

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

# HANDBUCH Das System Bahn

3. Auflage



EDITION  
**Eurail**  
press



eBOOK  
INSIDE  
↓

# 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 Pacht  
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<br>Werkstättenstraße 18<br>51379 Leverkusen  |
| Office Hamburg:           | Frankenstraße 29<br>20097 Hamburg<br>Telefon: +49 (0) 40 228679 506<br>Telefax: +49 (0) 40 228679 503<br>Internet: <a href="http://www.pmcmedia.com">www.pmcmedia.com</a><br>E-Mail: <a href="mailto:office@pmcmedia.com">office@pmcmedia.com</a> |
| 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**

  
**PMC Media**  
International Publishing

## 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        |
| <b>1 Grundelemente des Systems Bahn<br/>und Konsequenzen für die Systemgestaltung .....</b> | <b>23</b> |
| 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        |
| <b>2 Die Entwicklung der Bahn in Deutschland .....</b>                                      | <b>32</b> |
| 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        |

|             |  |           |
|-------------|--|-----------|
| <b>2.8</b>  | <b>Die Deutsche Bahn AG entsteht .....</b>   | <b>49</b> |
| 2.8.1       | Bahnreform und Wiedervereinigung .....   | 49        |
| 2.8.2       | Die zweite Stufe der Bahnreform.....   | 51        |
| <b>2.9</b>  | <b>Strecken Neubau, Ausbaustrecken, neue Züge .....</b>                            | <b>52</b> |
| <b>2.10</b> | <b>Rationalisierung und Verkehrserfolge; Statistischer Überblick .....</b>         | <b>55</b> |
| <b>3</b>    | <b>Systemeigenschaften der Eisenbahn und Vergleich mit dem System Straße .....</b> | <b>62</b> |
| <b>3.1</b>  | <b>Systemtechnische Aspekte von Bahnen .....</b>                                   | <b>62</b> |
| <b>3.2</b>  | <b>Systemeigenschaften der Eisenbahn im Vergleich .....</b>                        | <b>65</b> |
| 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        |
| <b>4</b>    | <b>Regelungen im Bahnsystem .....</b>  | <b>76</b> |
| <b>4.1</b>  | <b>Regelungsgrundsätze.....</b>  | <b>76</b> |
| 4.1.1       | Regelungsbedarf .....  | 76        |
| 4.1.2       | Struktur der Regelungen .....  | 77        |
| 4.1.3       | Verantwortung für das Einhalten der Regelungen .....                               | 80        |
| <b>4.2</b>  | <b>Europäische Gesetzgebung und Regelwerke .....</b>                               | <b>80</b> |
| <b>4.3</b>  | <b>Eisenbahngesetzgebung und Regelungen in Deutschland.....</b>                    | <b>84</b> |
| 4.3.1       | AEG und EBO.....   | 84        |
| 4.3.2       | Zuständigkeiten des EBA.....   | 84        |
| 4.3.3       | Sonstige Regelwerke .....  | 85        |
| <b>5</b>    | <b>Verkehrsmärkte.....</b>   | <b>86</b> |
| <b>5.1</b>  | <b>Personenverkehr.....</b>  | <b>86</b> |
| 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       |

|            |  |            |
|------------|--|------------|
| <b>5.2</b> | <b>Güterverkehrsmärkte.....</b>  | <b>106</b> |
| 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        |
| <b>6</b>   | <b>Anforderungen an das System Bahn und Konsequenzen<br/>für die Strategie .....</b> | <b>119</b> |
| 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        |
| <b>7</b>   | <b>Grundlagen des Rad/Schiene-Systems und<br/>Wirkungsmechanismen.....</b>           | <b>148</b> |
| 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        |

|            |   |            |
|------------|---|------------|
| <b>7.4</b> | <b>Bremstechnik und Bremsdynamik .....</b>  | <b>200</b> |
| 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        |
| <b>7.5</b> | <b>Bahnenergieversorgung .....</b>  | <b>210</b> |
| 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<br>von Energie- und Eisenbahnmärkten..... | 225        |
| 7.5.8      | Traktionsenergie und Klimawandel .....  | 226        |
| <b>7.6</b> | <b>Aerodynamik .....</b>  | <b>230</b> |
| 7.6.1      | Aerodynamik der freien Strecke .....  | 230        |
| 7.6.2      | Tunnelaerodynamik .....   | 234        |
| <b>7.7</b> | <b>Luftschall und Erschütterungen aus dem Schienenverkehr.....</b>  | <b>238</b> |
| 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        |
| <b>8</b>   | <b>Angebots-, Betriebs- und Kapazitätsplanung .....</b>   | <b>254</b> |
| <b>8.1</b> | <b>Begriffe, Ziele.....</b>   | <b>254</b> |
| 8.1.1      | Angebotsplanung .....   | 254        |
| 8.1.2      | Betriebsplanung.....  | 255        |
| 8.1.3      | Fahrplan .....  | 256        |
| 8.1.4      | Kapazitätsmanagement .....  | 257        |



