J. Pachl
Systemtechnik
des Schienenverkehrs

Systemtechnik des Schienenverkehrs

Von Professor Dr.-Ing. Jörn Pahl
Technische Universität Braunschweig

2., überarbeitete und erweiterte Auflage

Mit 155 Bildern und 13 Tabellen

B. G. Teubner Stuttgart · Leipzig 2000

ISBN 978-3-519-16383-1 ISBN 978-3-322-96776-3 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-322-96776-3

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme
Ein Titeldatensatz für diese Publikation ist bei
Der Deutschen Bibliothek erhältlich

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt besonders für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

© 2000 B. G. Teubner Stuttgart · Leipzig

Gesamtherstellung: Präzis-Druck GmbH, Karlsruhe
Umschlaggestaltung: Peter Pfitz, Stuttgart

Vorwort

Der Eisenbahnverkehr hat in den letzten Jahren sowohl national als auch international wieder erheblich an Bedeutung gewonnen. In allen Bereichen des Eisenbahnwesens besteht dadurch ein verstärkter Bedarf an solide ausgebildeten Fach- und Führungskräften. Während für einzelne Fachsparten der Bahntechnik bereits ein ansprechendes Angebot an Hochschullehrbüchern zur Verfügung steht, fehlt seit längerem eine fachübergreifende Beschreibung der grundsätzlichen systemtechnischen Zusammenhänge des Schienenverkehrs. Diese Lücke möchte das vorliegende Lehrbuch schließen. Das Buch wendet sich in erster Linie an Studenten technischer Studiengänge an Hoch- und Fachhochschulen, insbesondere Verkehrswesen, Bauingenieurwesen, Elektrotechnik, Automatisierungstechnik und 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. 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 neuesten 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 Ver-

kehrt 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 sind in maßgebender Weise die Erfahrungen aus der Lehrtätigkeit am Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrssicherung der TU Braunschweig sowie aus Lehrveranstaltungen für die Aus- und Weiterbildung von Fachkräften der Bahnindustrie eingeflossen. In der vorliegenden 2. Auflage wurden einige Ergänzungen und Aktualisierungen 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, insbesondere Herrn Dr. Schlembach und Frau Rodeit, für die konstruktive Zusammenarbeit, die sorgfältige Herstellung und die gute Ausstattung dieses Buches.

Braunschweig, Dezember 1999

Jörn Pachl

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

<http://www.ivev.bau.tu-bs.de/~pachl/>

email: joern.pachl@gmx.de

Inhalt

1	Grundbegriffe des Schienenverkehrs.....	1
1.1	Maßgebende Systemeigenschaften.....	1
1.2	Gesetzliche Grundlagen für Bau und Betrieb von Bahnen	3
1.3	Grundlegende Begriffe und Definitionen.....	6
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	25
2.3.1	Streckenwiderstand	25
2.3.2	Fahrzeugwiderstand	28
2.3.3	Anfahrwiderstand.....	30
2.4	Steigungs-Geschwindigkeits-Diagramm	31
2.5	Fahrzeitermittlung	33
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	50
3.2.3.4 Leistungssteigerung durch Signalisierung verkürzter Blockabschnitte.....	53
3.3 Sicherung des Fahrens im festen Raumabstand	57
3.3.1 Verfahren ohne technische Sicherung	57
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.....	61
3.3.2.3 Technische Realisierung des Streckenblocks	65
3.3.2.4 Satellitengestützte Sicherung der Zugfolge als Alternative zum Streckenblock auf Nebenstrecken	73
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 elektrischer (galvanischer) Informationsübertragung.....	77
3.4.2.2 Induktive Zugbeeinflussung (Indusi)	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.....	96
4.2.1 Signalabhängigkeit.....	96
4.2.2 Fahrstraßenverschluss und Fahrstraßenfestlegung	98
4.2.3 Fahrstraßenausschlüsse.....	103
4.2.4 Flankenschutz.....	104
4.2.4.1 Flankenschutz gegen feindliche Zugfahrten	105
4.2.4.2 Flankenschutz gegen feindliche Rangierfahrten und unbeabsichtigt ablaufende Wagen	105
4.2.4.3 Flankenschutz gegen das Strecken von Zügen.....	106
4.2.4.4 Erfordernis von Schutzweichen	107
4.2.4.5 Besonderheiten der Anordnung von Flankenschutz- Einrichtungen.....	108
4.2.5 Gleisfreimeldung.....	111
4.3 Anordnung der Signale.....	112
4.3.1 Verwendung der Hauptsignale.....	112
4.3.2 Bezeichnung der Hauptsignale.....	115
4.3.3 Abstand vom Gefahrpunkt	116
4.4 Sperrzeit von Fahrstraßen.....	120
4.5 Techniken zur Fahrwegsteuerung	124
4.5.1 Stellwerksbauformen	124
4.5.1.1 Mechanische Stellwerke	124
4.5.1.2 Elektromechanische und elektropneumatische Stellwerke	125
4.5.1.3 Relaisstellwerke	125
4.5.1.4 Elektronische Stellwerke (ESTW)	126
4.5.2 Abbildung der Fahrstraßenlogik in Stellwerken	126
4.5.2.1 Tabellarische Fahrstraßenlogik (Verschluss-tabelle)....	126
4.5.2.2 Geografische Fahrstraßenlogik (Spurplanprinzip).....	128

