

LEHRBUCH

Ulrich Maschek

Sicherung des Schienenverkehrs

Grundlagen und Planung der Leit- und
Sicherungstechnik

3. Auflage

 Springer Vieweg

Sicherung des Schienenverkehrs

Ulrich Maschek

Sicherung des Schienenverkehrs

Grundlagen und Planung der Leit- und
Sicherungstechnik

3., überarbeitete und erweiterte Auflage

 Springer Vieweg

Ulrich Maschek
Technische Universität Dresden
Dresden, Deutschland

ISBN 978-3-658-10757-4
DOI 10.1007/978-3-658-10758-1

ISBN 978-3-658-10758-1 (eBook)

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

Springer Vieweg

© Springer Fachmedien Wiesbaden 2012, 2013, 2015

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, 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.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen.

Planung und Lektorat: Thomas Zipsner

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.

Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media (www.springer.com)

Vorwort zur dritten Auflage

Nach mehr als zehn Jahren akademischer Lehre und Forschung an der Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“ der TU Dresden war die Zeit reif, das an der Professur für Verkehrssicherungstechnik gesammelte Wissen in einem Buch zusammenzufassen. Dabei stützt sich das Werk auf die an der Professur erarbeitete Lehrmeinung. Dies geschieht nicht zum ersten Mal, doch vorausgehende Publikationen gehen stärker auf technische Realisierungen ein. Das vorliegende Buch beschreibt zwar auch Techniken, legt den Schwerpunkt aber eher auf generische Beschreibungen. Durch die immer rascher aufeinanderfolgenden Innovationszyklen in der Informationstechnik wäre die Aktualität einer ausführlichen Beschreibung moderner Techniken nur von kurzer Dauer. Die in der Logik vorhandenen Technologien zur Fahrwegsicherung werden jedoch fortbestehen, solange der spurgeführte Verkehr existiert. Bisher noch nie beschrieben – mit Ausnahme unternehmensinterner Richtlinien – wurde das Fachgebiet der Anlagenplanung elektronischer Stellwerke. Hier schließt das Buch eine Lücke in den vorhandenen Publikationen. Dabei werden nicht nur Richtlinien wiedergegeben, sondern auch Hintergründe erläutert.

Nachdem die zweite Auflage vergriffen ist, soll auch die dritte Auflage nicht unverändert bleiben. Während Druckfehler und Präzisierungen in den Formulierungen nur noch einen kleinen Teil der Überarbeitung ausmachen, stehen Überarbeitungen und Erweiterungen an erster Stelle. Die aufwendigste Überarbeitung ist die Umstellung der Fotos und Grafiken auf Farbe; viele Sachverhalte lassen sich so besser darstellen. Erweiterungen gab es durch die Beschreibung der Rückfallweiche, vor allem aber durch neue Entwicklungen der modernen Technik. Zu nennen sind hier die Weiterentwicklungen der LED-Technik für Lichtsignalgeber sowie die Einführung einer neuen Anlagenstruktur Elektronischer Stellwerke mit Busansteuerung der Feldelemente.

Das Werk soll nicht nur ein Buch für die Hochschullehre sein, es ist auch ein kompakter Wissensspeicher für alle Praktiker und Quereinsteiger im Bahnsystem, ob Ingenieur, Informatiker oder Betriebswirt. Ein Bahn-Grundwissen wird jedoch vorausgesetzt. Vorschläge für Verbesserungen sowie Hinweise auf Fehler und Weiterentwicklungen in der Praxis sind sehr willkommen. Hierzu existiert unter <http://buch.maschexx.de> eine Websei-

te, auf der Korrekturen oder Präzisierungen zum Inhalt veröffentlicht werden. Mein Dank gilt allen Fachkollegen für die kritische Durchsicht des Manuskripts sowie dem Verlag für die gute Zusammenarbeit.

Radebeul, Juni 2015

Ulrich Maschek



Symbolverzeichnis

Die in diesem Buch verwendeten Symbole entstammen einer vom Autor entwickelten Visio-Schablone. Die Vorlage mit dem Namen „Signalschablone“ beinhaltet die wichtigsten Symbole für sicherungstechnische Lage- und Übersichtspläne gemäß DB-Richtlinie 819.9002; allerdings sind sie in der Größe etwas verkleinert und teilweise vereinfacht. Die Signalschablone kann von den Webseiten des Autors heruntergeladen werden.

<http://signalschablone.maschexx.de>

Signale

Ks-System

	Vorsignal
	Hauptsignal
	Mehrabschnittsignal

H/V-System, Form

	Zweibegriffiges Hauptsignal
	Dreibegriffiges Hauptsignal
	Zweibegriffiges Hauptsignal mit zwei gekoppelten Flügeln
	Zweibegriffiges Vorsignal
	Dreibegriffiges Vorsignal
	Zweibegriffiges Vorsignal mit festem Flügel

H/V-System, Licht

	Zweibegriffiges Hauptsignal
	Dreibegriffiges Hauptsignal
	Zweibegriffiges Hauptsignal
	Vorsignal

HI-System

	Haupt- bzw. Vorsignal
---	-----------------------

Zusatzsignale

Zusatzsignale werden nur im H/V- und im Ks-System am Signalsymbol dargestellt.

	Ersatzsignal
	Vorsichtssignal
	Geschwindigkeitsanzeiger (Licht)
	Geschwindigkeitsanzeiger (Form)
	Geschwindigkeitsvoranzeiger (Licht)
	Geschwindigkeitsvoranzeiger (Form)
	Richtungsanzeiger
	Richtungsvoranzeiger
	Gegengleisanzeiger (Licht)
	Gegengleisanzeiger (Form)
	Stumpfgleis- und Frühhaltanzeiger (Licht)
	Stumpfgleis- und Frühhaltanzeiger (Form)

Rangiersignale

	Sperrsignal
	Rangierhaltssignal mit Rangierfahrtsignal (nur DV 301)
	Rangierhalttafel
	Zugdeckungssignal
	Schutzhalt

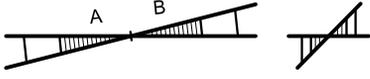
Langsamfahrsignale

	Geschwindigkeits-Ankündesignal
	Geschwindigkeitssignal

Weitere Signale

	Kenn-/Zusatzlicht
	Schachbretttafel
	Haltetafel (H-Tafel)
	Fahrtanzeiger
	LZB-Bereichs- bzw. Blockkennzeichen
	ETCS-Halt-Tafel

Weichen, Gleissperren, Schlösser

	Weiche, fernbedient oder elektrisch ortsbedient
	Weiche, mechanisch ortsbedient
	Doppelte Kreuzungsweiche, fernbedient
	Starre Kreuzung
	Kreuzung mit beweglichen Doppelherzstückspitzen
	Gleissperre, fernbedient, Auswurfrichtung rechts
	Gleissperre, mechanisch ortsbedient, Auswurfrichtung links
	Schloss, allgemein, Schlüssel in Grundstellung eingeschlossen/nicht eingeschlossen
	Außenschlüsselsperre/Innenschlüsselsperre

Ortung

	Radsensor (Achszählkontakt, richtungsselektiv)
	Radsensor (nicht richtungsselektiv)
	Radsensor für BÜ (richtungsselektiv)
	Radsensor für BÜ (nicht richtungsselektiv)
	Isolierstoß, einseitig
	Isolierstoß, zweiseitig
	Punkt förmiges Gleisschaltmittel (Schienenkontakt)
	Fahrzeugsensor

Zugbeeinflussung

	PZB-Gleismagnet 500/1000/2000Hz
	PZB-Gleismagnet 1000 und 2000 Hz
	PZB-Gleismagnet, ständig wirksam
	Geschwindigkeitsüberwachungseinrichtung (Einschalt-, Gleis-, Ausschaltmagnet)
	Geschwindigkeitsüberwachungseinrichtung (Ausschalt-, Einschalt-, Gleismagnet)
	Einzelbalise, ungesteuert/gesteuert
	Balisengruppe, ungesteuert/gesteuert

Hoch- und Tiefbauten

	Stellwerk, mechanisch, mit Bediener und Bedieneinrichtung
	Stellwerk, elektrisch, ohne Bediener und Bedieneinrichtung
	ESTW-Z
	ESTW-UZ
	ESTW-A
	Außenbahnsteig
	Mittelbahnsteig

Abkürzungsverzeichnis

AEG	Allgemeines Eisenbahngesetz
AFB	Automatische Fahr- und Bremssteuerung
AR	Accident Rate
BAST	Betriebliche Aufgabenstellung
BTM	Balise Transmission Module
BÜ	Bahnübergang
BZ	Betriebszentrale
DB	Deutsche Bahn
DKW	Doppelte Kreuzungsweiche
DMI	Driver Machine Interface
DP	Danger Point
DS	Druckschrift
DV	Dienstvorschrift
EBD	Emergency Brake Deceleration
EBI	Emergency Brake Intervention
EBO	Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
EG	Empfangsgebäude
EIU	Eisenbahninfrastrukturunternehmen
EKW	Einfache Kreuzungsweiche
EN	Europäische Norm
EOW	Elektrisch ortsbediente Weiche
ERTMS	European Rail Traffic Management System
ES	Erhöhte Seitenbeschleunigung
ESO	Eisenbahn-Signalordnung
ESTW	Elektronisches Stellwerk
ESZB	Elektronisches Stellwerk für den signalisierten Zugleitbetrieb
ET	Einschalttaste
ETCS	European Train Control System
ETML	European Traffic Management Layer
EVC	European Vital Computer

EVU	Eisenbahnverkehrsunternehmen
FÜM	Festlegeüberwachungsmelder
FÜMBli	Festlegeüberwachungsmelder blinkend
FÜMR	Festlegeüberwachungsmelder Ruhelicht
GNT	Geschwindigkeitsüberwachung für Neigetechnik
GSK	Gleisstromkreis
GSM-R	Global System for Mobile Communication-Railway
GÜ	Geschwindigkeitsüberwachung
HOAI	Honorarordnung für Architekten und Ingenieure
IB	Integritätsbereich
INA	Induktive Sicherung anfahrender Züge
INESS	Integrated European Signalling System
IS	Isolated
IT	Informationstechnologie
LCC	Life Cycle Cost
LED	Lichtemitterdiode
LEU	Lineside Electronic Unit
LS	Limited Supervision
LST	Leit- und Sicherungstechnik
LTM	Loop Transmission Module
LZB	Linienzugbeeinflussung
MA	Movement Authority
MRSP	Most Restrictive Speed Profile
MUX	Multiplexer
NE-Bahn	Nichtbundeseigene Eisenbahn
NL	Non Leading
NP	No Power
OS	On Sight
PT	Post Trip
PZB	Punktförmige Zugbeeinflussung
QAST	Qualifizierte Aufgabenstellung
RBC	Radio Block Centre
SBD	Service Brake Deceleration
SBI	Service Brake Intervention
SF	System Failure
SH	Shunting
SL	Sleeping
SN	STM National
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
SR	Staff Responsible
SSP	Static Speed Profile
STM	Specific Transmission Module

SZB	Signalisierter Zugleitbetrieb
TIU	Train Interface Unit
TU	Technische Universität
UIC	Internationaler Eisenbahnverband
ÜS	Überwachungssignal
UZ	Unterzentrale
VDV	Verband deutscher Verkehrsunternehmer
WA	Weichenanfang
WLK	Weichenlaufkette
WM	Weichenmitte
WSSB	Werk für Signal- und Sicherungstechnik Berlin
ZFM	Zielfestlegemelder
ZL	Zuglenkung
ZLV	Zuglaufverfolgung
ZN	Zugnummernmeldung

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Begriffsabgrenzung	1
1.2	Inhaltsabgrenzung	2
2	Sicherheit im Bahnbetrieb	5
2.1	Grundlagen der Sicherheit	5
2.1.1	Physikalische Betrachtung	5
2.1.2	Rechtliche Grundlagen	8
2.1.3	Risiko und Sicherheit	9
2.2	Anforderungen an die Sicherung im Bahnbetrieb	10
2.2.1	Herleitung der Schutzfunktionen	10
2.2.2	Regelkreis der Betriebssicherheit im spurgeführten Verkehr	14
3	Sicherheit in der Informationsverarbeitung	17
3.1	Grundsätzliche Möglichkeiten der Informationsverarbeitung	17
3.2	Anforderungen an Sicherungsanlagen	18
3.2.1	Keine systematischen Fehler	18
3.2.2	Sicherheitsreaktion bei zufälligen Fehlern/Ausfällen	18
3.2.3	Hohe Verfügbarkeit	18
3.2.4	Darstellung im Verfügbarkeits-Sicherheits-Diagramm	19
3.3	Strategien zur sicheren Systemgestaltung	21
3.3.1	Fehlerausschluss	22
3.3.2	Gefährdungsausschluss	23
3.3.3	Gefährdungsbegrenzung	23
3.3.4	Systematisierung	23
3.4	Umsetzung der Strategien	25
3.4.1	Nutzung der Vorzugsausfallrichtung	25
3.4.2	Kontrolle auf Einnahme bestimmter Zustände	26
3.5	Sicherheitsrelevanz des Menschen	26
3.6	Relaistechnische Informationsverarbeitung	29
3.6.1	Aufgaben und Eigenschaften von Relais	29

3.6.2	Sicherheitsanforderungen an Signalrelais	29
3.6.3	Arten und Bauformen von Signalrelais	30
3.6.4	Schaltungsdarstellung	34
3.6.5	Systemgestaltung in der Relaischnik	35
3.7	Elektronische Informationsverarbeitung	36
3.7.1	Technische Eigenschaften der Mikroelektronik	36
3.7.2	Gewährleistung der Sicherheit	37
3.7.3	Erhöhung der Verfügbarkeit	38
4	Komponenten der Fahrwegsicherung	39
4.1	Ortung	39
4.1.1	Grundlagen	39
4.1.2	Wirkprinzipien	41
4.1.3	Gleisfreimeldung mittels Gleisstromkreis	46
4.1.4	Gleisfreimeldung mittels Achszähler	53
4.1.5	Anwendung von Gleisstromkreisen und Achszählern	55
4.1.6	Spezialanwendung: Isolierte Schiene	55
4.2	Sicherung beweglicher Fahrwegelemente	62
4.2.1	Grundlagen	62
4.2.2	Weiche und Kreuzung	63
4.2.3	Gleissperre	75
4.2.4	Bewegliche Brücke	76
4.2.5	Drehscheibe und Schiebebühne	76
4.2.6	Tor	77
4.3	Signalisierung	77
4.3.1	Grundlagen	77
4.3.2	Aufbau von Lichtsignalen und lichttechnische Grundlagen	80
4.3.3	Ansteuerung und Überwachung der Signaloptiken	84
4.3.4	Abschnittssignalisierung	90
4.3.5	Signalisierung der zulässigen Geschwindigkeit	92
4.3.6	Signalsysteme nach ESO	93
4.3.7	Rückfallebenen der Signalisierung	100
4.3.8	Lichtsignale ohne positives Signalbild	104
4.3.9	Betriebliche Bedeutung von Haupt- und Sperrsignalen	104
5	Technologien der Fahrwegsicherung	109
5.1	Herleitung	109
5.1.1	Flanken-, Folge-, Gegenfahrerschutz	109
5.1.2	Steuerung und Sicherung der Fahrwegelemente	113
5.2	Technologie Fahrstraße	114
5.2.1	Grundlagen	114
5.2.2	Fahrstraßenbildung	119

