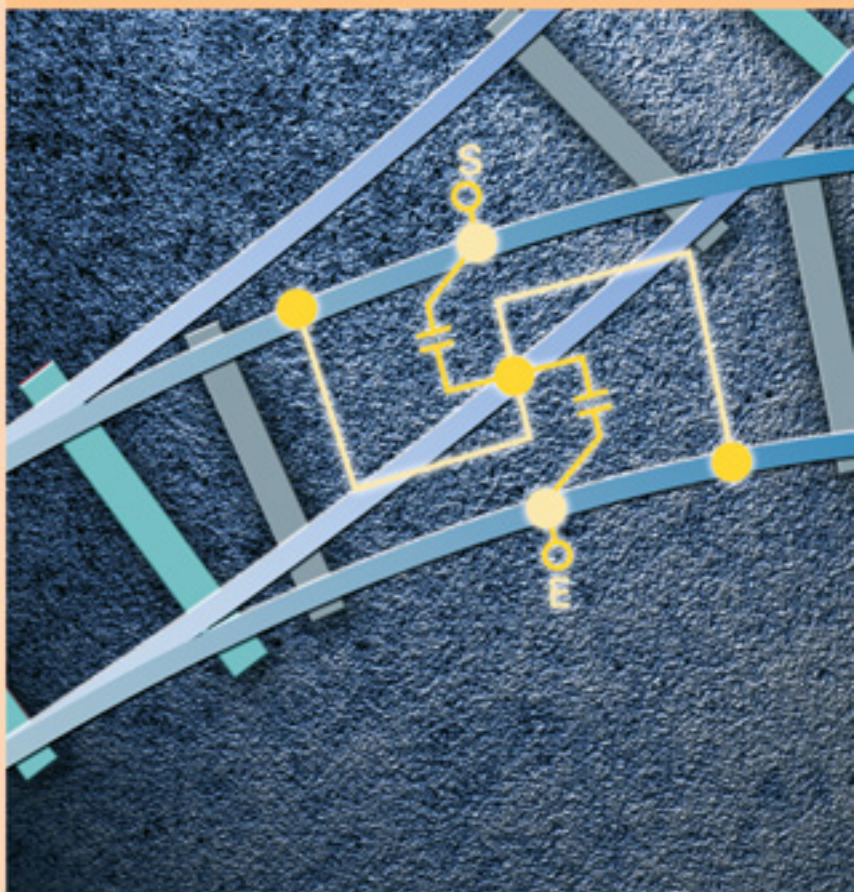


W. Fenner, P. Naumann, J. Trinckauf

Bahnsicherungs- technik

Steuern, Sichern und Überwachen von Fahrwegen
und Fahrgeschwindigkeiten im Schienenverkehr



SIEMENS

Fenner/Naumann/Trinckauf Bahnsicherungstechnik

Die einzelnen Kapitel dieses Buchs wurden von Prof. Dr.-Ing. habil. Wolfgang Fenner, Dr.-Ing. Peter Naumann und Prof. Dr.-Ing. Jochen Trinckauf wie folgt bearbeitet:

Kap. 1: Trinckauf

Kap. 2: Fenner (2.1.2, 2.3, 2.4) / Naumann

Kap. 3: Fenner

Kap. 4: Naumann

Kap. 5: Naumann

Kap. 6: Naumann

Kap. 7: Fenner

Kap. 8: Trinckauf

Bahnsicherungs- technik

Steuern, Sichern und Überwachen von
Fahrwegen und Fahrgeschwindigkeiten
im Schienenverkehr

Von

Wolfgang Fenner
Peter Naumann
Jochen Trinckauf

www.publicis-books.de

Vollständige E-Book-Ausgabe von Wolfgang Fenner, Peter Naumann, Jochen Trinckauf, „Bahnsicherungstechnik“, ISBN 978-3-89578-177-3 (Printausgabe)
2. Auflage, 2004

ISBN 978-3-89578-662-4

Verlag: Publicis Publishing

© Publicis Erlangen, Zweigniederlassung der PWW GmbH

Vorwort

Die Bahnsicherungstechnik dient dem Steuern und Sichern des Schienenverkehrs und schafft somit wesentliche Grundvoraussetzungen für die Effektivität und Leistungsfähigkeit der schienengebundenen Transportprozesse. Insbesondere das Streben nach höheren Geschwindigkeiten und einer zentralisierten Betriebsführung erfordern neue, jedoch auf Bewährtem aufbauende Lösungen. Die Mikroelektronik bietet hierfür günstige Voraussetzungen.

Allerdings bestehen in der Bahnsicherung ebenso wie in allen anderen Disziplinen des Bahnverkehrs weltweit zu vielen Anlagenkomponenten und -funktionen oft unterschiedliche Auffassungen, die sich in von einander abweichenden Betrachtungsweisen und Lösungsansätzen äußern [81]. Die dadurch entstandene große Vielfalt in der Bahnsicherungstechnik kann keinesfalls Inhalt dieses Buches sein. Die hier dargestellten Ausführungen beziehen sich vielmehr auf die allgemein gültigen Probleme und Lösungen der Bahnsicherung, gehen darauf aufsetzend vorrangig auf die im deutschsprachigen Raum geltenden Theorien und Grundsätze ein und zeigen zugehörige prinzipielle Lösungsmöglichkeiten auf.

Ausgehend von den im Transportprozess begründeten Aufgabenstellungen werden insbesondere

- sicherungstechnische Systemkomponenten wie Rechnerkerne und Signalrelais, am Fahrweg liegende Geber und Antennen, Gleisfreimelde- und Stromversorgungsanlagen, aber auch Weichen, Signale und Signalsysteme,
- theoretische Grundlagen und technische Möglichkeiten zur sicheren Gestaltung von Steuerungssystemen,
- Sicherung der Fahrwege in Bahnhöfen und auf Strecken,
- Sichern von Bahnübergängen,
- Überwachung und Beeinflussung der Zuggeschwindigkeit (Zugbeeinflussung) sowie
- Möglichkeiten und Charakteristika einer modernen zentralisierten Betriebsführung

behandelt. Dabei sind wir bestrebt, wegen der starken Prozessbindung der Bahnsicherungstechnik sowohl die theoretischen Grundlagen als auch die Beispiele grundsätzlicher technischer Lösungsmöglichkeiten stets mit dem Transportprozess zu verbinden und aus der Betriebsführung heraus das Wesen und die Funktionsprinzipien der Sicherungsanlagen zu begründen.

Das vorliegende Buch *Bahnsicherungstechnik* basiert sowohl in seiner Zielstellung als auch in seinem Inhalt im Wesentlichen auf dem von Wolfgang Fenner und Peter Naumann erarbeiteten Buch *Verkehrssicherungstechnik*, wurde jedoch inhaltlich gegenüber diesem modernisiert und in vielen Punkten erweitert. So konnten die Themenkreise Geber und Antennen im Fahrweg, Sichern von Bahnübergängen sowie Weichen und Signale (einschließlich einiger Signalsysteme als Beispiele) neu aufgenommen, die Ausführungen zu modernen Betriebsverfahren wesentlich erweitert und die Darstellungen zu Fragen der Sicherheit den neuesten europäischen Betrachtungsweisen und Normen angepasst werden. Dabei ist jedoch bewusst der Charakter eines *Fachbuchs* erhalten geblieben, so dass auch dieses Buch für ein autodidaktisches Einarbeiten in das Fachgebiet nicht konzipiert ist. Da die Systeme der Bahnsicherungstechnik in den einzelnen Kapiteln teilweise aus unterschiedlicher Sicht dargestellt sind, ist das mehrfache Betrachten einiger Elemente nicht zu vermeiden.

Das Buch richtet sich an alle Studierenden und Ingenieure, die sich im Rahmen der Aus- oder Weiterbildung grundlegende oder ergänzende Kenntnisse für eine berufliche Tätigkeit auf dem Gebiet der Bahnsicherungstechnik aneignen wollen. Darüber hinaus kann es aber auch „gestandenen“ Fachleuten in der beruflichen Tätigkeit als Nachschlagewerk helfen, wenn es darum geht, theoretische Grundkenntnisse aufzufrischen oder sich über Zusammenhänge zwischen einzelnen Systemkomponenten bzw. zwischen diesen und dem Prozess zu informieren. Wir hoffen sehr, dieses Ziel mit den behandelten Inhalten und der gewählten Form erreicht zu haben und wünschen allen Lesern im Umgang mit diesem Buch viel Erfolg. Selbstverständlich sind wir für Hinweise zu inhaltlichen, methodischen und gestalterischen Verbesserungen dankbar und versichern, diese genauestens prüfen und künftig berücksichtigen zu wollen.

