.2	Biege- und Verdrehwiderstand der Schienen, Verdrehwiderstand und Ersatzträgheitsmoment . . . . .	296
5.7.3	Querverschiebewiderstand und Gleisverschiebewiderstand . . . . .	297
5.7.4	Berechnung der Lagestabilität des lückenlosen Gleises nach der Energiemethode . . . . .	300
5.7.5	Bogenatmung . . . . .	304
<b>6</b>	<b>Schienen und Schienenschweißen. . . . .</b>	<b>309</b>
	<i>Heinrich Köstermann und Klaus Meißner</i>	
<b>6.1</b>	<b>Schienenwerkstoff und Schienenprofile. . . . .</b>	<b>309</b>
6.1.1	Stahl als Baustoff, Schienenstahl als individueller Werkstoff . . . . .	309
6.1.2	Die Aufgaben der Schiene . . . . .	309
6.1.3	Eigenschaften des Schienenstahls . . . . .	310
6.1.4	Das Gefüge des Schienenstahls . . . . .	313
6.1.5	Schienenherstellung. . . . .	314
6.1.6	Schienenformen (Schienenprofile) . . . . .	314

6.1.7	Walzlängen, Walz- und Prägezeichen . . . . .	315
6.1.8	Verwendung und Verschleißbeanspruchung von Schienen . . . . .	316
<b>6.2</b>	<b>Schienenschweißen. . . . .</b>	<b>317</b>
6.2.1	Allgemeines . . . . .	317
6.2.2	Abbrennstumpfschweißen . . . . .	318
6.2.3	Gaspressschweißen . . . . .	322
6.2.4	Aluminothermisches Gießschmelzschweißen von Schienen . . . . .	323
6.2.5	Lichtbogenschweißen von Schienen . . . . .	324
<b>6.3</b>	<b>Schienenschleifen. . . . .</b>	<b>325</b>
6.3.1	Allgemeines . . . . .	325
6.3.2	Neuschienenschleifen. . . . .	326
6.3.3	Schleifen von Schweißungen. . . . .	326
<b>6.4</b>	<b>Fehler und Schäden an Schienen und Schienenschweißungen. . .</b>	<b>326</b>
6.4.1	Allgemeines . . . . .	326
6.4.2	Schienenfehler, Übersicht . . . . .	327
6.4.3	Beschreibung der Schienenfehler . . . . .	327
<b>6.5</b>	<b>Prüfen, Messen und Bewerten von Schienen und Schienen-</b>	
	<b>schweißungen . . . . .</b>	<b>330</b>
6.5.1	Allgemeines . . . . .	330
6.5.2	Schienen . . . . .	330
6.5.3	Schweißungen . . . . .	331
6.5.4	Methoden der zerstörungsfreien Prüfung (ZfP) von Schienen. . . . .	333
<b>6.6</b>	<b>Herstellen lückenloser Gleise und Weichen . . . . .</b>	<b>333</b>
6.6.1	Allgemeines . . . . .	333
6.6.2	Durchführung des Spannungsausgleichs im Gleis. . . . .	335
6.6.3	Durchführung des Spannungsausgleichs in Weichen . . . . .	336
<b>7</b>	<b>Bahnübergänge . . . . .</b>	<b>339</b>
	<i>Erwin Böck</i>	
<b>7.1</b>	<b>Die Sicherung von Bahnübergängen (BÜ) . . . . .</b>	<b>339</b>
7.1.1	Die Sicherheit an BÜ . . . . .	339
7.1.2	Der Begriff des Sicherns von BÜ . . . . .	339
7.1.3	Möglichkeiten zur Sicherung von BÜ. . . . .	340
7.1.4	Gesetzliche Grundlagen zur Sicherung von BÜ . . . . .	340
7.1.5	Interne Regelungen der DB AG . . . . .	340
<b>7.2</b>	<b>Ausführung technischer Sicherungen . . . . .</b>	<b>342</b>
7.2.1	Anlagen zur technischen Sicherung. . . . .	342
7.2.2	Steuerung der Anlagen zur technischen Sicherung . . . . .	344
7.2.3	Überwachung der technischen Sicherungsanlagen . . . . .	345