5.2.3	Fahrstraßensicherung und -überwachung	124
5.2.4	Signalisierung von Fahrstraßen	139
5.2.5	Fahrstraßenabbau	144
5.2.6	Nahbedienung	147
5.3	Technologie Blockinformation	148
5.3.1	Wesen der Blockinformation	148
5.3.2	Folgefahrschutz	148
5.3.3	Gegenfahrschutz	153
5.3.4	Einbeziehung von Fahrweegelementen	155
6	Techniken zur Fahrwegsicherung	157
6.1	Systematisierung	157
6.1.1	Informationsverarbeitung	157
6.1.2	Historische Entwicklung	159
6.1.3	Klassifizierung der Techniken	159
6.2	Elementabhängigkeiten	163
6.2.1	Schlüsselabhängigkeiten	163
6.2.2	Abhängigkeiten mit EOW	170
6.3	Mechanisches Stellwerk	170
6.3.1	Grundlagen	170
6.3.2	Stelleinrichtungen	172
6.3.3	Verschlusseinrichtungen	174
6.3.4	Blockanlagen	176
6.4	Elektromechanisches Stellwerk	181
6.4.1	Grundlagen	181
6.4.2	Stellung der Elemente	183
6.4.3	Gewährleistung der Signalabhängigkeit	184
6.5	Relaisstellwerk	185
6.5.1	Grundlagen	185
6.5.2	Bauelemente und Schaltungsgestaltung	187
6.5.3	Modellschaltung einer Fahrstraße	187
6.6	Elektronisches Stellwerk	189
6.6.1	Grundlagen	189
6.6.2	Systemaufbau elektronischer Stellwerke	191
6.6.3	Software im ESTW	195
6.6.4	Bedieneinrichtungen für ESTW	195
6.6.5	Fahrstraßenlogik	198
6.7	Nichtselbsttätiger, dezentraler Streckenblock	201
6.7.1	Felderblock	201
6.7.2	Relaisblock und automatisierter Relaisblock	202
6.7.3	Trägerfrequenzblock	203
6.8	Selbsttätiger, dezentraler Streckenblock	204

6.9	Zentraler Streckenblock	205
7	Zugbeeinflussung	207
7.1	Allgemeines	207
7.1.1	Anforderungen	207
7.1.2	Systematisierung	208
7.1.3	Führerraumsignalisierung	210
7.1.4	Funktionen	211
7.1.5	Kontinuierliche Überwachung bei punktförmiger Übertragung	212
7.2	Punktförmige Zugbeeinflussung System PZB 90	214
7.2.1	Grundlagen	214
7.2.2	Funktionen	217
7.3	Geschwindigkeitsüberwachung für Neigetechnik (GNT)	221
7.3.1	Grundlagen	221
7.3.2	Funktionen	222
7.4	Linienzugbeeinflussung (LZB)	223
7.4.1	Grundlagen	223
7.4.2	Informationsübertragung	223
7.4.3	Funktionen	224
7.5	European Train Control System (ETCS)	225
7.5.1	Grundlagen	225
7.5.2	Komponenten	226
7.5.3	Ausrüstungsstufen (Level)	228
7.5.4	Funktionen	231
8	Bahnübergänge	239
8.1	Grundlagen	239
8.1.1	Benutzung des Bahnübergangs	239
8.1.2	Seh- und Sichtpunkt	240
8.1.3	Räumung des Gefahrenraums	241
8.2	Nichttechnische BÜ-Sicherung	242
8.3	Technische BÜ-Sicherung	243
8.3.1	Sicherungsarten	243
8.3.2	Einschaltarten	244
8.3.3	Überwachung der Funktion	245
9	Leittechnik	249
9.1	Aufgaben der Leittechnik	249
9.2	Komponenten der Leittechnik	250
9.2.1	Zugnummernmeldung (ZN)	250
9.2.2	Zuglenkung (ZL)	251
9.2.3	Fernsteuerung von Stellwerken	252

9.3	Betriebszentralen (BZ)	254
9.3.1	Allgemeines	254
9.3.2	Steuerung von Stellwerken aus Betriebszentralen	254
9.3.3	Technische Realisierung	256
10	ESTW-Planung	259
10.1	Organisatorische Grundlagen	259
10.1.1	Ablauf der Planung	259
10.1.2	Planungsrichtlinien	261
10.2	Sicherungstechnisches Planwerk	261
10.2.1	Bezeichnungssystematik	261
10.2.2	Symbole	264
10.2.3	Planunterlagen	265
10.3	Sicherungstechnischer Lageplan	265
10.3.1	Allgemeines	265
10.3.2	Inhalt des Lageplans	266
10.3.3	Gleise	268
10.3.4	Weichen, Kreuzungen, Gleis- und Schlüsselsperren	269
10.3.5	Strecken	271
10.3.6	Nahbedienbereiche	273
10.4	Planung von Haupt-, Vor- und Sperrsignalen	273
10.4.1	Bezeichnung	273
10.4.2	Rangierhalttafel	274
10.4.3	Festlegung der Signalstandorte quer zum Gleis	275
10.4.4	Festlegung der Signalstandorte längs zum Gleis	277
10.4.5	Planung der Signalbegriffe	288
10.5	Gleisfreimeldeplanung	297
10.5.1	Bezeichnung	297
10.5.2	Anforderungen an die Aufteilung der Gleisfreimeldung	298
10.5.3	Festlegung von Freimeldegrenzen	303
10.5.4	Dokumentation im Planwerk	307
10.6	Flankenschutzplanung	308
10.6.1	Umfang	308
10.6.2	Flankenschutzmaßnahmen nach Gefährdung	308
10.6.3	Auswahl der Flankenschutzmaßnahmen	309
10.6.4	Dokumentation im Planwerk	310
10.7	Fahrstraßenplanung	315
10.7.1	Auswahl	315
10.7.2	Bezeichnung	315
10.7.3	Eigenschaften	315
10.8	PZB-Planung	317
10.8.1	Darstellung im sicherungstechnischen Planwerk	317

10.8.2 Anwendung an Haupt-, Vor- und Spersignalen	318
10.8.3 Überwachung der signalisierten Geschwindigkeit	321
Literatur	325
Sachverzeichnis	327

Der Schienenverkehr ist eines der sichersten Verkehrsmittel. Dies liegt einerseits an der zwangsweisen Spurführung, die bei Einhaltung aller Randbedingungen ein Verlassen des Fahrweges verhindert. Andererseits werden aber auch viele Prozesse wie z. B. die Fahrwegsicherung technisch mit hoher Zuverlässigkeit gesteuert. Um das zu erreichen, bedarf es ausgefeilter Verfahren und Techniken, die die Anforderungen des Bahnbetriebs mit Mitteln der Automatisierungstechnik unter Beachtung der Sicherheitswissenschaft realisieren. Dabei lassen sich nicht alle Aufgaben technisch umsetzen – der Mensch wird immer Teil des Systems bleiben – doch wie an späterer Stelle gezeigt wird, ist die Sicherheit höher, je weniger sicherheitsrelevante Aufgaben beim Menschen verbleiben.

1.1 Begriffsabgrenzung

Das Gebiet der technischen Sicherung des Bahnbetriebs wurde bis Mitte des 20. Jahrhunderts meist pragmatisch als „Signaltechnik“ bezeichnet. Dass diese Bezeichnung zu einengend ist, wurde schon früh erkannt. Unter anderem hieß eine Fachzeitschrift zeitweise „Zeitschrift für das gesamte Eisenbahnsicherungswesen“. Die Deutsche Bundesbahn übernahm den traditionellen Begriff „Signaltechnik“, während die Deutsche Reichsbahn der DDR den treffenderen Begriff „(Eisenbahn-)Sicherungstechnik“ verwendete.

Die Weiterentwicklung der Technik mit der Möglichkeit, komplexe Informationen zu verarbeiten, führte dazu, dass auch dispositive Tätigkeiten technisch unterstützt werden konnten. Weil hier in der Regel keine Sicherheitsrelevanz besteht, spricht man von Leittechnik im Gegensatz zur Sicherungstechnik. Da aber beide Techniken funktional eng miteinander verbunden sind, werden sie meist im Zusammenhang betrachtet. Das führte zum Begriff „Leit- und Sicherungstechnik“ (LST), den die Deutsche Bahn in ihren Gründungsjahren schuf und der sich im Bereich der Bahnen nach EBO (Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung) weitgehend durchgesetzt hat. In [FNT03] wird dafür auch der Begriff „Bahnsicherungstechnik“ verwendet.



Abb. 1.1 Systematisierung der Begriffe

Im Geltungsbereich der BOSTrab (Straßenbahn-Bau- und Betriebsordnung) sind die Begriffe anders definiert. In Bereichen, in denen im Raumabstand gefahren wird, findet der Begriff „Zugsicherung“ Verwendung. Für Bereiche, in denen planmäßig auf Sicht gefahren wird, wird für die Technik der Begriff „Fahrsignalanlagen“ benutzt.

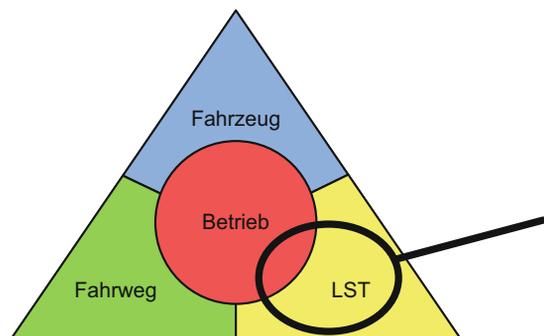
Innerhalb der technischen Sicherung kann weiterhin in drei große Teilgebiete unterschieden werden: Fahrwegsicherung, Zugbeeinflussung und Bahnübergangssicherung (Abb. 1.1, siehe auch Abschn. 2.2). Durch wörtliche Übersetzung englischsprachiger Begriffe wurde in letzter Zeit die Zugbeeinflussung auch als „Zugsicherung“ bezeichnet. Das sollte aber vermieden werden, da hier Verwechslungsgefahr mit dem in der BOSTrab festgelegten Begriff „Zugsicherung“ besteht, der überdies mehr als die Zugbeeinflussung umfasst.

1.2 Inhaltsabgrenzung

Das Verständnis für Grundbegriffe des Bahnsystems, wie es beispielsweise im Buch „Systemtechnik des Schienenverkehrs“ [PA11] enthalten ist, wird vorausgesetzt.

Eine Möglichkeit der Darstellung des komplexen Systems „Bahn“ mit Darstellung der hauptsächlichen Systembestandteile und ihren Interaktionen zeigt Abb. 1.2 [MA09]. Es stellt die engsten mit dem Bahnbetrieb verbundenen Operanden „Fahrzeug“, „Fahrweg“

Abb. 1.2 Fokus des Buches im Systemverbund des Schienenverkehrs



sowie „Leit- und Sicherungstechnik (LST)“ in Beziehung. Zur Erweiterung besteht die Möglichkeit, den Teil „LST“ auch allgemein als „Ausrüstung“ zu bezeichnen, womit dann auch Gewerke wie z. B. die Telekommunikation erfasst wären.

Jeder der genannten Operanden hat seinen Beitrag zur Sicherheit des Bahnsystems beizutragen. So müssen z. B. der Fahrweg mit seinen Bestandteilen Ober- und Unterbau sowie das Fahrzeug so gestaltet sein, dass es unter gegebenen Randbedingungen (z. B. maximale Geschwindigkeit) nicht zu einer Entgleisung kommt.

Im Fokus des Buches steht jedoch die operative Sicherheit im Bahnsystem, wozu in erster Linie „Betrieb“ und „LST“ gehören. Beide sind untrennbar miteinander verbunden. Eine einheitliche Bezeichnung des beschriebenen Sektors hat sich bisher noch nicht herausgebildet. Traditionell wird auch die Bezeichnung „Betriebssicherheit“ verwendet. Dies ist gleichzeitig die thematische Abgrenzung des Buches. Weil dabei die Sicherheit betrachtet wird, liegt der Schwerpunkt auf der Sicherungstechnik, wie sie im Geltungsbereich der EBO angewandt wird. Grundsätzliche Aussagen sind auch auf den Bereich der BOStrab übertragbar. Abweichende Lösungen im Ausland sollen nur am Rande erwähnt werden, für eine ausführlichere Beschreibung dieser sei auf [TV09] verwiesen.

Um Sicherheit greifbar zu machen, muss zunächst geklärt werden, worin Sicherheit besteht. Hierfür müssen die Begriffe Sicherheit und Risiko physikalisch hergeleitet werden. Aus den maßgebenden Systemeigenschaften des Schienenverkehrs lassen sich wiederum Schutzfunktionen ableiten, die von fundamentaler Bedeutung für den Inhalt dieses Buches sind.

2.1 Grundlagen der Sicherheit

2.1.1 Physikalische Betrachtung

Schon immer war Sicherheit ein hohes Gut des Menschen. Dabei wird Sicherheit allgemein mit dem Schutz der Unversehrtheit von Leben und Gesundheit sowie von materiellen Gütern gleichgesetzt. Überall, wo hohe Energiedichten anzutreffen sind, besteht potenziell die Möglichkeit der Erleidung eines Schadens bei unkontrollierter Freisetzung der Energie. Dabei kann die Energie in ganz unterschiedlichen Formen auftreten, wie z. B. als chemische Energie in Treibstofflagern, elektrische Energie an Hochspannungsanlagen oder thermische Energie in Dampfkesseln. Im Verkehrswesen ist es die kinetische Energie der Fahrzeuge, die mit Masse und Geschwindigkeit zunimmt:

$$W_{kin} = \frac{m}{2}v^2.$$

Keine Gefahr besteht, wenn kinetische Energie nicht vorhanden ist. Da die Masse m eines Körpers praktisch nicht Null werden kann, besteht allein die Möglichkeit, über die Geschwindigkeit v die kinetische Energie zu eliminieren. Daraus ergibt sich der sichere Zustand im Landverkehr: der Stillstand. Weil für die ureigenste Aufgabe des Verkehrswesens – das Transportieren von Massen – die Bewegung und damit kinetische Energie notwendig ist, muss dafür gesorgt werden, dass es zu keiner unkontrollierten Wandlung

dieser Energie kommt. Für ein unfallfreies Anhalten muss also die kinetische Energie so in andere Energieformen (meist Wärmeenergie) umgewandelt werden, dass kein Schaden entsteht.

