
Inhaltsverzeichnis

1	Das Zusammenwirken von Fahrzeug und Gleis	1
	Klaus Riessberger	
1.1	Einleitung	2
1.2	Der Radsatz im Gleis	3
1.2.1	Einführung	3
1.2.2	Das Reibungsgesetz	5
1.2.3	Äquivalente Konizität	7
1.2.4	Rückstellsteifigkeit c_{yg}	10
1.2.5	Einfluss der Spurweite auf λ_e , c_{yg}	10
1.2.6	Möglichkeiten der Einflussnahme	10
1.2.7	Anmerkungen zur Wahl eines Radprofils	11
1.2.8	Bewegungsgleichungen von Radsätzen	11
1.3	Das Drehgestell am Gleis	13
1.3.1	„Steife“ Konstruktionen	13
1.3.2	„Weiche“ Drehgestelle	13
1.3.3	„Selbstlenkende“ und „Zwangsgesteuerte“ Drehgestelle	14
1.3.4	Gleichungssysteme für Fahrzeuge	15
1.4	Laufstabilität	17
1.4.1	Kritische Geschwindigkeit	17
1.4.2	Einflüsse auf die Laufstabilität	20
1.5	Bogenlauf	21
1.6	Maßnahmen zur Unterstützung guter Rad-Schiene-Interaktion	23
1.7	Beispiele und Erfahrungen	24
1.8	Entgleisungen	27
1.8.1	Entgleisungsursachen	27
1.8.2	Entgleisungskriterien	29
	Appendix A. Anhänge	29
	Literatur	38
2	Auslegung des Eisenbahnoberbaus	41
	Ulf Gerber und Ferdinand Pospischil	
2.1	Äußere Belastung	41
2.1.1	Äußere Vertikalbelastung	41
2.1.2	Äußere Längsbelastung	47
2.1.3	Äußere Seitenbelastung	48

2.2	Innere Belastung	48
2.2.1	Innere Vertikalbelastung	48
2.2.2	Innere Längsbelastung	51
2.2.3	Innere Seitenbelastung	53
2.3	Belastung und Belastbarkeit	53
2.3.1	Vertikale Belastung und Belastbarkeit	53
2.3.2	Belastung und Belastbarkeit in Längsrichtung	55
2.3.3	Seitliche Belastung und Belastbarkeit	56
2.4	Belastung und Auslegung der Oberbaukomponenten	57
2.4.1	Schienen	58
2.4.2	Schienenbefestigung	61
2.4.3	Schwellen	61
2.4.4	Schotter	63
2.4.5	Elastische Elemente im Schotterooberbau	63
2.5	Belastung und Anschaffungskosten des Eisenbahnoberbaus	64
2.6	Zusammenfassung	66
	Literatur	67
3	Schienen und Schienenschweißen	69
	Sören Röhrig, Alexander Zlatnik und Jürgen Reinhardt	
3.1	Schienenwerkstoffe und Schienenprofile	69
3.1.1	Aufgabe	69
3.1.2	Belastung und Anforderung	70
3.1.3	Schienenstahl und Gefüge	70
3.1.4	Physikalisch-mechanische Eigenschaften genormter Schienenstähle	71
3.1.5	Stahlherstellung	73
3.1.6	Schienenherstellung	73
3.1.7	Walzzeichen und Warmstempelung	74
3.1.8	Wärmebehandlung	75
3.1.9	Schienenprofile	75
3.1.10	Schienenperformance (Betriebsverhalten)	77
3.2	Schienenschweißen	77
3.2.1	Allgemeines	78
3.2.2	Abbrennstumpfschweißen	79
3.2.3	Gaspressschweißen/Induktionsschweißen	81
3.2.4	Aluminothermische Schweißung	81
3.2.5	Lichtbogenschweißen	82
3.2.6	Sonstige Schweißungen	83
3.2.7	Schleifen von Schweißungen	83
3.2.8	Fehler an Schweißungen	83
3.3	Schienearbeitung und Schieneninspektion	84
3.3.1	Schieneninspektion	84
3.3.2	Schienearbeitung	90
3.3.3	Neuschienearbeitung	92
	Literatur	92

4	Weichen	95
	Ekkehard Lay, Reinhold Rensing und Uwe Ossberger	
4.1	Allgemeines	95
4.1.1	Geschichte und Definition	96
4.1.2	Weichen als Kostenfaktor	97
4.2	Weichen und Kreuzungen	98
4.2.1	Allgemeines	98
4.2.2	Weichenbauarten	99
4.3	Weichen und Kreuzungen als Planungselement	106
4.3.1	Grundlagen der Weichengeometrie	106
4.3.2	Zweiggleisbogen	107
4.3.3	Darstellung im Lageplan	108
4.3.4	Anordnung von Weichen	108
4.4	Bauteile von Weichen und Kreuzungen	110
4.4.1	Allgemein	110
4.4.2	Weichenfahrbahn	111
4.4.3	Zungenvorrichtungsbereich	113
4.4.4	Herzstückbereich	121
4.4.5	Radlenker	125
4.4.6	Endteil	126
4.4.7	Spurführungstechnische Besonderheiten bei starren Herzstücken	127
4.4.8	Schienenlängskräfte in der Weiche	130
4.5	Schienenbefestigungssysteme	131
4.5.1	Zungenbereich	132
4.5.2	Zwischenschienenbereich	132
4.5.3	Herzstückbereich und Radlenker	133
4.5.4	Befestigung auf den Schwellen	134
4.6	Schwellen und Lagerungssysteme	134
4.7	Stell- und Verschlussysteme	136
4.7.1	Stellsysteme	136
4.7.2	Arten der Verschlüsse	138
4.8	Einbau von Weichen	139
4.8.1	Allgemein	139
4.8.2	Weicheneinbau und -umbau unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten	140
4.8.3	Weicheneinbau- und -umbauverfahren	141
4.9	Instandhaltung von Weichen	148
4.9.1	Gesetzliche Grundlagen	148
4.9.2	Anlagenverantwortung	149
4.9.3	Elemente der Instandhaltung	149
4.9.4	Inspektion	150
4.9.5	Wartung	159
4.9.6	Instandsetzung	159
4.10	Weichendiagnose	160
4.10.1	Allgemeines	160
4.10.2	Anwendungsbereich und Systemvarianten	160