|            |   |            |
|------------|---|------------|
| <b>8.2</b> | <b>Angebotsplanung im Schienenpersonenverkehr .....</b>   | <b>258</b> |
| 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      | Linienplanung .....   | 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        |
| <b>8.3</b> | <b>Angebotssysteme im Eisenbahngüterverkehr .....</b>   | <b>276</b> |
| 8.3.1      | Formen des Eisenbahngüterverkehrs .....   | 276        |
| 8.3.2      | Ganzzüge .....  | 277        |
| 8.3.3      | Einzelwagenverkehr .....  | 277        |
| 8.3.4      | Kombinierter Verkehr .....  | 279        |
| <b>8.4</b> | <b>Netzfahrplan.....</b>  | <b>283</b> |
| 8.4.1      | Rechtliche Rahmenbedingungen .....  | 283        |
| 8.4.2      | Prozess der Netzfahrplanerstellung .....  | 283        |
| 8.4.3      | Trassenbestellung .....   | 284        |
| <b>8.5</b> | <b>Technik der Fahrplanerstellung.....</b>  | <b>285</b> |
| 8.5.1      | Fahrplankonstruktion .....  | 285        |
| 8.5.2      | Zeitanteile im Fahrplan .....   | 286        |
| 8.5.3      | Fahrplanstörfestigkeit.....   | 288        |
| 8.5.4      | Fahrplanleistungsfähigkeit .....  | 289        |
| <b>8.6</b> | <b>Darstellungsformen des Fahrplans.....</b>  | <b>290</b> |
| <b>8.7</b> | <b>Kapazitätsplanung.....</b>   | <b>293</b> |
| 8.7.1      | Langfristfahrplan – die verkehrlichen und betrieblichen Anforderungen an die<br>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        |
| <b>8.8</b> | <b>Infrastrukturdimensionierung.....</b>  | <b>307</b> |
| 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        |
| <b>9</b>   | <b>Infrastruktur .....</b>   | <b>317</b> |
| <b>9.1</b> | <b>Entwurfgrundlagen .....</b>   | <b>317</b> |
| 9.1.1      | Querschnittsgestaltung .....   | 317        |
| 9.1.2      | Linienführung .....  | 332        |
| <b>9.2</b> | <b>Bahnanlagen .....</b>   | <b>337</b> |
| 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        |
| <b>9.3</b> | <b>Infrastrukturprojekte – Regelungen, Finanzierung, Planfeststellung, Bau, Inbetriebnahme und deren Überwachung .....</b> | <b>384</b> |
| 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        |
| <b>9.4</b> | <b>Die Fahrbahn und ihre Komponenten .....</b>   | <b>422</b> |
| 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        |
| <b>9.5</b> | <b>Instandhaltung des Fahrwegs .....</b>   | <b>446</b> |
| 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        |

|             |  |            |
|-------------|--|------------|
| <b>9.6</b>  | <b>Brücken und Tunnel auf Neubaustrecken .....</b>                 | <b>472</b> |
| 9.6.1       | Brücken.....   | 472        |
| 9.6.2       | Tunnel.....  | 480        |
| 9.6.3       | Brücken und Tunnel auf der NBS VDE 8 .....                         | 483        |
| <b>9.7</b>  | <b>Bahnübergänge .....</b>   | <b>495</b> |
| <b>9.8</b>  | <b>Oberleitung und Stromabnehmer .....</b>                         | <b>500</b> |
| 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 Stromabnehmerrippe .....         | 508        |
| 9.8.5       | Oberleitungsgeometrie und Fahrdrablage.....                        | 512        |
| 9.8.6       | Fazit.....   | 514        |
| <b>9.9</b>  | <b>Building Information Modeling (BIM) .....</b>                   | <b>515</b> |
| 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        |
| <b>10</b>   | <b>Schienenfahrzeuge.....</b>                                      | <b>521</b> |
| <b>10.1</b> | <b>Anforderungen an Schienenfahrzeuge .....</b>                    | <b>521</b> |
| 10.1.1      | Interoperabilität und Zulassung .....                              | 521        |
| 10.1.2      | Minderung des CO <sub>2</sub> -Ausstoßes.....                      | 521        |
| 10.1.3      | Zuverlässigkeitsanforderungen.....                                 | 526        |
| <b>10.2</b> | <b>Kennzeichen moderner Schienenfahrzeuge und Komponenten.....</b> | <b>528</b> |
| 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      | Einstiegtüren .....  | 562        |
| <b>10.3</b> | <b>Fahrzeugbeispiele .....</b>                                     | <b>565</b> |
| 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        |

