

# Inhaltsverzeichnis

	<b>Vorwort</b> .....	<b>13</b>
	<b>Einleitung</b> .....	<b>15</b>
<b>1</b>	<b>Grundelemente des Systems Bahn und Konsequenzen für die Systemgestaltung</b> .....	<b>19</b>
<b>1.1</b>	<b>Systembestandteile und Wirkungsmechanismen</b> .....	<b>19</b>
<b>1.2</b>	<b>Interdependenzen der Teilsysteme</b> .....	<b>21</b>
1.2.1	Kontaktpunkt Rad/Schiene.....	21
1.2.2	Zugbildung und Infrastruktur.....	21
1.2.3	Sicherheit .....	22
1.2.4	Fahrplan und Betriebsführung.....	24
<b>1.3</b>	<b>Systemelemente und wichtige Schnittstellen</b> .....	<b>24</b>
1.3.1	Regelungsnotwendigkeit.....	24
1.3.2	Zuständigkeiten .....	26
1.3.3	Maßgebende Gesetze .....	28
1.3.4	Ausführungsbestimmungen der EVU/EIV und der NE-Bahnen.....	28
<b>2</b>	<b>Die Entwicklung des Systems Bahn</b> .....	<b>29</b>
<b>2.1</b>	<b>Die Wurzeln in England und Deutschland</b> .....	<b>29</b>
<b>2.2</b>	<b>Eisenbahnen in Deutschland bis 1914</b> .....	<b>30</b>
<b>2.3</b>	<b>Die Zeit 1914–1945</b> .....	<b>35</b>
<b>2.4</b>	<b>Entwicklungen 1945–1993</b> .....	<b>37</b>
2.4.1	Die Aufteilung der Bahn in Deutschland.....	37
2.4.2	Die Deutsche Reichsbahn der DDR.....	38
2.4.3	Die Deutsche Bundesbahn und ihr Umfeld .....	39
<b>2.5</b>	<b>Von der Dampfeisenbahn zum InterCity-System</b> .....	<b>40</b>
<b>2.6</b>	<b>F&amp;E für die Rad/Schiene-Technologie</b> .....	<b>43</b>
<b>2.7</b>	<b>Netzausbau (NBS/ABS) und schnelle Züge</b> .....	<b>45</b>
<b>2.8</b>	<b>Entwicklungen seit der Bahnreform 1994</b> .....	<b>47</b>
2.8.1	Die erste Stufe der Bahnreform .....	47
2.8.2	Die zweite Stufe der Bahnreform .....	48
<b>2.9</b>	<b>ICE 3, neue Strecken, neue Angebote</b> .....	<b>49</b>
<b>3</b>	<b>Regelungen zur Sicherung des Systems Bahn</b> .....	<b>53</b>
<b>3.1</b>	<b>Regelungsgrundsätze</b> .....	<b>53</b>
3.1.1	Regelungsbedarf .....	53
3.1.2	Struktur der Regelungen.....	55
3.1.3	Verantwortung für das Einhalten der Regelungen .....	59
<b>3.2</b>	<b>Regelwerke für die Eisenbahnen</b> .....	<b>59</b>
3.2.1	Europäische Eisenbahngesetzgebung .....	59
3.2.2	Internationale Übereinkommen und Vereinbarungen .....	66
3.2.3	Nationale Eisenbahngesetzgebung .....	68
3.2.4	Untergesetzliche Regelwerke.....	69
3.2.5	Regelwerke der Eisenbahnverkehrsverwaltung .....	70

<b>4</b>	<b>Verkehrsmärkte</b> .....	<b>73</b>
<b>4.1</b>	<b>Personenverkehr</b> .....	<b>73</b>
4.1.1	Aufgaben der Marktforschung .....	73
4.1.2	Erhebung von Marktdaten .....	73
4.1.3	Hauptdeterminanten der Verkehrsnachfrage .....	75
4.1.4	Modellierung der Verkehrsmärkte .....	75
4.1.5	Die Potenziale in Deutschland und Europa .....	87
4.1.6	Angebotsstrategien für den Schienenpersonenverkehr .....	91
4.1.7	Datenquellen zum Verkehrsverhalten .....	93
<b>4.2</b>	<b>Güterverkehrsmärkte</b> .....	<b>93</b>
4.2.1	Prognosen im Güterverkehr .....	93