Dresden, im September 2003

Die Verfasser

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----------|
| 1 Die Sicherungstechnik im Transportprozess | 13 |
| 1.1 Grundlegende Systembetrachtung | 13 |
| 1.1.1 Verkehrssystem | 13 |
| 1.1.2 Transportprozess als Regelkreis | 15 |
| 1.1.3 Spezifik der Bahnsysteme | 18 |
| 1.2 Bahnsicherungstechnik | 19 |
| 1.2.1 Begriff | 19 |
| 1.2.2 Funktionale Struktur | 20 |
| 1.2.3 Fahrzeugbezogene Komponenten | 22 |
| 1.2.4 Sicherheitsstrategie unter gesetzlichen Rahmenbedingungen | 23 |
| 1.3 Sicherungstechnik anderer Verkehrssysteme | 23 |
| 1.3.1 Straßenverkehrssystem | 23 |
| 1.3.2 Luftverkehrssysteme | 24 |
| 1.3.3 Schiffsverkehr | 24 |
| 1.4 Weiterführende Überlegungen | 24 |
| 2 Sicherungstechnische Systemkomponenten | 26 |
| 2.1 Anwendungsunabhängige Elemente | 27 |
| 2.1.1 Elektromechanische Elemente | 27 |
| 2.1.1.1 Spezifika, Arten und Klassifizierung der Signalrelais | 27 |
| 2.1.1.2 Motorrelais | 35 |
| 2.1.1.3 Blockfelder und Blockrelais | 36 |
| 2.1.1.4 Schaltungsdarstellung | 41 |
| 2.1.2 Elektronische Elemente | 43 |
| 2.2 Geber im Fahrweg (Gleisschaltmittel) | 45 |
| 2.2.1 Auf Räder reagierende Geber (Radsensoren bzw. Schienenkontakte) | 45 |
| 2.2.2 Auf Fahrzeuge reagierende Geber (Fahrzeugsensoren) | 53 |
| 2.2.2.1 Gleisstromkreise (Wirkprinzip) | 53 |
| 2.2.2.2 Fahrzeugsensoren | 55 |
| 2.2.3 Isolierte Schiene | 58 |
| 2.3 Antennen im Fahrweg | 61 |
| 2.3.1 Antennen zur diskreten Informationsübertragung | 62 |
| 2.3.2 Antennen zur kontinuierlichen Informationsübertragung | 64 |

| | |
|--|-----|
| 2.4 Anlagen zum Freiprüfen des Fahrwegs | 66 |
| 2.4.1 Technische Zugschlussmelder | 66 |
| 2.4.2 Gleisstromkreis | 67 |
| 2.4.2.1 Elektrische Eigenschaften der Gleisstromkreise | 67 |
| 2.4.2.2 Beeinflussungsschutz für Gleisstromkreise | 68 |
| 2.4.2.3 Ein- und zweischienig isolierte Gleisstromkreise | 70 |
| 2.4.2.4 Gleisstromkreise mit Isolierstößen | 72 |
| 2.4.2.5 Gleisstromkreise ohne Isolierstöße | 74 |
| 2.4.2.6 Gleisstromkreise mit elektrischen Trennstößen | 75 |
| 2.4.3 Achszähler | 77 |
| 2.4.3.1 Wirkungsprinzip | 77 |
| 2.4.3.2 Forderungen an Achszähler | 78 |
| 2.4.3.3 Gestaltung der Zählpunkte | 79 |
| 2.4.3.4 Zähl- und Vergleichsgerät | 80 |
| 2.4.3.5 Achszähler-Grundstellung | 80 |
| 2.4.3.6 Fehlertolerante Achszähler | 81 |
| 2.4.4 Moderne Verfahren zur Frei-/Besetzmeldung | 82 |
| 2.5 Weichen, Gleissperren und Flachkreuzungen | 84 |
| 2.5.1 Allgemeines zu Weichen, beweglichen Herzstückspitzen und Gleissperren | 84 |
| 2.5.2 Weichenantriebe | 89 |
| 2.5.3 Endlagenüberwachung | 93 |
| 2.5.4 System WEICHE und die Weichenschaltung | 95 |
| 2.5.5 Weichenverschlüsse | 102 |
| 2.5.6 Handverschlüsse | 109 |
| 2.6 Lichtsignale | 110 |
| 2.6.1 Allgemeines zu Lichtsignalen | 111 |
| 2.6.2 Lichtpunkte und ihre Überwachung | 114 |
| 2.6.3 Lichtsignalsysteme | 124 |
| 2.7 Stromversorgungsanlagen | 132 |
| 3 Zuverlässigkeit und Systemsicherheit | 138 |
| 3.1 Sicherheit gestalten und erhalten – Grundsätzliches | 138 |
| 3.2 Begriffe und Definitionen | 140 |
| 3.2.1 Fehler und Ausfälle | 140 |
| 3.2.2 Sicherheit | 143 |
| 3.2.3 RAMS | 144 |
| 3.2.4 Fail-Safe und sichere Zustände | 146 |
| 3.3 Sicherheitsanforderungen | 148 |
| 3.3.1 Risiko- und Gefährdungsanalyse | 148 |

| | | |
|-------------|--|-----|
| 3.3.2 | Sicherheitsanforderungsspezifikation | 149 |
| 3.3.3 | Verfahren zur Bestimmung der Sicherheitsanforderungen | 151 |
| 3.4 | Systematische Sicherheit | 153 |
| 3.5 | Funktionale Sicherheit | 155 |
| 3.6 | Ausfallsicherheit | 156 |
| 3.6.1 | Ausfallausschluss | 156 |
| 3.6.2 | Ausfallfolgenausschluss | 157 |
| 3.6.3 | Umgebungsbedingungen | 162 |
| 3.7 | Systemgestaltung in der Relais-technik | 164 |
| 3.7.1 | Bauelementeeigenschaften | 164 |
| 3.7.2 | Systemgestaltung | 165 |
| 3.8 | Systemgestaltung in der Mikroelektronik | 167 |
| 3.8.1 | Bauelementeeigenschaften | 167 |
| 3.8.2 | Grundsätzliches zur Systemgestaltung | 168 |
| 3.8.3 | Fail-Safe-Bausteine | 172 |
| 3.8.4 | Sichere Rechnerkerne | 173 |
| 3.8.4.1 | Hardware-redundante Mikrorechnersysteme | 173 |
| 3.8.4.2 | Software-redundante Mikrorechnersysteme | 175 |
| 3.8.4.3 | Sicherheitsabschaltung | 176 |
| 3.8.4.4 | Datenein- und -ausgabe | 177 |
| 3.8.5 | Softwareentwurf | 178 |
| 3.9 | Übertragung sicherheitsrelevanter Informationen | 179 |
| 3.9.1 | Sicherheitsrelevante Eigenschaften des Übertragungskanals | 179 |
| 3.9.2 | Grundsätzliche Methoden der Informationssicherung | 180 |
| 3.9.3 | Codesicherungsverfahren gegen Einzel-Bit-Fehler | 182 |
| 3.9.4 | Codesicherungsverfahren gegen Bündel-Bit-Fehler | 182 |
| 3.9.5 | Kryptographische Verfahren | 183 |
| 3.9.6 | Fehlerkorrektur | 186 |
| 3.10 | Sicherheitsnachweis und Sicherheitszulassung | 187 |
| 3.10.1 | Sicherheitsnachweis-Verfahren nach EN | 188 |
| 3.10.2 | Sicherheitszulassung und -anerkennung | 190 |
| 3.10.3 | Sicherheitsnachweis und -zulassung nach Mü 8004 | 191 |
| 4 | Grundlagen der Fahrwegsicherung | 192 |
| 4.1 | Anliegen der Fahrwegsicherung | 192 |
| 4.1.1 | Grundprinzip der Fahrwegsicherung | 192 |
| 4.1.2 | Gefahrenquellen und ihr Verhindern | 193 |
| 4.1.3 | Möglichkeiten der Fahrwegsicherung | 198 |
| 4.1.4 | Hinweise zu den „Reserve-Gleislängen“ am Ende der Fahrwege | 202 |