Überall, wo hohe Energiedichten auftreten, ist es Aufgabe des Betreibers, vor den Gefahren der unkontrollierten Freisetzung der Energie zu schützen. Im Allgemeinen sind das die folgenden schutzwürdigen Ziele:

- Personen,
- materielle Güter,
- Umwelt.

Im Verkehrswesen werden Personen folgendermaßen unterschieden:

- Reisende,
- Mitarbeiter,
- Dritte.

Reisenden gilt zunächst die größte Aufmerksamkeit. Zulässige Risiken werden meist an dieser Personengruppe ausgerichtet. Mitarbeitern wird ein größeres Risiko zugemutet. Das ist damit zu erklären, dass sie geschult sind und um die Gefahren wissen. So ist z. B. das Betreten von Gleisen diesem Personenkreis im Rahmen ihrer Tätigkeit erlaubt, während es für alle anderen Personengruppen verboten ist. Dritte sind Personen, die weder Reisende noch Mitarbeiter sind und dennoch durch das Verkehrssystem einen Schaden erleiden können, wie z. B. Anwohner an einer Strecke oder Benutzer von Bahnübergängen.

Die Unversehrtheit der schutzwürdigen Ziele wird im Bahnbetrieb im Allgemeinen dadurch gewährleistet, dass das Transportgefäß – das Schienenfahrzeug – vor einem Schaden durch Unfall geschützt wird. Hierbei ist maßgebend, dass die Fahrzeuge keinen unzulässig hohen, meist negativen Beschleunigungen ausgesetzt werden, wobei es unerheblich ist, ob die Beschleunigung durch eine Kollision mit einem Körper von nicht vernachlässigbarer Masse oder durch eine Entgleisung geschieht.

Die besondere Eigenschaft im Schienenverkehr ist der geringe Haftreibungsbeiwert μ (ca. 0,1–0,2 im trockenen Zustand) für das System Stahlrad auf Stahlschiene. Das besichert zwar einen geringen Energieverbrauch durch geringe Rollreibung, ist andererseits aber auch für lange Bremswege verantwortlich. Zum Vergleich: Im Straßenverkehr ist der Haftreibungsbeiwert μ wesentlich höher (ca. 0,6–0,8), was einen höheren Energieverbrauch, aber auch kürzere Bremswege bedeutet.

Physikalisch betrachtet ergibt sich der Bremsweg s aus der Ausgangsgeschwindigkeit v_0 und der Bremsbeschleunigung a :

$$s = \frac{v_0^2}{2a}.$$

Unter der Annahme, dass mit einer Bremskraft an der Kraftschlussgrenze gebremst wird, ergibt sich für den Bremsweg

$$s = \frac{v_0^2}{2g\mu}.$$

Die Länge des Bremsweges ist damit proportional zum Quadrat der Geschwindigkeit. Da der Bremsweg von Schienenfahrzeugen nur bei geringen Geschwindigkeiten vom Fahrzeugführer übersehen werden kann, wird im Allgemeinen nicht auf Sicht gefahren. Das bedeutet, dass bei einem auftauchenden Hindernis der Bremsweg meist nicht ausreicht, um davor anzuhalten.

Kommt es zu einer Kollision, so hängt die Kollisionsbeschleunigung a_{koll} von der Geschwindigkeit bei der Kollision v_{koll} sowie dem Kollisionsweg s_{koll} ab. Letzterer ergibt sich aus Masse und Steifigkeit des Kollisionspartners.

$$a_{koll} = \frac{v_{koll}^2}{2s_{koll}}$$

Aus der Kollisionsbeschleunigung a_{koll} können nun die Kräfte abgeleitet werden, die auf Personen und Güter wirken und Schaden hervorrufen.

$$F_{koll} = ma_{koll}$$

Die Kollisionskraft wirkt natürlich auch auf die Fahrzeuge, die sich daraufhin verformen und somit ebenfalls Personen und Güter schädigen können.

Aus dem Umstand der großen Energien und langen Bremswege resultiert ein hohes Schadensausmaß bei einem Unfall. Nach der allgemeinen Definition des Risikos ist das Risiko das Produkt aus der Häufigkeit bzw. Wahrscheinlichkeit eines unerwünschten Ereignisses und dessen Schadensausmaß:

$$\text{Risiko} = \text{Häufigkeit} \cdot \text{Schadensausmaß}.$$

Unter der Randbedingung eines hohen Schadensausmaßes bei einem Unfall bleibt zur Risikominimierung nur die Reduzierung der Häufigkeit. Deshalb wird im Schienenverkehr vorrangig die aktive Sicherheit verfolgt, d. h. der Unfall soll von vornherein verhindert werden, was in erster Linie durch die Vermeidung von Gefahren bzw. unsicheren Zuständen geschieht. Durch die Spurführung bestehen dafür auch günstige Voraussetzungen.

Im Gegensatz dazu wird im Straßenverkehr vorrangig das Konzept der passiven Sicherheit eingesetzt, da auf den Kraftfahrer geringere Möglichkeiten der Einflussnahme bestehen. Hier werden vorrangig die Unfallfolgen gemindert, was z. B. durch Sicherheitsgurte erreicht wird.

2.1.2 Rechtliche Grundlagen

2.1.2.1 Rechtsnormen

Rechtsnormen in Form von Gesetzen sind immer allgemein gehalten. Im Bereich der Sicherheit des Schienenverkehrs werden lediglich allgemeine Schutzziele vorgegeben. So heißt es z. B. im Allgemeinen Eisenbahngesetz (AEG) in § 4 Abs. 1:

Die Eisenbahnen sind verpflichtet, ihren Betrieb sicher zu führen, Zubehör sicher zu bauen und in betriebssicherem Zustand zu halten.

Etwas genauere Regelungen werden in der EBO getroffen, die nicht vom Gesetzgeber sondern vom Verordnungsgeber (das für Verkehr zuständige Bundesministerium) mit seinen Fachleuten herausgegeben wird. Aber auch darin werden nur Mindestregelungen getroffen. Eine Öffnung für alle nicht in der EBO geregelten Sachverhalte bringt der § 2:

Bahnanlagen und Fahrzeuge müssen so beschaffen sein, dass sie den Anforderungen der Sicherheit und Ordnung genügen. Diese Anforderungen gelten als erfüllt, wenn die Bahnanlagen und Fahrzeuge den Vorschriften dieser Verordnung und, soweit diese keine ausdrücklichen Vorschriften enthält, anerkannten Regeln der Technik entsprechen. Von den anerkannten Regeln der Technik darf abgewichen werden, wenn mindestens die gleiche Sicherheit wie bei Beachtung dieser Regeln nachgewiesen ist.

Die Beschränkung auf allgemeine Vorgaben bietet den Vorteil, dass der technische Fortschritt nicht durch spezielle Festlegungen behindert wird.

2.1.2.2 Regeln der Technik

Die „Regeln der Technik“ sind Rechtsbegriffe, die in drei Stufen eingeteilt werden [AN08]:

Der **Stand von Wissenschaft und Technik** verkörpert die Erkenntnisse, die dem aktuellen Forschungsstand entsprechen. Sie sind in der Regel noch nicht umsetzbar und haben noch keine allgemeine Anerkennung in der Fachwelt gefunden.

Der **Stand der Technik** entspricht dem aktuell technisch Machbaren. Die Erkenntnisse aus Wissenschaft und Technik gelten als gesichert und eine Umsetzung in die Praxis ist möglich. Da das System neu ist, kann es sich noch nicht bewährt haben.

Die **Anerkannten Regeln der Technik** sind auf Erfahrungen basierende, geschriebene oder ungeschriebene Regeln der Technik, die sich bewährt haben. Sie sind in den entsprechenden Fachkreisen bekannt und werden von der Mehrheit der Fachleute als richtig anerkannt.

Normen

Normen enthalten anwendbare Regelungen, die in Expertenkreisen beraten und durch Normungsinstitute auf nationaler, europäischer und internationaler Ebene koordiniert werden. Normen beinhalten die Regeln der Technik. Die Anwendung einer Norm kann zwingend sein, wenn es durch gesetzliche oder vertragliche Regelungen vorgeschrieben ist.

Im Bahnbereich ist beispielsweise der Internationale Eisenbahnverband (UIC) in der Normung tätig.

Regelwerke der Eisenbahnen

Die detailliertesten Angaben finden sich in den Regelwerken der Eisenbahnen, die in den meisten Fällen als anerkannte Regeln der Technik angesehen werden. Sie gelten unternehmensweit oder innerhalb eines Zusammenschlusses von Unternehmen. So erstellt beispielsweise der Verband deutscher Verkehrsunternehmer (VDV) Regelwerke. Große Bedeutung haben die Richtlinien der Deutschen Bahn.

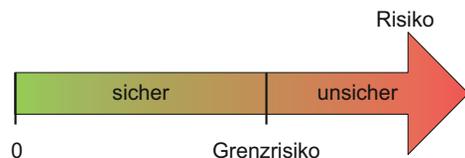
2.1.3 Risiko und Sicherheit

Wie in Abschn. 2.1.1 beschrieben, bedeutet Sicherheit die Unversehrtheit von Personen und Gütern. Doch wie sicher ist sicher genug? Wäre die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten eines Schadens gleich Null, hätte man absolute Sicherheit erreicht. Dieser Zustand ist praktisch nicht erreichbar. Deshalb muss eine Grenze festgelegt werden, bis zu der ein Risiko akzeptiert wird. Diese Grenze wird Grenzzisiko genannt (Abb. 2.1).

Alle Risiken, die kleiner oder gleich dem Grenzzisiko sind, werden akzeptiert, alle darüber liegenden nicht. Damit wird Sicherheit greifbar: Sie ist immer dann gegeben, wenn das bestehende Risiko nicht größer als das Grenzzisiko ist oder wie es die Norm DIN EN 50126 formuliert: „Sicherheit ist das Freisein von nicht akzeptierbaren Risiken eines Schadens.“

Wie groß das Grenzzisiko sein darf, muss individuell festgelegt werden und ist stark abhängig von gesellschaftlichen Vorstellungen. Es ist davon auszugehen, dass bei Beachtung der anerkannten Regeln der Technik die Sicherheit gewährleistet wird. Bei Einführung neuer Systeme, für die noch keine anerkannten Regeln der Technik existieren, ist mit dem in der in der EBO festgelegten Kriterium „mindestens gleicher Sicherheit“ das Grenzzisiko definiert. Allerdings kann es sich praktisch als schwierig herausstellen, die bisherige Sicherheit zu messen. Grundsätzlich ist es jedoch möglich und wird praktisch angewandt.

Abb. 2.1 Darstellung von Sicherheit und Grenzzisiko auf dem Risikostrahl



2.2 Anforderungen an die Sicherung im Bahnbetrieb

2.2.1 Herleitung der Schutzfunktionen

Für die Betrachtung der Betriebssicherheit sind die zwei maßgebenden Systemeigenschaften des Schienenverkehrs relevant [PA11]:

- lange Bremswege durch geringe Haftreibung und
- Spurführung.

Beide Eigenschaften haben bestimmte Aufgaben bei der Sicherung der Fahrten von Schienenfahrzeugen zur Folge, die in konkrete Schutzfunktionen münden (Abb. 2.2).

2.2.1.1 Lange Bremswege

Durch die langen Bremswege ist ein Fahren auf Sicht nur bei geringer Geschwindigkeit möglich. Um höhere Geschwindigkeiten fahren zu können, muss der Raum, den das Fahrzeug durchquert, vor dessen Fahrt frei sein. Dieser Raum wird **Lichtraum** genannt und ist geometrisch gesehen ein Prisma. Es ergibt sich aus der Multiplikation der Gleisachse mit dem Lichtraumprofil.

Das Lichtraumprofil ist eine senkrecht zur Gleisachse stehende, definierte Fläche (Abb. 2.3). Im Lichtraumprofil enthalten ist die Grenzlinie. Sie bestimmt im Profil die

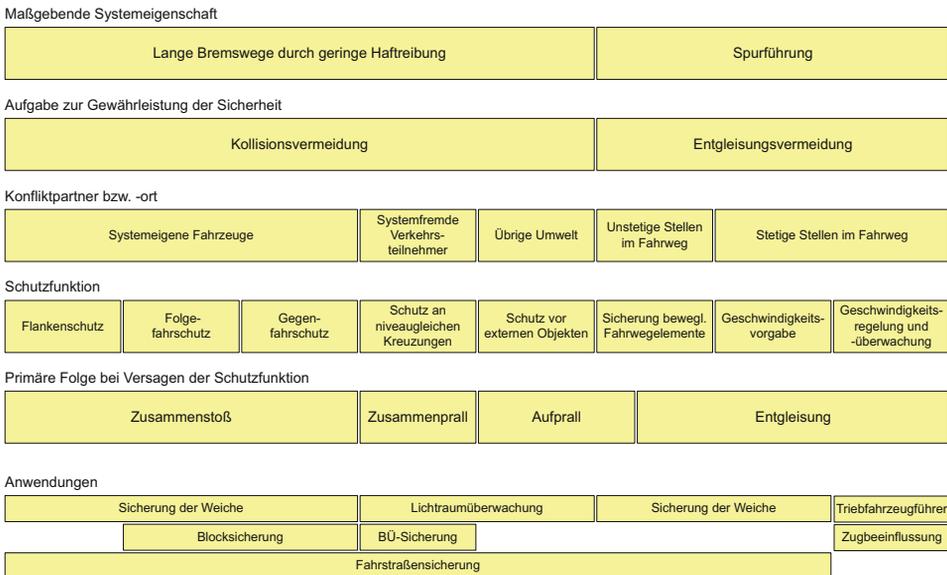


Abb. 2.2 Herleitung der Schutzfunktionen mit Anwendungsbeispielen

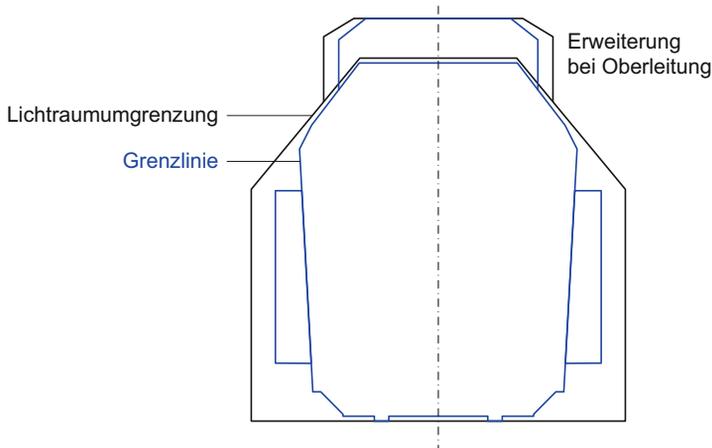


Abb. 2.3 Lichtraumquerschnitt und Grenzlinie nach EBO

Fläche, die von bewegten Fahrzeugen in Anspruch genommen werden darf. Der Lichtraum ist freizuhalten; eine Ausnahme davon bildet der zwischen der Grenzlinie und der Lichtraumumgrenzung befindliche Teil. Hier dürfen betriebsnotwendige feste Einbauten (z. B. Bahnsteig, Signal) hineinragen.