7.2.4	Berechnungen zu Anlagen der technischen Sicherung . . . . .	346
<b>7.3</b>	<b>Ausführung nicht technischer Sicherungen . . . . .</b>	<b>347</b>
7.3.1	Sicherung durch die Übersicht . . . . .	347
7.3.2	Sicherung durch Pfeifen . . . . .	347

---

<b>7.4</b>	<b>Bautechnische Gestaltung des BÜ-Bereichs</b> . . . . .	<b>349</b>
7.4.1	Entwässerung . . . . .	349
7.4.2	Bauliche Gestaltung des Kreuzungsstücks . . . . .	350
<b>7.5</b>	<b>Verkehrstechnische Gestaltung des BÜ-Bereichs</b> . . . . .	<b>351</b>
7.5.1	Bereinigung und Umgestaltung des Kreuzungsbereichs . . . . .	351
7.5.2	Anpassen des Straßenverlaufs . . . . .	353
7.5.3	Beschilderung und Markierung der Zufahrten zu BÜ . . . . .	356
<b>8</b>	<b>Das Zusammenwirken von Rad und Schiene</b> . . . . .	<b>359</b>
	<i>Klaus Rießberger</i>	
<b>8.1</b>	<b>Einleitung</b> . . . . .	<b>359</b>
<b>8.2</b>	<b>Der Radsatz im Gleis.</b> . . . . .	<b>359</b>
8.2.1	Einführung. . . . .	359
8.2.2	Das Reibungsgesetz. . . . .	360
8.2.3	Äquivalente Konizität. . . . .	363
8.2.4	Rückstellsteifigkeit . . . . .	365
8.2.5	Einfluss der Spurweite auf $\lambda_e$ , $k_g$ . . . . .	365
8.2.6	Möglichkeiten der Einflussnahme . . . . .	366
8.2.7	Bewegungsgleichungen von Radsätzen . . . . .	366
<b>8.3</b>	<b>Das Drehgestell am Gleis</b> . . . . .	<b>368</b>
8.3.1	„Steife“ Konstruktion. . . . .	368
8.3.2	„Weiche“ Drehgestelle. . . . .	369
8.3.3	„Selbstlenkende“ und „Zwangsgesteuerte“ Drehgestelle . . . . .	369
8.3.4	Gleichungssysteme für Fahrzeuge. . . . .	370
<b>8.4</b>	<b>Stabilität</b> . . . . .	<b>373</b>
8.4.1	Kritische Geschwindigkeit . . . . .	373
8.4.2	Einflüsse auf die Laufstabilität . . . . .	376
<b>8.5</b>	<b>Bogenlauf</b> . . . . .	<b>378</b>
<b>8.6</b>	<b>Maßnahmen zur Unterstützung guter Rad-Schiene-Interaktion</b> .	<b>379</b>
<b>8.7</b>	<b>Beispiele und Erfahrungen</b> . . . . .	<b>380</b>
<b>8.8</b>	<b>Zusammenfassung</b> . . . . .	<b>383</b>
	<b>Anhang.</b> . . . . .	<b>385</b>
<b>9</b>	<b>Energieversorgung der elektrischen Bahnen</b> . . . . .	<b>395</b>
	<i>Bernd-Wolfgang Zweig</i>	
<b>9.1</b>	<b>Bahnstromsysteme</b> . . . . .	<b>395</b>
<b>9.2</b>	<b>Fahrleitungen</b> . . . . .	<b>399</b>
9.2.1	Oberleitungen . . . . .	399
9.2.2	Stromschienenoberleitung . . . . .	437
9.2.3	Stromschienen. . . . .	437

<b>9.3</b>	<b>Stromabnehmer</b> . . . . .	<b>446</b>
9.3.1	Stromabnehmer für Oberleitungen . . . . .	446
9.3.2	Seitenstromabnehmer bei Grubenbahnen . . . . .	453
9.3.3	Stromabnehmer für Stromschienen . . . . .	453
<b>9.4</b>	<b>Rückstromführung, Bahnerdung und Potenzialausgleich</b> . . . . .	<b>454</b>
9.4.1	Rückstromführung . . . . .	454
9.4.2	Bahnerdung . . . . .	456
<b>10</b>	<b>Stromversorgungsanlagen der Infrastruktur</b> . . . . .	<b>463</b>
	<i>Eberhard Hunger</i>	
<b>10.1</b>	<b>Vorbemerkungen</b> . . . . .	<b>463</b>
