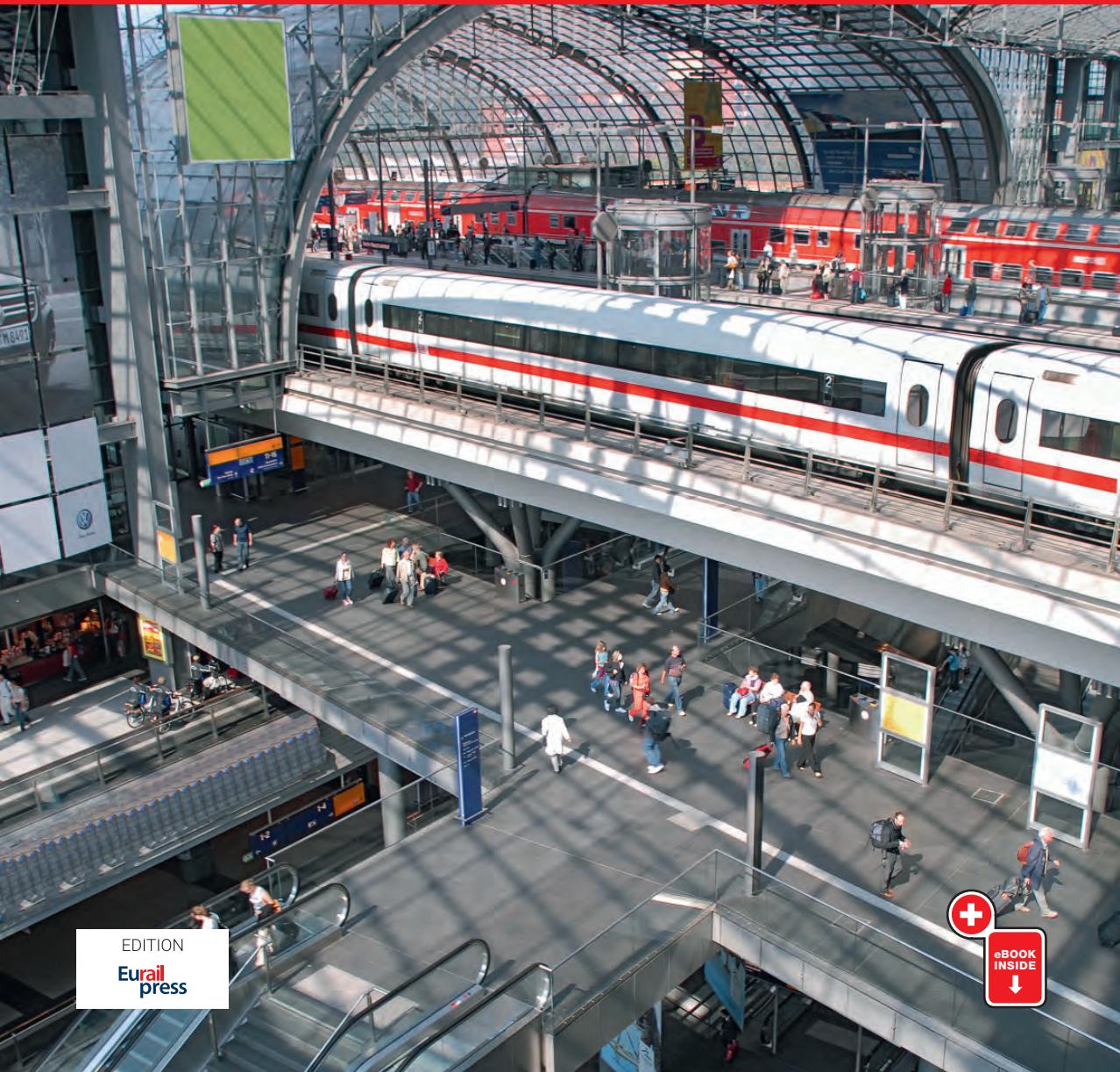


Eberhard Jänsch, Hans Peter Lang, Nils Nießen (Hrsg.)

HANDBUCH Das System Bahn

3. Auflage



HANDBUCH

Das System Bahn

3. Auflage

Herausgeber

Prof. Dr.-Ing. Eberhard Jänsch
Dipl.-Ing. Hans Peter Lang
Prof. Dr.-Ing. Nils Nießen

Autoren

Dr. habil. Bernd Asmussen
Dr. Kristina Birn
Dipl.-Ing. Frank Buchmann
Prof. Dr. Karl G. Degen
Dipl.-Ing. Wolfgang Feldwisch
Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Fengler
Dipl.-Ing. Johannes Gräber
Prof. Dr.-Ing. Markus Hecht
Prof. Dr.-Ing. Hubert Hochbruck
Prof. Dr.-Ing. Eberhard Jänsch
Dipl.-Ing. Thomas Kolbe
Dipl.-Ing. Markus Köppel
Dr. Werner Krötz
Dipl.-Ing. Hans Peter Lang
Dipl.-Ing. Frank Minde
Prof. Dr.-Ing. Nils Nießen
Prof. Dr.-Ing. Jörn Pachl
Dipl.-Ing. Michael Pohl
Dipl.-Ing. Werner Raithmayr
Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Rösch
Dipl.-Ing. Frank Schäfer
PD Dr.-Ing. habil. Lars Schnieder
Dr.-Ing. Stephan Schubert
Dr.-Ing. Christoph Schütze
Prof. Dr.-Ing. Jürgen Siegmann
Dipl.-Ing. Manuel Sonntag
Dr. Thorsten Tielkes
Dr.-Ing. Werner Weigand

EDITION

Eurail
press

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

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

Verlag:

PMC Media House GmbH
Werkstättenstraße 18
51379 Leverkusen

Office Hamburg:

Frankenstraße 29
20097 Hamburg
Telefon: +49 (0) 40 228679 506
Telefax: +49 (0) 40 228679 503
Internet: www.pmcmedia.com
E-Mail: office@pmcmmedia.com

Geschäftsführer:

Silvia Goronzy

Publisher/COO:

Detlev K. Suchanek

Herstellungskoordination:

Dr. Bettina Guiot

Lektorat:

Alexandra Schöner

Vertrieb und Buchservice:

Sabine Braun

Umschlaggestaltung:

Sigrun Seibel, TZ-Verlag & Print GmbH, Roßdorf

Umschlagfoto:

Deutsche Bahn AG/Christian Bedeschinski

Satz und Druck:

TZ-Verlag & Print GmbH, Roßdorf

© 2021 PMC Media House GmbH

3. Auflage 2021

ISBN 978-3-96245-224-7

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen jeder Art, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeisung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Trotz sorgfältiger Recherche war es leider nicht in allen Fällen möglich, die Urheber der Bilder zu ermitteln. Sollten ohne Absicht Bilder in unerwünschter Weise veröffentlicht worden sein, teilen Sie dies bitte dem Verlag mit.

Eine Publikation von



Vorwort der Herausgeber

Die Eisenbahn hat eine große Vergangenheit; sie ist im 21. Jahrhundert lebendiger denn je. Innovationen wie der Hochgeschwindigkeitsverkehr, automatische U- und S-Bahnen, Containertransportzüge sowie „intelligente“ Güterwagen prägen das Bild der Bahn von heute und morgen. Digitalisierung ist angesagt – in allen Bereichen der Bahntechnik, in der Betriebs- und Verkehrsplanung und in den kundenrelevanten Bereichen des Personen- und Güterverkehrs.

Im „System Bahn“ wirken viele Subsysteme zusammen, wie die Bahninfrastruktur, die Eisenbahnfahrzeuge und die Kommunikations-, Informations-, Leit- und Sicherungssysteme zur Durchführung des Betriebs. Diese Subsysteme entwickeln sich mit hoher Dynamik weiter, mit neuen Technologien und Verfahrensweisen. Das System Bahn muss dabei immer neuen Anforderungen nach höherer Leistung, Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit gerecht werden, bei Einhaltung aller Sicherheitsbelange. Hinzu kommen die umfassenden Regelungen innerhalb der Europäischen Union, an denen sich die Weiterentwicklung des Bahnsystems ausrichtet.

Das Handbuch „Das System Bahn“ beschreibt die Subsysteme und ihre vielfältigen Zusammenhänge innerhalb des Gesamtsystems. Es erscheint nun in der dritten, stark überarbeiteten Auflage. Alle Kapitel sind auf den neuesten Stand gebracht worden. Mehrere neue Autoren konnten sich mit aktuellen Themen einbringen.

Der Dank der Herausgeber gilt allen Autoren des Buchs, dem Verlagsleiter von PMC Media, Herrn Detlev K. Suchanek, sowie seinem Team, Frau Dr. Bettina Guiot, Frau Sabine Braun und Frau Alexandra Schöner, außerdem Frau Sigrun Seibel vom TZ-Verlag.

Das Handbuch soll einen hinreichend detaillierten Überblick über das Gesamtsystem Bahn vermitteln und dazu beitragen, das Fachwissen über die Bahn und ihre systembedingten inneren Zusammenhänge zu erhalten und zu verbreiten.

Prof. Dr.-Ing. Eberhard Jänsch

Dipl.-Ing. Hans Peter Lang

Prof. Dr.-Ing. Nils Nießen

Inhaltsverzeichnis

Vorwort der Herausgeber 3

Abkürzungsverzeichnis 16

1	Grundelemente des Systems Bahn und Konsequenzen für die Systemgestaltung	23
1.1	Systembestandteile und Wirkungsmechanismen	23
1.2	Interdependenzen der Teilsysteme	25
1.2.1	Kontaktpunkt Rad/Schiene	25
1.2.2	Zugbildung und Infrastruktur	26
1.2.3	Sicherheit	27
1.2.4	Fahrplan und Betriebsführung	27
1.3	Systemelemente und Schnittstellen	28
1.3.1	Regelungsnotwendigkeit	28
1.3.2	Zuständigkeiten	30
1.3.3	Maßgebende Gesetze	30
1.3.4	Ausführungsbestimmungen der EVU/EIU	31
2	Die Entwicklung der Bahn in Deutschland	32
2.1	Die Wurzeln in England und Deutschland	32
2.2	Eisenbahnen in Deutschland bis 1914	33
2.3	Die Zeit 1914 – 1945	37
2.4	Entwicklungen 1945 – 1993	40
2.4.1	Die Aufteilung der Bahn in Deutschland	40
2.4.2	Die Deutsche Reichsbahn der DDR	40
2.4.3	Die Deutsche Bundesbahn und ihr Umfeld	41
2.5	Von der Dampfeisenbahn zum InterCity-System	42
2.6	F&E für die Rad/Schiene-Technologie	45
2.7	Netzausbau (NBS/ABS) und Hochgeschwindigkeitsverkehr	48

