Jörn Pacht

Systemtechnik des Schienenverkehrs

Bahnbetrieb planen, steuern und sichern

Jörn Pachl

Systemtechnik des Schienenverkehrs

Bahnbetrieb planen, steuern und sichern

4., überarbeitete und erweiterte Auflage

Mit 163 Abbildungen, 13 Tabellen und Beispielen

Teubner

B. G. Teubner Stuttgart · Leipzig · Wiesbaden

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

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

Prof. Dr.-Ing. Jörn Pacht ist geschäftsführender Leiter des Instituts für Eisenbahnwesen und Verkehrssicherung der Technischen Universität Braunschweig. Er studierte Verkehrsingenieurwesen in Dresden und war vor seinem Ruf an die TU Braunschweig im Betriebsmanagement der Deutschen Bahn in der Region Hamburg tätig. Prof. Pacht ist Autor und Koautor mehrerer Fachbücher auf dem Gebiet des Bahnbetriebes.

1. Auflage 1999
2. Auflage 2000
3. Auflage 2002
- 4., überarb. und erw. Aufl. Juli 2004

Alle Rechte vorbehalten

© B. G. Teubner Verlag / GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2004

Der B. G. Teubner Verlag ist ein Unternehmen von Springer Science+Business Media.
www.teubner.de

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. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Umschlaggestaltung: Ulrike Weigel, www.CorporateDesignGroup.de

ISBN 978-3-519-36383-5

ISBN 978-3-322-99441-7 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-322-99441-7

Vorwort

Die gegen Ende des 20. Jahrhunderts in vielen Ländern begonnene Reformierung und Neustrukturierung des Eisenbahnwesens führte zu einem wachsenden Bedarf an solide ausgebildeten Fach- und Führungskräften. Zur Ergänzung des bestehenden Angebots an Hochschullehrbüchern für einzelne Fachsparten der Bahntechnik fehlte längere Zeit eine fachübergreifende Beschreibung der grundsätzlichen systemtechnischen Zusammenhänge des Schienenverkehrs. Diese Lücke möchte das vorliegende Lehrbuch schließen. Das Buch wendet sich in erster Linie an Studierende technischer Studiengänge an Hoch- und Fachhochschulen, insbesondere des Verkehrswezens, des Bauingenieurwesens, der Elektrotechnik, der Automatisierungstechnik und der Informatik, die sich im Rahmen ihres Haupt- oder Vertiefungsstudiums ein Grundwissen über die Systemtechnik der Eisenbahn aneignen möchten. Es wendet sich aber ebenfalls an Teilnehmer von Trainee- und Weiterbildungsprogrammen der Eisenbahnunternehmen und der Bahnindustrie und soll auch fachlichen Quereinsteigern ermöglichen, sich mit dem System Bahn vertraut zu machen.

Im Unterschied zu Lehrwerken, die sich einer anlagenorientierten Beschreibung einzelner Komponenten der Bahntechnik widmen, besteht das Anliegen des vorliegenden Werkes in einer prozessorientierten Betrachtung des Systems Bahn mit dem Schwerpunkt der Durchführung von Zugfahrten im Eisenbahnnetz. Nach einer Einführung in die Begriffswelt des Schienenverkehrs folgt zunächst eine kurze Abhandlung der für die Systemtechnik relevanten fahrdynamischen Grundlagen. Den Hauptteil des Buches bilden die Abschnitte zur Regelung und Sicherung der Zugfolge und zur Steuerung und Sicherung der Fahrwegelemente. In diesen Abschnitten werden die maßgebenden Systemeigenschaften des Schienenverkehrs einer eingehenden Betrachtung unterzogen. Darauf unmittelbar aufbauend folgt ein Kapitel zur Leistungsuntersuchung von Eisenbahnbetriebsanlagen, in dem der Versuch unternommen wird, traditionelle Betrachtungsweisen mit neueren Erkenntnissen der Eisenbahnbetriebswissenschaft zu verbinden. Den Abschluss bilden Kapitel zu Fragen der Fahrplankonstruktion und der Betriebssteuerung.

Im Eisenbahnwesen existiert eine umfangreiche, historisch gewachsene Begriffswelt, die sich in dieser Form in anderen Sparten der Technik und des Verkehrs nicht findet. Dem mit dieser Begriffswelt nicht vertrauten fachlichen Neueinsteiger ist das Verständnis systemtechnischer Zusammenhänge mitunter erheblich erschwert. Aus diesem Grunde wurde in den Anhang des Buches ein Glossar mit Kurzdefinitionen von mehr als 200 Grundbegriffen des Eisenbahnwesens aufgenommen.

In Inhalt und Gestaltung dieses Werkes flossen in maßgebender Weise die Erfahrungen aus der Lehrtätigkeit am Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrssicherung der TU Braunschweig, an der Siemens Rail Automation Academy sowie aus weiteren Lehrveranstaltungen für die Aus- und Weiterbildung von Fachkräften aus Eisenbahnunternehmen und der Bahnindustrie ein.