4.10.3 Allgemeine Funktionsbeschreibung	161
4.10.4 Nutzen	162
4.11 Schnittstellen	162
4.11.1 Betriebliche Schnittstellen	162
4.11.2 Bautechnische Schnittstellen	162
4.11.3 Energieversorgung	163
4.11.4 Fahrleitungstechnische Schnittstellen	163
4.12 Berechnung von Weichen	164
4.12.1 Einführung	164
4.12.2 Konstruktive Randbedingungen	165
4.12.3 Berechnung der Weichen	166
4.13 Ausblick und Entwicklungstendenzen	168
4.13.1 Materialverbesserungen	169
4.13.2 Verbesserungen der Überlaufgeometrie	169
4.13.3 Verbesserungen der Stützpunktelastizität	169
4.13.4 Schall- und Erschütterung	169
4.13.5 Ferndiagnose und Überwachungssysteme	170
Literatur	171
5 Unterbau, Eisenbahndämme und Einschnitte	173
Jürgen Stern und Ralph Fischer	
5.1 Einleitung und Allgemeines	173
5.2 Untergrunderkundung	175
5.2.1 Allgemeines zur Untergrunderkundung	175
5.2.2 Untergrunderkundungen an bestehenden Eisenbahnstrecken	176
5.2.3 Untergrunderkundungen bei neu zu errichtenden Eisenbahnstrecken	178
5.3 Untergrund und Dammkörper	178
5.3.1 Untergrund	178
5.3.2 Dammkörper	182
5.3.3 Herstellung von Dammkörpern im Eisenbahnbau .	183
5.3.4 Einschnitte und Böschungen	188
5.3.5 Böschungssicherungen	190
5.4 Tragschichten des Bahnkörpers	192
5.4.1 Allgemeines	192
5.4.2 Materialien	192
5.4.3 Tragschichtdicken	193
5.4.4 Herstellung der ungebundenen Tragschichten . .	194
5.5 Bahnentwässerung	195
5.5.1 Rechtlicher Hintergrund	195
5.5.2 Hydrogeologische Grundlagen und Bemessung der Entwässerung	195
5.5.3 Typen der Bahnentwässerung neben Gleisen	196
5.5.4 Behandlungs- und Versickerungsanlagen	198
5.5.5 Instandhaltung von Entwässerungsanlagen	199
5.6 Baugrubensicherung im Gleisbereich	200
5.6.1 Allgemeines	200

5.6.2	Planung und Ausführung von Baugrubensicherungen im Gleisbereich	201
5.6.3	Bahnspezifische Besonderheiten während der Herstellung von Baugrubensicherungen im Gleisbereich	202
5.7	Sonstige geotechnische Unterbauanlagen	202
5.7.1	Überblick	202
5.7.2	Stützbauwerke	202
5.7.3	Querungen	204
5.8	Inspektion und Instandhaltung von geotechnischen Unterbauanlagen	205
5.9	Geotechnische Besonderheiten – Maßnahmen zur Vermeidung von Untergrund- und Dammversagen anhand von Fallbeispielen	207
5.9.1	Allgemeines	207
5.9.2	Geotechnische Risikoanalyse im Streckennetz der ÖBB-Infrastruktur AG	207
5.9.3	Fahrweggründung bei der DB InfraGO AG	209
	Literatur	215
6	Eisenbahnbrücken, Tunnel und Ingenieurbauwerke	217
	Tristan Mölter und Michael Fiedler	
6.1	Definition Ingenieurbauwerke	217
6.2	Geschichte der Deutschen Eisenbahn	217
6.3	Eisenbahnbrücken	218
6.3.1	Geschichte der Eisenbahnbrücken in Deutschland .	218
6.3.2	Aktuelle Entwicklungen im Eisenbahnbrückenbau	222
6.3.3	Normen und Regelwerke	229
6.3.4	Anforderungen an Eisenbahnbrücken	235
6.3.5	Entwurfsgrundlagen	237
6.3.6	Entwurfsgrundsätze	245
6.3.7	Ausrüstungselemente für Eisenbahnbrücken . . .	252
6.3.8	Hilfsbrücken und Baubehelfe	258
6.4	Tunnel und Trogbauwerke	262
6.4.1	Geschichte der Tunnel und Eisenbahntunnel in Deutschland	263
6.4.2	Aktuelle Entwicklungen im Eisenbahntunnelbau .	263
6.4.3	Normen und Regelwerke	264
6.4.4	Anforderungen an Eisenbahntunnel	265
6.4.5	Entwurfsgrundlagen	265
6.4.6	Tunnelbauverfahren	269
6.4.7	Tunnelinspektion	278
6.5	Lärmschutzwände	278
	Literatur	280