4.2.2	Verkehrserzeugung und -verflechtung .....	96
4.2.3	Verkehrsteilung (Verkehrsmittelwahl, Modal-Split) .....	98
4.2.4	Verkehrsumlegung .....	101
4.2.5	Datenquellen .....	106
<b>5</b>	<b>Anforderungen an das System Bahn und Konsequenzen für die Strategie</b> .....	<b>109</b>
<b>5.1</b>	<b>Anforderungen an das System Bahn</b> .....	<b>109</b>
<b>5.2</b>	<b>Anforderungen an die Sub- und Teilsysteme</b> .....	<b>111</b>
<b>5.3</b>	<b>Anforderungen an die Schnittstellen des Systems Bahn</b> .....	<b>115</b>
<b>5.4</b>	<b>Konsequenzen für die Strategien der Bahnen</b> .....	<b>118</b>
<b>5.5</b>	<b>Entwicklung des Systems Bahn: Themen der Zukunft</b> .....	<b>121</b>
<b>6</b>	<b>Gesamtsystemzusammenhang und Wirkungsmechanismen des Systems Bahn</b> .....	<b>123</b>
<b>6.1</b>	<b>Spurführungstechnik</b> .....	<b>123</b>
6.1.1	Kräfte zwischen Rad und Schiene .....	123
6.1.2	Rad/Schiene-Effekte .....	134
6.1.3	Spurführungsprinzip Radsatz .....	135
6.1.4	Bogenlaufverhalten des Radsatzes .....	145
6.1.5	Spurführungsprinzip Losrad .....	153
6.1.6	Verhalten von Fahrzeugen .....	154
6.1.7	Bogenlaufverhalten .....	161
6.1.8	Fahrtechnische Prüfung zur Zulassung von Schienenfahrzeugen .....	166
<b>6.2</b>	<b>Fahrdynamik</b> .....	<b>167</b>
6.2.1	Einleitung .....	167
6.2.2	Mechanische Modellbildung und Einflussgrößen .....	168
6.2.3	Methodische Ansätze .....	168
6.2.4	Anwendungsbeispiel: Energiesparende Fahrweise (EFS) .....	169
6.2.5	Anwendungsbeispiel: Grenzlasten .....	172
6.2.6	Zusammenfassung .....	173
<b>6.3</b>	<b>Bremsen</b> .....	<b>173</b>
6.3.1	Aufgaben und Randbedingungen .....	173
6.3.2	UIC-Druckluftbremse – Wirkprinzip .....	174
6.3.3	Bremsbetrieb .....	176
6.3.4	Zugdynamik .....	178

6.3.5	Bremsprobe .....	181
6.3.6	Regelwerke und Normen .....	182
<b>6.4</b>	<b>Fahrbahntechnik</b> .....	<b>183</b>
6.4.1	Systemintegrator Fahrbahntechnik .....	183
6.4.2	Anforderungen an den Untergrund .....	184
6.4.3	Oberbauarten .....	186
6.4.4	Weichen .....	191
6.4.5	Schienentechnik .....	192
6.4.6	Fahrzeug-Fahrweg-Wechselwirkung .....	193
6.4.7	Fahrbahn-LST-Wechselwirkung .....	195
<b>6.5</b>	<b>Bahnenergieversorgung</b> .....	<b>196</b>
6.5.1	Nutzung der elektrischen Energie zur Fortbewegung .....	197
6.5.2	Warum 16,7 Hz? .....	197
6.5.3	Zentrale und dezentrale Energieversorgung .....	200
6.5.4	Genormte Spannungen für Bahnanwendungen .....	203
6.5.5	Bahnstromleitungen 110 kV/16,7 Hz .....	203
6.5.6	Automatisierung der Betriebsführung .....	207
<b>6.6</b>	<b>Wechselwirkung Fahrleitung-Stromabnehmer</b> .....	<b>210</b>
6.6.1	Anforderungen an das System Stromabnehmer-Oberleitung .....	210
6.6.2	Kontaktkraft .....	213
6.6.3	Fahrleitungs- und Stromabnehmermaterial .....	215
6.6.4	Geometrische Anforderungen .....	216
6.6.5	Fazit .....	216