<b>10.2</b>	<b>Alternative Stromversorgungsanlagen der Infrastruktur</b> . . . . .	<b>463</b>
10.2.1	Allgemeines . . . . .	463
10.2.2	Energieverbraucher an Eisenbahnstrecken . . . . .	465
10.2.3	Energiequellen an Eisenbahnstrecken . . . . .	469
10.2.4	Speichermedien . . . . .	472
10.2.5	Anwendungsbeispiele aus dem Eisenbahnbereich . . . . .	475
10.2.6	Zusammenfassung . . . . .	483
<b>10.3</b>	<b>Elektrische Weichenheizanlagen</b> . . . . .	<b>484</b>
10.3.1	Allgemeines . . . . .	484
10.3.2	Energieeinspeisung . . . . .	485
10.3.3	Komponenten von elektrischen Weichenheizanlagen . . . . .	488
10.3.4	Schutzmaßnahmen . . . . .	495
10.3.5	Steuerung und Regelung . . . . .	499
10.3.6	Dokumentation . . . . .	504
<b>10.4</b>	<b>Energieversorgung für Tunnelsicherheitsausrüstung in Eisenbahntunneln</b> . . . . .	<b>505</b>
10.4.1	Allgemeines . . . . .	505
10.4.2	Elektrische Energieanlagen 50 Hz in Eisenbahntunneln . . . . .	508
10.4.3	Sonstige Rettungseinrichtungen . . . . .	515
<b>11</b>	<b>Kabelanlagen</b> . . . . .	<b>523</b>
	<i>Ralf Baumann</i>	
<b>11.1</b>	<b>Bauarten und Verwendung</b> . . . . .	<b>523</b>
11.1.1	Energiekabel und Leitungen . . . . .	526
11.1.2	Signal- und Nachrichtenkabel . . . . .	531
<b>11.2</b>	<b>Garnituren</b> . . . . .	<b>532</b>
11.2.1	Muffen und Verbinder . . . . .	533
11.2.2	Endverschlüsse . . . . .	534
<b>11.3</b>	<b>Planung</b> . . . . .	<b>535</b>
11.3.1	Trassenplanung . . . . .	535
11.3.2	Typenauswahl und Dimensionierung . . . . .	537
11.3.3	Lagepläne . . . . .	541
11.3.4	Führung, Befestigung und Schutz . . . . .	542

<b>11.4</b>	<b>Legung und Montage</b> . . . . .	<b>548</b>
11.4.1	Auslegen und Kennzeichnen. . . . .	548
11.4.2	Garniturenmontage. . . . .	552
11.4.3	Ab- und Inbetriebnahmeprüfungen . . . . .	552
11.4.4	Schlussvermessung und Dokumentation. . . . .	553
<b>11.5</b>	<b>Betrieb und Instandhaltung</b> . . . . .	<b>554</b>
11.5.1	Kabelüberwachung . . . . .	554
11.5.2	Instandhaltung . . . . .	554
<b>12</b>	<b>Betriebsführung der Infrastruktur</b> . . . . .	<b>559</b>
	<i>Jörn Pacht</i>	
<b>12.1</b>	<b>Grundbegriffe des Bahnbetriebes</b> . . . . .	<b>559</b>
12.1.1	Rechtsgrundlagen und Regelwerke . . . . .	559
12.1.2	Einteilung der Eisenbahnunternehmen. . . . .	560
12.1.3	Grundsätzliche Klassifizierung der Betriebsverfahren . . . . .	561
12.1.4	Einteilung der Betriebsstellen . . . . .	562
12.1.5	Durchführung von Fahrten auf einer Eisenbahninfrastruktur. . . . .	563
<b>12.2</b>	<b>Signalisierung am Fahrweg</b> . . . . .	<b>570</b>
12.2.1	Signalsysteme . . . . .	570
12.2.2	Verwendung der Signale . . . . .	575
<b>12.3</b>	<b>Flankenschutz der Fahrwege</b> . . . . .	<b>589</b>
<b>12.4</b>	<b>Bauen im Betrieb</b> . . . . .	<b>590</b>
12.4.1	Sicherung von Arbeitsstellen im Gleis . . . . .	590
12.4.2	Betriebliche Maßnahmen zur Durchführung von Baumaßnahmen . . . . .	593