7	Bahnübergänge	281
Eric Schöne		
7.1	Einführung	281
7.2	Grundlagen	282
7.2.1	Definitionen	282
7.2.2	Anforderungen	282
7.2.3	Rechtsgrundlagen	284
7.3	Bautechnische Gestaltung	286
7.3.1	Allgemeine Anforderungen	286
7.3.2	Bahnübergangsbeläge	287
7.3.3	Entwässerung	289
7.4	Sicherungsmaßnahmen	289
7.4.1	Technologien zur Sicherung	289
7.4.2	Nichttechnische Sicherung	290
7.4.3	Technische Sicherung	298
7.5	Bahnübergangssicherung als Gemeinschaftsaufgabe	310
7.5.1	Wechselwirkungen	310
7.5.2	Beschilderung und Markierung	310
7.5.3	Freihaltung der Räumstrecke	310
7.5.4	Verkehrsschau an Bahnübergängen	314
7.5.5	Auflassung und Beseitigung	315
Literatur		315
8	Begrenzungslinien, Lichträume und Querschnittsgestaltung der Bahnanlagen	317
Eberhard Jänsch		
8.1	Fahrzeugbegrenzung und Lichtraumprofil	317
8.1.1	Grundlagen	317
8.1.2	Statische Berechnungsmethode	318
8.1.3	Kinematische Berechnungsmethode und Bezugslinien	320
8.1.4	Stromabnehmer: Bezugslinie und Lichtraum	322
8.2	Querschnittselemente	324
8.2.1	Regellichtraum nach EBO	324
8.2.2	Lichtraumprofil GC	326
8.2.3	Gleisabstand	327
8.2.4	Fahrbahnbreite	330
8.2.5	Abstand fester Anlagen von Gleismitte	331
8.2.6	Lichte Weite und Höhe unter Überführungsbauwerken	331
8.3	Streckenquerschnitte	333
8.3.1	Streckenquerschnitte auf Erdkörpern	333
8.3.2	Streckenquerschnitte auf Brücken und in Tunneln	333
8.4	Bahnsteige	337
8.4.1	Gestaltungsgrundsätze	337
8.4.2	Abmessungen	337
Literatur		340

9	Trassierung und Gleisplangestaltung	341
	Fabian Walf	
9.1	Einleitung	341
9.2	Grundlagen	342
9.3	Gradientengestaltung	344
9.3.1	Längsneigung außerhalb von Stationen	344
9.3.2	Längsneigung in Stationen	345
9.3.3	Wechsel zwischen verschiedenen Längsneigungen/ Neigungswechsel	346
9.4	Grundriss- und Überhöhungsgestaltung	347
9.4.1	Grundsätzliche Ziele	348
9.4.2	Grundsätzliche Zusammenhänge	349
9.4.3	Minimale Länge von Trassierungselementen	355
9.4.4	Trassierungselemente mit konstanter Krümmung und Krümmungsänderungen	356
9.4.5	Zusammenspiel von Krümmungs- und Überhöhungssänderung	361
9.4.6	Vorteile von Bloss-Bögen bzw. -Rampen	364
9.5	Entwurf der Spurpläne und die Trassierung von Weichen	364
9.5.1	Trassierungsrelevante Grundlagen von Weichen	365
9.5.2	Verbogene Weichen (Bogenweichen)	367
9.5.3	Bedarf und Anordnung von Weichen	370
9.5.4	Weichenverbindungen und Weichenanschlüsse	372
9.5.5	Geschwindigkeitsgestaltung in Weichenbereichen	374
9.6	Optimierung vorhandener oder geplanter Trassierungen	378
9.6.1	Maßnahmen zur Fahrzeitverkürzung	378
9.6.2	Spurplan	384
9.6.3	Signalisierung (Exkurs)	386
9.7	Was tun, wenn ...?	386
9.7.1	... jeglicher Anhaltspunkt für u fehlt?	386
9.7.2	... jeglicher Höhenansatz bei Überwerfungsbauwerken fehlt?	387
9.7.3	... Entwicklungslänge fehlt?	387
9.7.4	... Zwangspunkte im Grundriss dicht aufeinander folgen?	393
9.7.5	... Δu_f zu groß ist?	394
9.8	Zusammenfassung	394
	Appendix A.I: Abkürzungen	395
	Appendix A.II: Formelzeichen	396
	Appendix A.III: Kleine Formelsammlung	396
	Appendix B: Herleitung ausgewählter Formeln	398
	Literatur	399
10	Betriebliche Infrastrukturplanung und Infrastrukturgestaltung	401
	Fabian Walf und Andreas Heppe	
10.1	Einführung	401
10.2	Zeitliche Einordnung der betrieblichen Infrastrukturplanung in Projekten	401