<b>6.7</b>	<b>Leit- und Sicherungstechnik für den Eisenbahnbetrieb</b> .....	<b>217</b>
6.7.1	Funktionale Verknüpfung von Fahrweg und Fahrzeugen: Beispiel Bremskurven .....	218
6.7.2	Zugortung .....	220
<b>6.8</b>	<b>Aerodynamik</b> .....	<b>221</b>
6.8.1	Systemverbundthema Aerodynamik .....	221
6.8.2	Aerodynamik der Freien Strecke .....	221
6.8.3	Tunnelaerodynamik .....	226
<b>6.9</b>	<b>Akustik – Luftschall und Erschütterungen aus dem Schienenverkehr</b> .....	<b>229</b>
6.9.1	Grundsätzliches .....	229
6.9.2	Rad/Schiene-Dynamik als Quelle für Schall und Erschütterungen .....	231
6.9.3	Akustische Effekte beim Hochgeschwindigkeitsverkehr .....	238
6.9.4	Sonstige Quellen .....	241
6.9.5	Ausblick auf künftige Entwicklungen .....	241
<b>7</b>	<b>Produktionsplanung</b> .....	<b>245</b>
<b>7.1</b>	<b>Begriffe, Ziele</b> .....	<b>245</b>
7.1.1	Produktionsplanung .....	245
7.1.2	Betriebsplanung .....	245
7.1.3	Fahrplan .....	246
7.1.4	Ziele der Angebotsplanung .....	247
<b>7.2</b>	<b>Angebotsplanung im Schienenpersonenverkehr</b> .....	<b>248</b>
7.2.1	Die Anforderungen des Marktes an die Anbietererstellung .....	248
7.2.2	Die Planungsschritte .....	250
7.2.3	Prognosen als Datenbasis .....	251

7.2.4	Planung von Netzen für den Schienenpersonenverkehr .....	251
7.2.5	Die Planung des Angebotsnetzes im Fernverkehr .....	253
7.2.6	Die Linienplanung .....	254
7.2.7	Fahrpläne für Nahverkehrslinien .....	256
7.2.8	Systematische und nicht systematische Bedienungssysteme .....	257
7.2.9	Der integrale Taktfahrplan .....	261
7.2.10	Fahrplanoptimierung .....	264
7.2.11	Die Kapazitätsplanung .....	266
7.2.12	Die Fahrzeugeinsatzplanung .....	268
<b>7.3</b>	<b>Angebotssysteme im Eisenbahngüterverkehr .....</b>	<b>269</b>
7.3.1	Formen des Eisenbahngüterverkehrs .....	269
7.3.2	Der Einzelwagenverkehr .....	270
7.3.3	Der Kombinierte Verkehr .....	274
<b>7.4</b>	<b>Netzfahrplan .....</b>	<b>275</b>
7.4.1	Rechtliche Rahmenbedingungen .....	275
7.4.2	Der Prozess der Netzfahrplanerstellung .....	276
7.4.3	Fahrplanbearbeitung, Koordinierungs- und Entscheidungsverfahren .....	277
7.4.4	Trassenbestellung .....	277
<b>7.5</b>	<b>Die Technik der Fahrplanerstellung .....</b>	<b>278</b>
7.5.1	Fahrplankonstruktion .....	278
7.5.2	Fahrzeitermittlung .....	279
7.5.3	Zeitanteile im Fahrplan .....	282
7.5.4	Planmäßige Wartezeiten und Synchronisationszeiten .....	284
7.5.5	Fahrplan und Leistungsfähigkeit von Strecken und Knoten .....	285
7.5.6	Fahrplanleistung und Fahrplanqualität .....	288
<b>7.6</b>	<b>Darstellungsformen des Fahrplans .....</b>	<b>290</b>
<b>8</b>	<b>Die Infrastruktur .....</b>	<b>295</b>
<b>8.1</b>	<b>Leistungsfähigkeitsuntersuchungen und Simulationen .....</b>	<b>295</b>
8.1.1	Ausgangslage für eisenbahnbetriebswissenschaftliche Untersuchungen .....	295