| | |
|--|-----|
| 4.2 Fahrwegsicherung durch Blockinformationen | 203 |
| 4.2.1 Fahrweg und Blockinformation | 203 |
| 4.2.2 Folgefahrschutz | 204 |
| 4.2.2.1 Bekannte Verfahren | 204 |
| 4.2.2.2 Fahren im Raumabstand | 206 |
| 4.2.3 Gegenfahrschutz | 209 |
| 4.2.3.1 Bekannte Verfahren | 209 |
| 4.2.3.2 Erlaubnisverfahren | 212 |
| 4.2.4 Anwenden der Blockinformationen | 214 |
| 4.2.5 Freiprüfen des Fahrwegs | 217 |
| 4.2.6 Verschließen der Signale | 219 |
| 4.2.7 Streckenblockbedingungen | 222 |
| 4.2.8 Streckenblocksperrn | 227 |
| 4.3 Fahrwegsicherung durch Fahrstraßen | 230 |
| 4.3.1 Fahrweg und Fahrstraße sowie Fahrstraßenarten | 230 |
| 4.3.2 Gestaltungsvarianten der Fahrstraßenlogik und ihr Einfluss auf die gerätetechnische Ausführung der Stellwerke | 232 |
| 4.3.3 Bedingungen für das Bilden einer Fahrstraße | 239 |
| 4.3.4 Schritte der Fahrwegsicherung | 239 |
| 4.3.4.1 Einstellen einer Fahrstraße | 242 |
| 4.3.4.2 Verschließen einer Fahrstraße | 244 |
| 4.3.4.3 Festlegen einer Fahrstraße | 246 |
| 4.3.4.4 Freiprüfen des Fahrwegs | 249 |
| 4.3.4.5 Fahrtstellen des Signals | 251 |
| 4.3.4.6 Auflösen einer Fahrstraße | 252 |
| 4.3.4.7 Zusammenfassende Darstellung der Schrittfolge | 256 |
| 4.3.5 Spezielle Probleme | 257 |
| 4.3.5.1 Stellen und Sichern von Verzweigungen | 257 |
| 4.3.5.2 Mittelweichen | 262 |
| 4.3.5.3 Nichtgrenzzeichenfreie Isolierung (Freimeldung) | 263 |
| 4.3.5.4 Flankenschutz und Streckenschutz | 264 |
| 4.3.5.5 Sichern des Durchrutschweges | 267 |
| 4.3.5.6 Folgefahrschutz | 268 |
| 4.3.5.7 Gegenfahrschutz | 270 |
| 4.3.5.8 Bahnhofsblocksperrn | 271 |
| 5 Anlagen für die Fahrwegsicherung (Lösungsbeispiele) | 273 |
| 5.1 Anlagen für die Fahrwegsicherung in Bahnhöfen (Stellwerksanlagen) | 273 |
| 5.1.1 Abgrenzung und Vereinbarungen | 273 |
| 5.1.2 Einige Hinweise zur Begriffswelt der Stellwerke | 274 |
| 5.1.3 Bedienerbereiche | 275 |

| | |
|---|------------|
| 5.1.4 Relaisstellwerke | 276 |
| 5.1.4.1 Charakteristika und Fahrstraßenlogik | 276 |
| 5.1.4.2 Relaisstellwerke nach dem tabellarischen Prinzip (Fahrstraßenstellwerke) | 278 |
| 5.1.4.3 Relaisstellwerke nach dem geographischen Prinzip (Spurplanstellwerke) | 287 |
| 5.1.5 Mechanische Stellwerke | 295 |
| 5.1.5.1 Technische Gestaltung und Fahrstraßenlogik | 295 |
| 5.1.5.2 Zusammenwirken mehrerer Stellwerke | 306 |
| 5.1.6 Elektromechanische Stellwerke | 312 |
| 5.1.6.1 Technische Gestaltung und Fahrstraßenlogik | 312 |
| 5.1.6.2 Grundschtaltung und das Zusammenwirken mehrerer Stellwerke ... 321 | |
| 5.2 Anlagen für die Fahrwegsicherung auf Strecken (Streckenblockanlagen) | 326 |
| 5.2.1 Streckenblockanlagen mit Fahrwegsicherung durch Blockinformationen | 326 |
| 5.2.1.1 Halb- und nichtautomatische Streckenblockanlagen | 327 |
| 5.2.1.2 Automatische Streckenblockanlagen | 333 |
| 5.2.2 Streckenblockanlagen mit Fahrwegsicherung durch Fahrstraßen .. | 343 |
| 5.2.2.1 Gedankliche Grundlage | 343 |
| 5.2.2.2 Zentralblock, LZB-Block und Hochleistungsblock der Deutschen Bahn AG | 345 |
| 5.3 Elektronische Stellwerke | 354 |
| 5.3.1 Charakteristika und Fahrstraßenlogik | 354 |
| 5.3.2 Bedienplätze | 359 |
| 5.3.3 Systemgestaltung einiger elektronischer Stellwerke | 362 |
| 6 Das Sichern von Bahnübergängen | 380 |
| 6.1 Grundsätzliches zu Bahnübergängen | 382 |
| 6.1.1 Wesentliche Forderungen | 382 |
| 6.1.2 Möglichkeiten der Bahnübergangssicherung | 385 |
| 6.1.3 Wesentliche Strecken und Zeiten | 387 |
| 6.1.4 Steuerungsmöglichkeiten | 390 |
| 6.2 Zuggesteuerte Bahnübergangssicherungsanlagen | 391 |
| 6.2.1 Schaltstellen und Funktionsprinzipien | 391 |
| 6.2.2 Gestaltungsmöglichkeiten der Informationsverarbeitungslogik ... | 396 |
| 6.2.3 Deckung und Überwachung | 398 |
| 6.3 Einige moderne Bahnübergangssicherungsanlagen der Deutschen Bahn AG | 405 |
| 6.4 BÜSTRA-Anlagen der Deutschen Bahn AG | 416 |

| | |
|---|-----|
| 7 Zugbeeinflussung und -sicherung | 420 |
| 7.1 Grundsätzliche Aufgaben und Verfahren | 420 |
| 7.1.1 Grundsätzliche Aufgaben | 420 |
| 7.1.2 Grundsätzliche Verfahren | 422 |
| 7.2 Informationsübertragungsverfahren | 423 |
| 7.2.1 Diskrete Übertragungsverfahren | 423 |
| 7.2.2 Kontinuierliche Übertragungsverfahren | 423 |
| 7.3 Ortung von Fahrzeugen | 424 |
| 7.4 Punktförmige Zugbeeinflussung | 425 |
| 7.4.1 Anforderungen | 425 |
| 7.4.2 Drei-Frequenz-Bauart | 426 |
| 7.4.3 Punktförmige hochfrequente Datenübertragungssysteme | 430 |
| 7.5 Linienförmige Zugbeeinflussung | 432 |
| 7.5.1 Anforderungen | 432 |
| 7.5.2 Führerraumsignalisierung | 432 |
| 7.5.3 Grundsätzliche Systemgestaltung | 433 |
| 7.5.4 Dezentrale LZB-Systeme | 434 |
| 7.5.5 Zentrale LZB-Systeme | 436 |
| 7.6 Vereinheitlichung der Zugbeeinflussungssysteme | 439 |
| 8 Betriebsverfahren | 442 |
| 8.1 Charakteristika der Betriebsführung bei Bahnen | 442 |
| 8.1.1 Notwendigkeit der Betriebsführung | 442 |
| 8.1.2 Betriebliche Steuerungsaufgabe | 442 |
| 8.2 Dezentrale Betriebsführung | 444 |
| 8.2.1 Betriebsführung durch organisatorische Verfahren | 444 |
| 8.2.2 Betriebsführung durch Meldeverfahren | 444 |
| 8.2.3 Betriebsführung mit Stellwerken | 445 |
| 8.3 Zentrale Betriebsführung | 446 |
| 8.3.1 Konzept und technische Voraussetzungen | 446 |
| 8.3.2 Logistische Komponenten | 448 |
| 8.3.3 Zugleitbetrieb | 451 |
| 8.4 Moderne Betriebsverfahren in Entwicklung und Anwendung ... | 452 |
| 8.4.1 Funkfahrbetrieb | 452 |
| 8.4.2 Automatisches fahrerloses Fahren | 453 |
| Literaturverzeichnis | 458 |
| Stichwortverzeichnis | 464 |

1 Die Sicherungstechnik im Transportprozess

1.1 Grundlegende Systembetrachtung

1.1.1 Verkehrssystem

Verkehr funktioniert nach einfachen Regeln: Für das einzelne, individuelle Verkehrsmittel bzw. Fahrzeug gibt es im Allgemeinen zahlreiche Freiheitsgrade bei der Gestaltung der Bewegung hinsichtlich Richtung, Geschwindigkeit und Beschleunigung. Diese sind darauf ausgerichtet,

- ein Ziel zu erreichen,
- dieses Ziel in einer bestimmten Zeit bzw. zu einem bestimmten Zeitpunkt zu erreichen,
- dabei nicht mit anderen Fahrzeugen zu kollidieren und
- die systemtypischen Verkehrswege zu benutzen.

Mit zunehmender Verkehrsdichte nimmt die Wahrscheinlichkeit zu, dass wenigstens zwei Fahrzeuge zur gleichen Zeit am gleichen Ort zusammentreffen. Das ist ein Konflikt, der grundsätzlich gelöst werden muss. Dafür gibt es verschiedene Möglichkeiten. Zur besseren Illustration sei das betrachtete, „eigene“ Fahrzeug mit E und das „feindliche“, auf Kollisionskurs befindliche mit F bezeichnet:

Fall 1

Um ein bestimmtes Ziel zu erreichen, muss das Fahrzeug E dem Fahrzeug F ausweichen. Das erfordert eine Richtungsänderung für E, die zwangsläufig zu einem Umweg führt, denn das bestimmte Ziel bleibt unverändert und soll schließlich erreicht werden.

Fall 2

Das Fahrzeug E behält seinen Weg bei und das Fahrzeug F weicht aus. (Die Möglichkeit, dass beide Verkehrsmittel E und F ausweichen, ist eine Kombination der Fälle 1 und 2 und soll nicht weiter erörtert werden.)

