

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Das Zusammenwirken von Fahrzeug und Gleis . . . . .</b>	<b>1</b>
	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 $\lambda_e, c_{yg}$ . . . . .	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
<b>2</b>	<b>Auslegung des Eisenbahnoberbaus . . . . .</b>	<b>41</b>
	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
		XI

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 Schotteroberbau . . . . .	63
2.5	Belastung und Anschaffungskosten des Eisenbahnoberbaus . . . . .	64
2.6	Zusammenfassung . . . . .	66
	Literatur . . . . .	67
<b>3</b>	<b>Schienen und Schienenschweißen . . . . .</b>	<b>69</b>
	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	Schienenbearbeitung und Schieneninspektion . . . . .	84
3.3.1	Schieneninspektion . . . . .	84
3.3.2	Schienenbearbeitung . . . . .	90
3.3.3	Neuschienenbearbeitung . . . . .	92
	Literatur . . . . .	92

---

<b>4</b>	<b>Weichen</b> . . . . .	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
<b>5</b>	<b>Unterbau, Eisenbahndämme und Einschnitte . . . . .</b>	<b>173</b>
	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
<b>6</b>	<b>Eisenbahnbrücken, Tunnel und Ingenieurbauwerke . . . . .</b>	<b>217</b>
	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

<b>7</b>	<b>Bahnübergänge</b> . . . . .	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 Auffassung und Beseitigung . . . . .	315
	Literatur . . . . .	315
<b>8</b>	<b>Begrenzungslinien, Lichträume und Querschnittsgestaltung der Bahnanlagen</b> . . . . .	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

<b>9</b>	<b>Trassierung und Gleisplangestaltung</b> . . . . .	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 Überhöhungsänderung . . . . .	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 ... $\Delta u_f$ 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
<b>10</b>	<b>Betriebliche Infrastrukturplanung und Infrastrukturgestaltung</b> . . . . .	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
<b>11</b>	<b>Betriebsführung der Infrastruktur . . . . .</b>	<b>459</b>
	Jörn Pachtl	
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
<b>12</b>	<b>Leit- und Sicherungstechnik . . . . .</b>	<b>501</b>
	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
<b>13</b>	<b>Funktionale Sicherheit . . . . .</b>	<b>559</b>
	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
<b>14 Cybersecurity . . . . .</b>	<b>615</b>
Matthias Drodts 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

<b>15</b>	<b>Elektromagnetische Verträglichkeit</b> . . . . .	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
<b>16</b>	<b>Energieversorgung elektrischer Bahnen</b> . . . . .	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	Stromschienen . . . . .	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 Stromschienen . . . . .	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

<b>17</b>	<b>Stromversorgung der Infrastruktur</b> . . . . .	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
<b>18</b>	<b>Kabelanlagen</b> . . . . .	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
<b>19</b>	<b>Lärm und Erschütterungen . . . . .</b>	<b>841</b>
	Bernd Asmussen und Christian Frank	
19.1	Schienenverkehrslärm . . . . .	841
19.1.1	Grundlagen . . . . .	841
19.1.2	Entstehung des Rollgeräuschs . . . . .	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
<b>20</b>	<b>Vegetationsmanagement . . . . .</b>	<b>869</b>
	Felix Gerhardt und Michael Below	
20.1	Grundlagen . . . . .	869
20.2	Vegetationskontrolle im Gleisbereich . . . . .	870
20.3	Vegetationskontrolle am Gleisbereich . . . . .	871
<b>21</b>	<b>Schutz von Natur und Landschaft, Strahlenschutz, Trinkwasserhygiene in Trinkwasser-Befüllungsanlagen . . .</b>	<b>879</b>
	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 Isotopensonden . . . . .	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
<b>22</b>	<b>Entsorgung von Abfällen und Einbau von mineralischen Ersatzbaustoffen bei Bau und Instandhaltung . . . . .</b>	<b>897</b>
	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
<b>23</b>	<b>Asset Management Fahrweg . . . . .</b>	<b>903</b>
	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 kurzweiliger 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
<b>24</b>	<b>Ökobilanzierung der Eisenbahninfrastruktur . . . . .</b>	<b>949</b>
	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
<b>25</b>	<b>Die Beanspruchung des Fahrwegs . . . . .</b>	<b>973</b>
	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



<b>26</b>	<b>Netzzugang</b> . . . . .	987
	Robert Prinz, Ulrich Rührnöbl, 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
<b>27</b>	<b>Werkzeuge zur Anlagenbewirtschaftung des Fahrwegs</b> . . . . .	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
<b>28 Modellbildung als wichtiger Baustein für Gesamtsystemverständnis und Virtuelle Zulassung . . . .</b>	<b>1055</b>
Klaus Six und Stephan Scheriau	
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
<b>29 Building Information Modeling (BIM) . . . . .</b>	<b>1067</b>
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
<b>Stichwortverzeichnis . . . . .</b>	<b>1101</b>