|             |   |            |
|-------------|---|------------|
| <b>10.4</b> | <b>Tram-Train-Fahrzeuge .....</b>   | <b>574</b> |
| <b>10.5</b> | <b>Fahrzeugzugang zur Eisenbahninfrastruktur .....</b>                          | <b>577</b> |
| <b>10.6</b> | <b>Instandhaltung von Fahrzeugen .....</b>                                      | <b>584</b> |
| 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        |
| <b>10.7</b> | <b>Betriebswerke für ICE-Züge.....</b>  | <b>600</b> |
| <b>11</b>   | <b>Betriebsführung, Leit- und Sicherungstechnik .....</b>                       | <b>607</b> |
| <b>11.1</b> | <b>Regelung und Sicherung der Zugfolge.....</b>                                 | <b>607</b> |
| 11.1.1      | Abstandsregelung im signalgeführten Betrieb.....                                | 608        |
| 11.1.2      | Abstandsregelung im anzeigegeführten Betrieb.....                               | 616        |
| 11.1.3      | Zugfolgesicherung .....   | 619        |
| <b>11.2</b> | <b>Fahrwegsicherung .....</b>   | <b>626</b> |
| 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        |
| <b>11.3</b> | <b>Zugbeeinflussung .....</b>   | <b>635</b> |
| 11.3.1      | Punktförmige Zugbeeinflussung .....   | 635        |
| 11.3.2      | Linienförmige Zugbeeinflussung .....  | 638        |
| 11.3.3      | ETCS.....   | 640        |
| <b>11.4</b> | <b>Betriebsverfahren .....</b>  | <b>645</b> |
| 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        |
| <b>11.5</b> | <b>Betriebsleittechnik.....</b>   | <b>653</b> |
| 11.5.1      | Zuglaufverfolgung .....   | 653        |
| 11.5.2      | Zuglenkung.....   | 654        |