Fall 3

Statt räumlich auszuweichen, verzögert oder beschleunigt das Fahrzeug E seine Fahrt, um zeitlich gesehen entweder nach oder vor dem Fahrzeug F den örtlichen Konfliktpunkt zu passieren.

Fall 4

Das Fahrzeug E fährt unverändert und das Fahrzeug F verzögert oder beschleunigt.

Betrachtet man die zeitliche Bestimmtheit des Erreichens eines Zieles, dann haben alle Ausweichbewegungen eine Verspätung des einen oder anderen Fahrzeugs zur Folge, es sei denn, die Verspätung kann durch eine anschließende Geschwindigkeitserhöhung wieder kompensiert werden (Bei der Konfliktvermeidung durch Geschwindigkeitserhöhung im Fall 3 tritt diese Beschleunigung praktisch schon bei Verspätung 0 ein).

Die Abwendung einer solchen Kollision erfordert stets eine Vorausschau, da nach den physikalischen Gesetzen eine bewegte Masse verzögert oder beschleunigt werden muss; im technischen Sinne also abgebremst, abgelenkt oder beschleunigt. Dieses muss so rechtzeitig geschehen, dass das beabsichtigte Verhalten der Fahrzeuge vor dem Erreichen des Konfliktpunktes eingetreten ist.

Die einleitende Feststellung, dass die Bewegung eines Fahrzeuges auch darauf gerichtet ist, nur die systemtypischen Verkehrswege zu benutzen, erklärt sich folgendermaßen: Einerseits muss bei einer räumlichen Ausweichbewegung der entsprechende Verkehrsweg in Form einer Fahrbahn vorhanden sein. Andererseits ergibt sich aus der Physik der Bewegung und der Kräfte, dass diesen technische Obergrenzen gesetzt sind. Wird zum Beispiel ein Fahrzeug in einer Kurve zu schnell gefahren und demzufolge aus der Kurve herausgetragen, sind die physikalischen Systemgrenzen überschritten.

Für diese theoretischen Betrachtungen findet man einfache praktische Beispiele der allgemeinen Lebenserfahrung. Diese treffen etwa für einen Fußgänger, der in einer stark besuchte Fußgängerzone ein bestimmtes Ladengeschäft

Tabelle 1.1 Begriffserläuterungen

| | |
|-------------------------|---|
| <i>Verkehr</i> | entsteht aus dem Bedürfnis der Ortsveränderung und ist zugleich die Befriedigung dieses Bedürfnisses. |
| <i>Fahrzeug</i> | ist das bewegte Objekt, das der Aufnahme von Personen oder Gütern dient. |
| <i>Fahrt</i> | ist die Bewegung eines Fahrzeugs von einem Startpunkt zu einem Zielpunkt. Dabei kann die durch das Verkehrsbedürfnis hervorgerufene Ortsveränderung aus mehreren Einzelfahrten bestehen. Die zwischenliegenden Start-/Zielpunkte sind systembestimmt technischer Natur. |
| <i>Verkehrsweg</i> | ist die räumliche Linie zur Verbindung des Startpunktes mit dem Zielpunkt. |
| <i>Fahrbahn</i> | beschreibt die systembedingte Ausbildung des Verkehrsweges; entlang eines Verkehrsweges können durchaus mehrere Fahrbahnen vorhanden sein. |
| <i>Verkehrssystem</i> | beschreibt den komplexen Zusammenhang aller Komponenten, die der technischen Realisierung von Verkehr dienen. |
| <i>Transportprozess</i> | ist das Durchführen der Fahrt oder mehrerer Fahrten unter Berücksichtigung der umgebenden technischen Einflussfaktoren. |

zum Ziel hat, genauso zu wie für einen Autofahrer, der sein Fahrzeug in einer Stadt fährt. Diese Beispiele ließen sich vielfältig fortführen.

Der gesamte Zusammenhang wird wissenschaftlich als Verkehrssystem beschrieben, wobei bei einer vollständigen Beschreibung eines Verkehrssystems noch zahlreiche weitere Aspekte betrachtet werden müssen. In diesem Buch geht es jedoch darum, darzulegen, weshalb letztendlich der Aufwand an Sicherungstechnik in einem Verkehrssystem erforderlich ist [92] [93].

Es ergibt sich die Notwendigkeit,

- *steuernd* in den Verkehrsablauf einzugreifen, um diesen im Sinne weitgehender Behinderungsfreiheit so zu gestalten, dass die Zielorte in endlicher, optimaler Zeit erreicht werden, und
- *sichernd* in den Verkehrsablauf einzugreifen, um Gefährdungen durch Kollision der Fahrzeuge untereinander oder durch das Überschreiten der physikalischen Systemgrenzen auszuschließen.

Die Zusammenhänge zwischen den verkehrlichen Abläufen sowie den steuernden und sichernden Eingriffen sind zweifellos sehr komplex. Die Tabelle 1.1 dient dazu, die begriffliche Vielfalt etwas zu ordnen und unter technischen Aspekten zu betrachten.

1.1.2 Transportprozess als Regelkreis

Als Transportprozess wird hier das Durchführen einer Fahrt oder mehrerer Fahrten unter Berücksichtigung der umgebenden technischen Einflussfaktoren verstanden. Dieser Transportprozess lässt sich gut anhand eines Regelkreises darstellen, wie er aus der Regelungstheorie bekannt ist (Bild 1.1).

Stellt man den Transportprozess als Regelkreis dar, so zeigt sich, dass sich hier mehrere Regelkreise überlagern bzw. miteinander verknüpft sind (Bild 1.2). Zur besseren Übersicht für die nachfolgenden Erläuterungen ist die schematische Darstellung durch Strichpunktlinien in drei Sektionen unterteilt.

Sektion A

Fahrt (Fahrzeug E)

Dies ist die eigentliche oder hauptsächliche Regelstrecke, denn die Zielfunktion des Transportprozesses ist die Durchführung einer Fahrt. Hier wird das eigene Fahrzeug E betrachtet.

Fahrzeugortung

Die Fahrzeugortung ist die Regelgröße, das heißt das Fahrzeug wird hinsichtlich seines Ortes bestimmt. Im Transportprozess sind die Regelkreise perma-

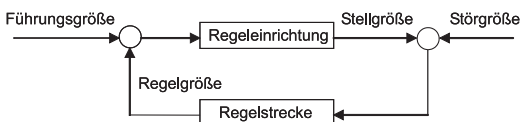


Bild 1.1
Allgemeiner Regelkreis

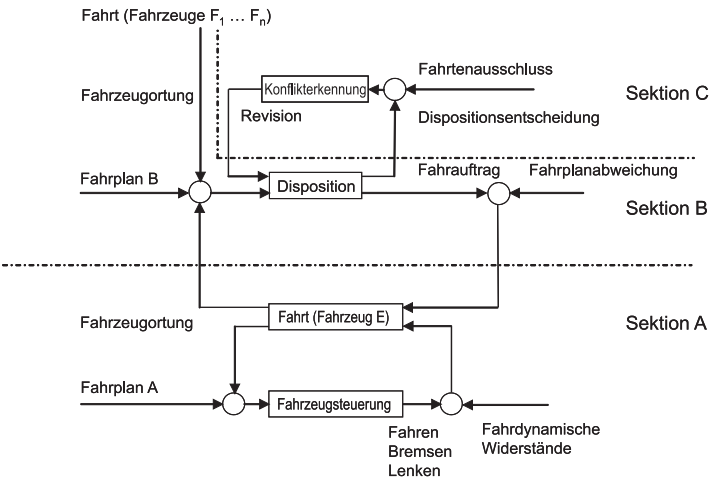


Bild 1.2 Transportprozess als Regelkreis

nent aktiv, daher wird die Fahrzeugortung zusätzlich durch eine zeitliche Komponente bestimmt. Durch die Fahrzeugortung wird also einerseits gemessen, an welchem Ort sich das Fahrzeug zu welchem Zeitpunkt befindet. Andererseits ist die Festlegung von Ort und Zeit der Fahrt E die zentrale Funktion des Regelkreises für den Transportprozess.

Fahrzeugsteuerung

Die Fahrzeugsteuerung ist die Regeleinrichtung des Fahrzeuges. Sie vergleicht den *Fahrplan A* mit den gemessenen Werten der *Fahrzeugortung* und ermittelt die aktuellen Stellgrößen *Fahren, Bremsen, Lenken*. Damit sollen die Abweichungen zwischen dem gemessenen Fahrort und dem geplanten Fahrort jeweils in Bezug zum zeitlichen Verlauf der Fahrt ausgeglichen werden.

Fahrplan A

Der Fahrplan A ist die Führungsgröße für die Fahrzeugsteuerung. Dieser Fahrplan gibt das Fahrverhalten des Fahrzeuges vor. Nach dem Fahrplan bestimmen sich Richtung und Geschwindigkeit des Fahrzeuges.