12.4.3	Koordination zwischen Betriebsführung und bauausführenden Stellen . . . . .	596
<b>13</b>	<b>Eisenbahnsicherungstechnik</b> . . . . .	<b>599</b>
	<i>Ulrich Maschek</i>	
<b>13.1</b>	<b>Einführung</b> . . . . .	<b>599</b>
13.1.1	Maßgebende Systemeigenschaften . . . . .	599
13.1.2	Regelkreis der Eisenbahnsicherungstechnik . . . . .	600
<b>13.2</b>	<b>Gleisschaltmittel und Gleisfreimeldeanlagen</b> . . . . .	<b>601</b>
13.2.1	Grundlagen . . . . .	601
13.2.2	Technische Wirkprinzipien . . . . .	602
13.2.3	Techniken zur Gleisfreimeldung . . . . .	604
<b>13.3</b>	<b>Sicherung beweglicher Fahrwegelemente</b> . . . . .	<b>609</b>
13.3.1	Grundlagen . . . . .	609
13.3.2	Weichen . . . . .	610
13.3.3	Gleissperren . . . . .	614
13.3.4	Bewegliche Brücken . . . . .	615
13.3.5	Drehscheiben und Schiebebühnen . . . . .	615
13.3.6	Tore . . . . .	615



<b>13.4</b>	<b>Technologien der Fahrwegsicherung</b> . . . . .	<b>615</b>
13.4.1	Abstandshaltung im Schienenverkehr . . . . .	615
13.4.2	Steuerung und Sicherung der Fahrwegelemente. . . . .	616
13.4.3	Technologie Fahrstraße. . . . .	617
13.4.4	Technologie Blockinformation . . . . .	628
13.4.5	Techniken zur Fahrwegsicherung. . . . .	631
13.4.6	Leittechnik. . . . .	633
<b>13.5</b>	<b>Anordnung ortsfester Signale</b> . . . . .	<b>634</b>
13.5.1	Bezeichnung der Vor- und Hauptsignale. . . . .	634
13.5.2	Standort quer zum Gleis . . . . .	635
13.5.3	Standort längs zum Gleis. . . . .	635
<b>13.6</b>	<b>Zugbeeinflussung.</b> . . . . .	<b>639</b>
13.6.1	Anforderungen . . . . .	639
13.6.2	Einordnung . . . . .	639
13.6.3	Anwendungen . . . . .	641
<b>14</b>	<b>Funktionale Sicherheit.</b> . . . . .	<b>649</b>
	<i>Jens Braband</i>	
<b>14.1</b>	<b>Einleitung</b> . . . . .	<b>649</b>
14.1.1	Wesentliche Unfallursachen . . . . .	649
14.1.2	Epochen der Systemsicherheit. . . . .	650
<b>14.2</b>	<b>Definition des Begriffs Sicherheit</b> . . . . .	<b>651</b>
14.2.1	Klassische Definitionen. . . . .	651
14.2.2	Moderne, risikoorientierte Definition . . . . .	652
14.2.3	Der risikoorientierte Ansatz . . . . .	652
14.2.4	Bedeutung der Normen . . . . .	652
<b>14.3</b>	<b>Risikoanalyse</b> . . . . .	<b>653</b>
14.3.1	Der Risikoanalyse-Prozess . . . . .	654
14.3.2	Definition von Sicherheitszielen. . . . .	655
14.3.3	Methoden zur Risikoanalyse. . . . .	669
<b>14.4</b>	<b>Sicherheitsnachweisführung</b> . . . . .	<b>675</b>
14.4.1	Der Gefährdungsanalyse-Prozess . . . . .	676
14.4.2	Struktur und Hierarchie von Sicherheitsnachweisen . . . . .	680
14.4.3	Aufbau und Inhalt von Sicherheitsnachweisen. . . . .	682
14.4.4	Technischer Sicherheitsnachweis . . . . .	687
<b>14.5</b>	<b>Ereignisanalyse</b> . . . . .	<b>690</b>
14.5.1	Erfassung und Auswertung sicherheitsrelevanter Ereignisse. . . . .	690
14.5.2	Unfallursachen . . . . .	690
14.5.3	Unfallursachenanalyse . . . . .	691