Die Freihaltung des Lichtraums von statischen Objekten ist hauptsächlich Aufgabe der Bautechnik. An dieser Stelle sollen jedoch dynamische Objekte betrachtet werden, die nach der Inbetriebnahme in den Lichtraum gelangen können. Dabei werden aber nur solche betrachtet, die eine kritische Masse derart überschreiten, dass bei einer Kollision ein Schaden im Bahnsystem entsteht. Demnach gehören beispielsweise leichte Tiere nicht dazu.

Aufgrund der Spezifik des Bahnsystems lassen sich die Kollisionen nach drei Objektarten einteilen:

- **Systemeigene Verkehrsteilnehmer** sind Fahrzeuge des gleichen betrachteten Systems (z. B. Eisenbahn).
- **Systemfremde Verkehrsteilnehmer** sind Verkehrsteilnehmer, die unter bestimmten Bedingungen Teile vom Lichtraum des Bahnsystems benutzen dürfen.
- **Systemfremde Objekte** sind Gegenstände, die sich nicht im Lichtraum des Bahnsystems aufhalten dürfen, dennoch potenziell eindringen können. Hierzu gehören z. B. Personen, aber auch durch Naturgewalt eindringende Gegenstände, wie z. B. Bäume oder Lawinen.

Aus den genannten Objektarten resultieren verschiedene Schutzfunktionen:

- **Flanken-, Folge-, Gegenfahrtschutz:** Konflikte mit systemeigenen Fahrzeugen können auf verschiedene Weise entstehen. Folge- und Gegenfahrten sind hinteres bzw.

Abb. 2.4 Einhausung einer Eisenbahnstrecke im Hochgebirge als Schutz vor Schnee und Lawinen



vorderes, Flankenfahrten seitliches Eindringen in den freigegebenen Lichtraum eines Fahrzeugs. Dabei muss es bei der Flankenfahrt nicht zur seitlichen Kollision eines der zueinander feindlichen Fahrzeuge kommen; maßgebend ist hier die seitliche Verletzung eines für eine Fahrt freigegebenen Lichtraums.

- **Schutz an niveaugleichen Kreuzungen:** Konflikte mit systemfremden Verkehrsteilnehmern können an Stellen auftreten, wo der Verkehrsraum von verschiedenen Verkehrsträgern benutzt werden darf. Dies ist z. B. regelmäßig an Bahnübergängen gegeben. Dabei können auch durchaus Schienenbahnen untereinander systemfremd sein, wie z. B. bei der Kreuzung einer Eisenbahn mit einer Straßenbahn. Eine Überwachung des Lichtraums an der Kreuzungsstelle kann eingerichtet sein.
- **Schutz vor übrigen Hindernissen:** Konflikte mit allen anderen systemfremden Objekten sind aufgrund der räumlichen Ausdehnung des Lichtraums nur sehr aufwändig zu detektieren. Deshalb wird eine technische Überwachung des Lichtraums nur an besonders exponierten Stellen vorgenommen. Eine Verminderung des Risikos kann durch baulichen Abschluss des Lichtraums erreicht werden, wie z. B. mit Bahnsteigtüren, Tunneln, Galerien oder Einhausungen (Abb. 2.4). Bauliche Anlagen liegen zwar außerhalb des Bereiches der hier angestellten Betrachtungen, sie können jedoch Voraussetzung dafür sein, dass auf eine Lichtraumüberwachung verzichtet wird.

2.2.1.2 Spurführung

Durch die Spurführung ist in der Regel ein sehr sicherer Lauf von Schienenfahrzeugen gegeben. Bei Überschreitung physikalischer Grenzen kann jedoch die Spurführung verloren gehen. Aus dem Verlust der Spurführung resultieren unkontrollierte, gefährliche Bewegungen des Schienenfahrzeugs, die oft mit dem Verlassen des gesicherten Lichtraums und möglicherweise anschließenden Kollisionen einhergehen.

Die sichere Spurführung seitens des festen Fahrwegs und des Fahrzeugs wird hier vorausgesetzt, da das außerhalb des Betrachtungsraumes liegt. Allerdings muss dafür gesorgt werden, dass die Randbedingungen wie z. B. die Geschwindigkeit richtig vorgegeben, übermittelt und eingehalten werden. Weiterhin müssen bewegliche Fahrwegelemente gesichert sein. Daraus ergibt sich eine Unterteilung in der Entgleisungsvermeidung

- **an stetigen Stellen**, d. h. am nicht unterbrochenen Fahrweg und
- **an unstetigen Stellen**, den beweglichen Fahrwegelementen.

Das bewegliche Fahrwegelement wird hier definiert als ein gesteuertes, dynamisches Element der Infrastruktur, was den stetigen Fahrweg unterbrechen kann durch

- Unterbrechung der Schiene oder
- in den Lichtraum hineinragende Gegenstände.

Diese zunächst kompliziert anmutende Definition ist notwendig, um entsprechende Abgrenzungen zum baulichen Fahrweg herzustellen. So ist eine Schienenauszugsvorrichtung sowohl dynamisch als auch eine Unterbrechung der Schiene; sie wird jedoch nicht gesteuert. Dass nicht unbedingt die Schiene unterbrochen sein muss, zeigt die Gleissperre (siehe auch Abschn. 4.2.3): Hier wird zwar der stetige Fahrweg durch den Entgleisungsschuh unterbrochen („in den Lichtraum hineinragender Gegenstand“), die Schiene jedoch nicht. Gleichzeitig zeigt sich hier der Unterschied zum systemfremden Objekt, denn obwohl beide in den Lichtraum ragen, gehört ein bewegliches Fahrwegelement immer zum System.

Aus den beiden Orten zur Entgleisungsvermeidung (stetige und unstetige Stellen) ergeben sich die Schutzfunktionen

- **Sicherung beweglicher Fahrwegelemente** und
- **Geschwindigkeitsvorgabe und -überwachung.**

Interessanterweise lassen sich die ermittelten Schutzfunktionen den Unfällen im Bahnbetrieb nach deutscher Einteilung zuordnen („Primäre Folge bei Versagen der Schutzfunktion“ in Abb. 2.2). Dabei ergibt sich aber eine Ausnahme: Beim Versagen der Sicherung beweglicher Fahrwegelemente kann es nicht nur zur Entgleisung, sondern auch zum Aufprall auf das Element kommen (z. B. an Toren).

Jede Komponente der Betriebssicherheit kann nun einer oder mehreren Schutzfunktionen zugeordnet werden. Relativ einfach ist die Zuordnung bei Bahn- und Reisendenübergängen. Dies dient eindeutig dem „Schutz an niveaugleichen Kreuzungen“.

Betrachtet man hingegen die Sicherung einer Weiche, so werden hiermit mehrere Schutzfunktionen bedient. Augenscheinlich ist zunächst die „Sicherung beweglicher Fahrwegelemente“, da hier die Schiene definiert unterbrochen wird. Zur Erfüllung dieser Schutzfunktion ist eine Endlage der Weiche erforderlich. Die richtige Endlage der Weiche bedient die Schutzfunktionen „Flanken-, Folge- und Gegenfahrerschutz“, da durch

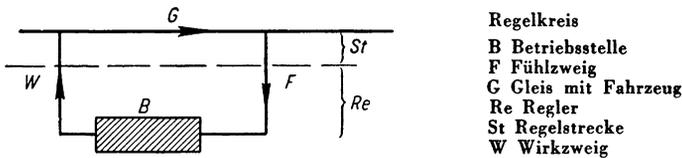
eine falsche Stellung eine feindliche Fahrt ausgelöst werden kann, sowie die Schutzfunktion „Geschwindigkeitsvorgabe und -überwachung“, da die Weiche üblicherweise in unterschiedlichen Lagen unterschiedliche Geschwindigkeiten zulässt. Ähnlich komplexe Zusammenhänge ergeben sich bei der Sicherung mit Fahrstraßen, in der fast alle Schutzfunktionen angesprochen werden können.

2.2.2 Regelkreis der Betriebssicherheit im spurgeführten Verkehr

Schon Potthoff beschrieb 1957 den Eisenbahnbetrieb als einfachen Regelkreis (Abb. 2.5). Auch in [FNT03] wurde der Transportprozess in einem erweiterten Regelkreis dargestellt.

Erweitert man das Potthoffsche Modell gemäß Abb. 2.6, so können damit alle grundlegenden Aufgaben der Betriebssicherheit dargestellt und Komponenten und Systeme der Sicherungstechnik zugeordnet werden.

Für die Fahrt in einem Gleisabschnitt müssen der zugehörige Lichraum frei sein sowie die dafür benötigten beweglichen Fahrwegelemente die richtige Lage eingenommen haben. Die Ergänzung um „Weitere Elemente“ umfasst zusätzliche Voraussetzungen für



- Regelkreis
- B Betriebsstelle
- F Fühlzweig
- G Gleis mit Fahrzeug
- Re Regler
- St Regelstrecke
- W Wirkzweig

Abb. 2.5 Regelkreis nach Potthoff [PO58]

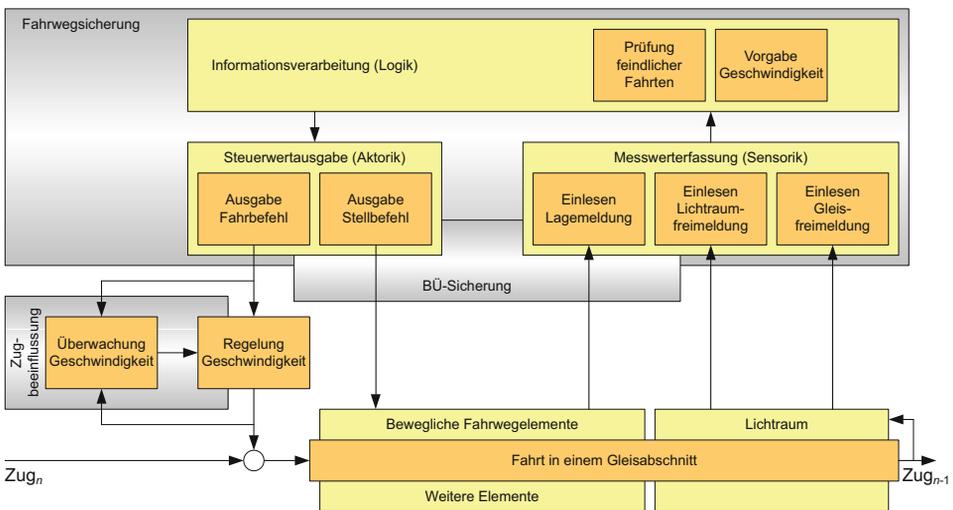


Abb. 2.6 Regelkreis der Betriebssicherheit im Schienenverkehr

eine gesicherte Fahrt, die keine beweglichen Fahrweegelemente sind, wie z. B. die Bahnübergangssicherung oder andere Besonderheiten.

Die Zustände werden durch eine Sensorik erfasst. Dabei steht die Gleisfreimeldung für die Freiheit des Gleises von anderen Schienenfahrzeugen und die Lichtraumfreimeldung für die Freiheit von anderen Objekten (systemfremde Verkehrsteilnehmer, übrige Umwelt). Theoretisch könnten beide Funktionen durch eine Funktion dargestellt werden; da sich jedoch die Detektion von systemeigenen Fahrzeugen aufgrund der definierten Spurführung grundsätzlich einfacher darstellt und deshalb fast immer anders gestaltet ist, als die Detektion anderer Objekte, ist bereits hier eine Trennung sinnvoll. Wenn durch die vorangegangene Fahrt $n - 1$ der Gleisabschnitt verlassen wurde, wird dieser durch die Gleisfreimeldung frei gemeldet.

Eine wichtige Funktion, die nicht durch einen Messwert erfasst werden kann, ist der Ausschluss feindlicher Fahrten. Diese Information ist nur in der Logik selbst zu finden, da nur hier (gespeicherte) Informationen über bereits freigegebene Fahrten zur Verfügung stehen. Die Funktion darf insofern nicht vernachlässigt werden, als freigegebene Fahrten, die den Gleisabschnitt noch nicht belegt haben, durch die Gleisfreimeldung nicht detektiert werden können. Eine weitere wichtige Funktion ist die Vorgabe der Geschwindigkeit, die als gespeicherter Wert fahrwegabhängig vorliegen muss.

Nach der Informationsverarbeitung muss eventuell noch ein Stellbefehl ausgegeben werden, um die beweglichen Fahrweegelemente in die richtige Stellung zu bringen, was ein erneutes Einlesen der Lage zur Folge hat. Sind die Voraussetzungen erfüllt, kann ein Fahrbefehl ausgegeben werden. Dieser führt zur Beschleunigung des Fahrzeugs, welches in den Gleisabschnitt einfahren kann. Die in der Regel durch den Triebfahrzeugführer vorgenommene Regelung der Geschwindigkeit verbirgt sich in „Regelung Geschwindigkeit“ und ist hier nicht explizit als (Teil-)Regelkreis dargestellt. Die Einhaltung der zulässigen Geschwindigkeit wird durch die Zugbeeinflussung überwacht, was nur deshalb notwendig ist, weil der Mensch als Regler der Geschwindigkeit in vielen Fällen eine nicht ausreichende Zuverlässigkeit besitzt. Wird als Regler ein Automat eingesetzt, so verschmelzen die Funktionen „Regelung Geschwindigkeit“ und „Überwachung Geschwindigkeit“.