Fahrdynamische Widerstände

Als Störgröße stehen diese stellvertretend für alle Hindernisse, die die Fahrt beeinflussen können. Das können sowohl Längsneigungen des Verkehrsweges sein, die die Fahrt beschleunigen (Gefälle) oder verlangsamen (Steigung), desgleichen Witterungseinflüsse aller Art oder gegenständliche Hindernisse auf der Fahrbahn, die umfahren oder beseitigt werden müssen.

Sektion B

Fahrt (Fahrzeuge F_1 bis F_n)

Es werden weitere, fremde Fahrzeuge F_1 bis F_n in das System eingeführt. Wie

bereits beschrieben, ergibt sich aus der Fahrt der Fahrzeuge F ein Konflikt zum Fahrzeug E . Die Fahrt (Fahrzeug E) ist wiederum die hier betrachtete Regelstrecke.

Fahrzeugortung

Die Fahrzeugortung ist wiederum die Regelgröße, die bereits in Sektion A beschrieben worden ist. Sie trifft sowohl für das Fahrzeug E als auch für die Fahrzeuge F zu.

Disposition

Die Zielgröße der Regeleinrichtung Disposition ist es, eine Kollision des eigenen Fahrzeuges E mit den fremden Fahrzeugen F_1 bis F_n zu verhindern. Die Disposition vergleicht den Fahrplan B mit den gemessenen Werten der Fahrzeugortungen und ermittelt die aktuellen Stellgrößen für die Fahraufträge. Damit sollen die Abweichungen zwischen den gemessenen Fahrorten und dem geplanten Fahrort jeweils in Bezug zum zeitlichen Verlauf der Fahrten ausgeglichen werden.

Fahrplan B

Der Fahrplan B ist die Führungsgröße für alle Fahrten, die prinzipiell konfliktfrei abgewickelt werden müssen.

Fahrauftrag

Im Ergebnis der Disposition entsteht der Fahrauftrag als Stellgröße. Dieser wird sowohl an das Fahrzeug E als auch (hier nicht dargestellt) an die Fahrzeuge F übermittelt. Der Fahrauftrag muss Informationen hinsichtlich Richtung, Geschwindigkeit und Entfernungsangaben zu seiner Gültigkeit enthalten.

Fahrplanabweichung

Die Fahrplanabweichungen gehen als Störgröße in das System ein. Das können ursächlich die Folgen *fahrdynamischer Widerstände* (siehe Sektion A) als auch anderer im System oder von außen wirkender Störungen sein.

Sektion C

Disposition

Bevor die Disposition als Regeleinrichtung in Sektion B wirksam werden kann, muss sie selbst im Sinne des Verkehrssystems geregelt werden. Demzufolge hat sie hier in Sektion C die Funktion der Regelstrecke inne.

Dispositionentscheidung

Messbar als Regelgröße ist die Dispositionsentscheidung.

Konflikterkennung

Die Konflikterkennung prüft die Dispositionsentscheidung gegen mögliche Fahrtenausschlüsse und ermittelt als Stellgröße die *Revision* der Disposition.

Fahrtenausschluss

Der Fahrtenausschluss ist die Führungsgröße für die Disposition. Dieser Fahrtenausschluss gibt die realisierbaren Dispositionen bei gleichzeitiger Konfliktverhinderung zwischen den Fahrten E und F vor.

1.1.3 Spezifik der Bahnsysteme

Die vorangegangenen erörterten theoretischen Ansätze treffen grundsätzlich für alle Verkehrssysteme zu, also für

- Bahnsysteme
- Oberflächenverkehrssysteme (zum Beispiel Straßenverkehr)
- Luftverkehrssysteme
- Schiffsverkehrssysteme

Zu den Verkehrssystemen gehören schließlich noch die Datenverkehrssysteme, wobei sich hier die physikalischen Wirkprinzipien von den bisher besprochenen in einigen Aspekten deutlich unterscheiden.

Bei Bahnsystemen sind zwei wesentliche Merkmale bestimmend:

1. Der Fahrweg ist durch das Spurführungssystem fest vorgegeben und nur an den beweglichen Verzweigungselementen in zwei Richtungen wählbar. Da die spurgeführten Fahrzeuge nur an den Orten der Fahrwegverzweigungen ausweichen können, muss ein Fahrweg vorherbestimmt und am örtlichen Element Weiche eingestellt werden können. Da das Fahrzeug sehr eng an das Spurführungssystem gebunden ist, kann das auch als eine eindimensionale Steuerung bezeichnet werden.
2. Das relativ schlechte Bremsverhalten des Stahlrades auf der Stahlschiene einerseits und die in Bahnsystemen zum Teil relativ hohen Fahrgeschwindigkeiten andererseits führen dazu, dass je nach Bremsenausstattung der Fahrzeuge der Bremsweg bei Geschwindigkeiten bereits ab 50 bis 70 km/h oftmals länger als der vom Fahrzeugführer einsehbare vorausliegende und frei befahrbare Fahrweg ist. Deshalb muss die Sicht auf den Fahrweg durch andere Vorkehrungen ersetzt und dem Fahrzeugführer das Freisein des Fahrwegs bzw. ein erforderliches Anhalten rechtzeitig angezeigt werden können. Das trifft sowohl für das Anhalten als auch auf das Abmildern der Geschwindigkeit zu.

Diese technischen Probleme waren zwangsläufig zu lösen, als die Eisenbahnsysteme im 19. Jahrhundert entstanden. Das führte zur Entwicklung von Verfahren und Techniken, mit denen

- die Betriebsführung des Bahnbetriebs zuverlässig und leistungsfähig vorgenommen und
- die katastrophale Auswirkung menschlicher Irrtümer bei der Betriebsführung und im Umgang mit der Technik sicher ausgeschlossen

werden konnten. Ausgehend von einer Betrachtungsweise zunächst der einfachen Informationsübertragung und später des *Steuerns* und *Sicherns* wurde die Technik der Betriebsführungs- und Sicherungssysteme entwickelt und über Generationen an den Stand der Technik angepasst. Diese Prinzipien haben sich generell bewährt. Zum Teil sind heute noch Techniken der frühen Generationen der sicherungstechnischen Entwicklung im Einsatz. Aber auch bei innovativen Bahnsystemen, bei denen beispielsweise das klassische Tragsystem

„Stahl auf Stahl“ durch andere Technik ersetzt ist oder bei denen auf einen Fahrzeugführer verzichtet wird, kommen diese vorgenannten Prinzipien notwendigerweise zur Anwendung.

1.2 Bahnsicherungstechnik

1.2.1 Begriff

Die *Verkehrssicherungstechnik* ist eine Technik zur sicheren Steuerung von Verkehrs- bzw. Transportprozessen; die *Bahnsicherungstechnik* ist eine Technik zur sicheren Steuerung von Transportprozessen im Schienenverkehr. In den Jahren 1992 bis 1994 hat sich im Umfeld der Deutschen Bahn AG dafür der Begriff *Leit- und Sicherungstechnik* (LST) herausgebildet; die früheren Ausdrucksweisen *Sicherungstechnik* bzw. *Signaltechnik* sind damit heute nicht mehr üblich. Bei Stadtbahnunternehmen sind dafür die Begriffe *Zugsicherungsanlagen* und *Fahrsignalanlagen* gebräuchlich, die jeweils unterschiedliche Sicherheitsanforderungen erfüllen. Im englischen Sprachraum ist im Allgemeinen von *Railway Signalling* die Rede [91].

Damit dieser Begriffsvielfalt, mit der allerdings auch gewisse technische Nuancen bezeichnet werden sollen, ein allgemeingültiger Ausdruck ähnlich dem englischen *Railway Signalling* entgegengesetzt werden kann, wurde hierfür von den Autoren der allgemeine Begriff *Bahnsicherungstechnik* eingeführt.

Dennoch ist eine Analyse der Bezeichnung *Leit- und Sicherungstechnik* nicht ganz uninteressant, weil damit bestimmte Inhalte beschrieben werden. Mit den Begriffen *Leittechnik* und *Sicherungstechnik* werden zwei Teilgebiete benannt, die weitgehend selbstständig beschrieben werden können, weil sie völlig unterschiedliche Ziele im Bahnbetrieb verfolgen. Dennoch werden beide meist im Zusammenhang betrachtet und sie lassen sich nicht immer völlig voneinander trennen. Auch in der technischen Realisierung erweisen sich die Grenzen häufig als fließend.

Die Aufgaben und Ziele der beiden Teilgebiete können wie folgt definiert werden:

Sicherungstechnik

Die *Sicherungstechnik* ist eine Technik zur sicheren Steuerung von Transportprozessen, wobei hier der Aspekt der Sicherheit betont wird.

Leittechnik

Die *Leittechnik* ist eine Technik zur optimalen Ablaufsteuerung der Haupt- und Nebenprozesse in einem Verkehrssystem.