10.3 Ermittlung der Anforderungen an die Infrastruktur	402
10.3.1 Zu berücksichtigende Nachfragemenge und -charakter	403
10.3.2 Entwicklung des Kapazitätsangebots	404
10.4 Betriebliche Infrastrukturgestaltung (BIG)	408
10.4.1 Grundlagen	409
10.4.2 Gestaltung des Spurplanes von Kanten	413
10.4.3 Gestaltung des Spurplanes von Knoten	420
10.4.4 Wechselwirkungen zwischen Spurplan und Trassierung	432
10.4.5 Gestaltung von Stationen und intermodaler Knoten	437
10.5 Eisenbahnbetriebswissenschaftliche Untersuchungen (EBWU)	444
10.5.1 Leistungsverhalten	444
10.5.2 Untersuchungsverfahren für Leistungsuntersuchungen	447
10.5.3 Einsatz der verschiedenen Methoden	451
10.5.4 Ablauf der Untersuchungen	453
10.5.5 Fazit EBWU	456
10.6 Zusammenfassung	456
10.7 Appendix A: Abkürzungen	456
Literatur	457
11 Betriebsführung der Infrastruktur	459
Jörn Pachl	
11.1 Betriebsführung der Infrastruktur	459
11.2 Grundbegriffe des Bahnbetriebes	459
11.2.1 Rechtsverordnungen und Regelwerke	459
11.2.2 Einteilung der Eisenbahnunternehmen	461
11.2.3 Grundsätzliche Klassifizierung der Betriebsverfahren	461
11.2.4 Einteilung der Betriebsstellen	462
11.2.5 Durchführung von Fahrten auf einer Eisenbahninfrastruktur	464
11.3 Signalisierung am Fahrweg	471
11.3.1 Signalsysteme	471
11.3.2 Verwendung der Signale	475
11.4 Flankenschutz der Fahrwege	488
11.4.1 Flankenschutz gegen feindliche Zugfahrten	488
11.4.2 Flankenschutz gegen feindliche Rangierfahrten und unbeabsichtigt ablaufende Wagen	488
11.4.3 Flankenschutz gegen das Strecken von Zügen . .	488
11.4.4 Erfordernis von Schutzweichen	489
11.5 Bauen im Betrieb	489
11.5.1 Sicherung von Arbeitsstellen im Gleis	489
11.5.2 Betriebliche Maßnahmen zur Durchführung von Baumaßnahmen	492

11.6	Behandlung von Signal- und Weichenstörungen	495
11.6.1	Störfallbehandlung der Zugfolgesicherung	496
11.6.2	Störfallbehandlung der Fahrwegsicherung	497
11.6.3	Störfallbehandlung von Gleisfreimeldeanlagen	499
	Literatur	499
12	Leit- und Sicherungstechnik	501
	Ulrich Maschek	
12.1	Einführung	501
12.1.1	Begriffsabgrenzung	501
12.1.2	Maßgebende Systemeigenschaften	502
12.1.3	Regelkreis der Betriebssicherheit im Schienenverkehr	503
12.2	Ortung	504
12.2.1	Grundlagen	504
12.2.2	Wirkprinzipien	505
12.2.3	Gleisfreimeldung mittels Gleisstromkreis	507
12.2.4	Gleisfreimeldung mittels Achszähler	511
12.2.5	Anwendung von Gleisstromkreisen und Achszählern	512
12.3	Sicherung beweglicher Fahrwegelemente	512
12.3.1	Grundlagen	512
12.3.2	Weiche und Kreuzung	513
12.3.3	Gleissperre	516
12.3.4	Bewegliche Brücke	516
12.3.5	Drehscheibe und Schiebebühne	516
12.3.6	Tor	517
12.4	Technologien der Fahrwegsicherung	517
12.4.1	Herleitung	517
12.4.2	Technologie Fahrstraße	518
12.4.3	Technologie Blockinformation	528
12.5	Techniken zur Fahrwegsicherung	530
12.5.1	Differenzierung zwischen Leit- und Sicherungstechnik	531
12.5.2	Klassifizierung der Techniken	531
12.5.3	Mechanisches Stellwerk	533
12.5.4	Elektromechanisches Stellwerk	533
12.5.5	Relaisstellwerk	534
12.5.6	Elektronisches Stellwerk (ESTW)	534
12.6	Leittechnik	536
12.6.1	Aufgaben der Leittechnik	536
12.6.2	Zugnummernmeldung (ZN)	536
12.6.3	Zuglenkung (ZL)	537
12.6.4	Fernsteuerung von Stellwerken	538
12.6.5	Zentralen zur Betriebsführung	538