Alle genannten Funktionen können technisch und nichttechnisch in unterschiedlicher Qualität realisiert werden. Ein Beispiel für eine größtenteils nichttechnische Realisierung ist der Zugleitbetrieb, der ebenfalls mit diesem Modell beschrieben werden kann. Als Beispiel für unterschiedliche Qualität der Realisierung einer Funktion sei die Zugbeeinflussung genannt: Vom Nichtvorhandensein über eine einfache Fahrsperrung an Halt zeigenden Signalen bis hin zur kontinuierlichen Geschwindigkeitsüberwachung existieren viele Stufen. Selbst eine nichttechnische Form der Realisierung ist möglich – durch einen Triebfahrzeugbegleiter.

In Abb. 2.6 sind bekannte Systeme wie z. B. „Fahrwegsicherung“ und „Zugbeeinflussung“ als zusammenfassende Realisierung verschiedener Funktionen dargestellt. Diese Nennungen sind nur beispielhaft. Es ist z. B. auch möglich, die Komponenten „Signal“ oder „Gleisfreimeldeanlage“ als Teilsystem des Stellwerks darzustellen. Wie gerade gezeigt, können außerdem auch nichttechnische Systeme die Funktionen wahrnehmen.

In den meisten Geräten und Anlagen hat die Informationsverarbeitung keine Sicherheitsrelevanz. Wo eine Fehlfunktion jedoch einen großen Schaden anrichten könnte, muss das System so konstruiert sein, dass die Wahrscheinlichkeit dessen vernachlässigbar klein ist. Der Schienenverkehr gehört zu den Prozessen, bei dessen Fehlsteuerung großer Schaden entstehen kann.

3.1 Grundsätzliche Möglichkeiten der Informationsverarbeitung

Zur Sicherung des Schienenverkehrs ist ein informationsverarbeitendes System notwendig. Dabei kann die Art der Verarbeitung ganz verschieden sein. Eine nichttechnische Möglichkeit ist es, Menschen Regeln zu geben, die mehr oder weniger zuverlässig befolgt werden, wie z. B.:

- Zeigt ein Signal einen Haltbegriff, muss davor angehalten werden.
- Nähert sich ein Zug, darf der Bahnübergang nicht betreten oder befahren werden.

Die Informationsverarbeitung kann aber auch technisch erfolgen. Verschiedene physikalische Prinzipien sind möglich, wie z. B.:

- mechanisch,
- pneumatisch,
- elektrisch,
- elektronisch,
- optisch

sowie hybride Formen, die Prinzipien miteinander kombinieren.

3.2 Anforderungen an Sicherungsanlagen

3.2.1 Keine systematischen Fehler

Alle technischen Anlagen werden von Menschen konstruiert und gebaut. Es liegt in der Natur des Menschen, Fehler zu machen. Mängel, die bei Entwicklung und Fertigung eines Systems entstehen, werden systematische Fehler genannt.

In jeder Systemlebenszyklusphase können sich solche Fehler einstellen; wichtig ist jedoch, dass sie vor Inbetriebnahme eines Systems vollständig eliminiert wurden – sowohl bei Erst- als auch Wiederinbetriebnahmen, z. B. nach Reparatur. Systematische Fehler können nur durch wenig automatisierbare Prüfungen erkannt werden. Deshalb steckt bei Sicherungsanlagen – im Gegensatz zu Anlagen ohne Sicherheitsverantwortung – ein großer Aufwand in der Prüfung von Plänen und Realisierungen.

3.2.2 Sicherheitsreaktion bei zufälligen Fehlern/Ausfällen

Kein reales, korrekt konstruiert und gebautes System arbeitet vollständig fehlerfrei – egal ob technisch oder nichttechnisch. In sicheren Steuerungen kommt es darauf an, dass sich derartige Ausfälle nicht auf die Sicherheit des gesteuerten Prozesses auswirken. Deshalb werden die Systeme in der Regel so konstruiert, dass sich ein Ausfall immer zur sicheren Seite auswirkt. Ein derartiges Verhalten wird **fail-safe** genannt.

Wie in Abschn. 2.1.1 gezeigt, ist der sichere Zustand im Landverkehr in der Regel der Stillstand ($W_{kin} = 0$). Deshalb muss ein sicherheitsrelevanter Ausfall eines Systems oder einer Komponente zunächst zum Stillstand des Fahrzeugs führen. Dies kann auf verschiedene Arten erfolgen, wie z. B. durch das Nichtzustandekommen eines Fahrtbegriffes an einem Signal oder das Schließen von Schranken.

Zufällige Fehler haben meist physikalische oder chemische Ursachen wie z. B. ein gealtertes Bauteil. Als Beispiele seien das Durchbrennen einer Glühlampe oder der Driftausfall eines elektronischen Bauelements genannt. Aber auch äußere Einwirkungen wie z. B. Überspannung durch Blitzschlag kommen in Frage.

3.2.3 Hohe Verfügbarkeit

Verkehrssysteme sind wie z. B. auch die Elektroenergieversorgung Systeme, die nicht auf Vorrat produzieren können. Eine Transportdienstleistung muss bei Nachfrage, eventuell durch Fahrpläne geordnet, erfolgen. Die Einnahme des sicheren Zustands – dem Stillstand – bei sicherheitsrelevanten Fehlern steht dem entgegen. Deshalb werden im Schienenverkehr Möglichkeiten vorgesehen, die bei Eintreten solcher Zustände die Weiterführung des Betriebes ermöglichen. Hierbei übernimmt oftmals der Mensch als Bediener Sicherheitsverantwortung. Da der Mensch nicht die Zuverlässigkeit einer sicheren

Steuerung erreicht (Abschn. 3.5), besteht in solchen Situationen eher die Möglichkeit, in einen potenziell gefährlichen Zustand zu gelangen, wodurch das Sicherheitsniveau sinkt.

An dieser Tatsache wird sichtbar, dass die Fail-Safe-Reaktion eines Systems nicht ausreicht, um Sicherheit im Betrieb zu gewährleisten. Durch das potenziell geringere Sicherheitsniveau in der Rückfallebene sollen solche Zustände möglichst selten eintreten und wenn sie eingetreten sind, möglichst kurz andauern. Deshalb spielt die Verfügbarkeit ebenso eine wichtige Rolle für die Sicherheit des Gesamtsystems.

3.2.4 Darstellung im Verfügbarkeits-Sicherheits-Diagramm

Zur anschaulichen Visualisierung der in Abschn. 3.2.2 und 3.2.3 gezeigten Zusammenhänge lässt sich das Verfügbarkeits-Sicherheits-Diagramm nutzen [AM06]. Es handelt sich dabei um einen Markov-Graphen, dessen x,y-Positionen der Zustände mit Sicherheit und Verfügbarkeit (meist nur qualitativ) bewertet werden (Abb. 3.1).

Im Grundzustand 0 befindet sich das System im funktionstüchtigen, sicheren Zustand. Tritt ein sicherheitsrelevanter Fehler auf, wechselt das System aufgrund seiner Fail-Safe-Eigenschaft in den sicheren, aber nicht mehr verfügbaren Zustand 1, z. B. wenn ein Hauptsignal wegen einer ausgefallenen Gleisfreimeldeanlage keinen regulären Fahrtbefehl mehr anzeigen kann.

Hier kann das System im nicht verfügbaren Zustand verbleiben, bis es repariert ist und in den Zustand 0 zurückkehrt. In den meisten Fällen ist dies jedoch nicht akzep-

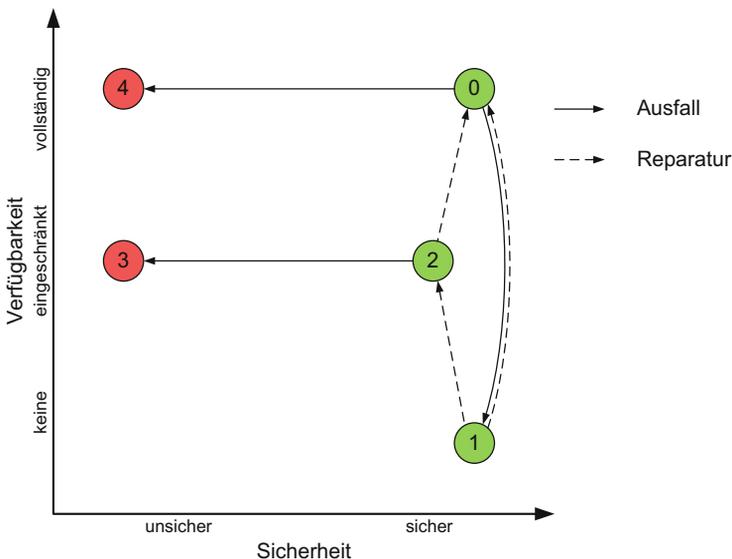


Abb. 3.1 Verfügbarkeits-Sicherheits-Diagramm sicherheitsrelevanter Systeme ohne Reserve

tabel, weshalb dem Bediener die Möglichkeit gegeben wird, das System zu umgehen und in eigener Verantwortung Fahrten zuzulassen (Zustand 2), z. B. durch visuelle Gleisfreimeldung und Bedienung eines Ersatzsignals. Durch die manuellen Prozeduren und eventuelle Einschränkungen in den Vorschriften kann die Leistungsfähigkeit herabgesetzt sein. Solange der Bediener vorschriftenkonform arbeitet, ist dieser Zustand genauso sicher, wie bei technischer Sicherung. Allerdings besteht hier eher die Möglichkeit, dass der Bediener gefährlich fehlerhaft handelt, z. B. wenn er zwar den ausgefallenen Gleisfreimeldeabschnitt freiprüft, jedoch noch eine weitere Voraussetzung für die Fahrt nicht gegeben ist. In diesem Fall wechselt das System in den gefährlichen Zustand 3, da im Beispiel zwar die Zustimmung zur Fahrt erteilt wurde, jedoch nicht alle Voraussetzungen vorliegen.

Es existiert noch eine weitere Möglichkeit, in einen gefährlichen Zustand zu gelangen: Durch unmittelbar gefährlichen Ausfall aus dem Ausgangszustand 0. Aufgrund der Fail-Safe-Eigenschaft der Technik geschehen solche Übergänge in den gefährlichen Zustand 4 praktisch nicht aufgrund eines zufälligen, technischen Fehlers, obwohl es nicht auszuschließen ist. In der Praxis gibt es solche Übergänge selten durch systematische, häufiger jedoch durch menschliche Fehler, z. B. bei der Missachtung eines Halt zeigenden Signals ohne Zugbeeinflussung.

Die Zustände 3 und 4 sind Gefährdungen, die nicht unmittelbar zum Unfall führen müssen; bei Eintreten einer unfallgünstigen Situation (z. B. nicht erkanntes Fahrzeug befindet sich im vorausliegenden Gleisabschnitt) können sie zum Unfall führen.

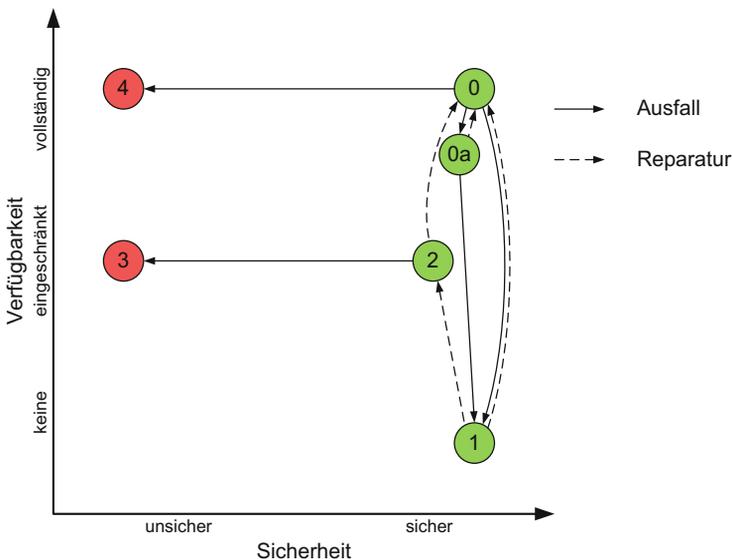


Abb. 3.2 Verfügbarkeits-Sicherheits-Diagramm sicherheitsrelevanter Systeme mit Reserve

Die Verfügbarkeit von Systemen kann erhöht werden, wenn eine Redundanz (Reserve) vorgehalten wird. Bei Ausfall des ersten Systems übernimmt das zweite System als vollwertige oder eingeschränkte Alternative die Funktionen (Zustand 0a in Abb. 3.2). Als Beispiel sei die Zweifadenlampe genannt: Bei Ausfall des Hauptfadens wird auf den Nebenfaden umgeschaltet. Damit wirkt sich ein einzelner Ausfall weder auf die Sicherheit noch auf die Verfügbarkeit aus, unter der Voraussetzung, dass ausreichend schnell repariert wird.

3.3 Strategien zur sicheren Systemgestaltung

Um die Fail-Safe-Eigenschaft herzustellen, gibt es drei Strategien zur sicheren Systemgestaltung:

- Fehlerausschluss,
- Gefährdungsausschluss,
- Gefährdungsbegrenzung.

Sie unterscheiden sich darin, an welcher Stelle im Weg vom Fehler zum Unfall angesetzt wird. Die Systematisierung dieses Weges wird heute üblicherweise im „Sanduhr-Modell“ vorgenommen (Abb. 3.3).

Im Mittelpunkt der „Sanduhr“ steht die Gefährdung (engl.: Hazard) mit ihrer Auftretensrate. Die Gefährdung muss sehr sorgfältig gewählt und beschrieben werden. In Abb. 3.3 wird als Beispiel gewählt „Zug überfährt Halt zeigendes Signal über einen vorhandenen Sicherheitsweg hinaus“.

Der untere Teil symbolisiert den Fehlerbaum. Am Grund der „Sanduhr“ befinden sich die auslösenden Ereignisse mit ihrer Auftretensrate (engl.: Failure Rate, FR). Diese führen erst meist in Kombination mit anderen Ereignissen zur Gefährdung. Der Wirkmechanismus wird im Fehlerbaum modelliert. Hierbei werden auch explizite Gegenmaßnahmen berücksichtigt. Die Gegenmaßnahme kann mit der Wahrscheinlichkeit P_{VG} („Versagen Gegenmaßnahme“) versagen. Nur in diesem Fall kommt es zur Gefährdung.

Ein Beispiel zeigt Abb. 3.3. Der auslösende Fehler ist hier „Triebfahrzeugführer missachtet Halt zeigendes Signal“. Die Gegenmaßnahme besteht aus einer Zugbeeinflussung, die in diesem Fall eine Zwangsbremmung auslöst und so eine Gefährdung verhindern soll. Nur wenn auch noch die Zugbeeinflussung versagt, kommt es zur Gefährdung. In diesem einfachen Beispiel handelt es sich um eine UND-Verknüpfung. Auch ODER-Verknüpfungen sind möglich. Fehlerbäume können sehr komplexe Strukturen annehmen.