4.5.3	Abhängigkeiten zwischen Bedienbereichen	131
4.5.3.1	Bahnhofsblock.....	131
4.5.3.2	Abhängigkeiten zwischen Bedienbereichen in elektronischen Stellwerken	134
4.5.3.3	Nahbedienungsfreigaben	135
4.5.4	Streckensicherung mit den Mitteln der Fahrstraßentechnik	135
4.6	Funkbasierte Fahrwegsteuerung.....	136
5	Leistungsuntersuchung von Eisenbahn-Betriebsanlagen	140
5.1	Leistungsverhalten und Leistungsfähigkeit.....	140
5.2	Optimaler Leistungsbereich	145
5.3	Methodik der Leistungsuntersuchungen	149
5.3.1	Einteilung der Verfahren	149
5.3.2	Simulationsverfahren	151
5.3.3	Analytische Untersuchung von Strecken	154
5.3.4	Analytische Untersuchung von Knoten	163
5.3.4.1	Analytische Untersuchung von Fahrstraßenknoten	164
5.3.4.2	Vereinfachte Verfahren zur Abbildung der betrieblichen Möglichkeiten eines Fahrstraßenknotens.....	166
5.3.4.3	Bemessung von Gleisgruppen	176
5.3.5	Auswahl eines Verfahrens	181
6	Fahrplankonstruktion	183
6.1	Darstellungsformen des Fahrplans für das Trassenmanagement	184
6.2	Zeitanteile im Fahrplan	188
6.2.1	Bestandteile der Beförderungszeit eines Zuges	188
6.2.1.1	Fahrzeit.....	188
6.2.1.2	Haltezeit	189
6.2.2	Zeitanteile zwischen den Zugfahrten	191
6.2.2.1	Zugfolgezeit	191
6.2.2.2	Pufferzeit	193
6.2.3	Übergangszeit.....	198

6.2.4 Synchronisationszeit	199
6.2.5 Planmäßige Wartezeit	201
6.3 Verfahren zur Fahrplankonstruktion	203
6.3.1 Manuelle Fahrplankonstruktion	204
6.3.2 Rechnergestützte Fahrplankonstruktion.....	206
6.4 Fahrplanqualität und Fahrplanleistung.....	208
7 Integraler Taktfahrplan	212
7.1 ITF-Konzept	212
7.2 Anforderungen an die Infrastruktur.....	213
7.2.1 Strecken-Infrastruktur für feste Taktlagen.....	216
7.2.2 Strecken-Infrastruktur für wechselnde Taktlagen.....	221
7.2.3 Infrastruktur der Knoten	221
7.3 Prüfung der Fahrplanstabilität im ITF.....	224
8 Betriebssteuerung	228
8.1 Organisation der Fahrdienstleitung	228
8.2 Arbeitshilfen bei manueller Betriebssteuerung.....	229
8.3 Betriebsleittechnik zur Unterstützung der Betriebssteuerung	230
8.3.1 Zuglaufverfolgung.....	230
8.3.2 Zuglenkung	232
8.4 Betriebszentralen.....	239
8.4.1 Aufteilung der betrieblichen Funktionalität in einer Betriebszentrale.....	239
8.4.2 Rückfallebenen für den Störfall	243
8.4.3 Grundlagen der rechnergestützten Disposition.....	246

Symbole in Infrastrukturbeispielen	251
Glossar.....	252
Literaturverzeichnis.....	278
Sachwortverzeichnis	288