12.7	Anordnung ortsfester Signale	538
12.7.1	Bezeichnung der Vor- und Hauptsignale	538
12.7.2	Standort quer zum Gleis	539
12.7.3	Standort längs zum Gleis	540
12.8	Zugbeeinflussung	542
12.8.1	Anforderungen	542
12.8.2	Systematisierung	543
12.8.3	Systeme mit Balisen	544
12.8.4	Führerraumsignalisierung	545
12.8.5	Punktförmige Zugbeeinflussung PZB 90	546
12.8.6	Geschwindigkeitsüberwachung für Neigetechnik (GNT)	549
12.8.7	Linienförmige Zugbeeinflussung (LZB)	550
12.8.8	European Train Control System (ETCS)	550
13	Funktionale Sicherheit	559
Jens Braband		
13.1	Einleitung	559
13.1.1	Wesentliche Unfallursachen	560
13.1.2	Beispiel	560
13.1.3	Epochen der Systemsicherheit	561
13.2	Definition des Begriffs Sicherheit	561
13.2.1	Klassische Definitionen	561
13.2.2	Moderne, risikoorientierte Definition	562
13.2.3	Risikoorientierter Ansatz	563
13.2.4	Europäische gesetzliche Vorgaben	563
13.2.5	Bedeutung der Normen	565
13.3	Risikoanalyse	565
13.3.1	Prozess der expliziten Risikoanalyse	565
13.3.2	Definition von Sicherheitszielen	567
13.3.3	Methoden zur expliziten Risikoanalyse	581
13.3.4	Semi-quantitatives Verfahren Risk Score Matrix . .	585
13.4	Sicherheitsnachweisführung	588
13.4.1	Gefährdungsanalyse-Prozess	588
13.4.2	Struktur und Hierarchie von Sicherheitsnachweisen	592
13.4.3	Aufbau und Inhalt von Sicherheitsnachweisen . .	594
13.5	Beurteilung von potenziellen Sicherheitsmängeln . . .	600
13.5.1	Bewertungsprozess	601
13.5.2	Risikobewertung	602
13.6	Ereignisanalyse	604
13.6.1	Erfassung und Auswertung sicherheitsrelevanter Ereignisse	604
13.6.2	Unfallursachen	605
13.6.3	Unfallursachenanalyse	605
13.6.4	Lernen auf Organisationsebene	607
13.7	Sicherheitskultur	607
13.7.1	Begriffsdefinition	608
13.7.2	Indikatoren für eine positive Sicherheitskultur . . .	608

13.8 Beispiel	609
13.8.1 Systemdefinition	609
13.8.2 Gefährdungsidentifikation	610
13.8.3 Risikoanalyse	610
13.8.4 Gefährdungsanalyse	610
Weiterführende Literatur	612
14 Cybersecurity	615
Matthias Drott und Carsten Sattler	
14.1 Einleitung	615
14.2 Definitionen	616
14.2.1 IT-Sicherheit/Cybersecurity	616
14.2.2 Beziehung zwischen Cybersecurity und Safety	617
14.2.3 Cybersecurity in der Eisenbahninfrastruktur	618
14.2.4 Gesetzliche und normative Vorgaben	620
14.2.5 Behörden – Aufgaben und Verantwortlichkeiten	623
14.3 Bedrohungen und Herausforderungen	624
14.3.1 Beispiele erfolgreicher Angriffe	624
14.3.2 Unterschiede IT und OT	626
14.3.3 Einsatz von COTS-Komponenten	627
14.3.4 Zulassung im Kontext Cybersecurity	627
14.3.5 Geschlossene und offene Kommunikationsnetze	628
14.3.6 Aktuelle und zukünftige Cyberbedrohungen für die Eisenbahninfrastruktur	629
14.3.7 Anforderungen an die Cybersecurity	630
14.4 Wesentliche Bausteine im Umfeld Cybersecurity	632
14.4.1 Technik, Prozesse und Menschen	632
14.4.2 Das „Three Lines of Defense“-Modell	632
14.4.3 Einbettung von Cybersecurity in das V-Modell	633
14.4.4 Referenzarchitekturen	634
14.4.5 IT-Bedrohungs- und Risikoanalyse	637
14.4.6 Produktauswahl und Risikoübergang	642
14.4.7 Nachweisführung der Cybersecurity	643
14.5 Cybersecurity im Eisenbahnbetrieb	645
14.5.1 Systemüberwachung	647
14.5.2 Schwachstellen- und Vorfallmanagement	649
14.5.3 Übergang zwischen Betriebsregimen	651
14.6 Zukünftige Technologien/Trends und Securitybedarfe	651
14.6.1 Zukünftige Technologien im Bereich der Eisenbahninfrastruktur	652
14.6.2 Zukünftige Technologien im Bereich der IT-/OT- Systeme	654
14.7 Glossar	655
Literatur	656

15	Elektromagnetische Verträglichkeit	659
	Wilhelm Baldauf und Stefan Jäger	
15.1	Allgemeines	659
15.2	EMV im hochfrequenten Bereich	660
15.3	Beeinflussung von Anlagen der Leit- und Sicherungstechnik durch Bahnströme	662
15.4	Beeinflussung von Gleisfreimeldeanlagen durch Eisenbahnfahrzeuge	667
	Weiterführende Literatur	674
16	Energieversorgung elektrischer Bahnen	675
	Bernd-Wolfgang Zweig und Arnd Stephan	
16.1	Grundlagen	675
16.1.1	Aufgaben und Systemstruktur	675
16.1.2	Elektrifizierungswürdigkeit	677
16.1.3	Begriffsdefinitionen	677
16.2	Bahnstromsysteme	678
16.2.1	Entwicklung und Verbreitung	678
16.2.2	Gleichstrombahnsysteme	681
16.2.3	Wechselstrombahnsysteme mit Industriefrequenz	683
16.2.4	Wechselstrombahnsysteme mit Sonderfrequenz	685
16.3	Die 16,7-Hz-Bahnenergieversorgung in Deutschland	686
16.3.1	Gesamtstruktur	686
16.3.2	Teilsysteme	687
16.4	Fahrleitungen	692
16.4.1	Allgemeines	692
16.4.2	Oberleitungen	693
16.4.3	Oberleitungsstromschiene	728
16.4.4	Stromschielen	729
16.5	Stromabnehmer	735
16.5.1	Allgemeines	735
16.5.2	Stromabnehmer für Oberleitungen	735
16.5.3	Seitenstromabnehmer bei Grubenbahnen	736
16.5.4	Stromabnehmer für Stromschielen	737
16.6	Rückstromführung, Bahnerdung und Potentialausgleich	737
16.6.1	Rückstromführung	738
16.6.2	Bahnerdung (Verbinden mit der Rückleitung)	739
16.6.3	Potentialausgleich	741
16.7	Arbeiten in der Nähe spannungsführender Ober- und Bahnenergieleitungen (16,7 Hz, 15.000 V)	741
16.7.1	Abstand von Personen	741
16.7.2	Abstand von Baumaschinen und Geräten	742
	Appendix A. Regelzeichen für Oberleitungslagepläne	743
	Literatur	744