14.5.4	Organisationales Lernen . . . . .	693
<b>14.6</b>	<b>Sicherheitskultur</b> . . . . .	<b>693</b>
14.6.1	Begriffsdefinition . . . . .	694
14.6.2	Indikatoren für eine positive Sicherheitskultur . . . . .	694
<b>14.7</b>	<b>Beispiel.</b> . . . . .	<b>695</b>
14.7.1	Systemdefinition. . . . .	695
14.7.2	Gefährdungsidentifikation . . . . .	696

<b>15</b>	<b>Telekommunikationstechnik am Beispiel der DB AG</b> . . . . .	<b>701</b>
	<i>Peter Reuther</i>	
<b>15.1</b>	<b>Einleitung</b> . . . . .	<b>701</b>
<b>15.2</b>	<b>Betriebsfernmeldeanlagen</b> . . . . .	<b>701</b>
15.2.1	Ausrüstungsstandards auf der Strecke und im Bahnhof . . . . .	701
15.2.2	Ausrüstung von Betriebszentralen und örtlich zuständige Fahrdienstleiter (öZF) . . . . .	702
15.2.3	Derzeit im Einsatz befindliche TK-Anlagen und -Systeme . . . . .	705
15.2.4	Beschallungs- und Wechselsprechanlagen . . . . .	707
15.2.5	Melde- und Überwachungssysteme . . . . .	710
15.2.6	Betriebliche Gefahrenmeldeanlagen . . . . .	719
15.2.7	Videotechnik . . . . .	723
15.2.8	Analoger Zugfunk . . . . .	724
15.2.9	Digitaler Zugfunk . . . . .	729
<b>15.3</b>	<b>Übertragungstechnik</b> . . . . .	<b>741</b>
<b>16</b>	<b>Umweltschutz</b> . . . . .	<b>743</b>
	<i>Bernhard Koch</i>	
<b>16.1</b>	<b>Umweltmanagement</b> . . . . .	<b>743</b>
	<i>Tobias Herbert, Bernhard Koch</i>	
16.1.1	Ziel und Nutzen von Managementsystemen unter besonderer Berücksichtigung des Umweltmanagements . . . . .	743
16.1.2	Normen im Bereich Umweltmanagement . . . . .	744
16.1.3	Delegation von Unternehmer-/Betreiberpflichten . . . . .	748
16.1.4	Beauftragtenwesen . . . . .	750
16.1.5	Integrierte Managementsysteme (IMS) . . . . .	752
<b>16.2</b>	<b>Anlagenbezogener Umweltschutz</b> . . . . .	<b>753</b>
	<i>Björn Zimmer, Jürgen Kroeter, Markus Hößl, Steffen Jank, Franz Klier, Georg Schell</i>	
16.2.1	Abwasseranlagen und Abwasserbehandlungsanlagen . . . . .	753
16.2.2	Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen . . . . .	755
16.2.3	Innenreinigungsanlagen . . . . .	761
16.2.4	Genehmigungsbedürftige Anlagen nach der 4. BImSchV . . . . .	764
16.2.5	Trinkwasserfüllanlagen . . . . .	766
16.2.6	Strahlenschutzrelevante Anlagen . . . . .	768
16.2.7	Elektromagnetische Verträglichkeit . . . . .	769
<b>16.3</b>	<b>Schutz vor Lärm und Erschütterungen</b> . . . . .	<b>787</b>
	<i>Christian Keil, Bernhard Koch, Rüdiger Garburg</i>	
16.3.1	Lärm . . . . .	787
16.3.2	Erschütterungen und sekundärer Luftschall . . . . .	795
<b>16.4</b>	<b>Vegetationskontrolle</b> . . . . .	<b>812</b>
	<i>Gerhard Hetzel</i>	
16.4.1	Grundlagen und Definitionen . . . . .	812
16.4.2	Vegetationskontrolle für den Bereich im Gleis . . . . .	814

16.4.3	Vegetationskontrolle für den Bereich am Gleis . . . . .	815
16.4.4	Positive Aspekte für den Naturschutz. . . . .	822