Inhaltsverzeichnis

2.8	Die Deutsche Bahn AG entsteht	49
2.8.1	Bahnreform und Wiedervereinigung	49
2.8.2	Die zweite Stufe der Bahnreform.....	51
2.9	Streckenneubau, Ausbaustrecken, neue Züge	52
2.10	Rationalisierung und Verkehrserfolge; Statistischer Überblick	55
3	Systemeigenschaften der Eisenbahn und Vergleich mit dem System Straße	62
3.1	Systemtechnische Aspekte von Bahnen	62
3.2	Systemeigenschaften der Eisenbahn im Vergleich.....	65
3.2.1	Führen und Fahren; Kapazität der Verkehrswege	65
3.2.2	Traktion, Energieverbrauch und Nachhaltigkeit.....	67
3.2.3	Fahrdynamik	68
3.2.4	Trassierung und Anpassung an das Gelände	70
3.2.5	Geschwindigkeit und Sicherheit	72
3.2.6	Lärm: Vergleich Schiene/Straße	73
4	Regelungen im Bahnsystem	76
4.1	Regelungsgrundsätze.....	76
4.1.1	Regelungsbedarf	76
4.1.2	Struktur der Regelungen	77
4.1.3	Verantwortung für das Einhalten der Regelungen	80
4.2	Europäische Gesetzgebung und Regelwerke	80
4.3	Eisenbahngesetzgebung und Regelungen in Deutschland	84
4.3.1	AEG und EBO.....	84
4.3.2	Zuständigkeiten des EBA.....	84
4.3.3	Sonstige Regelwerke	85
5	Verkehrsmärkte.....	86
5.1	Personenverkehr.....	86
5.1.1	Organisatorische Rahmenbedingungen	86
5.1.2	Marktforschung	88
5.1.3	Modellierung der Verkehrsnachfrage	90
5.1.4	Der Verkehrsmarkt in Deutschland und Europa	101
5.1.5	Bundesverkehrswegeplan und Deutschlandtakt.....	103

Inhaltsverzeichnis

5.2	Güterverkehrsmärkte	106
5.2.1	Prognosen im Güterverkehr	106
5.2.2	Verkehrserzeugung und -verflechtung	108
5.2.3	Verkehrsteilung (Verkehrsmittelwahl, Modal Split)	110
5.2.4	Verkehrsumlegung	114
5.2.5	Datenquellen.....	117
6	Anforderungen an das System Bahn und Konsequenzen für die Strategie	119
6.1	Ausgangssituation und Randbedingungen	119
6.2	Verkehrspolitische Ziele	123
6.3	Die Digital- und Technikstrategie der DB	124
6.4	Sektororganisationen	131
6.5	Umsetzung	134
7	Grundlagen des Rad/Schiene-Systems und Wirkungsmechanismen.....	148
7.1	Spurführungstechnik	148
7.1.1	Kräfte zwischen Rad und Schiene.....	148
7.1.2	Spurführungsprinzip Radsatz	157
7.1.3	Stabilitätsverhalten des Radsatzes.....	165
7.1.4	Bogenlaufverhalten des Radsatzes	168
7.1.5	Spurführungsprinzip Losrad	174
7.1.6	Verhalten von Fahrzeugen.....	175
7.1.7	Bogenlaufverhalten	179
7.1.8	Fahrtechnische Prüfung zur Zulassung von Schienenfahrzeugen	180
7.2	Fahrdynamik der Zugfahrt.....	182
7.2.1	Grundlagen	182
7.2.2	Mechanische Modellbildung	182
7.2.3	Eigenschaften der Infrastruktur und weitere Randbedingungen	185
7.2.4	Berechnungsverfahren	186
7.2.5	Anwendungsbeispiele	187
7.3	Zugkräfte und Widerstände	192

7.4	Bremstechnik und Bremsdynamik	200
7.4.1	Aufgaben und Randbedingungen.....	200
7.4.2	UIC-Druckluftbremse – Wirkprinzip	201
7.4.3	Bremsbetrieb	203
7.4.4	Zugdynamik.....	205
7.4.5	Bremsprobe.....	207
7.4.6	Regelwerke und Normen	209
7.5	Bahnenergieversorgung	210
7.5.1	Nutzung der elektrischen Energie zur Fortbewegung.....	211
7.5.2	Warum 16,7 Hz?.....	212
7.5.3	Zentrale und dezentrale Energieversorgung	214
7.5.4	Spannungen für Bahnanwendungen	218
7.5.5	Bahnstromleitungen 110 kV/16,7 Hz.....	219
7.5.6	Automatisierung der Betriebsführung	223
7.5.7	Regulierung und Entflechtung des Bahnstromnetzes aufgrund der Liberalisierung von Energie- und Eisenbahnmärkten.....	225
7.5.8	Traktionsenergie und Klimawandel	226
7.6	Aerodynamik	230
7.6.1	Aerodynamik der freien Strecke	230
7.6.2	Tunnelaerodynamik	234
7.7	Luftschall und Erschütterungen aus dem Schienenverkehr.....	238
7.7.1	Schallemission und Schallausbreitung.....	238
7.7.2	Rollgeräusche und Rad/Schiene-Dynamik	240
7.7.3	Maßnahmen an der Quelle	242
7.7.4	Maßnahmen am Ausbreitungsweg gegen Schall und Erschütterungen	246
7.7.5	Akustische Effekte bei schnellfahrenden Zügen	248
7.7.6	Akustische Auswirkung von Mikrodruckwellenerscheinungen im Tunnel	249
7.7.7	Sonstige Quellen.....	251
7.7.8	Ausblick.....	252
8	Angebots-, Betriebs- und Kapazitätsplanung	254
8.1	Begriffe, Ziele	254
8.1.1	Angebotsplanung	254
8.1.2	Betriebsplanung.....	255
8.1.3	Fahrplan	256
8.1.4	Kapazitätsmanagement	257

Inhaltsverzeichnis

8.2	Angebotsplanung im Schienenpersonenverkehr	258
8.2.1	Anforderungen des Markts an die Angebotserstellung	258
8.2.2	Planungsschritte	260
8.2.3	Planung von Netzen für den Schienenpersonenverkehr.....	261
8.2.4	Planung des Angebotsnetzes im Fernverkehr.....	262
8.2.5	Liniенplanung	263
8.2.6	Fahrpläne für Nahverkehrslinien	264
8.2.7	Systematische und nicht systematische Fahrplanarten.....	265
8.2.8	Fahrplanoptimierung	270
8.2.9	Berücksichtigung der Nachfrage und Fahrzeugeinsatzplanung.....	273
8.3	Angebotssysteme im Eisenbahngüterverkehr	276
8.3.1	Formen des Eisenbahngüterverkehrs	276
8.3.2	Ganzzüge	277
8.3.3	Einzelwagenverkehr	277
8.3.4	Kombinierter Verkehr	279
8.4	Netzfahrplan.....	283
8.4.1	Rechtliche Rahmenbedingungen	283
8.4.2	Prozess der Netzfahrplanerstellung	283
8.4.3	Trassenbestellung	284
8.5	Technik der Fahrplanerstellung.....	285
8.5.1	Fahrplankonstruktion	285
8.5.2	Zeitanteile im Fahrplan	286
8.5.3	Fahrplanstörfestigkeit.....	288
8.5.4	Fahrplanleistungsfähigkeit	289
8.6	Darstellungsformen des Fahrplans.....	290
8.7	Kapazitätsplanung	293
8.7.1	Langfristfahrplan – die verkehrlichen und betrieblichen Anforderungen an die Infrastruktur	293
8.7.2	Deutschlandtakt.....	294
8.7.3	Kundenwünsche und Systematisierung im Schienengüterverkehr	295
8.7.4	Leistungsfähigkeitsuntersuchungen	297
8.7.5	Grundlagen der eisenbahnbetriebswissenschaftlichen Verfahren	299
8.7.6	Level of Service – Bewertung der Qualität	301
8.7.7	Verfahrensfamilien und Methoden	303
8.8	Infrastrukturdimensionierung	307
8.8.1	Streckenleistungsfähigkeit.....	307
8.8.2	Untersuchung von Knoten	308

8.8.3	Netzleistungsverhalten	312
8.8.4	Eisenbahnbetriebswissenschaftliche Untersuchungen in den Planungsphasen	314
9	Infrastruktur	317
9.1	Entwurfsgrundlagen	317
9.1.1	Querschnittsgestaltung	317
9.1.2	Linienführung	332
9.2	Bahnanlagen	337
9.2.1	Bahnanlagen und Betriebsstellen	337
9.2.2	Streckengestaltung nach Verkehrsaufkommen und Verkehrsarten	338
9.2.3	Netz- und Streckengestaltung.....	347
9.2.4	Gestaltung der Bahnhöfe	356
9.2.5	Personenbahnhöfe.....	366
9.2.6	Knoten des Güterverkehrs	371
9.3	Infrastrukturprojekte – Regelungen, Finanzierung, Planfeststellung, Bau, Inbetriebnahme und deren Überwachung.....	384
9.3.1	Grundsätzliche Regelungen, EU-Richtlinien und Zuständigkeiten	384
9.3.2	Finanzierung der Infrastruktur	389
9.3.3	Planungsrechtliche Zulassungsentscheidungen	394
9.3.4	Planung, Bau und Inbetriebnahme von Infrastrukturprojekten.....	405
9.3.5	Bau- und Betriebsüberwachung	417
9.4	Die Fahrbahn und ihre Komponenten.....	422
9.4.1	Schienen	422
9.4.2	Schienenbefestigungen (Stützpunkte)	431
9.4.3	Schwellen	434
9.4.4	Schotteroberbau als Standard	436
9.4.5	Feste Fahrbahn.....	437
9.4.6	Fahrzeug-Fahrweg-Wechselwirkung	440
9.4.7	Weichen	441
9.5	Instandhaltung des Fahrwegs.....	446
9.5.1	Grundlagen.....	446
9.5.2	Gleisinstandhaltung.....	447
9.5.3	Instandhaltung von Brücken und Tunneln.....	462
9.5.4	Instandhaltung der Erdbauwerke.....	464
9.5.5	Instandhaltung der Anlagen der Leit- und Sicherungstechnik (LST)	465
9.5.6	Instandhaltung der Oberleitungsanlagen	468
9.5.7	Fahren und Bauen – Baubetriebsplanung	470

Inhaltsverzeichnis

9.6	Brücken und Tunnel auf Neubaustrecken	472
9.6.1	Brücken.....	472
9.6.2	Tunnel.....	480
9.6.3	Brücken und Tunnel auf der NBS VDE 8	483
9.7	Bahnübergänge	495
9.8	Oberleitung und Stromabnehmer	500
9.8.1	Anforderungen an das System Stromabnehmer – Oberleitung	502
9.8.2	Kontaktkraft	504
9.8.3	Fahrleitungs- und Stromabnehmermaterial.....	506
9.8.4	Geometrische Anforderungen an die Stromabnehmerwippe	508
9.8.5	Oberleitungsgeometrie und Fahrdrahtlage.....	512
9.8.6	Fazit.....	514
9.9	Building Information Modeling (BIM)	515
9.9.1	Was ist BIM?	515
9.9.2	Technische Grundlagen von BIM-Modellen	516
9.9.3	Organisatorische Grundlagen von BIM	517
9.9.4	Anwendung von BIM bei der Eisenbahninfrastrukturplanung.....	519
10	Schienenfahrzeuge.....	521
10.1	Anforderungen an Schienenfahrzeuge	521
10.1.1	Interoperabilität und Zulassung	521
10.1.2	Minderung des CO ₂ -Ausstoßes.....	521
10.1.3	Zuverlässigkeitssanforderungen.....	526
10.2	Kennzeichen moderner Schienenfahrzeuge und Komponenten.....	528
10.2.1	Modularisierung	528
10.2.2	Drehstromantrieb und Leistungselektronik.....	528
10.2.3	Fahrwerke.....	530
10.2.4	Zug- und Stoßeinrichtungen.....	539
10.2.5	Bremsen	545
10.2.6	Klimaanlage	558
10.2.7	Toilettensysteme	561
10.2.8	Einstiegstüren	562
10.3	Fahrzeugbeispiele	565
10.3.1	Lokomotivfamilie Vectron	565
10.3.2	Elektrischer Triebwagen Giruno.....	567
10.3.3	Doppelstock-Triebwagenzug RABe 514 (S-Bahn Zürich).....	570
10.3.4	Güterwagen.....	571