8.1.2	Leistungsfähigkeit .....	296
8.1.3	Grundlagen der eisenbahnbetriebswissenschaftlichen Verfahren .....	298
8.1.4	Verfahrensfamilien und Methoden .....	300
8.1.5	Durchführung von Untersuchungen .....	305
8.1.6	Strecke .....	307
8.1.7	Knoten .....	313
8.1.8	Netz .....	320
8.1.9	Die eisenbahnbetriebswissenschaftlichen Untersuchungen in den Planungsphasen .....	321
<b>8.2</b>	<b>Betriebliche und verkehrliche Planung der Bahnanlagen .....</b>	<b>321</b>
8.2.1	Grundlegende Gestaltungselemente des Fahrwegs .....	322
8.2.2	Streckengestaltung nach Verkehrsaufkommen und Verkehrsarten .....	337
8.2.3	Netzspezialisierung .....	348
8.2.4	Gestaltung der Bahnhöfe .....	359
8.2.5	Zugang zum System Bahn im Personenverkehr – Der Bahnhof als Schnittstelle zu anderen Verkehrssystemen .....	371
8.2.6	Knoten des Güterverkehrs im Licht der Kundenanforderungen .....	379

<b>8.3</b>	<b>Planung, Bau und Inbetriebnahme von Infrastrukturprojekten</b> .....	<b>391</b>
8.3.1	Planungsrechtliche Vorschriften für den Bau und die Änderung von Betriebsanlagen der Eisenbahn.....	391
8.3.2	Bauaufsicht .....	393
8.3.3	Baumaßnahmen im Transeuropäischen Netz (TEN) .....	394
<b>8.4</b>	<b>Instandhaltung</b> .....	<b>400</b>
8.4.1	Grundlagen.....	400
8.4.2	Gleisinstandhaltung .....	402
8.4.3	Instandhaltung von Brücken und Tunneln .....	409
8.4.4	Instandhaltung der Erdbauwerke .....	411
8.4.5	Instandhaltung der Anlagen der Leit- und Sicherungstechnik (LST) .....	412
8.4.6	Instandhaltung der Oberleitungsanlagen.....	415
8.4.7	Fahren und Bauen – Baubetriebsplanung.....	416
<b>9</b>	<b>Schienenfahrzeuge</b> .....	<b>425</b>
<b>9.1</b>	<b>Anforderungen</b> .....	<b>425</b>
9.1.1	Nutzeranforderungen.....	425
9.1.2	Anforderungen seitens der Infrastruktur .....	426
9.1.3	Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit.....	426
9.1.4	Leistungsvermögen .....	428
9.1.5	Passive Sicherheit (Crash-Verhalten).....	429
<b>9.2</b>	<b>Kennzeichen moderner Schienenfahrzeuge</b> .....	<b>431</b>
9.2.1	Triebfahrzeuge .....	431
9.2.2	Reisezugwagen .....	437
9.2.3	Güterwagen.....	437
<b>9.3</b>	<b>Fahrzeugkomponenten</b> .....	<b>438</b>
9.3.1	Fahrwerke .....	438
9.3.2	Zug- und Stoßeinrichtungen .....	444
9.3.3	Bremsen.....	446
9.3.4	Klimaanlage .....	458
9.3.5	Geschlossene Toilettensysteme .....	459
9.3.6	Türen.....	460
<b>9.4</b>	<b>Ausgewählte Fahrzeugbeispiele</b> .....	<b>461</b>
9.4.1	TRAXX-Lokomotiv-Familie .....	461
9.4.2	Regionaltriebwagen-Familie Protos .....	469
9.4.3	Hochgeschwindigkeitstriebwagenzug .....	471
9.4.4	Neigezug ICN .....	473
9.4.5	Doppelstocktriebwagen RABe 514 (S-Bahn Zürich).....	477
9.4.6	Reisezugwagen .....	479
9.4.7	Güterwagen.....	480
<b>9.5</b>	<b>Schienenfahrzeuge für den BOStrab/EBO-Mischbetrieb</b> .....	<b>483</b>
<b>9.6</b>	<b>Fahrzeugzugang zur Eisenbahninfrastruktur</b> .....	<b>486</b>