Der obere Teil der „Sanduhr“ ist der Ereignisbaum. Hier wird beschrieben, ob und wie aus der Gefährdung ein Unfall mit einer bestimmten Rate und einem bestimmten Schaden resultiert. Dazu kommt es nur, wenn eine unfallgünstige Situation vorliegt, die mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit eintritt.

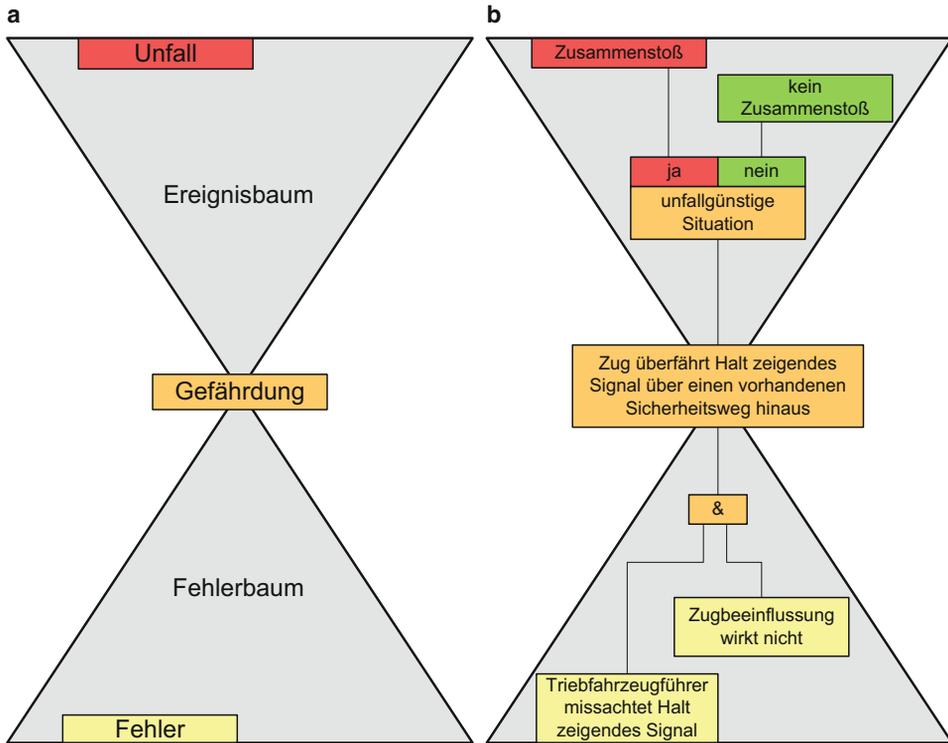


Abb. 3.3 „Sanduhr-Modell“. **a** allgemein, **b** Beispiel für Fehler- und Ereignisbaum

Im Beispiel der Signalmissachtung ereignet sich nur dann ein Unfall durch Zusammenstoß, wenn sich im nachfolgenden Abschnitt ein Fahrzeug befindet. (Zur Vereinfachung sind weitere Unfallarten hier nicht weiter berücksichtigt.)

3.3.1 Fehlerausschluss

Beim Fehlerausschluss wird davon ausgegangen, dass ein möglicher Fehler aufgrund der Gestaltung eines Systems oder einer Komponente nicht eintreten kann. Das kann aufgrund unverlierbarer physikalischer oder chemischer Eigenschaften geschehen oder durch eine Anwendungsvorschrift, deren Beachtung vorausgesetzt wird. Die Versagensrate ist zwar theoretisch größer Null, praktisch aber vernachlässigbar klein, so dass sie mit Null angenommen wird.

Unverlierbare Eigenschaft einer Komponente ist z. B. die mechanische Stabilität durch Überdimensionierung, so dass bei bestimmungsgemäßem Gebrauch ein Bruch nicht angenommen werden muss. Als Beispiel für eine Anwendungsvorschrift sei das „Abstell-

verbot“ genannt; dort wo es ausgesprochen ist, muss nicht mit abgestellten Fahrzeugen gerechnet werden.

3.3.2 Gefährdungsausschluss

Kann ein Fehler nicht ausgeschlossen werden, wird versucht, die daraus resultierende Gefährdung durch Gegenmaßnahmen auszuschließen. Solche Gegenmaßnahmen sind Überwachungen auf das Eintreten eines Fehlers. Damit die Maßnahme wirkt, ist es notwendig, den Fehler ausreichend schnell zu detektieren. Die Zeit zwischen dem Eintreten und der Aufdeckung des Fehlers wird Fehleroffenbarungszeit genannt. Erst nach einer weiteren Zeit, der Fehlerreaktionszeit, die meist wesentlich kürzer ist als die Fehleroffenbarungszeit, ist der sicherere Zustand erreicht. Dazu wird eine Aktion ausgelöst (z. B. Zwangsbremmung) oder es werden weitere, den Verkehr freigebende Aktionen (z. B. Fahrtstellung eines Signals) verhindert. Aufgrund der Konstruktion ist nicht davon auszugehen, dass die Gegenmaßnahme versagt; die Wahrscheinlichkeit des Versagens der Gegenmaßnahme P_{VG} wird hier mit Null angenommen.

Oben wurde bereits das Beispiel der Zugbeeinflussung genannt, was einen Gefährdungsausschluss darstellt, solange sie nicht versagt. Ein weiteres Beispiel ist der Einsatz verdoppelter Elemente, wobei nicht davon ausgegangen wird, dass beide Elemente gleichzeitig versagen.

3.3.3 Gefährdungsbegrenzung

Wenn die Gefährdung nicht ausgeschlossen werden kann, ist die Sicherheit auch durch einen Nachweis der nur kurzzeitigen Bestehenszeit der Gefährdung herstellbar. Dabei wird angenommen, dass innerhalb der Fehleroffenbarungszeit keine unfallgünstige Situation eintritt und damit kein Unfall geschehen kann. Die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten einer unfallgünstigen Situation muss damit unter einer akzeptierten Grenze liegen.

So kann z. B. bei zyklischen Prüfungen in einem Rechnersystem zwischen zwei Prüfzyklen zwar ein gefährlicher Fehler auftreten, der sofort zur Gefährdung führt, aufgrund der kurzen Zykluszeit (< 1 s) wirkt sich dieser aber praktisch nicht gefährlich aus.

3.3.4 Systematisierung

Die Variablen aus der „Sanduhr“ können nun in die allgemeine Gleichung des Risikos eingesetzt werden:

$$R_i = \text{Häufigkeit} \cdot \text{Schadensausmaß}$$

$$R_i = AR \cdot F$$

mit

R_i Risk (Risiko),
 AR Accident Rate (Unfallrate) und
 F Fatality (Opfer, Verlust, Schadensausmaß).

Die Unfallrate AR ergibt sich aus dem Produkt der Gefährdungsrate HR und der selten beeinflussbaren Wahrscheinlichkeit für eine unfallgünstige Situation

C Criticality (Kritikalität).

Eingesetzt in die obige Formel ergibt sich

$$R_i = HR \cdot C \cdot F.$$

Zur Gefährdung kommt es, wenn ein Fehler eintritt und die Gegenmaßnahme versagt. Damit ist

$$HR = FR \cdot P_{VG}$$

mit

FR Failure Rate (Fehlerrate) und
 P_{VG} Wahrscheinlichkeit für das Versagen der Gegenmaßnahme.

In die obige Gleichung eingesetzt ergibt sich

$$R_i = FR \cdot P_{VG} \cdot C \cdot F.$$

Tabelle 3.1 zeigt die Anwendung der Strategien zur sicheren Systemgestaltung auf die Formel. In der Strategie „Fehlerausschluss“ wird der Fehler nicht angenommen, d. h. die Fehlerrate geht gegen Null. Bei der Strategie „Gefährdungsausschluss“ gibt es für den möglicherweise auftretenden Fehler eine Gegenmaßnahme, deren Versagen nicht angenommen wird, weshalb die Wahrscheinlichkeit dafür gegen Null geht. In der „Gefährdungsbegrenzung“ müssen hingegen mehrere Faktoren betrachtet werden. Hier wird davon ausgegangen, dass das Produkt aus FR , P_{VG} und C , also AR , so klein ist, dass sie unter einen akzeptierten Wert sinkt und somit praktisch als Null angesehen wird.

In allen drei betrachteten Strategien wird davon ausgegangen, dass der Unfall nicht stattfindet. Im Gegensatz dazu tritt bei der passiven Sicherheit der Unfall ein, der Schaden F jedoch bleibt unter dem jeweils akzeptierten Wert F_a , womit das Risiko unter dem akzeptierten Wert R_{i_a} bleibt.

Tab. 3.1 Strategien zur sicheren Systemgestaltung

Strategie		FR	P_{VG}	$AR = FR \cdot P_{VG} \cdot C$	F	$Ri = AR \cdot F$
Aktive Sicherheit	Fehlerausschluss	$\rightarrow 0$	1	$\rightarrow 0$	$> F_a$	$\rightarrow 0$
	Gefährdungsausschluss	> 0	$\rightarrow 0$	$\rightarrow 0$	$> F_a$	$\rightarrow 0$
	Gefährdungsbegrenzung	> 0	$< P_{VGa}$	$\rightarrow 0^*$	$> F_a$	$\rightarrow 0$
Passive Sicherheit (Schadensbegrenzung)		> 0	$> P_{VGa}$	$> AR_a$	$< F_a$	$< Ri_a$

* $C \ll 1$

3.4 Umsetzung der Strategien

3.4.1 Nutzung der Vorzugsausfallrichtung

In Abschn. 3.2.2 wurde bereits der Begriff fail-safe eingeführt. Um den sicheren Zustand technisch umzusetzen, muss der Zustand eines Systems betrachtet werden, in den es bevorzugt ausfällt. Dieser Zustand wird „Vorzugsausfallrichtung“ genannt und ist in der Regel immer die energieärmste Lage. Um das zu erklären, lohnt eine Betrachtung aus der Thermodynamik.

In der Thermodynamik beschreibt die Entropie das „Maß für die Gleichmäßigkeit der Verteilung“. Bei der größtmöglichen Gleichverteilung haben alle Teilchen ihre energieärmste Lage erreicht. Die Gleichverteilung ist aber nicht das technisch Wünschenswerte. Deshalb muss Energie aufgewendet werden, um z. B. Stoffe voneinander zu trennen oder eine Vermischung zu vermeiden. Wird diese Energie nicht aufgewendet, so kann die Entropie nur steigen. Hieran wird erkennbar, dass jedes Teilchen im Universum bestrebt ist, die energieärmste Lage einzunehmen

Dieses Streben wird mit der Verwendung der Vorzugsausfallrichtung ausgenutzt: Das jeweils höhere Energieniveau wird zur Freigabe einer Bewegung im Verkehr genutzt, während das geringere Energieniveau für die Sperrung einer Bewegung verwendet wird. Besonders anschaulich wird das am Formhauptsignal (Abb. 3.4): Befindet sich der Signalflügel in Fahrtstellung (gehoben), so wird einer Zugfahrt zugestimmt und damit eine

Abb. 3.4 Formhauptsignale

Tab. 3.2 Beispiele für die Nutzung der Vorzugsausfallrichtung

Energieart	Beispiel	Freigabebedingung	Sperrbedingung
		für eine Bewegung im Verkehr	
		Einnahme des	
		Höheren Energieniveaus	Geringeren Energieniveaus
Potenzielle Energie	Allgemein	Größere Höhe	Geringere Höhe
	Signalflügel	Fahrtstellung (oben)	Haltstellung (unten)
	Relaisanker	Angezogen	Abgefallen
Elektrische Energie	Allgemein	Informationsfluss	Informationsunterbrechung
	Parallele Ansteuerung, Relaisstechnik	Stromfluss	Stromunterbrechung
	Serielle Ansteuerung, Rechentechnik	Senden von Datentelegrammen	Ausbleiben von Datentelegrammen

Freigabe für eine Bewegung gegeben. Die Fahrtstellung des Flügels besitzt eine größere Höhe als die Haltstellung und verfügt somit über die größere potenzielle Energie – das höhere Energieniveau. In der Haltstellung hingegen befindet sich der Flügel in der unteren Endlage. Somit sperrt die Stellung mit dem geringeren Energieniveau den Verkehrsfluss. Aus diesen Eigenschaften leitet sich auch der heute noch gebräuchliche Begriff „Signalhaltfall“ her. Tabelle 3.2 zeigt weitere Beispiele.

3.4.2 Kontrolle auf Einnahme bestimmter Zustände

Leider lassen sich nicht alle Sperrzustände mit der Einnahme des geringeren Energieniveaus realisieren. So kann z. B. die sperrende Stellung an einem Lichthauptsignal nur durch das Leuchten der roten Signallaterne hergestellt werden, was jedoch dem höheren Energieniveau (Stromfluss) entspricht. In solchen Fällen muss geprüft werden, ob das höhere Energieniveau eingenommen wurde. Ist das nicht der Fall, müssen Gegenmaßnahmen ergriffen werden. Im Fall des Lichthauptsignals werden bei erloschenem Signal keine regulären Fahrten mehr auf dieses Signal zugelassen.

Kann die Einnahme des geringeren Energieniveaus nicht sichergestellt werden, so muss auch das geprüft und bei negativem Ergebnis eine Gegenmaßnahme ergriffen werden. Ein Beispiel ist die Abfallkontrolle bestimmter Relais, wie es im Folgenden noch gezeigt werden wird.

3.5 Sicherheitsrelevanz des Menschen

Der Mensch als Bediener ist wichtiger Systembestandteil. Trotz weitergehender Automatisierung wird er immer Bestandteil des Systems bleiben – vor allem in der Rückfallebene.

Tab. 3.3 Menschliche Fehlerrate bei optimalem Stressniveau in Abhängigkeit von den Umweltbedingungen [HI93]

Menschliche Verhaltensebene	Umweltbedingungen	
	Günstig	Ungünstig
Fertigkeitsbasiert	$1 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$
Regelbasiert	$1 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$
Wissensbasiert	$1 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-1}$

Im Regelbetrieb gibt es bei modernen Techniken nur noch wenige Aufgaben, bei denen das Handeln des Menschen direkt sicherheitsrelevant ist. Dies war nicht immer so: Je unvollkommener die Technik war, desto mehr Sicherheitsrelevanz lag beim Bediener. Auch heute noch sind solche Techniken im Einsatz. So gibt es z. B. Stellwerke, die nicht mit einer Gleisfreimeldeanlage ausgerüstet sind. Hier liegt die Verantwortung für das Freiprüfen der Gleise ausschließlich beim Stellwerksbediener.