10.4	Tram-Train-Fahrzeuge	574
10.5	Fahrzeugzugang zur Eisenbahninfrastruktur	577
10.6	Instandhaltung von Fahrzeugen	584
10.6.1	Grundlagen.....	584
10.6.2	Grundlagen der Instandhaltung.....	586
10.6.3	Zielsetzung	588
10.6.4	Regeln und Normen.....	592
10.6.5	Methoden	594
10.6.6	Anlagen der Instandhaltung	598
10.7	Betriebswerke für ICE-Züge.....	600
11	Betriebsführung, Leit- und Sicherungstechnik	607
11.1	Regelung und Sicherung der Zugfolge.....	607
11.1.1	Abstandsregelung im signalgeführten Betrieb.....	608
11.1.2	Abstandsregelung im anzeigengeführten Betrieb.....	616
11.1.3	Zugfolgesicherung	619
11.2	Fahrwegsicherung	626
11.2.1	Begriff der Fahrstraße	626
11.2.2	Verschließen der Fahrwegelemente	628
11.2.3	Fahrstraßenausschlüsse	631
11.2.4	Flankenschutz.....	631
11.2.5	Sicherung der Durchrutschwege	632
11.2.6	Stellwerksbauformen	634
11.3	Zugbeeinflussung	635
11.3.1	Punktförmige Zugbeeinflussung	635
11.3.2	Linienförmige Zugbeeinflussung	638
11.3.3	ETCS	640
11.4	Betriebsverfahren	645
11.4.1	Einteilung der Betriebsverfahren nach der Art der Zulassung der Zugfahrten	645
11.4.2	Einteilung der Betriebsverfahren nach der Struktur der Fahrdienstleitung.....	646
11.4.3	Rückfallebenen	648
11.4.4	Besonderheiten	650
11.4.5	Durchführen von Rangierfahrten.....	652
11.5	Betriebsleittechnik.....	653
11.5.1	Zuglaufverfolgung	653
11.5.2	Zuglenkung.....	654

12	Sicherheit.....	658
12.1	Sicherheitsphilosophie, Risikoakzeptanz und Sicherheitsmanagement	658
12.1.1	Was ist Sicherheit – und wie sicher ist sicher genug?.....	658
12.1.2	Sicherheit der technischen Teilkomponenten des Eisenbahnsystems: Maßstäbe der Risikoakzeptanz	659
12.1.3	Sicherheit der sozialen Teilkomponenten des Eisenbahnsystems: Führung, Lenkung und Koordination der Organisation in Bezug auf Sicherheitsaktivitäten	662
12.1.4	Einbettung in einen überlagerten Regelkreis der behördlichen Aufsicht.....	665
12.2	Bahnunfälle, Risikoanalyse und Sicherheitsmaßnahmen.....	667
12.2.1	Statistik der Bahnunfälle.....	667
12.2.2	Beispiele für Bahnunfälle	669
12.2.3	Risikoanalyse	671
12.2.4	Tunnel-Sicherheitskonzept	672
12.2.5	Weitere Sicherheitsmaßnahmen	674
13	Interoperabilität	675
13.1	Begriffsbestimmung	675
13.2	160 Jahre interoperabler Bahnbetrieb in Europa	675
13.3	Entwicklung des internationalen Hochgeschwindigkeitsverkehrs (HGV)	677
13.4	Eisenbahnnetze für Europa	682
13.5	Das Europäische Vertragswerk; TEN und Interoperabilität	685
13.6	TSI: AEIF, ERA und die TSI	689
13.7	Normen.....	691
13.8	Eine neue Bahnwelt in Europa	691
14	HGV-Systeme weltweit.....	694
14.1	HGV-Netze in Ostasien und Europa.....	694
14.1.1	Übersicht	694
14.1.2	Japan	695
14.1.3	Südkorea	699
14.1.4	Taiwan	701
14.1.5	China.....	703
14.1.6	Europa – ein Überblick	708
14.1.7	Frankreich.....	710

14.1.8	Großbritannien	711
14.1.9	Spanien	715
14.1.10	Italien	717
14.1.11	Deutschland	720
14.2	Hochgeschwindigkeitsfahrzeuge.....	730
14.2.1	Von Marienfelde bis zum RS/VD.....	730
14.2.2	Die ICE-Serienzüge.....	733
14.2.3	Der ICE 3 – Plattform für Velaro-Züge (Siemens)	739
14.2.4	Internationale Entwicklungen neuer Hochgeschwindigkeitszüge.....	741
14.2.5	ICE 4, eine neue Zugbaureihe für die DB.....	745
15	Bahnen besonderer Art.....	749
15.1	S-Bahn-Systeme in Deutschland.....	749
15.1.1	Entstehungsgeschichte.....	749
15.1.2	Systemeigenschaften der S-Bahn.....	752
15.1.3	Tarife, Verkehrsverbünde und Finanzierung	755
15.1.4	Weitere S-Bahn-Systeme in Deutschland.....	757
15.2	Berg- und Seilbahnen.....	761
15.2.1	Zahnradbahnen	762
15.2.2	Standseilbahnen	768
15.2.3	Seilschwebebahnen.....	772
16	Ausblick	776
16.1	Verkehr und Betrieb	776
16.2	Technische Subsysteme.....	778
Herausgeber	781	
Autoren	782	
Stichwortverzeichnis	786	
Inserentenverzeichnis	800	

Abkürzungsverzeichnis

AAR	American Association of Railroads
ABS	Ausbaustrecke
AEG	Allgemeines Eisenbahngesetz
AEIF	Association Européenne pour l'Interopérabilité Ferroviaire (Europäische Vereinigung für Eisenbahninteroperabilität)
AFB	Automatische Fahr- und Bremssteuerung
AGC	Accord européen sur les grandes lignes internationales de chemin de fer (Europäisches Abkommen über die Hauptlinien des internationalen Eisenbahnverkehrs)
AGTC	Accord européen sur les grandes lignes de transport combiné et les installations connexes (Europäisches Übereinkommen über wichtige Linien des internationalen Kombinierten Verkehrs und damit zusammenhängende Einrichtungen)
AGV	Automotrice Grande Vitesse (Hochgeschwindigkeits-Triebzug)
AK	Automatische Kupplung
Anst	Anschlussstelle
ARA	Außenreinigungsanlage
ATO	Automatic Train Operation (Automatischer Zugbetrieb)
AVE	Alta Velocidad Español (Spanisches Hochgeschwindigkeitssystem)
Aw	Ausbesserungswerk
Awanst	Ausweichanschlussstelle
Bast	Betriebliche Aufgabenstellung
Betra	Betriebs- und Bauanweisung
BEVVG	Bundeseisenbahnverkehrsverwaltungsgesetz
BIM	Building Information Modeling (Bauwerksdatenmodellierung)
BlmSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BlmSchV	Bundesimmissionsschutzverordnung
BMF	Bundesministerium für Finanzen
BMFT	Bundesministerium für Forschung und Technologie
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
BNetzA	Bundesnetzagentur
BOA	Betriebsordnung für Anschlussbahnen
BOStrab	Bau- und Betriebsordnung für Straßenbahnen
BOT	Built, operate, transfer (bauen, betreiben, übertragen)
Brh	Bremshundertstel
BSWAG	Bundesschienenwegeausbaugesetz
BÜ	Bahnübergang
BüG	Schallschutzmaßnahme „Besonders überwachtes Gleis“

1 Grundelemente des Systems Bahn und Konsequenzen für die Systemgestaltung

Jürgen Siegmann

1.1 Systembestandteile und Wirkungsmechanismen

Unter Bahnen werden Transportwege verstanden, auf denen Fahrzeuge oder Fahrzeuggruppen (Züge) spurgeführt betrieben werden. Die Spurführung erfolgt bei Eisenbahnen durch stählerne Leitwege (Schienen) und entsprechend geformte Räder, die ebenfalls aus Stahl sind. Man spricht deshalb auch vom Rad/Schiene-System.

Die Bahnen gewinnen ihren wichtigsten Systemvorteil aus der geringen Rollreibung zwischen Stahlrad und Stahlschiene. Daraus resultiert ein relativ niedriger spezifischer Energieverbrauch. Die im Rad/Schiene-Kontaktpunkt übertragbaren Längskräfte sind begrenzt. Der Quotient aus übertragbarer Längskraft zu Vertikalkraft (der Kraftschlussbeiwert) liegt beim Anfahren im Regelfall unter 0,35 und beim Bremsen im Höchstfall bei 0,25, im Regelfall bei 0,15. Das hat entsprechende Auswirkungen auf die Fahr- und Bremsdynamik.

In engen Gleisbögen ist zur Spurhaltung eine formschlüssige Führung über den Spurkranz erforderlich. Der zumeist starre Radsatz wird auf zwei Schienen geführt, die auf Querschwellen oder Einzelstützpunkten gelagert sind und so einen definierten Abstand voneinander haben, die sogenannte Spurweite, siehe Abb. 1.1.1.

Zu den schienengeführten Transportsystemen nach diesem Prinzip zählen die Eisenbahnen (mit unterschiedlichen Spurweiten, Normalspur in Mitteleuropa: 1435 mm), die Bergbahnen ohne Luftseilbahnen sowie die Straßen-, Stadt- und U-Bahnen. Einige Systeme, z.B. Magneträderbahnen, werden berührungslos mithilfe von magnetischen Kraftfeldern geführt. H-Bahnen und weitere Sonderlösungen zählen ebenfalls zu den spurgeführten Systemen. Letztlich sind auch Fahrtreppen und Fahrstühle spurgeführte Transportsysteme.

Bei schnell fahrenden Zügen ist der Bremsweg auf der Schiene größer als die Sichtweite des Triebfahrzeugführers. Um sicher vor einem Gefahrenpunkt zum Halten zu kommen, braucht der Triebfahrzeugführer daher rechtzeitig eine klare Anweisung. Diese gibt ihm der Fahrdienstleiter, und zwar durch Signale. Die Sicherung der Zugfahrten gegen Auffahren (Abstandshaltung der Züge) und gegen Fahrwegkonflikte und Flankenfahrten geschieht beim Eisenbahnsystem von außen, also durch ein ortsfestes Betriebsleit- und -sicherungssystem.