|             |   |            |
|-------------|---|------------|
| <b>12</b>   | <b>Sicherheit</b> .....   | <b>658</b> |
| <b>12.1</b> | <b>Sicherheitsphilosophie, Risikoakzeptanz und Sicherheitsmanagement</b> .....  | <b>658</b> |
| 12.1.1      | Was ist Sicherheit – und wie sicher ist sicher genug? .....   | 658        |
| 12.1.2      | Sicherheit der technischen Teilkomponenten des Eisenbahnsystems:<br>Maßstäbe der Risikoakzeptanz .....  | 659        |
| 12.1.3      | Sicherheit der sozialen Teilkomponenten des Eisenbahnsystems: Führung, Lenkung<br>und Koordination der Organisation in Bezug auf Sicherheitsaktivitäten ..... | 662        |
| 12.1.4      | Einbettung in einen überlagerten Regelkreis der behördlichen Aufsicht.....  | 665        |
| <b>12.2</b> | <b>Bahnunfälle, Risikoanalyse und Sicherheitsmaßnahmen</b> .....  | <b>667</b> |
| 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        |
| <b>13</b>   | <b>Interoperabilität</b> .....  | <b>675</b> |
| <b>13.1</b> | <b>Begriffsbestimmung</b> .....   | <b>675</b> |
| <b>13.2</b> | <b>160 Jahre interoperabler Bahnbetrieb in Europa</b> .....   | <b>675</b> |
| <b>13.3</b> | <b>Entwicklung des internationalen Hochgeschwindigkeitsverkehrs (HGV)</b> .....   | <b>677</b> |
| <b>13.4</b> | <b>Eisenbahnnetze für Europa</b> .....  | <b>682</b> |
| <b>13.5</b> | <b>Das Europäische Vertragswerk; TEN und Interoperabilität</b> .....  | <b>685</b> |
| <b>13.6</b> | <b>TSI: AEIF, ERA und die TSI</b> .....   | <b>689</b> |
| <b>13.7</b> | <b>Normen</b> .....   | <b>691</b> |
| <b>13.8</b> | <b>Eine neue Bahnwelt in Europa</b> .....   | <b>691</b> |
| <b>14</b>   | <b>HGV-Systeme weltweit</b> .....   | <b>694</b> |
| <b>14.1</b> | <b>HGV-Netze in Ostasien und Europa</b> .....   | <b>694</b> |
| 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        |
| <b>14.2</b>                        | <b>Hochgeschwindigkeitsfahrzeuge.....</b>                        | <b>730</b> |
| 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        |
| <b>15</b>                          | <b>Bahnen besonderer Art.....</b>                                | <b>749</b> |
| <b>15.1</b>                        | <b>S-Bahn-Systeme in Deutschland.....</b>                        | <b>749</b> |
| 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        |
| <b>15.2</b>                        | <b>Berg- und Seilbahnen.....</b>                                 | <b>761</b> |
| 15.2.1                             | Zahnradbahnen .....  | 762        |
| 15.2.2                             | Standseilbahnen .....  | 768        |
| 15.2.3                             | Seilschwebbahnen.....  | 772        |
| <b>16</b>                          | <b>Ausblick .....</b>  | <b>776</b> |
| <b>16.1</b>                        | <b>Verkehr und Betrieb.....</b>                                  | <b>776</b> |
| <b>16.2</b>                        | <b>Technische Subsysteme.....</b>                                | <b>778</b> |
| <b>Herausgeber .....</b>           | <b>781</b>   |            |
| <b>Autoren .....</b>               | <b>782</b>   |            |
| <b>Stichwortverzeichnis .....</b>  | <b>786</b>   |            |
| <b>Inserentenverzeichnis .....</b> | <b>800</b>   |            |

## Abkürzungsverzeichnis

|             |  |
|-------------|--|
| <b>AAR</b>  | 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  |
| <b>Bast</b> | Betriebliche Aufgabenstellung  |
| Betra       | Betriebs- und Bauanweisung   |
| BEVVG       | Bundeseisenbahnverkehrsverwaltungsgesetz   |
| BIM         | Building Information Modeling (Bauwerksdatenmodellierung)  |
| BImSchG     | Bundes-Immissionsschutzgesetz  |
| BImSchV     | 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 überwachtetes 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. Magnetbahnen, werden berührungsfrei 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.