In der Rückfallebene – bei ausgefallener Technik – kann auch bei modernster Technik nicht auf den Menschen verzichtet werden. Da, wie schon in Abschn. 3.2.3 erwähnt, bei Einnahme des sicheren Zustands (Stillstand) dieser bis zur Reparatur des Systems nicht hingenommen werden kann, sind Verfahren erforderlich, die die Weiterführung des Betriebes unter Umgehung der Technik ermöglichen. Diese Verfahren erfordern meist das Eingreifen des Menschen in sicherheitsrelevante Abläufe.

Problematisch dabei ist, dass die menschliche Fehlerrate, ausgedrückt in „Fehlerhafte Handlung pro durchgeführter Handlung“ um mehrere Größenordnungen höher liegt, als die der Technik. Wenn auch umstritten, so wird bei heutigen Betrachtungen im Mittel eine menschliche Fehlerrate von 10^{-3} pro Handlung angenommen. Das bedeutet: Von 1000 Handlungen wird eine fehlerhaft ausgeführt. Abhängig von der Art der Aufgabe und den Umgebungsbedingungen variiert diese Rate. Hinzen schlägt in [HI93] die in Tab. 3.3 genannten Werte vor.

Natürlich führt nicht jede falsche Handlung gleich zum Unfall. Zum einen sind in die Prozeduren Gegenmaßnahmen integriert, die verhindern, dass nicht jeder Fehler zur Gefährdung führt. Zum anderen muss bei Vorliegen einer Gefährdung auch noch eine unfallgünstige Situation vorhanden sein, um einen Unfall herbeizuführen. Dennoch sind menschliche Fehler in der Rückfallebene die häufigste Unfallursache im Schienenverkehr (Unfälle an Bahnübergängen ausgenommen).

Der dänische Psychologe *Rasmussen* erschuf 1980 das Drei-Ebenen-Modell der menschlichen Informationsverarbeitung (Abb. 3.5). Darin wird angenommen, dass sich die Verarbeitung einer dem Menschen gestellten Aufgabe je nach Wissen und Können auf verschiedenen Ebenen abspielt, die unterschiedliche Erfolge versprechen.

Das **fertigkeitsbasierte Verhalten** beinhaltet Reaktionen auf Anforderungen, die trainiert sind und über die nicht weiter nachgedacht werden muss, wie z. B. beim blinden Maschineschreiben. In dieser Ebene ist die Fehlerquote am geringsten.

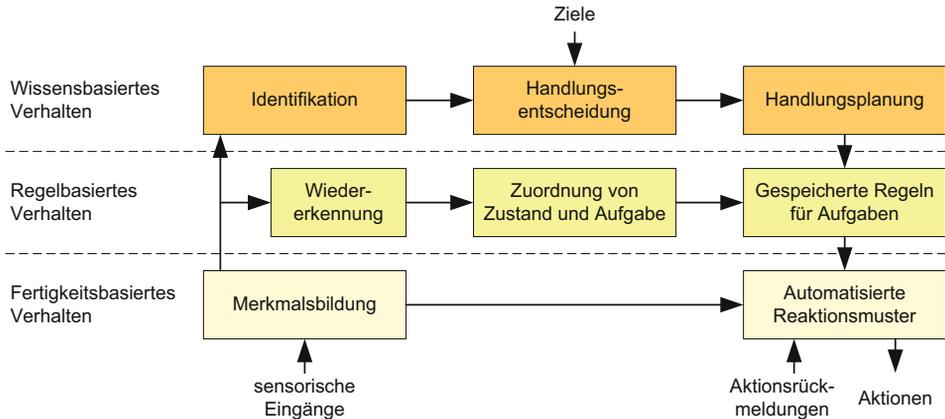


Abb. 3.5 Drei-Ebenen-Modell der menschlichen Informationsverarbeitung nach Rasmussen

Für das **regelbasierte Verhalten** müssen gelernte Regeln abgerufen und angewendet werden. So wird z. B. ein Fahrschüler während und nach seiner Ausbildung an jeder Kreuzung und Einmündung die gelernten Vorfahrtsregeln aus dem Gedächtnis abrufen und anwenden. Mit steigender Fahrpraxis jedoch wird sich die Beachtung der Vorfahrt von der regelbasierten in die fertigkeitsbasierte Ebene verschieben. Für eine erfolgreiche Umsetzung der Regeln ist es allerdings erforderlich, die Regeln richtig und vollständig zu erlernen. Wird eine Regel falsch erlernt oder wird eine falsche Regel angewendet, so droht die daraufhin ausgeführte Handlung fehlerhaft zu werden. Regelbasierte Handlungen besitzen eine höhere Fehlerrate als fertigkeitsbasierte.

Wissensbasiertes Verhalten liegt vor, wenn zu einer Anforderung keine Regel vorliegt. Hierzu muss der Mensch sein Wissen und seine Erfahrungen heranziehen, um sich seine Regel zur Bewältigung der Aufgabe selbst zu erschaffen. So ist z. B. die Entwicklung einer Regel, die später im Regelwerk verankert wird, eine wissensbasierte Aufgabe. Dabei muss sehr sorgfältig vorgegangen werden, denn in der wissensbasierten Ebene besteht die größte Fehlerrate.

Für menschliche Handlungen, die noch dazu sicherheitsrelevant sein können, bedeutet dies nun, dass der Bediener im Regelbetrieb möglichst regel- oder fertigkeitsbasiert arbeiten soll. In der Rückfallebene scheidet die fertigkeitsbasierte Ebene aus, da diese Tätigkeiten selten anfallen und der Bediener über sein Handeln nachdenken soll. Wichtig ist hier, dass er Regeln hat, an die er sich hält, damit er nicht in der wissensbasierten Ebene entscheiden muss. Hieran wird erkennbar, dass Ausbildung und Training wichtige Bestandteile der Sicherheit im Verkehr sind.

3.6 Relais-technische Informationsverarbeitung

3.6.1 Aufgaben und Eigenschaften von Relais

Ein Relais ist ein elektromechanisches Bauelement, was durch Anlegen einer Spannung an eine Spule ein Magnetfeld aufbaut, das einen Anker bewegt, der seinerseits elektrische Kontakte schließt oder öffnet (Abb. 3.6).

Hauptsächliche Aufgabe ist die Realisierung einer Logik durch Verknüpfung und Speicherung von Informationen. Außerdem lässt sich ein Relais zur Verstärkung, zur galvanischen Trennung von Stromkreisen sowie als Schwellwertschalter verwenden.

Relais können in monostabile und bistabile Relais unterschieden werden. Monostabile Relais, auch neutrale Relais genannt, haben nur eine stabile Stellung – die abgefallene. Diese ist gleichzeitig die Vorzugsausfallrichtung (Stellung mit geringerem Energieniveau). Im Gegensatz dazu haben bistabile Relais zwei stabile Stellungen. Auch bei Abschaltung der Magnetspulen bleiben sie in Ihrer Lage, weswegen sie gut für die Speicherung von Zuständen geeignet sind und auch Speicherrelais genannt werden. Eine Vorzugsausfallrichtung existiert hierbei oft nicht.

3.6.2 Sicherheitsanforderungen an Signalrelais

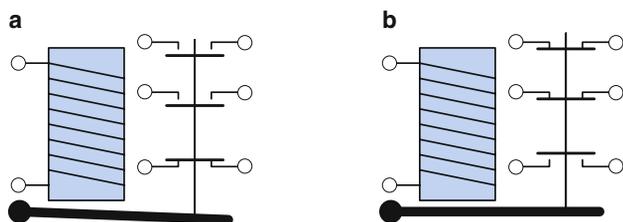
Für sicherheitsrelevante Schaltungen werden Relais benötigt, die besonderen Anforderungen genügen müssen, damit sie für sicherheitsrelevante Schaltungen verwendet werden dürfen. Solche Relais werden allgemein „Sicherheitsrelais“ genannt; in der Eisenbahnsicherungs-technik hat sich der Begriff „Signalrelais“ etabliert.

Grundsätzlich sind Relais für sicherheitsrelevante Schaltungen sehr gut geeignet, da sie – im Gegensatz zur Elektronik – nur wenige Ausfallarten besitzen und deshalb der Sicherheitsnachweis auf Bauteil- und Schaltungsebene vollständig geführt werden kann. Damit das jedoch möglich ist, benötigen Signalrelais spezielle Eigenschaften, die über die Eigenschaften herkömmlicher Relais hinausgehen.

Sicherheitsrelevante Eigenschaften herkömmlicher Relais sind:

- hohe Ansprechschwelle und
- Vorzugsausfallrichtung (monostabile Relais).

Abb. 3.6 Monostabiles Relais. **a** abgefallener Zustand, **b** angezogener Zustand



Zusätzlich haben Signalrelais folgende Eigenschaften:

- Zwangsführung der Kontakte,
- große Kontaktabstände,
- doppelte Kontaktunterbrechung,
- sicheres Öffnen, auch bei Verschweißen anderer Kontakte.

Das wichtigste Merkmal von Signalrelais ist die Zwangsführung der Kontakte. Das bedeutet, dass alle Kontakte mechanisch starr miteinander verbunden sein müssen, was über den Kontaktsteg realisiert wird. Nur so kann schaltungstechnisch durch die Prüfung eines Kontakts auf die Stellung aller anderen Kontakte geschlossen werden.

Grundsätzlich kommen bei der Gestaltung sicherer Relaisschaltungen zwei unterschiedliche Typen von Signalrelais zum Einsatz, die nach UIC-Definition in zwei Klassen eingeteilt werden: Typ N (not controlled) und Typ C (controlled).

Bei Typ N-Relais, umgangssprachlich auch als „Schwerkraftrelais“ bezeichnet, ist der Abfall des Relaisankers bei Abschaltung der Spannung an der Spule immer gewährleistet. Außerdem wird für die Kontakte eine Materialkombination (z. B. Kohle/Silber) verwendet, die ein Verschweißen unmöglich macht. Typ N-Relais sind – bedingt durch die konstruktiven Anforderungen – größer und schwerer, durch die ausgeschlossenen Ausfälle ist jedoch die Schaltung einfach.

Bei Typ C-Relais ist der Abfall des Relaisankers nicht sichergestellt. Dieser kann z. B. durch Restmagnetismus und Brechen einer Feder auch bei Abschaltung der Spannung angezogen bleiben. Damit hierdurch keine gefährlichen Zustände entstehen, muss schaltungstechnisch der Abfall des Relais geprüft werden, wozu die Zwangsführung der Kontakte unverzichtbar ist. Außerdem ist es möglich, dass Kontakte verschweißen. Typ C-Relais sind kleiner und leichter, durch die notwendigen schaltungstechnischen Prüfungen jedoch wird die Schaltung komplexer.

3.6.3 Arten und Bauformen von Signalrelais

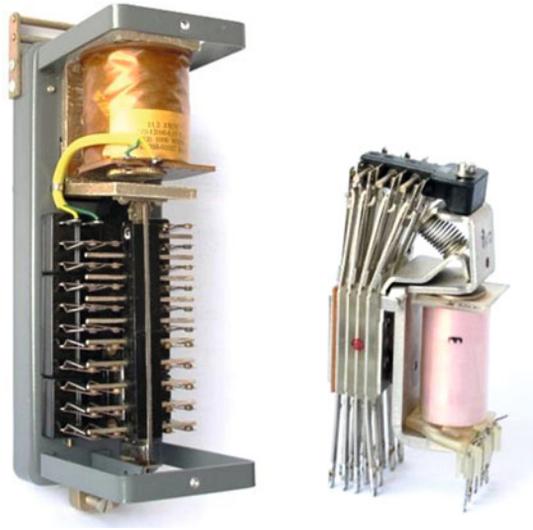
3.6.3.1 Monostabil

Monostabile (neutrale) Signalrelais (Abb. 3.7) haben nur eine stabile – die abgefallene – Stellung. Da dies der energieärmere Zustand ist, wird die abgefallene Stellung bei der Schaltungsgestaltung als Vorzugsausfallrichtung genutzt, da es wesentlich wahrscheinlicher ist, dass ein Relais fehlerhaft abgefallen als fehlerhaft angezogen ist. Monostabile Relais sind die mit Abstand am häufigsten eingesetzte Art von Signalrelais.

3.6.3.2 Bistabil

Bistabile Signalrelais haben zwei stabile Stellungen, die meist durch jeweils ein Spulensystem erreicht werden. Bistabile Relais werden genutzt, um Zustände – auch bei Stromausfall oder einer Unterbrechung der Spulenzuleitung – zu speichern. Außerdem

Abb. 3.7 Monostabile Signalrelais



sind sie energiesparender, da nach dem Wechsel der Stellung in der Regel die Stromzufuhr zur zuletzt anziehenden Spule durch einen Kontakt des Relais selbst unterbrochen wird. Dem steht der Nachteil einer aufwändigeren Konstruktion gegenüber. Die stabilen Zustände können durch unterschiedliche Techniken erreicht werden: Abstützung, Federkraft oder Magnetkraft.

Stützrelais

Die stabilen Stellungen beim Stützrelais werden durch mechanische Abstützungen hergestellt. Stützrelais sind die älteste Bauform bistabiler Relais. Nachteilig ist der feinmechanische Aufwand für den Stützmechanismus.

Stützrelais besitzen nicht nur zwei Spulensysteme sondern auch zwei Kontaktsysteme. In Abb. 3.8 ist im oberen Teil deutlich der Stützmechanismus zu sehen, der es nur einem Kontaktsystem erlaubt, abgefallen zu sein. Es können zwar fehlerhaft beide Systeme angezogen, jedoch nie gleichzeitig abgefallen sein. Daraus ergibt sich die Stellungsprüfung: Es muss schaltungstechnisch immer das abgefallene System geprüft werden, da daraus zwangsläufig folgt, dass das andere System angezogen ist.

Kipprelais

Bei Kipprelais werden die stabilen Zustände durch Federkraft hergestellt. Da beim Brechen einer Feder ein sicherer Zustand nicht garantiert werden kann, dürfen Kipprelais nur mit besonderen schaltungstechnischen Maßnahmen für sicherheitsrelevante Schaltungen verwendet werden.