17	Stromversorgung der Infrastruktur	745
	Ferdinand Pospischil und Gerhard Wolff	
17.1	Vorbemerkungen	745
17.1.1	Energiebezug vom Versorgungsnetzbetreiber	746
17.1.2	Energiebezug aus der Oberleitung	746
17.2	Stromversorgung von Strecken	748
17.2.1	Verbraucherstruktur	748
17.2.2	Freie Strecke	749
17.2.3	Tunnel	754
17.2.4	Stellwerke an Strecken	758
17.2.5	Bahnhöfe, Haltepunkte an Strecken	761
17.3	Stromversorgung von Eisenbahnknoten	763
17.3.1	Verbraucherstruktur	763
17.3.2	Netzstruktur	763
17.3.3	Stellwerke von Eisenbahnknoten	764
17.3.4	Bahnhöfe von Eisenbahnknoten	766
17.4	Sonderanlagen	770
17.4.1	Zugbildungsanlagen	770
17.4.2	Elektrische Weichenheizanlagen	771
17.4.3	Zugvorheizanlagen	773
17.4.4	Zugbehandlungsanlagen	780
17.4.5	Werke	780
17.4.6	Nebenverbraucher an der Oberleitung	782
17.4.7	Alternative Stromversorgungsanlagen	783
17.5	Schutzmaßnahmen	784
17.5.1	Netzform und Erdung von EWHA	785
17.5.2	Schutzeinrichtungen der EWHA	786
17.5.3	Besonderheiten bei EWHA	787
17.5.4	Elektronische Stellwerke	787
17.5.5	Weiterentwicklung vom Elektronischen Stellwerk zum Digitalen Stellwerk – Funktionalität und Vorteile von DSTW gegenüber ESTW	789
17.5.6	Digitale Stellwerke (DSTW)	790
17.5.7	Digitales Stellwerk (DSTW) – Konzept	793
17.5.8	Abschließender Hinweis	805
	Weiterführende Literatur	805
18	Kabelanlagen	807
	Andreas Boldt	
18.1	Bauarten und Verwendung	807
18.1.1	Energiekabel und Leitungen	811
18.1.2	Kabel und Leitungen mit verbessertem Verhalten im Brandfall	812
18.1.3	Signal- und Nachrichtenkabel	815
18.2	Garnituren	817
18.2.1	Muffen und Verbinder	817
18.2.2	Endverschlüsse	818

18.3	Planung von Kabelanlagen	820
18.3.1	Trassenplanung	820
18.3.2	Typenauswahl und Dimensionierung	821
18.3.3	Lagepläne	825
18.3.4	Führung, Befestigung und Schutz	825
18.4	Legung und Montage	832
18.4.1	Auslegen und Kennzeichnen	832
18.4.2	Garniturenmontage	835
18.4.3	Ab- und Inbetriebnahmeprüfungen	836
18.4.4	Schlussvermessung und Dokumentation	836
18.5	Betrieb und Instandhaltung	837
18.5.1	Kabelüberwachung	837
18.5.2	Instandhaltung	837
19	Lärm und Erschütterungen	841
	Bernd Asmussen und Christian Frank	
19.1	Schienenverkehrslärm	841
19.1.1	Grundlagen	841
19.1.2	Entstehung des Rollgeräusches	842
19.1.3	Maßnahmen des aktiven Schallschutzes	843
19.1.4	Maßnahmen des passiven Schallschutzes	849
19.1.5	Der akustische Zustand des deutschen Schienennetzes	849
19.1.6	Quietschgeräusche	850
19.1.7	Schallemission von Eisenbahnbrücken	852
19.1.8	Grundsätze der Planung	852
19.1.9	Lärmsanierung	856
19.2	Erschütterungen und Sekundärluftschall	857
19.2.1	Grundlagen	857
19.2.2	Begriffsbestimmungen	857
19.2.3	Messung von Erschütterungen und Sekundärluftschall	859
19.2.4	Minderungsmaßnahmen	860
19.2.5	Grundsätze der Planung	864
	Literatur	868
20	Vegetationsmanagement	869
	Felix Gerhardt und Michael Below	
20.1	Grundlagen	869
20.2	Vegetationskontrolle im Gleisbereich	870
20.3	Vegetationskontrolle am Gleisbereich	871
21	Schutz von Natur und Landschaft, Strahlenschutz, Trinkwasserhygiene in Trinkwasser-Befüllungsanlagen . . .	879
	Martina Lüttmann, Holger Tobergte und Samantha Tlustowski	
21.1	Schutz von Natur und Landschaft	879
21.1.1	Grundlagen	879
21.1.2	Strategische Umweltprüfung	881
21.1.3	Umweltverträglichkeitsprüfung	882