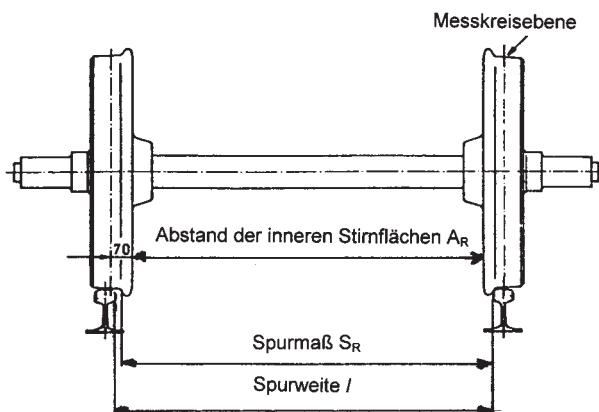


Abb. 1.1.1: Radsatz und Schienen

Das System Bahn besteht aus

- der Infrastruktur (Fahrweg, Bahnhöfe und Betriebsgebäude),
- der Suprastruktur (Signale und Gleisschaltmittel, Stellwerke und Leitzentralen, Energieversorgung und Oberleitung),
- den Fahrzeugen (Triebfahrzeuge einschließlich Triebwagen und Wagen) und
- der verkehrlichen und betrieblichen Organisation einschließlich des Personals.

Die Infrastruktur besteht aus Strecken und Bahnhöfen. Ein Bahnhof ist nach der Eisenbahnbau- und Betriebsordnung (EBO) eine Bahnanlage mit mindestens einer Weiche, in der Züge halten, beginnen, enden oder wenden können. Strecken können ein- oder mehrgleisig sein. Abb. 1.1.2 zeigt einen typischen Streckenquerschnitt in Deutschland.

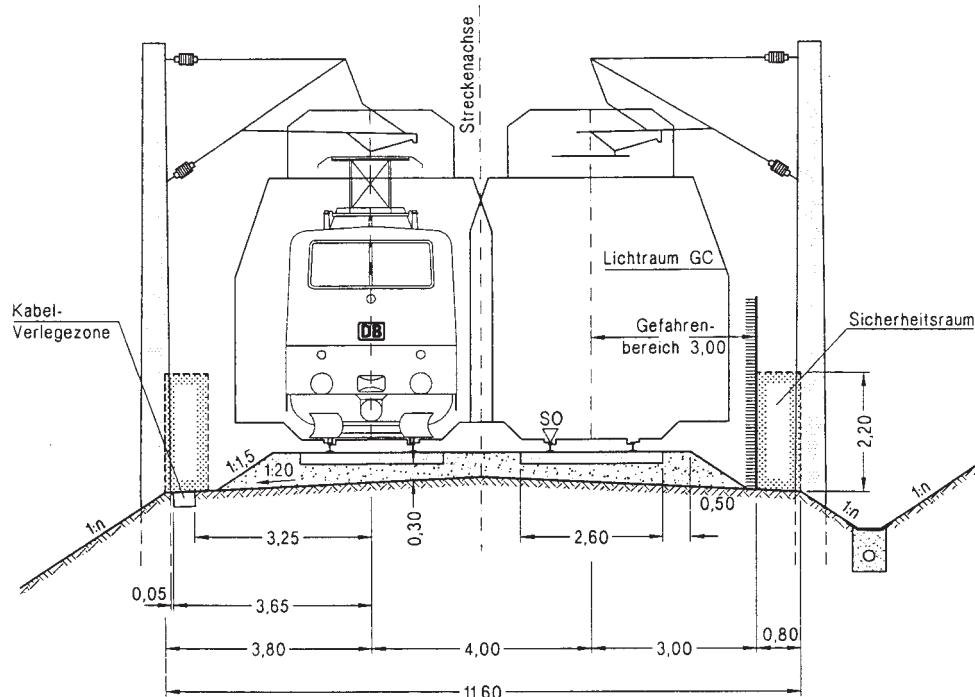


Abb. 1.1.2: Streckenquerschnitt in der Geraden für Geschwindigkeiten bis 200 km/h

(für ICE bis 230 km/h)

Quelle: Ril 800.0130, Anhang 3, DB Netz AG 1997

Die Infrastruktur wird von sogenannten Eisenbahninfrastrukturunternehmen (EIU) betrieben. Bahnanlagen des öffentlichen Verkehrs müssen allen Nutzern zu gleichen Bedingungen offen stehen, im Regelfall gegen Entgelt. Um Konflikte zwischen Infrastruktur und Fahrzeugen auszuschließen, müssen die Nutzer – die Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) – gewisse Randbedingungen einhalten. Die wichtigsten davon sind die Begrenzungslinien der Fahrzeuge und die zulässigen Radsatzlasten.

Die Produktionseinheit im Eisenbahnsystem ist der Zug. Dies begründet sich in dem Systemvorteil der geringen Rollreibung zwischen Stahlrad und Stahlschiene, der es erlaubt, große Massen mit wenig Energie zu bewegen. Ein Zug besteht aus angetriebenen Einheiten (Triebfahrzeuge – Tfz) und nicht angetriebenen Wagen. Die Wagen und Tfz sind mechanisch gekuppelt, sodass Zug- und Druckkräfte im Zugverband übertragen werden können. Die Zug-

kräfte werden zumeist über Zughaken und Ösen übertragen, die Druckkräfte über Seitenpuffer. Letztere sind Federelemente, die Stöße dämpfen. Daneben gibt es auch Mittelpufferkupplungen bei modernen Zügen im Fern- und Nahverkehr oder z.B. auch in Zugsystemen in den USA und Russland. Da jede Kupplung Beschränkungen in den maximal aufzunehmenden Zug- und Druckkräften unterliegt, resultiert daraus auch eine Beschränkung der maximalen Zuglasten.

Jedem Streckenabschnitt ist eine Streckenhöchstgeschwindigkeit zugeordnet. Aus der Bauart der Triebfahrzeuge und Wagen sowie aus der Zugkonfiguration, insbesondere dem Bremsvermögen, können sich weitere Einschränkungen in der zulässigen Geschwindigkeit für die Züge ergeben.

Über die Kupplungen werden auch die Druckluft zum Bremsen und ggf. auch Strom und Informationen übertragen.

EVU betreiben ihre Züge mit eigenem Personal und führen daneben alle kundenrelevanten Aktivitäten durch, von der Marktanalyse über das Marketing, der Angebotsplanung, den Verkaufs- und Preissystemen bis hin zu den sonstigen Dienstleistungen.

Auch die tägliche Wartung und die Instandhaltung der Züge gehören mit zu den Aufgaben der Zugbetreiber.

Betrieb von Schienenbahnen ist die operative Durchführung der im Fahrplan angebotenen Zugfahrten einschließlich der dazu notwendigen Prozesse wie Zugbildung und Abstellung. Dem Infrastrukturbetreiber obliegt die Steuerung und Sicherung der Zugfahrten und die Instandhaltung der ortsfesten Anlagen. Er organisiert auch das Zusammenwirken von Zugfahrten und Baubetrieb bei Baustellen im Gleisbereich mithilfe der sogenannten Baubetriebsplanung.

Eine der Hauptaufgaben des Betriebs ist die sichere und zuverlässige Abwicklung der Zugfahrten auch bei kleinen und großen Unregelmäßigkeiten innerhalb noch tolerierbarer Verspätungen. Ein Schlüsselbegriff des Betriebs ist daher die Pünktlichkeit, also das Einhalten der im Fahrplan angebotenen Abfahrts- und Ankunftszeiten. Die dort ausgewiesenen Fahrzeiten sind das Ergebnis einer Summenbildung aus den fahrdynamischen Mindestfahrzeiten und bestimmten Fahrzeitreserven zum Auffangen von Unregelmäßigkeiten.

1.2 Interdependenzen der Teilsysteme

1.2.1 Kontaktpunkt Rad/Schiene

Infrastruktur und Fahrzeuge zeigen vielfältige Wechselwirkungen. Im Kontaktpunkt Rad/Schiene müssen die Geometrien und Toleranzen abgestimmt werden. Infolge der sehr hohen Kräfte und Spannungen sind auch die Materialpaarungen wichtig. 22,5 t statische Radsatzlast bedeuten eine Vertikalkraft von etwa 120 kN je Radaufstandspunkt. Die mittlere vertikale Spannung beträgt bei einer Kontaktfläche von 4 cm² – so groß wie ein Daumennagel – 300 N/mm². Ein zu hartes Material auf der einen Seite wird zu starkem Verschleiß auf der anderen Seite führen.

Antriebs-, Brems- und Führungskräfte werden ebenfalls über diesen Kontaktpunkt übertragen und müssen vom Oberbau sicher und verschleißarm aufgenommen werden.

Nach Abschätzung der regionalisierten Versand- und Empfangsvolumina der inländischen und ausländischen Verkehrszenen sind die gutartspezifischen Quelle-Ziel-Verflechtungen unter Einhaltung der vorgegebenen Randsummen im Versand und Empfang vorzunehmen. Dabei wird die im Basisjahr gegebene Ausgangsverteilung so verändert, dass die sektorale unterschiedliche Veränderung der Versand- und Empfangsvolumina und die Verbindungsqualität der Regionen berücksichtigt werden. In einem nachfolgenden Arbeitsschritt werden die so erhaltenen Verflechtungen den vorgegebenen regionalisierten Versand- und Empfangsaufkommenswerten angepasst. Dabei wird sichergestellt, dass einerseits die im Basisjahr beobachteten Transportströme die Grundlage der Prognosematrix bilden, andererseits regionale Änderungen der Aufkommengewichte und durch die verallgemeinerten Nutzen, d. h. die über die Transportmittel gewogenen Nutzen der Transportmittelwahl, auch strukturelle Änderungen in Verkehrsinfrastruktur und Verkehrsangebot, berücksichtigt werden. Funktional kann die Prognosemethodik durch Anwendung eines Gravitationsmodells wie folgt beschrieben werden:

$$T_{ijg}^p = \alpha_{ig} \cdot \beta_{jg} \cdot \gamma_{ijg} \cdot \frac{T_{ig}^p T_{jg}^p}{\sum_u T_{ug}^p} \exp(N_{ijg}^p)$$

mit	= Quellzone
j	= Zielzone
g	= Gutart
T_{ig}^p, T_{jg}^p	= in den vorhergehenden Arbeitsschritten ermitteltes Aufkommen von Zone i bzw. Zone j in Gutart g im Prognosejahr p
T_{ig}^p	= Aufkommen von Zone i nach Zone j in Gutart p im Prognosejahr p
N_{ijg}^p	= verallgemeinerte Nutzen aus der Transportmittelwahl (inverse Raumwiderstände)
$\alpha_{ig}, \beta_{jg}, \gamma_{ijg}$	= Schätzparameter
$\sum T_{ug}^p$	= gesamtes Güterverkehrsaufkommen im Untersuchungsraum

5.2.3 Verkehrsteilung (Verkehrsmittelwahl, Modal Split)

Der Markterfolg eines Anbieters im Güterverkehr wird durch eine Vielzahl von Einzelentscheidungen der Nachfrager bestimmt. Wie Abb. 5.2.1 zeigt, hängt das Ergebnis solcher Entscheidungen zur Verkehrsmittelwahl außer von den individuellen Präferenzen des Entscheiders von den Eigenschaften des Transportguts und den geltenden ordnungspolitischen Rahmenbedingungen des Verkehrsmarkts ab. Wichtigste Bestimmungsgröße ist jedoch die spezifische Angebotsqualität der einzelnen konkurrierenden Wettbewerber in allen ihren Ausprägungen.