Beide Techniken bedienen sich der Mittel und Methoden der *Informationsübertragung* und der *Informationsverarbeitung*. Bedeutung bekommt die unterschiedliche Betrachtung dann, wenn Aussagen zur Sicherheit, Zuverläss-

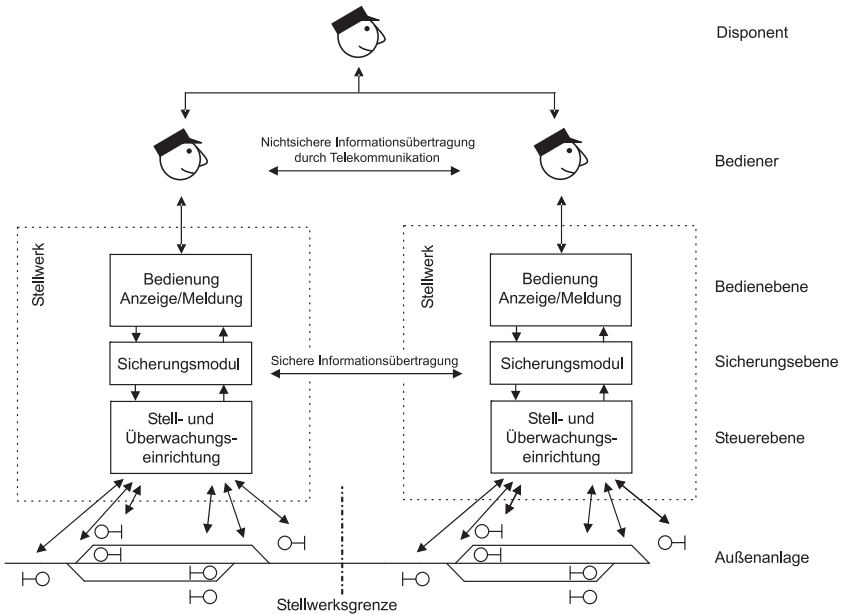


Bild 1.3 Bahnsicherungstechnik: Funktionale Struktur

sicherheit und Verfügbarkeit von Anlagen und Komponenten gemacht werden müssen. Dabei wirken sich insbesondere auch Kostenfaktoren aus.

1.2.2 Funktionale Struktur

Die funktionale Struktur der Bahnsicherungstechnik, wie sie sich seit Jahrzehnten herausgebildet und praktisch bewährt hat, zeigt Bild 1.3. Im Laufe der Entwicklung sind natürlich zahlreiche spezifische, auch durch den jeweiligen Stand der Technik geprägte Lösungen entstanden. Auf diese wird an späterer Stelle noch ausführlich eingegangen.

Außenanlagen

Die Außenanlagen sind im Wesentlichen

- Weichen,
- Signale,
- Gleisfreimeldeeinrichtungen,
- Zugmitwirkungseinrichtungen und
- Zugbeeinflussungseinrichtungen.

Mit Hilfe von elektrischen Leitungsverbindungen sind diese an die Stell- und Überwachungseinrichtungen des örtlichen Stellwerkes angeschlossen.

Steuerebene

Auf der Steuerebene sind die Stell- und Überwachungseinrichtungen angeordnet. Von hier aus werden die Komponenten der Außenanlagen sowohl angesteuert als auch hinsichtlich ihres Betriebszustandes überwacht.

Sicherungsebene

Auf der Sicherungsebene arbeitet das zentrale Sicherungsmodul. Dessen Aufgabe besteht darin, die Bedienereingaben in Steuerbefehle umzusetzen, die zum Fahrauftrag führen sollen. Dabei kommt es darauf an, dass vor der Erteilung des Fahrauftrages die Ausschlüsse der feindlichen Fahrten F bestehen und dass die Fahrwegelmente für die eigene Fahrt E (zum Beispiel die Weichen) unter Verschluss stehen.

Es handelt sich hierbei um die eigentlichen Sicherungsaufgaben, die im Einzelnen in den weiteren Kapiteln des Buches besprochen werden. Im Grunde genommen geht es darum, dass auf der Sicherungsebene verhindert wird, dass versehentlich falsche Bedienereingaben zu gefährlichen Situationen führen können.

Bediener und Bedienebene (Mensch-Maschine-Schnittstelle)

Der Bediener ist diejenige Person, welche eine Fahrt unmittelbar veranlasst. Dem geht eine gedankliche Disposition unter Beachtung des bahnbetrieblichen Reglements voraus. Die Entscheidung darüber trifft der Bediener anhand der entsprechenden Fahrplanunterlagen, der aktuellen Uhrzeit und unter Berücksichtigung der aktuellen Betriebsituation. Als Eingabemedium steht ihm eine entsprechende Bedienoberfläche zur Verfügung. Der Grad des Bedienkomforts kann dabei sehr unterschiedlich sein und hängt von der technischen Anlagen-genera-tion im Allgemeinen und von der Art der vorhandenen Technik im Besonderen ab. Ebenso technikabhängig ist der Standard der Meldefunktionen, anhand derer sich der Bediener über die aktuelle Betriebslage informieren kann.

Stellwerk

Technisch und organisatorisch sind die vorstehend beschriebenen Strukturelemente in einem Stellwerk zusammengefasst. Die Grenzen des Wirkbereiches eines Stellwerkes waren zunächst technischer Natur und durch die Länge der realisierbaren Stellentfernungen gegeben. Aus Gründen der Organisation der betrieblichen Abläufe in Verbindung mit sicherungstechnischen Bedingungen wurde der Wirkbereich nicht über die Bahnhofs-grenzen hinaus ausgedehnt (Dabei sind Bahnhöfe Bahnanlagen mit mindestens einer Weiche, wo Züge beginnen, enden, kreuzen, überholen oder wenden dürfen. Als Grenze zwischen freier Strecke und den Bahnhöfen gelten in der Regel die Einfahrsignale [46]). Die organisatorische Einteilung nach Bahnhöfen und Strecken behält man im Allgemeinen auch heute noch bei, wenngleich dem technischen Wirkbereich moderner elektronischer Stellwerke theoretisch und praktisch keine

Grenzen gesetzt sind und diese nach Gesichtspunkten der Zweckmäßigkeit gezogen werden.

Disponent

Im Grunde genommen kann der Bahnbetrieb anhand eines Fahrplanes auf der Ebene der Bediener durchgeführt werden. Es gibt jedoch zahlreiche Gründe dafür, in einem komplexen Bahnsystem oberhalb der Bediener einen Disponenten vorzusehen, der zentrale, übergreifende Aufgaben wahrnehmen muss. Diese Aufgaben werden durch Einrichtungen der Betriebsleittechnik entsprechend unterstützt.

1.2.3 Fahrzeugbezogene Komponenten

Die Bahnsicherungstechnik hat auch fahrzeugbezogene Komponenten (Bild 1.4):

- Der *Fahrauftrag* wird per Aktor (z. B.: Zugfunk, ortsfeste Signale, Führerstandssignalisierung) übertragen. Die klassische Lösung sieht die Beobachtung der ortsfesten Signale entlang der Strecke durch den Triebfahrzeugführer vor.
- Entsprechend dem übertragenen Fahrauftrag und unter Beachtung des Fahrplanes nimmt der Fahrzeugführer die *Fahrzeugsteuerung* vor.
- Die *Zugbeeinflussung* erzwingt die Beachtung sicherheitsrelevanter Fahraufträge, indem sie unabhängig vom Fahrzeugführer auf die Fahrzeugsteuerung einwirkt (Beispiel: es wird irrtümlich am Halt zeigenden Signal vorbeigefahren).
- Mit Methoden der Messwerterfassung wird die *Fahrzeugortung* vorgenommen.

Für diese und weitere Möglichkeiten der Fahrzeugkommunikation sind inzwischen zahlreiche technische Lösungen anwendbar.

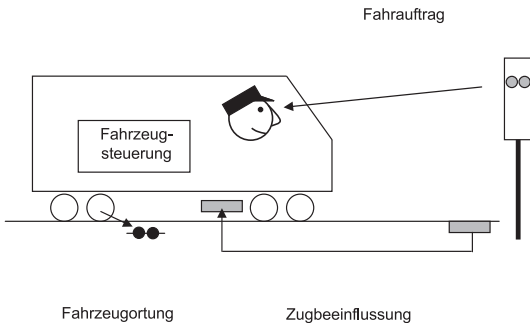


Bild 1.4
Fahrzeugbezogene
Komponenten der
Bahnsicherungstechnik

1.2.4 Sicherheitsstrategie unter gesetzlichen Rahmenbedingungen

Die Sicherheitsstrategie der Bahnen ist auf die *Unfallvermeidung* durch sichere Steuerung gerichtet. Der gesetzliche Auftrag ergibt sich aus der Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung bzw. aus der Bau- und Betriebsordnung für Straßenbahnen, die hier stellvertretend und als für die überwiegenden in Deutschland zutreffenden Fälle zitiert werden sollen:

Betriebsanlagen und Fahrzeuge müssen so beschaffen sein, dass sie den Anforderungen der Ordnung und Sicherheit genügen. Diese Anforderungen gelten als erfüllt, wenn Betriebsanlagen und Fahrzeuge nach den Vorschriften dieser Verordnung ... sowie nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik gebaut und betrieben werden [46] [73].