Dem großen Interesse der Leser ist es zu danken, dass dieses Buch nach nur fünf Jahren bereits in der vierten Auflage vorliegt. In der aktuellen Auflage wurden neben einigen Aktualisierungen zur Anpassung an den Stand der Technik auch eine Reihe von Ergänzungen vorgenommen, wobei insbesondere die Anregungen aus dem Leserkreis Berücksichtigung fanden. Vorschläge für weitere Verbesserungen und Hinweise auf Fehler sind jederzeit willkommen.

Mein Dank gebührt dem Verlag und seinen Mitarbeitern für die konstruktive Zusammenarbeit, die sorgfältige Herstellung und die gute Ausstattung dieses Buches.

Braunschweig, Juni 2004

Jörn Pachl

Für Anregungen und Hinweise ist der Autor im Internet unter folgenden Adressen zu erreichen:

<http://www.ifev.de/pachl>

E-Mail: joern.pachl@gmx.de

Inhalt

1	Grundbegriffe des Schienenverkehrs	1
1.1	Maßgebende Systemeigenschaften	1
1.2	Gesetzliche Grundlagen für Bau und Betrieb von Schienenbahnen	3
1.3	Grundlegende Begriffe und Definitionen	5
1.3.1	Bahnanlagen	6
1.3.2	Fahrzeuge	12
1.3.3	Fahrten mit Eisenbahnfahrzeugen	13
1.3.4	Regelung der Zugfolge	16
1.3.5	Abweichende Begriffswelten im Ausland	18
2	Fahrdynamische Grundlagen	22
2.1	Grundgleichungen	22
2.2	Zugkraft	23
2.3	Widerstandskräfte	24
2.3.1	Streckenwiderstand	24
2.3.2	Fahrzeugwiderstand	28
2.3.3	Anfahrwiderstand	29
2.4	Steigungs-Geschwindigkeits-Diagramm	31
2.5	Fahrzeitermittlung	32
3	Regelung und Sicherung der Zugfolge	38
3.1	Theoretische Abstandshaltevorschriften	38
3.1.1	Fahren im relativen Bremswegabstand	38
3.1.2	Fahren im absoluten Bremswegabstand	39
3.1.3	Fahren im Raumabstand	40

3.2	Abstandshaltetechniken im Schienenverkehr.....	41
3.2.1	Fahren im Sichtabstand	41
3.2.2	Fahren im Zeitabstand.....	41
3.2.3	Fahren im festen Raumabstand	42
3.2.3.1	Bedingungen	42
3.2.3.2	Ortsfeste Signalisierung	43
3.2.3.3	Sperrzeitenbild	49
3.2.3.4	Leistungssteigerung durch Signalisierung verkürzter Blockabschnitte	53
3.3	Sicherung des Fahrens im festen Raumabstand	58
3.3.1	Verfahren ohne technische Sicherung	58
3.3.1.1	Verfahren ohne technische Sicherung mit örtlicher Fahrdienstleitung	58
3.3.1.2	Verfahren ohne technische Sicherung mit zentraler Fahrdienstleitung	60
3.3.2	Technische Sicherungsverfahren	61
3.3.2.1	Begriff des Streckenblocks	61
3.3.2.2	Gestaltung der Blocklogik	62
3.3.2.3	Technische Realisierung des Streckenblocks.....	66
3.3.2.4	Satellitengestützte Sicherung der Zugfolge als Alternative zum Streckenblock auf Nebenstrecken	74
3.4	Zugbeeinflussung	75
3.4.1	Arten von Zugbeeinflussungsanlagen.....	75
3.4.2	Punktförmige Zugbeeinflussung.....	77
3.4.2.1	Zugbeeinflussung mit mechanischer und elektromechanischer Informationsübertragung	77
3.4.2.2	Induktive Zugbeeinflussung.....	77
3.4.2.3	Magnetische Zugbeeinflussung.....	82
3.4.2.4	Zugbeeinflussung mit punktförmigen Datenüber- tragungssystemen auf Transponderbasis.....	82
3.4.3	Linienförmige Zugbeeinflussung.....	83
3.4.4	Vereinheitlichung der Zugbeeinflussung in Europa	87
3.5	Funkbasierte Verfahren zur Zugfolgesicherung.....	90