Mit geeigneten mathematisch-statistischen Methoden lassen sich solche Zusammenhänge zwischen den Angebotseigenschaften der konkurrierenden Verkehrsmittel einerseits und des ausgewählten Verkehrsmittels andererseits identifizieren und quantifizieren. Grundlage hierfür sind Informationen über einzelne Entscheidungen der Verlader und Spediteure, welche in der Regel aus Erhebungen gewonnen werden. Da es sich hierbei um Einzelentscheidungen handelt, spricht man auch von disaggregiert geschätzten Modellen. Unterschieden wird zudem zwischen real durchgeföhrten Wahlentscheidungen (Revealed Preferences) und simulierten Wahlentscheidungen (Stated Preferences).

Üblicherweise werden beide Erhebungsmethoden kombiniert, um die spezifischen Vor- und Nachteile beider Methoden auszugleichen.

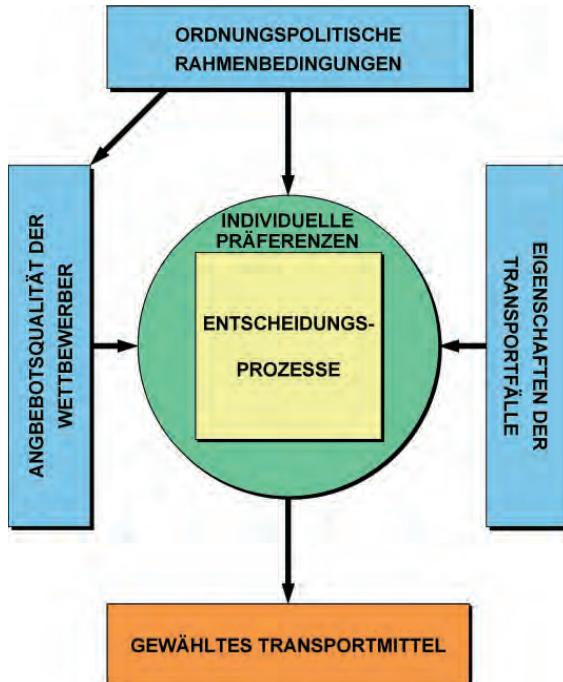


Abb. 5.2.1: Entscheidungsmodell der Verkehrsmittelwahl im Güterverkehr

Das Logit-Modell

In der Verkehrsplanung am weitesten verbreitet ist das multinomiale Logit-Modell (MNL-Modell). Hier wird davon ausgegangen, dass aus einer individuell unterschiedlichen Menge von Alternativen jeder Entscheider von diesen Alternativen einen unterschiedlichen Nutzen erwartet und anschließend diejenige Alternative mit größtem Nutzen gewählt wird. Jede Alternative wird durch eine Reihe von Charakteristiken beschrieben, deren Ausprägungen für verschiedene Alternativen variieren. Charakteristiken umfassen neben den Eigenschaften der Verkehrsmittel (z.B. Transportpreis und -zeit) auch Charakteristiken des Entscheiders (z.B. Standort, Zugang zu Gleisanschluss) sowie des spezifischen Transportfalls (z.B. Gefahrgut, Just-in-time). Der jeweilige Nutzen einer Alternative ergibt sich nun aus einer unterschiedlichen Bewertung der verschiedenen Charakteristiken, mathematisch wird dies als Linearkombination der Kriterien modelliert:

$$N_{ae} = \sum_k \alpha_k \cdot x_{aek} + \varepsilon_{ae}$$

mit

a = Alternative

e = Entscheider (Person)

N_{ae} = Nutzen von Entscheider e für die Alternative a

x_{aek} = k-tes Entscheidungskriterium für Alternative a von Entscheider e

α_k = Schätzparameter

ε_{ae} = Zufallskomponente, welche nicht-messbare und -beobachtbare Einflüsse beinhaltet

8 Angebots-, Betriebs- und Kapazitätsplanung

Werner Weigand

8.1 Begriffe, Ziele

8.1.1 Angebotsplanung

Die sorgfältige Planung des Angebots und Betriebs einer Eisenbahn bildet die Grundlage dafür, dass die Produktionsfaktoren bei den Eisenbahninfrastrukturunternehmen (EIU)

- Grund und Boden, Bahnkörper, Brücken, Tunnel und ortsfeste Anlagen (Gleise, Weichen, Bahnhofsanlagen, Signalanlagen usw.) und
 - Personal zur Bedienung der ortsfesten Anlagen,
- bei den Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU)
- personeller Aufwand und
 - rollendes Material (Triebfahrzeuge und Wagen)

möglichst wirtschaftlich eingesetzt werden können, das heißt, dass mit gegebenen Mitteln ein größtmöglicher Erfolg bzw. der angestrebte Erfolg mit geringstmöglichen Einsatz erreicht wird.

Das Angebot im Schienenverkehr ist marktgerecht und wirtschaftlich zu gestalten, um die Nachfrage optimal zu bedienen, den Modal Split zugunsten der Bahn zu beeinflussen und um einen hohen Deckungsbeitrag für die Betreiber zu erzielen.

Bei der Gestaltung des Angebots sind zu unterscheiden:

- benutzerorientierte Zielsetzungen, die von den Marktanforderungen und der Wettbewerbs-situation bestimmt werden
- betriebsorientierte Zielsetzungen, die aus dem Ziel kostengünstiger Produktion abgeleitet sind

Hinzu kommen ggf. volkswirtschaftliche und ökologische Zielsetzungen, wie Entlastung der Straßen in Ballungszentren oder generell die Minderung der CO₂-Bilanz im Verkehr.

Vier wesentliche Merkmale unterscheiden öffentliche Verkehrsmittel von Individualverkehrs-mitteln und prägen die Aufgabenstellung der Angebotsplanung:

- Zeitabhängigkeit
- Trennung von Verkehrs- und Angebotsnetz
- nicht lagerfähiges Produkt
- Notwendigkeit zur Bündelung von Verkehrsströmen

Während Nutzer von Individualverkehrsmitteln zeitlich ungebunden sind und für ihre Planungen das Straßennetz maßgebend ist, sind öffentliche Verkehrsmittel im Personenverkehr und ein-geschränkt auch im Güterverkehr zeitabhängig, d.h., der Nutzer muss sich an den Fahrplan anpassen. Laufwege von Zügen, das Produktionssystem im Güterverkehr, Linien im Personen-verkehr und Fahrpläne prägen das Angebot.

Die Aufgabe der Angebotsplanung im öffentlichen Verkehr besteht darin, ein Verkehrsangebot auf einem Verkehrsnetz zu entwickeln. Es hat eine fiktive Trennung im Verkehrsnetz und Ange-botsnetz stattgefunden. Dabei nutzen die verschiedenen Verkehrsarten ggf. nur einen Teil des Schienennetzes. Es können nur solche Märkte bedient werden, die die Bündelung von Ver-kehrsströmen so ermöglichen, dass sich wirtschaftliche Zugangebote gestalten lassen.

Öffentliche Verkehrsmittel fahren in der Regel nach einem Fahrplan, zunächst unabhängig von der Nutzung. Wenn es nicht gelingt, das nicht lagerfähige „Produkt“ Sitzplatzkilometer oder Tonnenkilometer marktgerecht zum richtigen Zeitpunkt zu produzieren und zu verkaufen, wird umsonst produziert.

Im Schienenpersonenverkehr orientieren sich die Kunden am Fahrplan. Allenfalls bei dichten Zugfolgen im öffentlichen Personennahverkehr – z.B. auf S-Bahn-Stammstrecken – wird sich der Fahrgäste im Vertrauen auf ein künftiges Angebot zur Haltestelle begeben, ohne sich vorher über die genauen Fahrplanzeiten der Züge informiert zu haben. Dem Kundeninteresse nach relativer Unabhängigkeit vom Fahrplan kommt der starre bzw. Taktfahrplan entgegen. Man muss sich nur eine Abfahrzeit und die Taktzeit merken. Gedruckte Fahrpläne, die während einer halbjährigen Periode gelten, haben an Bedeutung verloren. Über elektronische Medien wird heute der tagesaktuelle Fahrplan kommuniziert. In diesen sind z.B. vorübergehende Änderungen wegen Bauarbeiten bereits eingearbeitet.

Im Güterverkehr dagegen kann sowohl ein lange im Voraus geplanter Fahrplan Grundlage der Betriebsabwicklung sein, ebenso wie eine rein bedarfsoorientierte Betriebsdurchführung, wo nur dann Züge im Dispatcher-System verkehren. Züge fahren, wenn ein entsprechendes Transportaufkommen vorliegt oder entsprechend viele Wagen mit gleichem Ziel gesammelt sind. Aber auch dann ist aus betrieblichen Gründen kurzfristig ein Fahrplan für die entsprechende Zugfahrt zu erstellen. Eine Besonderheit stellen sogenannte vorgeplante Systemtrassen dar. Trasse und Zug sind entkoppelt. Zunächst werden Trassen geplant, um dem Güterverkehr ausreichend Kapazitäten zu sichern. Diese werden z.B. zunächst im Jahresfahrplan reserviert und erst belegt, wenn eine konkrete Bestellung vorliegt.

Die Abgrenzung des Fernverkehrs vom Nahverkehr im Personenverkehr erfolgt durch unterschiedliche und nicht immer widerspruchsfreie Definitionen. Der Begriff „Fernverkehr“ kann sich auf die Entfernung, die die Reisenden zurücklegen, aber auch auf die Art des Angebots, mit dem diese befördert werden, beziehen. Nach der deutschen Gesetzgebung ist öffentlicher Personennahverkehr die allgemein zugängliche Beförderung von Personen mit Verkehrsmitteln im Linienverkehr, die überwiegend dazu bestimmt sind, die Verkehrs nachfrage im Stadt-, Vorort- oder Regionalverkehr zu befriedigen. Das ist im Zweifel der Fall, wenn in der Mehrzahl der Beförderungsfälle eines Verkehrsmittels die gesamte Reise weite 50 km oder die gesamte Reisezeit eine Stunde nicht übersteigt (Artikel 2 Gesetz zur Regionalisierung des öffentlichen Personennahverkehrs). Im EU-Recht ist darüber hinaus eine Abgrenzung des Regionalverkehrs genannt. Angesprochen ist hier der Betrieb von Verkehrsdienssten, um die Verkehrsbedürfnisse in einer Region zu befriedigen (VO (EWG) Nr. 1191/69 Abschn. I, Artikel 1).

Daraus kann man ableiten, dass Fernverkehr über eine Region hinaus geht und vor allem auf Reisen über mehr als ca. 100 km ausgerichtet wird. Für die Kunden hat diese Unterscheidung allenfalls bei unterschiedlichen Tarifen Bedeutung. Für sie ist entscheidend, dass sie zur richtigen Zeit eine Transportkette vorfinden, bei der sie möglichst kurze Reisezeiten haben und das Transportgefäß möglichst selten wechseln müssen.