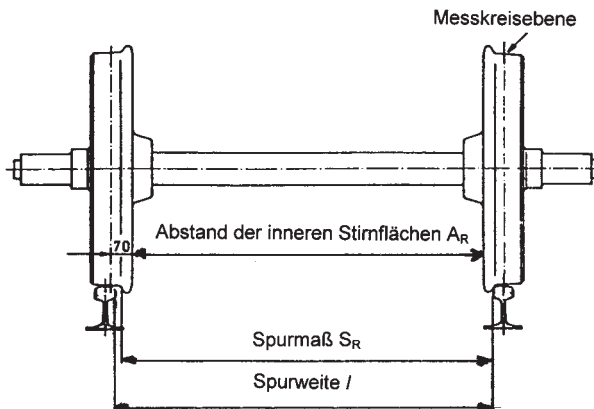


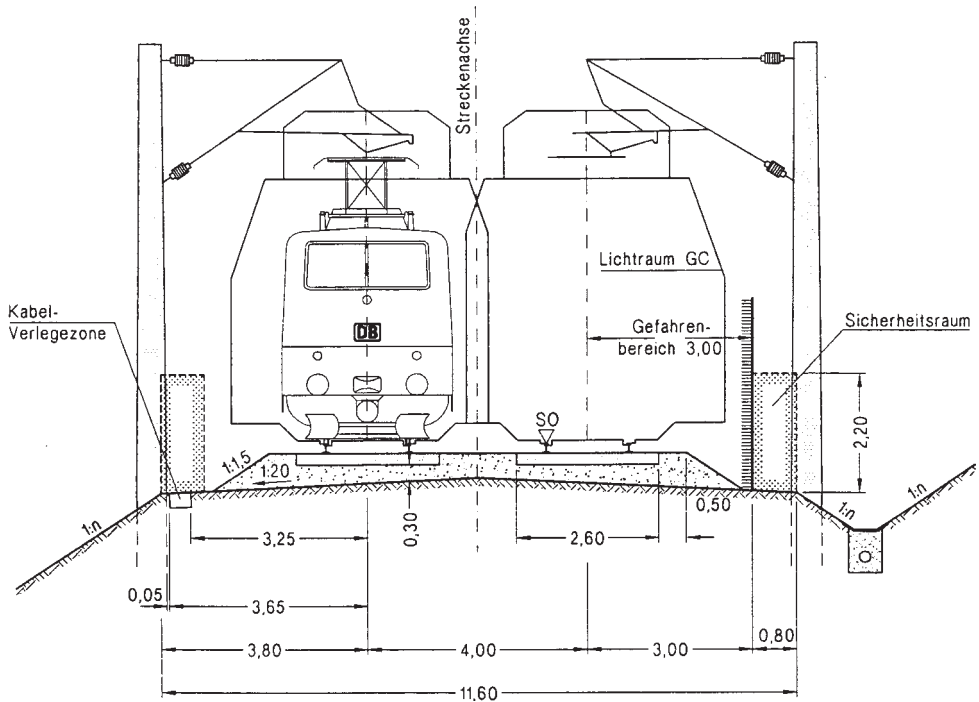
Abb. 1.1.1: Radsatz und Schienen



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 (Triebfahrzeugen – 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 Abfangen 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 cm<sup>2</sup> – so groß wie ein Daumnagel – 300 N/mm<sup>2</sup>. 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 Verkehrszonen 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 sektoral 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 Aufkommensgewichte 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
  - $T_{ijg}^p$  = 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 Verloader 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 durchgeführten Wahlentscheidungen (Revealed Preferences) und simulierten Wahlentscheidungen (Stated Preferences).

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

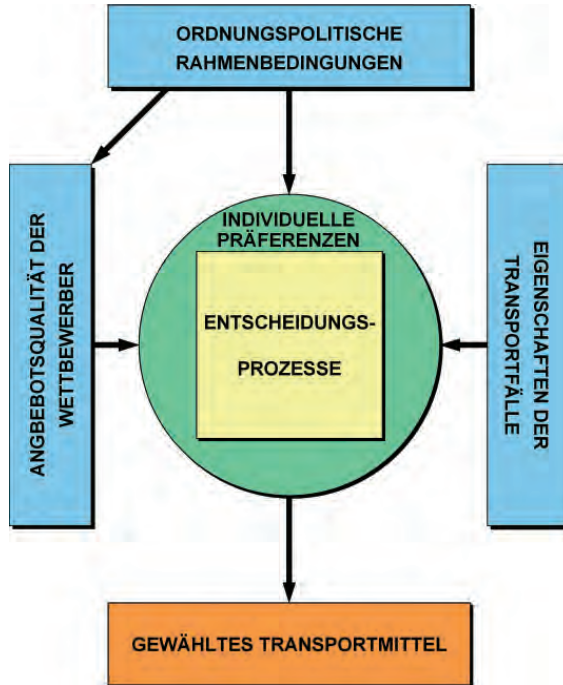


Abb. 5.2.1: Entscheidungsmodell der Verkehrsmittelwahl im Güterverkehr

### Das Logit-Modell

In der Verkehrsforschung und -planung 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

$\alpha_k$  = Schätzparameter

$\varepsilon_{ae}$  = 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 geringstmöglichem 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 Wettbewerbssituation 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 CO<sub>2</sub>-Bilanz im Verkehr.

Vier wesentliche Merkmale unterscheiden öffentliche Verkehrsmittel von Individualverkehrsmitteln 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 eingeschränkt auch im Güterverkehr zeitabhängig, d.h., der Nutzer muss sich an den Fahrplan anpassen. Laufwege von Zügen, das Produktionssystem im Güterverkehr, Linien im Personenverkehr 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 Angebotsnetz stattgefunden. Dabei nutzen die verschiedenen Verkehrsarten ggf. nur einen Teil des Schienennetzes. Es können nur solche Märkte bedient werden, die die Bündelung von Verkehrsströmen 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 Fahrgast 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 bedarfsorientierte 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 Verkehrsnachfrage im Stadt-, Vorort- oder Regionalverkehr zu befriedigen. Das ist im Zweifel der Fall, wenn in der Mehrzahl der Beförderungsfälle eines Verkehrsmittels die gesamte Reiseweite 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 Verkehrsdiensten, 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 Zugattungen – 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 (Bremswertstempel), 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-Fahweg-Wechselwirkung

Die dynamische Wechselwirkung Fahrzeug – Fahweg ist vertikal und lateral unterschiedlich. Die Vertikaldynamik hängt einerseits von den Elastizitäten des Oberbaus und des Untergrunds und andererseits von den unabgefederten 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 Federung 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.