21.1.4 Naturschutzfachliche Eingriffsregelung	884
21.1.5 Flora-Fauna-Habitat-Verträglichkeitsprüfung	886
21.1.6 Artenschutz	887
21.2 Strahlenschutz	888
21.2.1 Rechtsgrundlagen und Regelwerk	888
21.2.2 Aufbauorganisation des Strahlenschutzes	888
21.2.3 Physikalische Grundlagen	889
21.2.4 Umgang mit Ionisationsrauchmeldern	889
21.2.5 Umgang mit Isotopensondern	890
21.2.6 Betrieb von Röntgeneinrichtungen und Störstrahlern	891
21.3 Trinkwasserhygiene in Trinkwasser-Befüllungsanlagen	891
21.3.1 Allgemeines	891
21.3.2 Verantwortlichkeiten	892
21.3.3 Anzeigepflichten der Betreiber und Betreiberin . .	892
21.3.4 Trinkwasseruntersuchungen	892
21.3.5 Betrieb	893
21.3.6 Trinkwasser-Befüllschläuche	893
Weiterführende Literatur	894
22 Entsorgung von Abfällen und Einbau von mineralischen Ersatzbaustoffen bei Bau und Instandhaltung	897
Dirk Melchert	
22.1 Gesetzliche Grundlagen und technische Regelwerk	897
22.1.1 Abfallrechtliche Vorschriften	897
22.1.2 Mantelverordnung	898
22.1.3 Technisches Regelwerk der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall	898
22.2 Umgang mit mineralischen Abfällen und Altholzschwellen	898
22.2.1 Umgang mit Altschotter	899
22.2.2 Umgang mit Altholzschwellen	900
22.2.3 Umgang mit Boden	901
Weiterführende Literatur	902
23 Asset Management Fahrweg	903
Peter Veit und Stefan Marschnig	
23.1 Technische Beschreibung des Fahrwegs	906
23.2 Wirtschaftliche Bewertung von Fahrwegstrategien	907
23.2.1 Bewertungsmethoden	908
23.2.2 Kosteninhalte	909
23.3 Asset Management	911
23.3.1 Strategisches Asset Management	912
23.3.2 Generelle Erkenntnisse aus dem strategischen Asset Management	916
23.3.3 Fahrwegstrategien – Ergebnisse	923
23.3.4 Instandhaltungsstrategien	925
23.3.5 Operatives Anlagemanagement	930
23.3.6 Neue Erkenntnisse durch neue Analysen	935

23.4 Aktuelle Entwicklungen	940
23.4.1 Spezifizierung der Gleisbelastung	941
23.4.2 Effekte kurzwelliger Schienenoberflächenfehler . .	941
23.4.3 Eingriffsschwelle als Stellschraube für die Instandhaltungsoptimierung	942
23.4.4 Berücksichtigung der Arbeitsqualität	943
23.4.5 Berücksichtigung der Schotterverschmutzung . .	944
23.5 Ausblick	945
Literatur	947
24 Ökobilanzierung der Eisenbahninfrastruktur	949
Matthias Landgraf	
24.1 Grundlagen der Ökobilanzierung	950
24.1.1 Phasen einer Ökobilanzierung	951
24.1.2 Datengrundlagen für Ökobilanzierungen	952
24.1.3 Umweltwirkungskategorien	952
24.2 Ökologische Bewertung von Eisenbahninfrastruktur	954
24.2.1 Methodik der Bewertung am Beispiel Streckengleis	955
24.2.2 Treibhausgasbilanz des Streckengleises	957
24.2.3 Bewertung weiterer Umweltwirkungen am Beispiel Weiche	959
24.2.4 Potential zur Reduktion von Umweltwirkungen der Eisenbahninfrastruktur	962
24.2.5 Umweltkosten von Eisenbahninfrastruktur	963
24.3 Integration von Umweltwirkungen in Entscheidungsprozesse	965
24.3.1 Ökologischer Variantenentscheid im Planungsprozess	965
24.3.2 Nachhaltiger Beschaffungsprozess	966
24.4 Zusammenfassung und Ausblick	969
Literatur	970
25 Die Beanspruchung des Fahrwegs	973
Stefan Marschnig und Ursula Ehrhart	
25.1 Einleitung	973
25.2 Schädigungsmodellierung	975
25.2.1 Schotterschädigung (D_1)	978
25.2.2 Schienenschädigung im geraden Gleis (D_2 und D_3)	978
25.2.3 Schienenschädigung im Bogengleis ($D_{4.1}$ und $D_{4.2}$)	979
25.2.4 Weichenkomponentenschädigung (D_5 und D_6) . .	980
25.2.5 Gleiserneuerung (D_7)	980
25.3 Beanspruchung und Fahrweginstandsetzung am Beispiel Gleisstopfung	981
25.4 Fahrzeugspezifisches Verschleißmodell	984
25.5 Zusammenfassung & Diskussion	985
Literatur	986