8.1.2 Betriebsplanung

Bei keinem anderen Verkehrsmittel ist die Abhängigkeit zwischen Infrastruktur und Betriebsplanung so eng wie bei der Eisenbahn. Leistungsfähigkeit, Pünktlichkeit und Flüssigkeit der Betriebsabwicklung stehen in enger Wechselwirkung. Die Fahrplangestaltung dient der Leistungsfähigkeit, indem sie die Transportbewegungen so ordnet, dass sie bei planmäßigem Ablauf pünktlich durchgeführt werden können bzw. bei Abweichen vom Plan nach einer angemessenen Zeit in diesen wieder zurückkehren. Die einzelnen Transportbewegungen müssen

so aufeinander abgestimmt werden, dass die Flüssigkeit des Betriebs gewährleistet wird, d. h., dass kein Stau von Zügen entsteht. Dabei kann die Betriebsplanung lange im Voraus erfolgen, aber es können auch Zugfahrten kurzfristig geplant werden.

Grundlage jeder Betriebsplanung ist die Angebotsplanung auf Basis der Marktanforderungen. Wesentliche Teile des Betriebsprogramms sind der Fahrplan – für zukünftige Anforderungen auch ein Zukunftsfahrplan oder auch der Langfristfahrplan und darauf aufbauend die Fahrzeugeinsatzplanung.

Den Anfang der Betriebsplanung bildet die Erstellung eines Betriebsprogramms, in dem die Anzahl der zu fahrenden Züge der verschiedenen Zuggattungen – eventuell schon aufgegliedert nach Tagesstunden – festgelegt ist. Die entscheidende Stufe der Betriebsplanung bildet die Fahrplanbearbeitung mit der daran anschließenden Erstellung der vom Fahrplan abgeleiteten Pläne. Während einer laufenden Fahrplanperiode ergeben sich weitere Aufgaben im Zusammenhang mit Sonderzügen oder mit vorübergehenden Fahrplananpassungen im Zusammenhang mit Baubetriebszuständen.

Bei der Fahrplanbearbeitung sind verkehrliche, betriebstechnische und wirtschaftliche Gesichtspunkte zu berücksichtigen. Mit dem Betriebsprogramm wird bereits festgelegt, ob auf einer Strecke ein homogener, artreiner Betrieb oder ein Mischbetrieb zwischen schnellen und langsamen Zügen durchzuführen ist und ob für den Personenverkehr ein Taktfahrplan realisiert wird. Gegebenenfalls ist eine Entmischung dergestalt möglich, dass tagsüber vorwiegend Züge des Personenverkehrs und nachts Güterzüge verkehren.

8.1.3 Fahrplan

Unter dem Fahrplan wird allgemein die vorausschauende Festlegung des Fahrtverlaufs der Züge verstanden.

Der Begriff „Fahrplan“ ist bei der Eisenbahn mehrschichtig:

- Der Fahrplan eines Zugs enthält die für die sichere und zweckmäßige Zugförderung erforderlichen Angaben wie Bezeichnung des Zugs, Wegeangaben, zulässige Geschwindigkeit, erforderliches Bremsvermögen (Bremshundertstel), Zahl und Art der Triebfahrzeuge, Last und Uhrzeiten (in der Fahrdienstvorschrift festgelegt).
- Der Fahrplan einer Strecke ist das Bedienungskonzept und stellt die betriebliche Belastung der gesamten Strecke oder eines Streckenabschnitts dar. Man kann aus den Fahrplänen aller Züge die Richtung und Gegenrichtung, Überholungen, Begegnungen, Kreuzungen und Anschlussbindungen erkennen.
- Der Fahrplan eines Netzes ist die Integration und das Ineinandergreifen der Fahrpläne verschiedener Strecken unter Berücksichtigung von Anschlussbindungen und Wagenübergängen.
- Der Fahrplan einer Zeitperiode ist das Betriebsprogramm für alle Tage dieses Zeitabschnitts. Er legt die Zugfahrten in allen Einzelheiten fest und stellt somit das Dienstleistungsangebot des Unternehmens dar.
- Der Langfristfahrplan oder auch Zukunftsfahrplan ist das Betriebsprogramm für ein Szenario in der Zukunft auf einer perspektivischen Infrastruktur.

Grundsätzliche Anforderungen an den Fahrplan ergeben sich aus den Forderungen nach

- Sicherheit,
- Pünktlichkeit,
- Leistungsfähigkeit und
- Wirtschaftlichkeit.

biert, sodass die Datenübertragung unzureichend sein kann. Auf älteren Bauarten der FF wird das LZB-Kabel daher aufgeständert auf der Betonfahrbahn geführt. Neue Bauarten müssen vor Einsatz durch Pegelmessungen die Wechselwirkungsfreiheit nachweisen. Gleisstromkreise können ebenfalls beeinflusst werden, wenn der sogenannte Bettungswiderstand nicht ausreicht. Längsbewehrung in der Fahrbahnplatte mit isolierten Enden verschafft hier die nötige Abhilfe. Die digitale Achszähltechnik, installiert auf deutschen Neubaustrecken, hat hiermit keine Probleme.

9.4.6 Fahrzeug-Fahrweg-Wechselwirkung

Die dynamische Wechselwirkung Fahrzeug – Fahrweg ist vertikal und lateral unterschiedlich.

Die Vertikaldynamik hängt einerseits von den Elastizitäten des Oberbaus und des Untergrunds und andererseits von den unabgedeckten Massen des Drehgestells und dem Radflächenzustand ab. Unrunde Radlaufflächen und Flachstellen führen zu einer hohen Beanspruchung der Fahrbahn. Durch hohe Elastizitäten, z.B. in der Schienenbefestigung oder durch Schwellensohlen, lassen sich deren Auswirkungen auf Schotter und Untergrund reduzieren.

Der Richtwert für die dynamische Gleissteifigkeit am Stützpunkt beträgt

$$c_{G,dyn} = 100 \text{ kN/mm} (\pm 20\%)$$

als Kompromiss zwischen niedrigen Beanspruchungen der Fahrbahn einerseits und der Forderung nach einer hohen Eigenfrequenz des Systems andererseits.

Vertikale Gleislageabweichungen beeinflussen den Fahrkomfort für den Fahrgast.

Laterale Gleislageunregelmäßigkeiten werden bei Reisezugwagen in der Regel durch die Federn der Wagenkästen ausgeglichen, sodass diese vom Fahrgast nicht zu spüren sind. Beim Befahren von Weichenbögen und beim Auftreten von Schlingerbewegungen kann die Lateral-dynamik jedoch sehr groß werden. Wenn die Drehgestelle von Lokomotiven eine hohe Rückstellkraft beim Ausdrehen aufweisen – und das gilt bei dreiachsigen Drehgestellen auch für Güterwagen – kann das zu hohen Reibkräften an den Innenflanken der Schienen und sogar zu Seitenverschiebungen des Gleises führen.

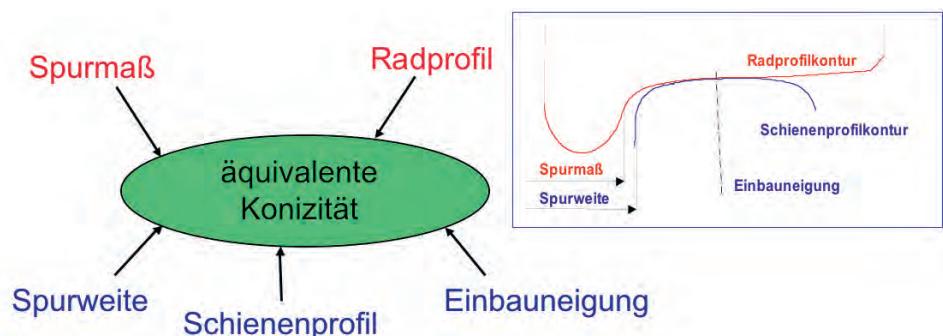


Abb. 9.4.24: Einflussgrößen der Rad/Schiene-Berührgeometrie; die äquivalente Konizität ist die Beurteilungsgröße für alle Einflussparameter

Im geraden Gleis und in Gleisbögen bis hinunter zu etwa 500 m Radius sorgen das freie Spurspiel des Radsatzes im Spurkanal und die äquivalente Konizität der Radlaufflächen dafür, dass die Spurkränze nicht anlaufen; damit hält sich die Querdynamik in engen Grenzen.

Niedrige Konizitäten erlauben eine hohe Eigenstabilität der Drehgestelle bei hohen Geschwindigkeiten, führen jedoch bei bogenreichen Abschnitten im normalen Geschwindigkeitsbereich zum Anlaufen der Spurkränze und damit zu erhöhtem Verschleiß. Für das Netz der DB wurde ein Optimum für das Rad-Verschleißprofil S1002 mit der Einführung des Schienenprofils UIC 60 E2 gefunden. Abb. 9.4.24 zeigt plakativ die Einflussgrößen.

9.4.7 Weichen

Da die Eisenbahn ein spurgeführtes Verkehrsmittel ist, werden zur Änderung der Fahrspur Weichen benötigt (Abb. 9.4.25).



Abb. 9.4.25: Einfache Weiche, spitz befahren

Abb. 9.4.26 zeigt die Prinzipskizze einer Weiche, hier als Beispiel.

zu einem organisatorischen und rechtlichen Konstrukt geführt, für das auf Basis der Entwicklung des Eisenbahnrechts der Europäischen Union (EU) eigenständige Verantwortungs-, Normierungs- und Regelwerkskreise geschaffen wurden. Seit 2008 wurde dazu im europäischen Eisenbahn-Regelwerk und ab 2012 in den nationalen Eisenbahngesetzen der Mitgliedstaaten der EU die instandhaltungsverantwortliche Stelle (Entity in Charge of Maintenance – ECM) eingeführt.

10.6.2 Grundlagen der Instandhaltung

10.6.2.1 Begriffe

Die Instandhaltung von Schienenfahrzeugen ist das wesentliche Mittel, den Soll-Zustand der Fahrzeuge während der gesamten Dauer ihres Betriebs aufrechtzuerhalten oder wiederherzustellen. Unter Soll-Zustand wird dabei die Gesamtheit der möglichen Zustände zwischen Werkgrenzzustand (Neuzustand) und Betriebsgrenzzustand in allen relevanten Merkmalswerten verstanden, vgl. DIN 27200:2011 [1] sowie DIN EN 17018:2019 [2]. Der Betriebsgrenzzustand ist der Zustand, bei dem das akzeptierte Risiko der Betriebssicherheit oder der Zuverlässigkeit erreicht wird und bei Weiterbetrieb überschritten würde, sodass das Fahrzeug deshalb nicht weiter betrieben werden darf. Die Funktionsfähigkeit kann dabei durchaus noch gegeben sein.

Die Fahrzeuge sind im Betrieb vielfältigen Einflüssen und Belastungen ausgesetzt, die den Zustand der Fahrzeuge verändern. Dazu gehören unter anderem Reibung, Stoß-, Schwell- und Schwingbeanspruchungen, thermische Beanspruchungen und Alterungen. Die Folgen sind zum Beispiel Materialabtragungen, Rollkontakteermüdungen, Dauer- oder Gewaltbrüche, Gefüge- oder Eigenschaftsveränderungen des Materials.