1.3 Sicherungstechnik anderer Verkehrssysteme

1.3.1 Straßenverkehrssystem

Stellvertretend für die Oberflächenverkehrssysteme sei hier das Straßenverkehrssystem besprochen. Dieses zeichnet sich dadurch aus, dass die Fahrzeuge zweidimensional gesteuert werden. Das Modell des Regelkreises für den Transportprozess (Bild 1.2) ist auch im Straßenverkehr anwendbar. Im Gegensatz zum Bahnsystem laufen die Regelvorgänge mental im Kopf des jeweiligen Fahrzeugführers ab und werden im Allgemeinen mit großer Handlungssicherheit umgesetzt.

Mit Hilfe eines umfangreichen Regelwerkes [94] [95] und durch die bauliche Ausprägung der Verkehrsanlagen (zum Beispiel übersichtlicher Straßenverlauf, Kanalisierung des Straßenverkehrs auf kreuzungsfreien Autobahnen) werden Konflikte durch die Reduzierung feindlicher Fahrten F eingeschränkt, so dass die Komplexität des Straßenverkehrs durch den einzelnen Fahrzeugführer noch beherrscht werden kann.

Echte Einrichtungen der Verkehrssicherungstechnik zur *sicheren Steuerung* des Straßenverkehrs sind vornehmlich die Lichtsignalanlagen an Knotenpunkten, bei denen die feindlichen Fahrten F durch die Signalisierung von Fahraufträgen ausgeschlossen werden. Andere flexible Signalisierungen (Wechselverkehrszeichen) werden zur Regulierung von Geschwindigkeiten und zur Freigabe bzw. Sperrung von Fahrspuren angewendet.

Die Sicherheitsstrategie im Straßenverkehr ist auf Unfallvermeidung durch Reduzierung von Konfliktpotential gerichtet. Da eine Vielzahl von Faktoren im Straßenverkehr gefährliche Situationen hervorrufen kann, ist darüber hinaus die *Unfallfolgenminderung* ebenso Bestandteil der Sicherheitsstrategie.

1.3.2 Luftverkehrssysteme

Der Anspruch an die Sicherheit von Luftverkehrssystemen ist zweifellos hoch, da es systembedingt keinen sicheren Haltzustand gibt und die Methoden der Unfallfolgenminderung im Luftverkehr eine geringere Bedeutung haben. Dieses und die Dreidimensionalität der Steuerung macht indes die Lösung nicht einfach.

Das Modell des Regelkreises ist auch im Luftverkehr zutreffend. Prinzipiell wird für das Luftfahrzeug eine Route vorausberechnet, die unter Beachtung der Reisezeit und gewisser Reserven für den Verbleib in der Luft eine eindeutige Ort-Zeit-Beziehung definiert. Die Route wird alsdann reserviert. Der Fall der feindlichen Fahrt F wird so rechtzeitig vorausberechnet, dass vor dem Eintreten des Konfliktfalles entsprechende Ausweichmanöver geflogen werden können.

Der Anteil technisch unterstützender Komponenten entsprechend der Definition der Verkehrssicherungstechnik als Technik zur sicheren Steuerung ist im Luftverkehr jedoch ganz anders strukturiert. Die Disposition beruht auf der Tätigkeit entsprechender Disponenten, die hinsichtlich der Datenhaltung und der Vorausberechnung von Flugrouten durch entsprechende Computersysteme unterstützt werden. Ansonsten ist das gesprochene Wort, das zwischen Luftfahrzeugführer und Disponent gewechselt wird, das bestimmende Element der sicheren Steuerung.

Die Fahrzeugsteuerung des Luftfahrzeuges erlaubt die präzise Einhaltung der vorgesehenen Flugroute, eine exakte Navigation sowie die Warnung vor der Annäherung anderer Luftfahrzeuge.

Darüber hinaus gibt es in der Luftfahrt den Sichtflug, der regelbasiert ist und eher mit dem Straßenverkehr verglichen werden kann.

1.3.3 Schiffsverkehr

Der Schiffsverkehr findet entweder auf Flüssen und vergleichbaren Wasserstraßen oder auf Meeren statt. Die Bedingungen, unter denen er durchgeführt wird, ähneln denen des Straßenverkehrs und des Luftverkehrs.

1.4 Weiterführende Überlegungen

Die vorstehenden Betrachtungen des Bahnsystems gehen davon aus, dass eine Vielzahl von technischen und organisatorischen Komponenten zusammenwirken muss, damit sich die Funktionalität eines Bahnsystems unter Sicherheitsbedingungen darstellen kann.

In jüngerer Zeit und motiviert durch die Harmonisierung europäischer technischer Spezifikationen für Bahnsysteme wird zunehmend an der Modellierung und mathematischen Beschreibung der Funktionalitäten gearbeitet, um Risiken

zu analysieren und Anforderungen an sicherungstechnische Lösungen zu erarbeiten. Bei der Modellierung werden zwangsläufig die Grenzen des zu modellierenden Systems erreicht bzw. Definitionen von Betrachtungsgrenzen notwendig. Hieraus ergibt sich die Frage, ob an den Grenzen des Fachgebietes Bahnsicherungstechnik, welches den Rahmen für das vorliegende Buch bildet, die Verantwortung für die Sicherheit des Bahnsystems aufhört oder ob nicht gerade im Schnittstellenbereich der einzelnen Sparten derartige Sicherheitsaspekte systemübergreifend diskutiert werden müssen [96].

Gesicherte Erkenntnisse liegen hierzu bisher noch nicht vor. Es ist aber zu erwarten, dass in Zukunft ein Wissenszuwachs eintritt, der auch zu neuen technischen Lösungen führen wird.

2 Sicherungstechnische Systemkomponenten

In diesem Abschnitt werden einige Komponenten der modernen Sicherungsanlagen vorgestellt, die als Bauelemente bzw. Baugruppen deren Funktion maßgeblich bestimmen, selbst jedoch weitgehend aufgabenneutral gestaltet sind. Dies betrifft in erster Linie Signalrelais und Rechnerkerne, aber auch Gleischaltmittel, im Fahrweg liegende Antennen sowie Antriebe für Weichen und Schranken. Darüber hinaus sollen aber auch Gleisfreimeldeanlagen und Signale betrachtet werden, die wesentlich die Sicherheit eines Bahnsystems beeinflussen, wegen ihrer komplexen Gestaltung aber über den Rahmen des Einzelelementes hinausgehen.

Um den Rahmen dieses Buches nicht zu sprengen, beschränken wir uns dabei ganz bewusst auf die Lösungen, die vorwiegend bei den Bahnen im deutschen Sprachraum angewendet werden. Da jedoch die meisten der vorgestellten Elemente in einer größeren Zahl unterschiedlicher Ausführungsvarianten eingesetzt werden, beschränken sich die Darstellungen zwangsläufig auf Ausführungsbeispiele und erheben keinesfalls Anspruch auf Vollständigkeit.

Bevor jedoch die einzelnen Elemente betrachtet werden, ist noch der Begriff *Grundstellung* zu klären, der sowohl im Zusammenhang mit den Anlagen, den Bauelementen sowie den entsprechenden Dokumentationsunterlagen immer wieder auftaucht.

Grundstellung

Die Grundstellung ist der Zustand einer Anlage oder eines Systems, der die Ausgangsbasis für zugehörige Beschreibungen oder Dokumentationen (z. B. Schaltungen) darstellt. Er entspricht bei Bahnen üblicherweise einem betrieblichen Ruhezustand, bei dem Fahrzeug- oder Stellbewegungen weder zugelassen sind noch stattfinden. Somit zeigen z. B. die Hauptsignale in ihrer Grundstellung den Haltbegriff (eine Ausnahme hiervon bilden nur Blocksignale bestimmter Ausführungsformen des automatischen Streckenblocks) und die von Zugfahrten genutzten Fahrwegabschnitte (Gleise und Weichen) sind in Grundstellung als frei anzunehmen.

Da ein in Betrieb befindliches Bahnsystem in der Lage sein muss, bei Bedarf unverzüglich aus seinem betrieblichen Ruhezustand (Grundstellung) in den Arbeitszustand überzugehen, müssen sich u. a. auch die *Eisenbahnsicherungsanlagen* in ständiger technischer Betriebsbereitschaft befinden. Deshalb ist es zweckmäßig, als Grundstellung dieser Anlagen

- den *betrieblichen* Ruhezustand („es finden keine Fahrzeug- oder Stellbewegungen statt“)

- bei *technischer Betriebsbereitschaft* („es liegt Spannung an“) zu definieren.

Allerdings hat diese Definition der Grundstellung im Wesentlichen nur für die Eisenbahnsicherungstechnik im deutschsprachigen Raum Gültigkeit; in den Sicherungstechniken vieler anderer Bahnen sowie in den meisten anderen Zweigen der Technik (z. B. Nachrichtentechnik) wird als Grundstellung der betreffenden Anlagen der betriebliche Ruhezustand ohne technische Betriebsbereitschaft („es liegt keine Spannung an“) betrachtet.