4 Steuerung und Sicherung der Fahrwegelemente	94
4.1 Begriff der Fahrstraße	94
4.2 Kriterien für die Sicherung einer Fahrstraße.....	97
4.2.1 Signalabhängigkeit.....	97
4.2.2 Fahrstraßenverschluss und Fahrstraßenfestlegung.....	99
4.2.3 Fahrstraßenausschlüsse	105
4.2.4 Flankenschutz	106
4.2.4.1 Flankenschutz gegen feindliche Zugfahrten	106
4.2.4.2 Flankenschutz gegen feindliche Rangierfahrten und unbeabsichtigt ablaufende Wagen	107
4.2.4.3 Flankenschutz gegen das Strecken von Zügen.....	107
4.2.4.4 Erfordernis von Schutzweichen	108
4.2.4.5 Besonderheiten der Anordnung von Flankenschutz- einrichtungen	109
4.2.5 Gleisfreimeldung.....	112
4.3 Anordnung der Signale	114
4.3.1 Verwendung der Hauptsignale.....	114
4.3.2 Bezeichnung der Hauptsignale	116
4.3.3 Abstand der Hauptsignale vom Gefahrpunkt.....	118
4.3.3.1 Maßgebender Gefahrpunkt	118
4.3.3.2 Sicherung der Durchrutschwege	119
4.3.4 Verwendung der Sperrsignale.....	122
4.4 Sperrzeit von Fahrstraßen	124
4.5 Techniken zur Fahrwegsteuerung	127
4.5.1 Stellwerksbauformen	127
4.5.1.1 Mechanische Stellwerke	127
4.5.1.2 Elektromechanische und elektropneumatische Stellwerke	129
4.5.1.3 Relaisstellwerke	129
4.5.1.4 Elektronische Stellwerke (ESTW)	130
4.5.2 Abbildung der Fahrstraßenlogik in Stellwerken	130
4.5.2.1 Tabellarische Fahrstraßenlogik (Verschlusstabelle)	130
4.5.2.2 Geografische Fahrstraßenlogik (Spurplanprinzip).....	132
4.5.3 Abhängigkeiten zwischen Bedienbereichen	136

4.5.3.1	Bahnhofsblock	136
4.5.3.2	Abhängigkeiten zwischen Bedienbereichen in elektronischen Stellwerken	139
4.5.3.3	Nahstellbereiche	139
4.5.4	Streckensicherung mit den Mitteln der Fahrstraßentechnik	140
4.6	Funkbasierte Fahrwegsteuerung	141
5	Leistungsuntersuchung von Eisenbahn-Betriebsanlagen	144
5.1	Leistungsverhalten und Leistungsfähigkeit	144
5.2	Optimaler Leistungsbereich	148
5.3	Methodik der Leistungsuntersuchungen	152
5.3.1	Einteilung der Verfahren	152
5.3.2	Simulationsverfahren	154
5.3.3	Analytische Untersuchung von Strecken	157
5.3.4	Analytische Untersuchung von Knoten	166
5.3.4.1	Analytische Untersuchung von Fahrstraßenknoten	167
5.3.4.2	Vereinfachte Verfahren zur Abbildung der betrieb- lichen Möglichkeiten eines Fahrstraßenknotens	168
5.3.4.3	Bemessung von Gleisgruppen	180
5.3.5	Auswahl eines Verfahrens	185
5.4	Maßnahmen zur Leistungsverbesserung	185
6	Fahrplankonstruktion	189
6.1	Darstellungsformen des Fahrplans für das Trassenmanagement	190
6.2	Zeitanteile im Fahrplan	194
6.2.1	Bestandteile der Beförderungszeit eines Zuges	194
6.2.1.1	Fahrzeit	194
6.2.1.2	Haltezeit	195
6.2.2	Zeitanteile zwischen den Zugfahrten	197
6.2.2.1	Zugfolgezeit	197
6.2.2.2	Pufferzeit	198
6.2.3	Übergangszeit	204
6.2.4	Synchronisationszeit	205

Inhalt	XI
6.2.5 Planmäßige Wartezeit	206
6.3 Verfahren zur Fahrplankonstruktion	209
6.3.1 Manuelle Fahrplankonstruktion	209
6.3.2 Rechnergestützte Fahrplankonstruktion.....	211
6.4 Fahrplanqualität und Fahrplanleistung.....	213
7 Integraler Taktfahrplan	217
7.1 ITF-Konzept.....	217
7.2 Anforderungen an die Infrastruktur	218
7.2.1 Strecken-Infrastruktur für feste Taktlagen	221
7.2.2 Strecken-Infrastruktur für wechselnde Taktlagen.....	225
7.2.3 Infrastruktur der Knoten	226
7.3 Prüfung der Fahrplanstabilität im ITF.....	228
8 Betriebssteuerung	232
8.1 Traditionelle Organisation der Fahrdienstleitung	232
8.2 Arbeitshilfen bei manueller Betriebssteuerung	233
8.3 Betriebsleittechnik zur Unterstützung der Betriebssteuerung	234
8.3.1 Zuglaufverfolgung	234
8.3.2 Zuglenkung	236
8.4 Betriebszentralen.....	242
8.4.1 Aufteilung der betrieblichen Funktionalität in einer Betriebszentrale	243
8.4.2 Rückfallebenen für den Störfall	246
8.4.3 Grundlagen der rechnergestützten Disposition	249
Symbole in Infrastrukturbeispielen	254
Literaturverzeichnis.....	255
Glossar	263
Sachwortverzeichnis	278