9.6.1	Europäische Regelungen .....	486
9.6.2	Technische Zugangsvoraussetzungen .....	487
9.6.3	Abnahme von Fahrzeugen oder Komponenten.....	488
9.6.4	Feststellung der Kompatibilität.....	491
9.6.5	Bekanntgabe der Anforderungen.....	494

9.6.6	Regelwerk für den Infrastrukturzugang .....	497
9.6.7	Verfahrensabläufe .....	499
9.6.8	Versuchs- und Probefahrten .....	499
<b>10</b>	<b>Betriebsführung .....</b>	<b>505</b>
<b>10.1</b>	<b>Regelung und Sicherung der Zugfolge .....</b>	<b>505</b>
10.1.1	Abstandsregelung bei Führung der Züge durch ortsfeste Signale .....	506
10.1.2	Abstandsregelung bei Führung der Züge durch Führerraumanzeigen .....	513
10.1.3	Zugfolgesicherung .....	516
<b>10.2</b>	<b>Fahrwegsicherung .....</b>	<b>521</b>
10.2.1	Begriff der Fahrstraße .....	521
10.2.2	Verschließen der Fahrwegelemente .....	522
10.2.3	Fahrstraßenausschlüsse .....	524
10.2.4	Flankenschutz .....	525
10.2.5	Sicherung der Durchrutschwege .....	526
10.2.6	Stellwerksbauformen .....	527
<b>10.3</b>	<b>Zugbeeinflussung .....</b>	<b>529</b>
10.3.1	Punktförmige Zugbeeinflussung .....	529
10.3.2	Linienförmige Zugbeeinflussung .....	531
10.3.3	ETCS .....	533
<b>10.4</b>	<b>Betriebsverfahren .....</b>	<b>536</b>
10.4.1	Einteilung der Betriebsverfahren nach der Art der Einteilung der Zustimmung zur Zugfahrt .....	536
10.4.2	Einteilung der Betriebsverfahren nach der Struktur der Fahrdienstleitung .....	537
10.4.3	Rückfallebenen .....	539
10.4.4	Besonderheiten .....	541
10.4.5	Durchführen von Rangierfahrten .....	542
<b>10.5</b>	<b>Betriebsleittechnik .....</b>	<b>543</b>
10.5.1	Zuglaufverfolgung .....	543
10.5.2	Zuglenkung .....	545
10.5.3	Betriebszentralen .....	547
<b>11</b>	<b>Bahn und Umwelt .....</b>	<b>551</b>
<b>11.1</b>	<b>Klimaschutz .....</b>	<b>551</b>
<b>11.2</b>	<b>Lärmschutz .....</b>	<b>553</b>
<b>11.3</b>	<b>Luftschadstoffe .....</b>	<b>554</b>
<b>11.4</b>	<b>Abrieb .....</b>	<b>555</b>
<b>11.5</b>	<b>Vegetationskontrolle .....</b>	<b>556</b>
<b>11.6</b>	<b>Fahrtziel Natur .....</b>	<b>556</b>
<b>12</b>	<b>Interoperabilität des Transeuropäischen Bahnsystems .....</b>	<b>557</b>
<b>12.1</b>	<b>Begriffsbestimmung .....</b>	<b>557</b>
<b>12.2</b>	<b>150 Jahre interoperabler Bahnbetrieb in Europa .....</b>	<b>557</b>
<b>12.3</b>	<b>Hochgeschwindigkeitsverkehr: beschränkt interoperabel .....</b>	<b>560</b>
12.3.1	Deutschland und Frankreich .....	560
12.3.2	Grenzüberschreitende Hochgeschwindigkeitssysteme .....	563

<b>12.4</b>	<b>Eisenbahnnetze für Europa</b> .....	<b>566</b>
12.4.1	EIL und ERIM .....	566
12.4.2	AGC und AGTC.....	566
12.4.3	Vorschlag für ein europäisches HGV-Netz .....	567
<b>12.5</b>	<b>Das Europäische Vertragswerk</b> .....	<b>570</b>
12.5.1	Rom, Maastricht und die Folgen.....	570
12.5.2	Das TEN der Bahnen.....	572