Auch bei Weichen wird der Begriff der *Grundstellung* verwendet. Hier gibt er die Lage an, in der sich die Weiche normalerweise befindet und die in den Unterlagen dokumentiert ist. Welche Lage als Grundstellung definiert wird, ist zwischen den einzelnen Bahnverwaltungen unterschiedlich. So bezeichnen z. B. viele die jeweils gerade Weichenlage als Grundstellung, andere die Lage, die für Fahrten auf den durchgehenden Hauptgleisen erforderlich ist. Bei moderneren Stellwerksanlagen ist es in Deutschland üblich, die Stellung als Grundstellung zu bezeichnen, in der die Weiche am häufigsten benötigt wird.

2.1 Anwendungsunabhängige Elemente

2.1.1 Elektromechanische Elemente

2.1.1.1 Spezifika, Arten und Klassifizierung der Signalrelais

Weltweit haben Signalrelais heute wie auch in künftiger Zeit große Bedeutung, da sie auf einfache Weise sowohl das galvanische Trennen zwischen Innen- und Außenanlagen als auch das Anpassen der unterschiedlichen Spannungsspiegel und in vielen Fällen darüber hinaus auch das Anschließen unterschiedlicher Verbindungsschaltungen zu den Außenanlagen oder zu anderen Sicherungsanlagen gestatten. Neben ihrem eigentlichen Einsatzgebiet, den relaistechnischen Sicherungsanlagen (z. B. Relaisstellwerke) werden sie auch bei den älteren Stellwerkstechniken und wegen der genannten positiven Eigenschaften zurzeit auch in fast allen elektronischen Stellwerken an den Schnittstellen zu den Außenanlagen und zu benachbarten nichtelektronischen Sicherungsanlagen verwendet. Auch wird in vielen elektronischen Stellwerken ein normalerweise angezogenes Signalrelais eingesetzt, das bei anlageninternen Defekten, die die sichere Arbeitsweise des Stellwerks beeinträchtigen könnten, durch Abschalten der Stromversorgung der entsprechenden Ein-/Ausgabe-Baugruppen gefährliche Ausgaben verhindert und durch zwangsweises Anschalten der Rotlampen an allen Signalen einen sicheren Systemzustand bewirkt. Somit sind Grundkenntnisse über die Signalrelais heute und auch noch in den nächsten Jahren unbedingt erforderlich. Und es zeigt sich immer wieder, dass aktuell ausgebildete Signalingenieure im Allgemeinen keine Schwierigkeiten beim Umgang mit elektronischen, oftmals jedoch mit relaistechnischen Lösungen

haben. Um dieses Problem zu reduzieren, sollen im Folgenden einige Hinweise zu den Signalrelais und ihrem Einsatz innerhalb der Schaltungen gegeben werden.

Hinsichtlich seiner Wirkung ist ein Relais ein elektromagnetischer Schalter, der es ermöglicht, mit Hilfe eines *Steuerstromkreises* mehrere *gesteuerte Stromkreise* zu unterbrechen bzw. zu „öffnen“ oder durchzuschalten bzw. zu „schließen“. In seiner Grundaufbau besteht ein Relais aus einer Spule, einem Anker und einem Kontaktsystem, dessen Kontakte durch den Anker betätigt werden. Von Signalrelais wird dabei im Gegensatz zu den z. B. in der Nachrichtentechnik eingesetzten Relais das als *Zwangsführung* bezeichnete gleichzeitige Schalten aller Kontakte gefordert, weshalb ihre Kontakte alle durch einen vom Relaisanker betätigten Kontaktsteg miteinander mechanisch, jedoch galvanisch voneinander isoliert, verbunden sind.

Fließt durch die Wicklung eines Relais ein ausreichend großer Steuerstrom (*Anzugsstrom*), zieht der Anker an und bleibt angezogen, solange der Strom in ausreichender Größe fließt (*Haltestrom*). Wegen der Massenträgheit und dem Luftspalt zwischen Anker und Spule ist dabei der Anzugsstrom stets größer als der Haltestrom. Wird jedoch der Steuerstrom zu klein (*Abfallstrom*) oder gänzlich abgeschaltet, fällt der Anker wieder ab. Umgangssprachlich werden diese Ankerstellungen auf das Relais insgesamt übertragen, so dass ein Relais „anzieht“ bzw. „abfällt“. Da die abgefallene Stellung in der Regel die „stabile“ Stellung ist, ist ein derartiges Relais ein *monostabiles* Bauelement und wird, zumindest wenn es als Signalrelais ausgeführt ist, *Neutrales Relais* genannt (Bild 2.1.1).

Seinen Aufgaben entsprechend hat ein Relais Kontakte, von denen in der abgefallenen Relaisstellung meist einige leitend und einige nichtleitend sind. Da sich mit dem Anziehen des Relais diese Kontaktwirkungen dann gerade umkehren, werden die im abgefallenen Zustand leitenden Kontakte *Öffner-* oder *Ruhekontakte*, die in dieser Stellung unterbrechenden *Schließer-* oder *Arbeitskontakte* genannt.

An Signalrelais werden besonders hohe Anforderungen hinsichtlich ihrer Zuverlässigkeit gestellt. Diese sind in internationalen Richtlinien wie z. B. dem UIC-Merkblatt 736i festgelegt, resultieren insbesondere aus den sicher-

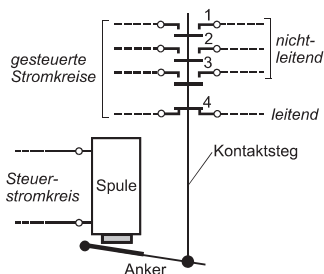


Bild 2.1.1
Prinzipieller Aufbau
eines Neutralen Relais

heitsrelevanten Aufgaben dieser Relais und haben unmittelbaren Einfluss sowohl auf ihre konstruktive Ausführung als auch auf ihren schaltungstechnischen Einsatz. Dabei ist folgender Zusammenhang zu beachten: Da sich in jeder elektrischen Schaltung die weitaus meisten Fehler im Ausfallen bzw. „Ausbleiben“ der Spannung äußern (z. B. Durchbrennen der Sicherung, kalte Lötstelle, lockere Klemme oder Leitungsunterbrechung), ist der stabile Zustand eines solchen monostabilen Relais der abgefallene. Auch der Transportprozess nimmt unterschiedliche Zustände ein, wobei immer derjenige, in dem keine Bewegung stattfindet, der sicherste ist. Soll nun ein Transportprozess durch Relaischaltungen gesichert werden, wie es z. B. bei Relaisstellwerken der Fall ist,

so muss der sichere („bewegungslose“) Systemzustand stets durch den stabilen (abgefallenen) Relaiszustand bewirkt werden.

Folglich ist es erforderlich, dass ein Signalrelais zum Freigeben einer Bewegung immer anzieht, zu deren Sperren bzw. Verhindern aber abfällt. Daraus resultieren die beiden sicherungstechnischen Schaltungsregeln

1. Freigeben durch Stromfluss
2. Sperren durch Stromausbleiben (Abschalten).

Das Anwenden dieser Regeln bedeutet z. B., das Anschalten eines Fahrtbegriffs an einem Signal immer dadurch zu realisieren, dass das in Grundstellung abgefallene steuernde Relais anzieht (*Arbeitsstromprinzip*), während das Verhindern des Umstellens einer Weiche, in die ein Fahrzeug hineinfährt, durch das Abfallen eines in Grundstellung angezogenen Relais der Freimeldeanlage erreicht wird (*Ruhestromprinzip*). Beide Beispiele lassen erkennen, dass ein fehlerbedingtes Anzugsversagen der Relais durch das Nichtanzeigen des Fahrtbegriffs bzw. durch das Nicht-wieder-Freimelden der Weiche lediglich Betriebsbehinderungen verursacht, ein fehlerbedingtes Nichtabfallen der Relais jedoch wegen des nichtabschaltenden Fahrtbegriffs bzw. des Nichterkennens der Weichenbesetzung unmittelbar zu gefährlichen Betriebssituationen führen würde.

Schwerkraftrelais

Eine Möglichkeit, derartige gefährliche Betriebssituationen zu vermeiden, ist der Einsatz von Schwerkraftrelais. Diese Signalrelais sind konstruktiv so gestaltet, dass sie beim Abschalten des Steuerstroms mit ausreichend großer Wahrscheinlichkeit auch tatsächlich abfallen. Dies wird dadurch erreicht, dass ihr Anker ausreichend schwer ist und ihre Arbeitskontakte unverschweißbar sind. Somit können bei Beachtung der vorgeschriebenen Einbaulage weder Restmagnetismus (Remanenz) im Spulenkern bzw. ein etwa klemmendes Ankerlager noch das elektrische Überlasten der Arbeitskontakte das Abfallen des Ankers behindern. Hinsichtlich der Forderung nach Unverschweißbarkeit stellen die sogenannten *Kohle-Silber-Kontakte* eine kostengünstige Lösung dar und werden bei dieser Relaisausführung auch stets als Arbeitskontakte ver-