Die Fahrzeuge als technische Systeme sind außerordentlich komplex mit mechanischen, elektrischen, elektronischen, pneumatischen, hydraulischen Komponenten und Softwarekomponenten ausgestattet. Genauso vielschichtig sind die Instandhaltungsprozesse, -verfahren und -methoden und die nötigen Ausrüstungen und Werkzeuge. Daraus hat sich eine außerordentlich umfangreiche Begriffswelt entwickelt, die zum Teil allgemeine Begriffe der Instandhaltung technischer Systeme enthält, wie sie in den Normen DIN 31051 [3] und EN 13306 [4] niedergelegt sind, zum Teil aber auch eisenbahnspezifische Fachbegriffe, wie sie z.B. für das Fachgebiet der Schienenfahrzeuginstandhaltung in der Normenreihe 27200 ff. ausgeführt sind. Da Schienenfahrzeuge häufig in einem Anlagen- oder Assetmanagementsystem verwaltet werden, sind auch die Begriffe aus dem Anlagen- oder Assetmanagement gebräuchlich, vgl. DIN EN 16646:2015 [5] und DIN ISO 55000:2017 ff. [6].

Die Begrifflichkeiten im Zusammenhang mit der Erstellung und Änderung von Instandhaltungsplänen sind in DIN EN 17018:2019 [2] und DIN EN 17023:2019 [7] ausgeführt. Es werden hier nur einige wenige, grundlegende Fachbegriffe aufgeführt, weil teilweise die Inhalte neu gefasst worden sind:

- Instandhaltungssystem: Gesamtheit aller technischen, organisatorischen und sonstigen Vorgaben zur Erfüllung der Fahrzeuginstandhaltung, um sicherzustellen, dass die Fahrzeuge, die instand gehalten wurden, in einem sicheren Betriebszustand sind
- Instandhaltungshandbuch: Zusammenstellung der Instandhaltungsinformationen für eine Betrachtungseinheit (Fahrzeug oder Komponente)
- Instandhaltungsplan: fahrzeug- oder komponentenbezogenes, strukturiertes Dokument zur Beschreibung der planmäßigen Instandhaltung, bestehend aus den Instandhaltungsmaßnahmen (in der Praxis auch Instandhaltungsstufen (IS) oder Friststufen (F) genannt) und den

Grenzwerten ihrer Intervalle nach Leistungsparametern, z. B. Fahrzeugkilometer, Betriebsstunden des Fahrzeugs oder der Komponente, Betätigungsstile etc.

- Verzeichnis der Instandhaltungsintervalle: Teil des Instandhaltungsplans, der Art, Folge und Intervalle der Instandhaltungsmaßnahmen festlegt sowie ggf. diese zu Instandhaltungsstufen zuordnet (vormals Verzeichnis der Instandhaltungsmaßnahmen VIM)
- Inspektion: Feststellung des Ist-Zustands der Komponenten bzw. des Fahrzeugs
- Wartung: Erhaltung des Soll-Zustands der Komponenten bzw. des Fahrzeugs
- Instandsetzung: Wiederherstellung des Soll-Zustands der Komponenten bzw. des Fahrzeugs
- Schwachstellenbeseitigung: Verbesserung des Soll-Zustands durch Beseitigung erkannter Schwachstellen ohne funktionale Erweiterung oder Modernisierung

10.6.2.2 Entwicklung der Schienenfahrzeuginstandhaltung

Die Liberalisierung des Verkehrsmarkts und der dadurch geschaffene Wettbewerb, der vorrangig über die Preise ausgetragen wird, schuf neue wirtschaftliche Zwänge für die Instandhaltung (Abb. 10.6.1).



Abb. 10.6.1: Entwicklungstrends der Schienenfahrzeuginstandhaltung

Eines aber ist über die gesamte Eisenbahngeschichte geblieben: In der Schienenfahrzeuginstandhaltung spiegelt sich ein konzentriertes Abbild des Stands der Schienenfahrzeugtechnik wider, muss sie sich doch zwangsläufig mit allen in einem Schienenfahrzeug vereinigten Technologiedisziplinen auseinandersetzen. Darüber hinaus erhalten die Zustandsfeststellung der nicht immer unmittelbar messbaren Größen sowie die Kenntnisse über das zu erwartende Verschleiß-, Ausfall- und Alterungsverhalten in Abhängigkeit vom geplanten Betrieb und seinen Beanspruchungen immer größere Bedeutung für die Abschätzung der Restlebensdauer von Komponenten. Damit wird zukünftig mehr und mehr eine vorausbestimmte Instandhaltung (Predictive Maintenance) möglich, die den Verschleiß- bzw. Lebensdauervorrat der Komponenten durch genauere Kenntnis seiner Grenzen noch besser ausnutzt. Einen weiteren Entwick-

Die PDL Beijing–Shanghai wurde von Anfang 2008 bis Juni 2011 erstellt. Als Oberbau kam die Bauart Bögl zum Einsatz (Abb. 14.1.15). Die Strecke wird mit 250 km/h-Zügen (18 Fahrten) und 300 km/h schnellen Zügen (62 Fahrten) je Tag und Richtung betrieben. Die kürzeste Reisezeit zwischen den beiden Endpunkten betrug auf der 1463 km langen Altstrecke im Jahr 2004 bei Nonstop-Fahrt 12 Stunden. Auf der 1318 km langen PDL beträgt sie je nach Zahl der Zwischenhalte 4:48 bis 5:45 h. Für den schnellsten Zug ist das eine Reisegeschwindigkeit von 280 km/h.



Abb. 14.1.15: Oberbau FFB Bögl, PDL Beijing–Shanghai

Quelle: Max Bögl

Das chinesische PDL-Bauprogramm geht weiter. Die Streckenlänge des gesamten Eisenbahnnetzes in China betrug im Jahr 2020 etwa 120000 km. Bezogen auf die stärker besiedelte Fläche des Landes ($3,65 \text{ Mio km}^2$) wären das etwa 33 km Eisenbahnstrecke je 1000 km 2 . Deutschland liegt derzeit bei etwa 100 km Strecke je 1000 km 2 , die NE-Bahnen eingeschlossen. Im weiteren Netzausbau in China rücken Regional- und Nahverkehrsnetze in den Blickpunkt, so in den bevölkerungsreichen Großräumen Beijing/Tianjin/Dalian (das Bohai-Bucht-Projekt), Shanghai–Nanjing (Nanking, Yangtse-Delta) und Guangzhou–Shenzhen (Perlfuss-Delta).

14.1.6 Europa – ein Überblick

Im kleinteiligen Europa ist der Ausbau der Hochgeschwindigkeits-Bahnsysteme eine Angelegenheit von mehreren Jahrzehnten – ganz im Gegensatz zu China. Die im Folgenden beschriebenen europäischen Netze sind aus Abb. 14.1.16 zu ersehen, die Streckenlängen aus Abb. 14.1.17 in kumulierter Darstellung.



Abb. 14.1.16: Hochgeschwindigkeitsstrecken in Europa

Quelle: UIC, aktualisiert

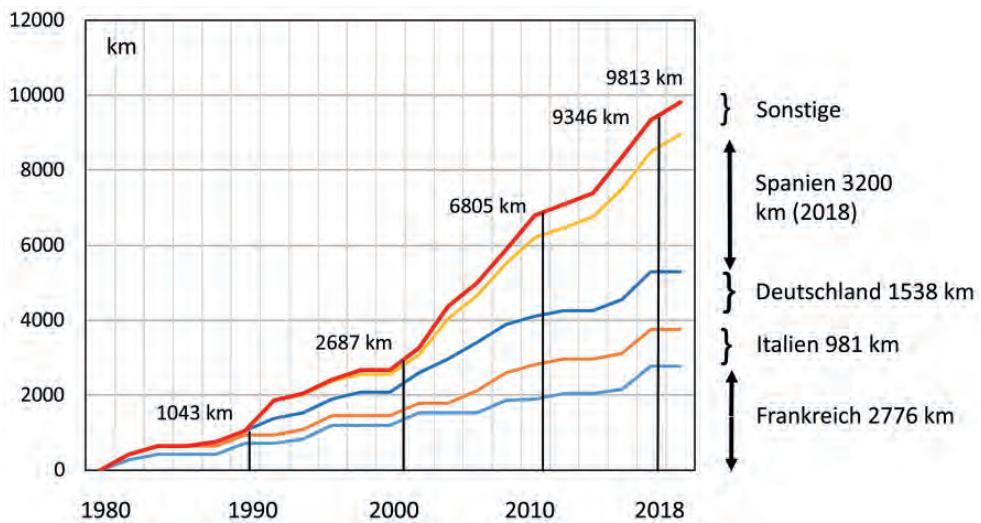


Abb. 14.1.17: Entwicklung der Schnellfahrstrecken V > 200 km/h in Europa

Herausgeber

Prof. Dr.-Ing. Eberhard Jänsch

Jahrgang 1942, nach Studium des Bauingenieurwesen (TH Karlsruhe, TU Hannover) konstruktiver Ingenieur, ab 1974 bei der DB, u.a. im Neubauamt Hannover (NBS Hannover–Würzburg) und in der S-Bahn-Neubauabteilung in Hamburg. 1979–1983 TU Hannover, Promotion 1984. Danach im Projektbüro HGV der DB in Frankfurt, 1994–2003 Leiter der Hauptabteilung HGV (Hochgeschwindigkeitsverkehr, Interoperabilität und Integrationsmanagement), anschließend Fachgebietsleiter Systemfragen bei der DB Netz AG. Pensionierung 2007 als Abteilungspräsident a.D. Er war Fachkoordinator für die Zusammenarbeit DB/MoR und wurde 1994 von der Beijing Jiatong University zum Advisory Professor berufen. Bis 2007 Mitglied in der HGV-Steuergruppe der UIC.



Dipl.-Ing. Hans Peter Lang

Hans Peter Lang studierte Schienenverkehrstechnik an der RWTH Aachen, Abschluss 1985. Nach Positionen in der Industrie (erst als Entwicklungsingenieur bei MBB Verkehrstechnik, ab 1990 Leiter „Dynamische Berechnung“ bei MAN/AEG/Adtranz) folgte 1999 der Wechsel zur Deutschen Bahn AG. Dort leitete Hans Peter Lang zunächst den Bereich Fahrzeugsysteme und Lauftechnik und wurde 2000 Leiter des Bereichs Systemtechnik der DB. Im Jahr 2011 wurde er zum Vorsitzenden der Geschäftsführung der DB Systemtechnik GmbH berufen. Seit 2018 ist er als Chief Technology Officer (CTO) der Deutschen Bahn AG außerdem für die gesamte Technik des Konzerns und damit u.a. für die Entwicklung und Umsetzung der konzernweiten Technikstrategie verantwortlich.



Prof. Dr.-Ing. Nils Nießen

Nils Nießen leitet seit 2013 das Verkehrswissenschaftliche Institut der RWTH Aachen. Nach dem Studium des Bauingenieurwesens und der Wirtschaftsgeographie an der RWTH Aachen promovierte er dort 2008. Anschließend war er Projektingenieur bei der HaCon Ingenieurgesellschaft mbH in Hannover und Geschäftsführer der VIA Consulting & Development GmbH. Nils Nießen ist seit 2016 Vorsitzender des Fachbeirats Bahntechnik des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI). Seit 2017 ist er zudem Direktor des Research Centers Railways der RWTH Aachen.