<b>16.5</b>	<b>Schutz von Natur und Landschaft . . . . .</b>	<b>823</b>
	<i>Martina Lüttmann</i>	
16.5.1	Grundlagen . . . . .	823
16.5.2	Strategische Umweltprüfung . . . . .	823
16.5.3	Umweltverträglichkeitsprüfung . . . . .	825
16.5.4	Naturschutzfachliche Eingriffsregelung . . . . .	828
16.5.5	Flora-Fauna-Habitat-Verträglichkeitsprüfung. . . . .	829
16.5.6	Artenschutz . . . . .	832
<b>16.6</b>	<b>Umweltschutzanforderungen an Planungs- und Instandhaltungsprozesse. . . . .</b>	<b>834</b>
	<i>Björn Zimmer</i>	
16.6.1	Entsorgung. . . . .	834
16.6.2	Transport gefährlicher Güter . . . . .	842
<b>17</b>	<b>Infrastrukturzugang für Fahrzeuge . . . . .</b>	<b>855</b>
	<i>Walter Mittmann</i>	
<b>17.1</b>	<b>Vorgaben der Europäischen Gemeinschaft . . . . .</b>	<b>855</b>
17.1.1	Interoperabilität . . . . .	855
17.1.2	Diskriminierungsfreier Netzzugang. . . . .	855
<b>17.2</b>	<b>Technische Zugangsvoraussetzungen . . . . .</b>	<b>856</b>
<b>17.3</b>	<b>Abnahme von Fahrzeugen oder Komponenten . . . . .</b>	<b>857</b>
<b>17.4</b>	<b>Feststellung der Kompatibilität . . . . .</b>	<b>857</b>
<b>17.5</b>	<b>Bekanntgabe der Anforderungen . . . . .</b>	<b>865</b>
17.5.1	Schiennetz-Nutzungsbedingungen. . . . .	865
17.5.2	Infrastruktur- und Fahrzeugregister . . . . .	866
<b>17.6</b>	<b>Regelwerk für den Infrastrukturzugang . . . . .</b>	<b>866</b>
<b>17.7</b>	<b>Verfahrensabläufe . . . . .</b>	<b>869</b>
<b>17.8</b>	<b>Versuchs- und Probefahrten . . . . .</b>	<b>870</b>
17.8.1	Zweck und Umfang. . . . .	870
17.8.2	Ausnahmeregelungen. . . . .	871
17.8.3	Vorgehensweise . . . . .	871
<b>18</b>	<b>Instandhaltung und Anlagenmanagement . . . . .</b>	<b>873</b>
	<i>Peter Veit</i>	
<b>18.1</b>	<b>Anlagenmanagement für den Fahrweg von Eisenbahnen . . . . .</b>	<b>878</b>
<b>18.2</b>	<b>Modell zur wirtschaftlichen Bewertung von Fahrwegstrategien. . . . .</b>	<b>879</b>
<b>18.3</b>	<b>Schrittweise optimiertes Anlagenmanagement am Beispiel des Projekts „Strategie Fahrweg“ . . . . .</b>	<b>883</b>
18.3.1	Strategie Fahrweg – Stufe 1. . . . .	885

18.3.2	Forschungen zum Qualitätsverhalten des Oberbaus . . . . .	902
18.3.3	Strategie Fahrweg – Stufe 2. . . . .	916
<b>19</b>	<b>Anlagenmanagement . . . . .</b>	<b>929</b>
	<i>Ulrich Erdmann</i>	
<b>19.1</b>	<b>Anforderungen an Infrastrukturmanagementsysteme . . . . .</b>	<b>929</b>
19.1.1	Systemarchitektur . . . . .	929
19.1.2	Datenimport/Schnittstellen . . . . .	932
19.1.3	Das Analysesystem . . . . .	932
19.1.4	Anforderungen und Grundformen der Darstellung. . . . .	936
19.1.5	Fachübergreifende Grundlagen für weitergehende Analysen . . . . .	939
<b>19.2</b>	<b>Anwendung von Infrastrukturmanagementsystemen . . . . .</b>	<b>943</b>
19.2.1	Ist-Zustandsanalyse. . . . .	944
19.2.2	Zustandsprognose. . . . .	956
19.2.3	Instandhaltungsplanung . . . . .	962
	<b>Sachverzeichnis . . . . .</b>	<b>967</b>