26	Netzzugang	987
	Robert Prinz, Ulrich Rührnößl, Katja Skodacsek, Roland Pavel, Wolfgang Strehn und Alfred Pitnik	
26.1	Aufgaben und Ziele Netzzugang	987
26.2	Aspekte für den Antrags- und Genehmigungsprozess von Schienenfahrzeugen	990
26.2.1	Genehmigung von Schienenfahrzeugen	990
26.2.2	Streckenkompatibilität	990
26.2.3	Außergewöhnliche Sendungen (aS)	991
26.2.4	Probefahrten	991
26.2.5	Netzregistrierung	991
26.3	Aspekte zur Kapazitätszuweisung	992
26.3.1	Fahrplangrundlagen	993
26.3.2	Der Weg zum Jahresfahrplan (Netzfahrplan)	994
26.3.3	Der Weg zum unterjährigen Fahrplan	995
26.3.4	Überlastete Infrastruktur	996
26.3.5	Besondere Fahrwege	996
26.3.6	Ad-hoc-Fahrwegkapazität	996
26.3.7	Kapazitätsmanagement – Temporary Capacity Restrictions (TCR)	997
26.4	Aspekte zur Bereitstellung von Nutzungsbedingungen	1002
26.4.1	Schienennetz-Nutzungsbedingungen (SNNB)	1002
26.4.2	Leistungsarten und Bedingungen für den Zugang zu Leistungen	1003
26.4.3	Entgeltfestlegung: Wege- und Dienstleistungsentgelte	1005
26.5	Aspekte zum Vertrieb und der Entwicklung des Schienenverkehrsmarktes	1006
26.6	Die Vision eines europäischen Kapazitätsmanagements im Bahnsektor	1010
26.6.1	Green Deal und Ausgangslage	1010
26.6.2	Effizientere Nutzung der Kapazitäten	1010
	Literatur	1011
27	Werkzeuge zur Anlagenbewirtschaftung des Fahrwegs	1013
	Ivan Vidovic und Ulrich Erdmann	
27.1	Schlüsselemente für eine moderne und effiziente Bewirtschaftung des Eisenbahnfahrwegs	1014
27.2	Hardware	1015
27.2.1	Fahrzeugbasierte Hardware zur Überwachung der Infrastruktur	1015
27.2.2	Infrastrukturbasierte Hardware zur Überwachung der Infrastruktur	1016
27.2.3	Infrastrukturbasierte Hardware zur Überwachung des Fahrzeugs	1017
27.3	Software	1017
27.3.1	Systemarchitektur	1017
27.3.2	Logische und physikalische Objekte des Fahrweges	1018

27.3.3	Flexible Datenstrukturen	1019
27.3.4	Datenimport/Schnittstellen	1020
27.3.5	Das Analysesystem	1020
27.3.6	Anforderungen und Grundformen der Darstellung .	1023
27.3.7	Fachübergreifende Grundlagen für weitergehende Analysen	1025
27.4	Anwendung von Infrastrukturmanagementsystemen . . .	1029
27.4.1	Ist-Zustandsanalyse	1030
27.4.2	Zustandsprognose	1040
27.4.3	Instandhaltungsplanung	1045
28	Modellbildung als wichtiger Baustein für Gesamtsystemverständnis und Virtuelle Zulassung . . .	1055
	Klaus Six und Stephan Scherlau	
28.1	Einleitung	1055
28.2	Komplexität des Systemverhaltens	1056
28.3	Simulations-Use-Case „Weiche“	1059
28.4	Zulassung von Fahrwegsystemen der Eisenbahninfrastruktur	1064
28.5	Ausblick	1065
	Literatur	1066
29	Building Information Modeling (BIM)	1067
	Steffen Scharun und Anne Schacherl	
29.1	Einleitung	1067
29.1.1	Historie der Entwicklung und Implementierungsstrategie von BIM in Deutschland	1067
29.1.2	BIM-Strategie des Vorstandsressorts Infrastruktur (VR I) der DB	1069
29.1.3	BIM-Implementierung bei der DB InfraGO AG (ehemals DB Netz AG)	1071
29.2	Bestandsaufnahme/-modellierung	1073
29.2.1	Eingangsdaten	1073
29.2.2	Bestandsvermessung	1073
29.2.3	Bestandsmodellierung	1074
29.3	Planungsphase	1075
29.3.1	Modellerstellung	1075
29.3.2	Qualitätssicherung	1082
29.3.3	Signalsichtprüfung	1087
29.3.4	Baubetriebsplanung (4D)	1087
29.3.5	Baulogistikplanung	1089
29.3.6	BIM im Genehmigungsverfahren	1090
29.3.7	5D-Planung	1091
29.4	Bauphase	1093
29.4.1	BIM2Build	1093
29.4.2	BIM in der Bauüberwachung	1093
29.4.3	AP durch Baufirma	1093

29.4.4 Baufortschrittskontrolle	1094
29.4.5 Bauabrechnung	1095
29.4.6 Abnahme/Inbetriebnahme	1095
29.4.7 Mängelmanagement	1096
29.4.8 Steuerung Materialbeschaffung, Logistik und Ressourcensteuerung	1096
29.5 Betriebsphase	1096
29.6 Nachhaltigkeit (GreenBIM)	1098
29.7 Gesamtfazit	1099
Literatur	1099
Stichwortverzeichnis	1101