Autoren

Dr. habil. Bernd Asmussen

DB Netz AG
Umweltschutz
E-Mail: bernd.asmussen@deutschebahn.com
(Kap. 7.7)

Dr. Kristina Birn

Dr. Birn IT-Prozesse
IT-Prozessanalyse und Projektmanagement
E-Mail: elektropost@kbirn.de
(Kap. 5.2)

Dipl.-Ing. Frank Buchmann

DB Netz AG
Leiter Fahrzeugparametrisierung Trasse
E-Mail: frank.buchmann@deutschebahn.com
(Kap. 7.2)

Prof. Dr. Karl G. Degen

Hochschule für Technik Stuttgart
Fakultät Bauingenieurwesen, Bauphysik und Wirtschaft
Fachgebiet Bauphysik und Akustik
E-Mail: karl.degen@hft-stuttgart.de
(Kap. 7.7)

Dipl.-Ing. Wolfgang Feldwisch

Ehem. Leiter Großprojekte
DB Netz AG
E-Mail: WolfgangFeldwisch@t-online.de
(Kap. 9.6)

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Fengler

Ehem. Institutedirektor
Institut für Bahnsysteme und Öffentlichen Verkehr, TU Dresden
E-Mail: wf-dd@t-online.de
(Kap. 3, Kap. 9.2)

Dipl.-Ing. Johannes Gräber

Knorr-Bremse Systeme für Schienenfahrzeuge GmbH
Leiter Modernisierungs- und Zulassungsstrategie (weltweit)
E-Mail: Johannes.Graeber@knorr-bremse.com
(Kap. 7.4)

Prof. Dr.-Ing. Markus Hecht

Institut für Land- und Seeverkehr, TU-Berlin
Leiter Fachgebiet Schienenfahrzeuge
E-Mail: Markus.Hecht@tu-berlin.de
(Kap. 10.1 – 10.4)

Prof. Dr.-Ing. Hubert Hochbruck

Ehem. Geschäftsführer der Forschungsgemeinschaft Rad/Schiene
Ehem. Hauptgeschäftsführer des VDB
Ehem. BBC, ABB Bereich Bahnen
E-Mail: hubert.hochbruck@t-online.de
(Kap. 14.2)

Prof. Dr.-Ing. Eberhard Jänsch

Ehem. Leiter Systemkoordination Hochgeschwindigkeitsverkehr
und Integrationsmanagement
DB AG/DB Netz AG
E-Mail: eb@hsr-jaensch.de
(Kap. 2, Kap. 4, Kap. 7.3, Kap. 9.1, 9.4 – 9.7, Kap. 10.5, 10.7, Kap. 12.2, Kap. 13, Kap. 14,
Kap. 15.1, Kap. 16)

Dipl.-Ing. Thomas Kolbe

DB Systemtechnik GmbH
Leiter Prüfungen Fahrtechnik, Inspektionsgebiet Fahrtechnik
E-Mail: thomas.t.kolbe@deutschebahn.com
(Kap. 7.1)

Dipl.-Ing. Markus Köppel

Eisenbahn-Bundesamt
Abteilungsleiter 2 „Infrastruktur“
E-Mail: KoeppelM@eba.bund.de
(Kap. 9.3)

Dr. Werner Krötz

DB Netz AG, Zentrale
Leiter Bauartverantwortung Elektro- und Maschinentechnische Anlagen, I.NAI 446
E-Mail: werner.kroetz@deutschebahn.com
(Kap. 9.8)

Dipl.-Ing. Hans Peter Lang

Chief Technology Officer (CTO), DB AG
Vorsitzender der Geschäftsführung, DB Systemtechnik GmbH
(Kap. 6, Kap. 16)

Dipl.-Ing. Frank Minde

DB Systemtechnik GmbH, Minden (Westf.)
Chief Expert Braking
E-Mail: frank.minde@deutschebahn.com
(Kap. 7.4)

Prof. Dr.-Ing. Nils Nießen

RWTH Aachen

Leiter des Verkehrswissenschaftlichen Instituts

Lehrstuhl für Schienenbahnwesen und Verkehrswirtschaft

E-Mail: niessen@via.rwth-aachen.de

(Kap. 15.2, Kap. 16)

Prof. Dr.-Ing. Jörn Pachl

Technische Universität Braunschweig

Leiter Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrssicherung

E-Mail: j.pachl@tu-bs.de

(Kap. 11)

Dipl.-Ing. Michael Pohl

Intraplan Consult GmbH

E-Mail: michael.pohl@intraplan.de

(Kap. 5.1)

Dipl.-Ing. Werner Raithmayr

DB Energie GmbH, Frankfurt/Main

Geschäftsführer

E-Mail: raithmayr@ieee.org

(Kap. 7.5)

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Rösch

Sachverständigenbüro Prof. Rösch GmbH Reinheim

Geschäftsführender Gesellschafter

E-Mail: mail@svb-roesch.de

(Kap. 10.6)

Frank Schäfer

Intraplan Consult GmbH

Geschäftsführer

E-Mail: frank.schaefer@intraplan.de

(Kap. 5.1)

PD Dr.-Ing. habil. Lars Schnieder

ESE Engineering und Software-Entwicklung GmbH

Geschäftsführer

E-Mail: Lars.Schnieder@ese.de

(Kap. 12.1)

Dr.-Ing. Stephan Schubert

DB Systemtechnik GmbH

CTO, Leiter Innovationsmanagement

E-Mail: schubert.hdn@t-online.de

(Kap. 7.1)

Dr.-Ing. Christoph Schütze

Ehem. Institut für Verkehrswesen, Eisenbahnbau und -betrieb
Technische Universität Braunschweig
E-Mail: christoph.schuetze@mailbox.org
(Kap. 9.9)

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Siegmann

Ehem. Fachgebietsleiter Schienenfahrwege und Bahnbetrieb
Technische Universität Berlin
E-Mail: juergen.siegmann@web.de
(Kap. 1, Kap. 2)

Dipl.-Ing. Manuel Sonntag

DB Netz AG
Senior Referent Fahrdynamik und Probefahrten
E-Mail: manuel.sonntag@deutschebahn.com
(Kap. 7.2)

Dr. Thorsten Tielkes

DB Systemtechnik GmbH
Leiter Kompetenzzentrum Aerodynamik und Klimatechnik
E-Mail: thorsten.tielkes@deutschebahn.com
(Kap. 7.6)

Dr.-Ing. Werner Weigand

Ehem. Leiter Langfristplanung und Fahrwegkapazität
DB Netz AG
E-Mail: WernerWeigand@t-online.de
(Kap. 8, Kap. 9.5)

Stichwortverzeichnis

A

Abbrann-Stumpfschweißung 430
Ablaufanlage 374
Abnahmeverfahren 578
Abnutzungsvorrat 447
Abstandsregelung 607, 608
Abt 764
Abtsche Ausweiche 769
Achszähler 622
Achszählkontakt 624
Adhäsionsbahn 761
Advanced TrainLab 134, 135
Aerodynamik 230
Aerodynamischer Widerstand 231
Aggregatgeräusche 240
Akkumulator-Triebwagen 228
Akustisches Schienenschleifen 242
Allgemeines Eisenbahngesetz 77, 384
Alta Velocidad Español 715, 743
Alternative Antriebe 227
Analytische Verfahren 304
Andreaskreuz 495
Anfahrbeschleunigung 68, 198
Anfahrgrenzlast 189
Angebotsplanung 254
Anhörungsbehörde 401
Anhub 504
Anlagenpreis 283
Anlaufwinkel 171
Annäherungsfahrzeit 613
Anschlussbahn 371
Anschlussstelle 373
Antriebs- und Bremsprinzip 64
Äquivalente Konizität 142, 161
As low as reasonably practicable 661
Asphalt-Tragschicht mit Dübelsteinen 439
Association Européenne pour l'Interopérabilité Ferroviaire 689
Atmungslänge 475

Aufklettern 172
Aufsteilungsmechanismus 237
Auftraggeber-Informations-Anforderungen 516
Ausbaustrecke 344
Ausbesserungswerk 364
Ausfahrsignal 354, 610
Ausfallwahrscheinlichkeit 590
Ausladung 317
Außenreinigungsanlage 602
Ausweichanschlussstelle 373
Ausziehstoß 475
Automated Guided Vehicle 571
Automatische Fahr- und Bremssteuerung 557, 638
Automatische Kupplung 542
Automatischer Zugbetrieb 124
Automatisierung 126
Automotrice Grande Vitesse 743

B

Badewannenkurve 447
Bahnlanlagen 337
Bahnbetriebswerk 364
Bahnerden 468
Bahnhof 337, 356
Bahnhofsblock 634
Bahnreform 397
Bahnsteig 367
Bahnsteiggleis 370
Bahnsteighöhe 29, 330
Bahnsteigkante 330
Bahnsteigwechselzeit 615
Bahnstromkraftwerk 221
Bahnstromleitungsnetz 214
Bahnübergang 495
Balise 640
Basistunnel 72, 344
Batteriebetrieb 522

Das System Bahn ist ein komplexes Gefüge. Es entwickelt sich mit hoher Geschwindigkeit weiter – in der Technologie seiner Subsysteme wie Infrastrukturgestaltung, Fahrweg, Fahrzeugtechnik, Instandhaltung, Betriebsführung und in den Leit- und Sicherungssystemen. Deutschlandtakt und Digitalisierung sind aktuelle Themen, ebenso wie Sensorik und Hybridantriebe. Große Veränderungen hat die Anwendung der EU-Regularien mit sich gebracht, sei es beim Zulassungsverfahren oder dem Sicherheitsmanagement – ausgelöst durch die wachsende Interoperabilität der Bahnen in der Europäischen Gemeinschaft. ERTMS (ETCS und GSM-R, künftig FRMCS) sind Schlüsselworte dafür, ebenso wie BIM bei Bauprojekten. Hinzu kommen steigende Ansprüche an die Umweltfreundlichkeit der Bahn.

Eine ganzheitliche Betrachtung des Systems Bahn erscheint unabdingbar.

Die vorliegende 3. Auflage dieses Handbuchs gibt einen aktuellen Überblick über das System Bahn und seine Fortentwicklung – zusammengestellt durch ein interdisziplinäres Autorenteam aus den Bereichen Wissenschaft, Industrie, Marktforschung und Bahnunternehmen. Theorie und Praxis gehen dabei Hand in Hand. Wirkungsmechanismen werden ebenso wie historische und aktuelle Entwicklungen erläutert und die Zukunftsperspektiven der Bahntechnologie auf allen Gebieten aufgezeigt. Das Werk richtet sich an Planer, Entwickler, Hersteller und Betreiber aus dem Bereich Bahn sowie junge Ingenieure und alle an der Eisenbahn interessierte Leser.

Extra: Dank des kostenlosen enthaltenen E-Books stehen Nutzern eines Endgeräts mit PDF-Reader (PC, Tablet, Smartphone) die Inhalte des Werks auch elektronisch und mit Suchfunktion zur Verfügung.

ISBN 978-3-96245-224-7



9 783962 452247