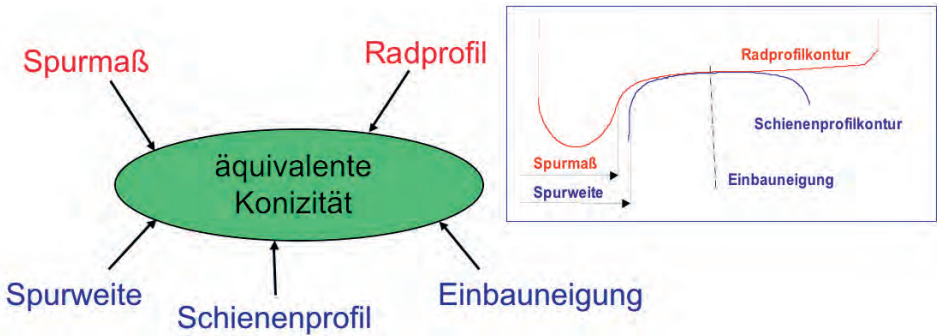


Abb. 9.4.24: Einflussgrößen der Rad/Schiene-Berührungsgeometrie; die äquivalente Konizität ist die Beurteilungsgröße für alle Einflussparameter



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 Radlauflächen 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, Rollkontaktermüdungen, 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, Betätigungsspiele 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 120 000 km. Bezogen auf die stärker besiedelte Fläche des Landes (3,65 Mio km<sup>2</sup>) wären das etwa 33 km Eisenbahnstrecke je 1000 km<sup>2</sup>. Deutschland liegt derzeit bei etwa 100 km Strecke je 1000 km<sup>2</sup>, 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–Shenzen (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

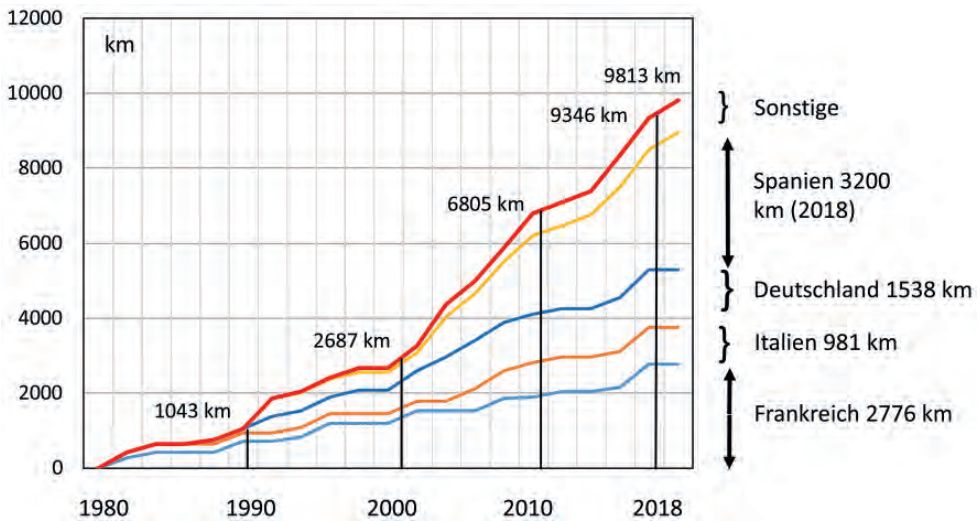


Abb. 14.1.17: Entwicklung der Schnellfahrstrecken  $V > 200$  km/h in Europa

## Herausgeber

### Prof. Dr.-Ing. Eberhard Jänsch

Jahrgang 1942, nach Studium des Bauingenieurwesens (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. Institutsdirektor  
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 Pacht**

Technische Universität Braunschweig

Leiter Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrssicherung

E-Mail: j.pacht@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

Abbrenn-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  
Anfahrrenzlast 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  
Ausfahrtsignal 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  
Bahnanlagen 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