12.5.3	Die „Richtlinie über die Interoperabilität des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems“ entsteht.....	573
<b>12.6</b>	<b>Die Richtlinien „Interoperabilität“ und die TSI</b> .....	<b>575</b>
12.6.1	Richtlinie 96/48/EG.....	575
12.6.2	Richtlinie 2001/16/EG.....	575
12.6.3	Richtlinie 2004/50/EG (Änderungsrichtlinie) .....	576
12.6.4	Aufbau der Richtlinie.....	576
12.6.5	Teilsysteme.....	578
12.6.6	Technische Spezifikationen .....	578
<b>12.7</b>	<b>Erstellung der TSI und Beispiel</b> .....	<b>580</b>
12.7.1	AEIF (1998-2006) .....	580
12.7.2	ERA (ab 2005).....	580
12.7.3	TSI Güterwagen .....	582
<b>12.8</b>	<b>Normen</b> .....	<b>589</b>
<b>12.9</b>	<b>Eine neue Bahnwelt entsteht</b> .....	<b>590</b>
<b>13</b>	<b>Wirtschaftlichkeit des Systems Bahn</b> .....	<b>593</b>
<b>13.1</b>	<b>Kostenstrukturen der Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU)</b> .....	<b>593</b>
13.1.1	Fahrzeugkosten .....	593
13.1.2	Personalkosten.....	594
13.1.3	Gebühren für die Nutzung des Netzes (Trassenpreise).....	594
13.1.4	Anlagen- und Stationspreise.....	594
13.1.5	Energiekosten.....	595
13.1.6	LCC-Analyse .....	596
13.1.7	Interne Geldflüsse in der DB AG.....	597
<b>13.2</b>	<b>Erlöse der EVU</b> .....	<b>597</b>
<b>13.3</b>	<b>Kosten- und Erlösstrukturen der Eisenbahninfrastrukturunternehmen (EIU)</b> .....	<b>598</b>
<b>13.4</b>	<b>Wirtschaftlichkeitsrechnungen für BVWP-Maßnahmen</b> .....	<b>602</b>
<b>13.5</b>	<b>Staatliche Finanzbeihilfen für die DB AG und die Chancen für privates Engagement</b> .....	<b>604</b>
13.5.1	Investitionszuschüsse und Privatfinanzierung.....	604
13.5.2	Regionalisierungsmittel und Wettbewerb auf der Schiene.....	605
<b>14</b>	<b>Bahnen besonderer Bauart</b> .....	<b>607</b>
<b>14.1</b>	<b>Nicht interoperable Bahnen besonderer Bauart</b> .....	<b>607</b>
14.1.1	Straßenbahnen .....	607
14.1.2	Metro/U-Bahnen.....	614
14.1.3	Magnetschwebebahnen .....	616
<b>14.2</b>	<b>Interoperable Bahnen besonderer Bauart</b> .....	<b>621</b>
14.2.1	Schwerlastbahnen .....	621

<b>15</b>	<b>Perspektiven des Systems Bahn</b> .....	<b>625</b>
<b>15.1</b>	<b>Verkehrsmarktentwicklung</b> .....	<b>625</b>
15.1.1	SPNV .....	625
15.1.2	SPFV .....	625
15.1.3	SGV.....	626
<b>15.2</b>	<b>Anforderungen an das System Bahn der Zukunft</b> .....	<b>629</b>
15.2.1	Netzentwicklung .....	629
15.2.2	Leit- und Sicherungstechnik, Kommunikation .....	630
15.2.3	Fahrzeugtechnik .....	631
<b>15.3</b>	<b>Vision einer Eisenbahn im Jahr 2050</b> .....	<b>631</b>
15.3.1	Europa.....	631
15.3.2	Bahnen außerhalb Europas .....	633
	<b>Glossar</b> .....	<b>635</b>
	<b>Stichwortverzeichnis</b> .....	<b>647</b>
	<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>667</b>
	<b>Die Autoren</b> .....	<b>675</b>
	<b>Inserentenverzeichnis</b> .....	<b>679</b>