Abb. 3.8 Stützrelais älterer Bauform



Haftrelais

Das Haftrelais ist das modernste bistabile Signalrelais. Da es einen Permanentmagneten enthält, zählt es elektrotechnisch zur Gruppe der polarisierten Relais. Die stabilen Zustände werden auf zwei Arten hergestellt: Federkraft und Magnetismus. Im abgefallenen Zustand ist die Federkraft stärker als die magnetische Anziehungskraft des Permanentmagneten. Durch das Anschalten der Spule wird die magnetische Anziehungskraft größer als die Kraft der Feder und der Anker zieht an. Durch die größere Nähe zum Permanentmagneten ist dessen Anziehungskraft nun größer als die Federkraft und so bleibt der Anker auch bei abgeschaltetem Spulenstrom angezogen (Abb. 3.9). Die magnetisch angezogene Stellung gilt als Vorzugsausfallrichtung.

Ein Abfall des Ankers kann nur durch eine Schwächung des Permanentmagnetfeldes geschehen. Dazu kann die Spule mit Spannung umgekehrter Polarität beaufschlagt werden, wodurch auch das Magnetfeld der Spule nun entgegengesetzt wirkt. Alternativ kann auch eine zweite Spule eingesetzt werden, deren Magnetfeld dem des Permanentmagneten entgegen wirkt.

Abb. 3.9 Prinzip des Haftrelais

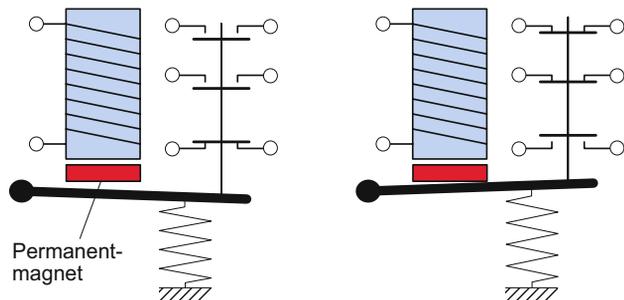
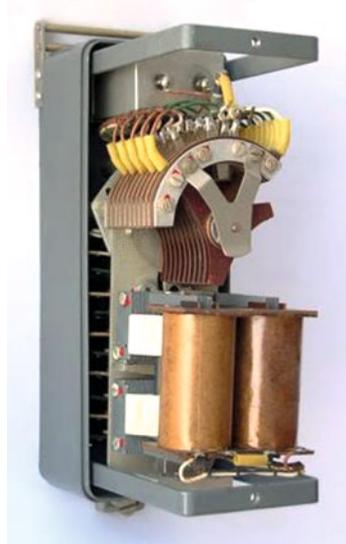


Abb. 3.10 Blockrelais

3.6.3.3 Spezielle Arten

Blockrelais

Das Blockrelais (Abb. 3.10) arbeitet nach dem Prinzip des Schrittschaltwerkes und wird für klassische Blockaufgaben verwendet. Es kann mit einem Wechselstromblockfeld (siehe auch Abschn. 6.3.4.1) korrespondieren.

Motorrelais

Das Motorrelais ist nach dem Prinzip des Asynchronmotors aufgebaut. Es arbeitet sowohl sehr frequenz- als auch phasenselektiv und ist damit weitgehend immun gegen Fremdströ-

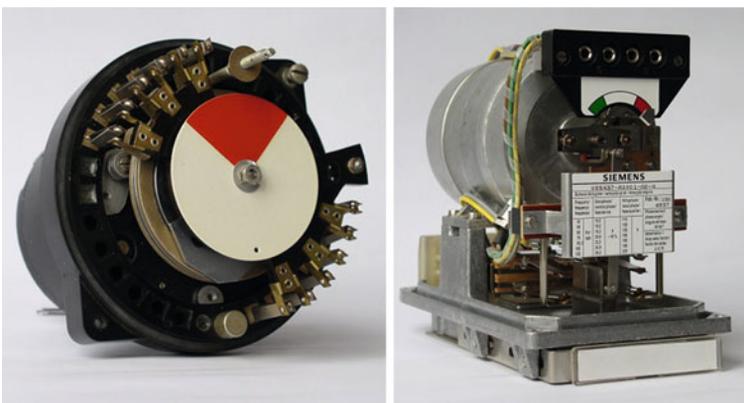
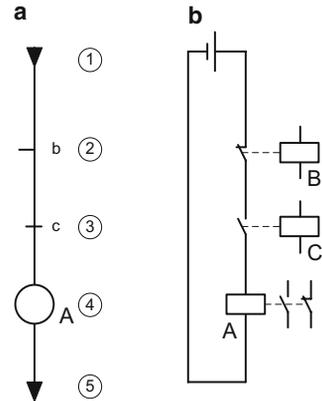
**Abb. 3.11** Motorrelais verschiedener Ausführung

Abb. 3.12 Vergleich der Schaltungsdarstellung zwischen Pfeilscher Kurzschaltung (a) und üblicher Elektrotechnik (b)



me. Das Motorrelais wird hauptsächlich als Gleisrelais für Gleisstromkreise verwendet (Abb. 3.11).

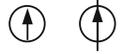
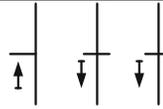
3.6.4 Schaltungsdarstellung

Entgegen der in der Elektrotechnik üblichen Darstellungsweise wird für elektrische Schaltungen der Eisenbahnsicherungstechnik die „Pfeilsche Kurzschaltung“ verwendet. Diese geht auf Robert Pfeil zurück, der Ingenieur bei Siemens & Halske war. Er rationalisierte die Schaltungsdarstellung durch folgende Maßnahmen (siehe auch Abb. 3.12):

- Aufschneiden der Stromkreise: Gezeichnet wird in der Regel von oben nach unten, der Stromkreis wird nicht geschlossen dargestellt.
- Räumliches Trennen von Spule und Kontakt: Die Zugehörigkeit der Kontakte zu einzelnen Relais wird durch das entsprechende Relaisymbol bzw. die Bezeichnung daneben gekennzeichnet (Verbindungsline zwischen Spule und Kontakten entfällt).
- Energieeinspeisung: auf dem Strompfad gezeichneter Pfeil in diesen hinein ①.
- Geschlossener Schalter (Öffner): die Leitung berührender Querstrich ②.
- Geöffneter Schalter (Schließer): die Leitung schneidender Querstrich ③.
- Relaispule: Kreis ④.
- Masse: Pfeil am Ende des Strompfades aus diesem hinaus ⑤.

Diese Art der Darstellung vereinfacht die Lesbarkeit komplexer Logikschaltungen, allerdings zum Preis eines abweichenden Standards. Jedoch hat sich die Pfeilsche Kurzschaltung in Darstellungen der Eisenbahnsicherungstechnik durchgesetzt und wird noch heute verwendet. Ein ähnliches Konzept verwendet der Kontaktplan (engl.: Ladder Diagram), der eine Methode zur Programmierung von Speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS) ist.

Tab. 3.4 Darstellungsarten von Signalrelais

	Übliche Darstellung	Alternative Darstellung
Monostabiles Relais, in Grundstellung abgefallen		
Monostabiles Relais, in Grundstellung angezogen		
Bistabiles Relais mit zwei Spulensystemen		
Kontaktsysteme von bistabilen Relais		

Für die Darstellung und Bezeichnung von Relais haben sich verschiedene Systeme etabliert. In älteren Schaltungen wurden die Relais durch grafische Merkmale am Spulensymbol unterschieden, während in neueren Schaltungen die Unterscheidung nur noch durch die Bezeichnung geschieht. Bei bistabilen Relais mit zwei Spulensystemen ist außerdem die Unterscheidung der beiden Spulen notwendig. Weiterhin ist für die Kontakte von Stützrelais die Unterscheidung zu treffen, ob das Kontaktsystem des in Grundstellung angezogenen oder abgefallenen Systems verwendet wird. Die verschiedenen Darstellungen zeigt Tab. 3.4.

3.6.5 Systemgestaltung in der Relais-technik

Relaisysteme sind digitale Steuerungssysteme. Treten analoge Messwerte auf, so müssen diese in digitale Werte umgewandelt werden. Da ein Relais auch als Schwellwertschalter eingesetzt werden kann, ist diese Aufgabe auch direkt mit Relais realisierbar. Angewandt wird das z. B. bei Gleisrelais, die die Spannung am Gleisstromkreis messen.

Folgende Fehler sind in der Relais-technik anzunehmen:

- Kontakt fehlerhaft geöffnet/geschlossen,
- Anker fehlerhaft angezogen (nur Typ-C Relais)/abgefallen,
- Stromkreisunterbrechung (z. B. Aderbruch),
- Statisches Übersprechen (z. B. Aderberührung),
- Dynamisches Übersprechen (z. B. induktive oder kapazitive Fremdbeeinflussung).

Durch diese überschaubare Zahl von Fehlermöglichkeiten und die Unabhängigkeit der Bauelemente (z. B. durch feste Isolation) ist der Sicherheitsnachweis überschaubar und auf Bauelementeebene führbar.

Da der Ausschluss der genannten Fehler technisch nur in wenigen Fällen möglich ist, wird in der Relais-technik hauptsächlich die Strategie „Gefährdungsausschluss“ angewandt. Hierzu werden schaltungstechnische Gegenmaßnahmen ergriffen, die das Erreichen einer Gefährdung verhindern sollen. Nur wenn auch das nicht möglich ist, wird in wenigen Fällen die Strategie „Gefährdungsbegrenzung“ angewandt.

Da monostabile Relais eine Vorzugsausfallrichtung besitzen, ist bei der Schaltungsgestaltung vorzugsweise der angezogene Zustand für die Freigabe zu verwenden. Zieht ein Relais nicht an, so muss sich das durch eine Hemmung im Prozess bemerkbar machen. Bei Verwendung von Typ-C Relais ist außerdem der Abfall schaltungstechnisch zu überwachen.

3.7 Elektronische Informationsverarbeitung

3.7.1 Technische Eigenschaften der Mikroelektronik

Die Mikroelektronik weist gegenüber der Relais-technik einige Besonderheiten auf. Durch die geringen Ansprechspannungen und Ansprechzeiten sind elektronische Systeme relativ anfällig für Fremdbeeinflussung. Daher ist beispielsweise in den Räumen elektronischer Stellwerke das Telefonieren mit Mobiltelefonen verboten, im Relaisraum eines Relaisstellwerks ist es dagegen völlig unproblematisch.

Elektronische Bauteile haben im Gegensatz zu Relais keine Vorzugsausfallrichtung. Im Fehlerfall sind beide Zustände ungefähr gleich wahrscheinlich, womit die Nutzung der Vorzugsausfallrichtung als Methode zur sicheren Schaltungsgestaltung ausscheidet.

Durch die hohe Komplexität lassen sich systematische Fehler in der Herstellung (insbesondere von integrierten Schaltkreisen) nicht vollständig ausschließen. Weiterhin bedingt die hohe Komplexität eine hohe Arbeitsteiligkeit, was Prüfprozesse erschwert.

Diese Eigenschaften wirken sich in der Sicherungstechnik mit ihren hohen Sicherheitsanforderungen nachteilig aus. Zudem kommen hier die Vorteile der Mikroelektronik in Form einer großen Funktionsvielfalt kaum zum Tragen, da die sicherungstechnische Logik vergleichsweise einfach ist (siehe auch Abschn. 6.1.1).

Dennoch besitzt die Elektronik wesentliche Vorteile:

- Theoretisch keine Beschränkung in der Ausdehnung des Stellbereiches durch Trennung von Informations- und Energiefluss,
- Hohe Flexibilität in den Bedien- und Auswertefunktionen,
- Geringerer Raumbedarf für ein elektronisches Stellwerk mittleren und großen Umfangs im Vergleich zum Relaisstellwerk.

Wegen der oben beschriebenen Schwierigkeiten ging man später als in anderen Bereichen auch in der Sicherheitstechnik zur Elektronik über.

3.7.2 Gewährleistung der Sicherheit

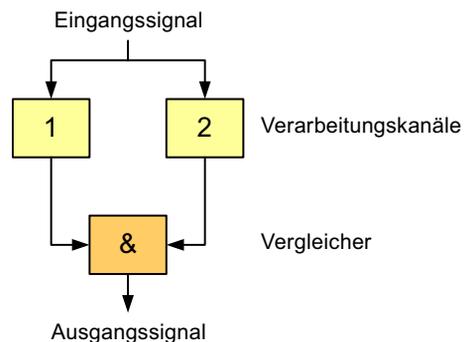
Die Zahl der Fehlermöglichkeiten ist wesentlich größer als in anderen Stellwerkstechniken. Daher sind Fehlerbetrachtungen auf Baugruppenebene nur bei einfachen Schaltungen möglich. Ansonsten werden Fehler auf funktionaler Ebene betrachtet, was nur durch das Vorhandensein von Verdopplungen möglich ist.

Aufgrund der oben beschriebenen Eigenschaften (z. B. Fehlen einer Vorzugsausfallrichtung) ist ein Ausschluss von Fehlern in der Elektronik kaum möglich. Bei Nichtgewährleistung des Ausschlusses von Fehlern muss der Ausschluss von Gefährdungen nachgewiesen werden oder die Folgen derart begrenzt werden, dass praktisch keine Gefährdung entsteht (Gefährdungsbegrenzung).

Eine wesentliche Maßnahme zur Gewährleistung der Sicherheit ist die Verdopplung. Hierbei werden auf zwei Rechnerkanälen gleichzeitig die gleichen Rechenoperationen ausgeführt und anschließend die Ergebnisse miteinander verglichen (Abb. 3.13). Eine derartige Gestaltung wird 2-von-2-Konfiguration (2v2) genannt. Dabei müssen beide Kanäle voneinander unabhängig und der Vergleich sicher sein. Stellt der Vergleich eine Differenz in den Ergebnissen fest, so erfolgt die Reaktion zur sicheren Seite derart, dass das Rechnerpaar von der übrigen Anlage abgetrennt wird.

Der Vergleich kann nichts feststellen, wenn beide Kanäle in gleicher Weise versagen. Die Wahrscheinlichkeit des zufälligen Eintretens dieser Situation ist jedoch so gering, dass damit nicht gerechnet wird (Fehlerausschluss). Um ein solches Ereignis durch einen gleichartigen Einfluss auf beide Kanäle (systematischer Fehler) auszuschließen, müssen die Kanäle konstruktiv und schaltungstechnisch unabhängig sein.

Abb. 3.13 Verdopplung in der Informationsverarbeitung



3.7.3 Erhöhung der Verfügbarkeit

Die Sicherheitsabschaltung von Rechnern in 2v2-Konfiguration (Abb. 3.14a) bedeutet den totalen oder teilweisen Ausfall des Stellwerks. Bei Bahnen untergeordneter Bedeutung (z. B. Werkbahnen) ist das tolerierbar. Um bei höheren Anforderungen an die Verfügbarkeit den Betrieb dennoch nicht in der Rückfallebene weiterführen zu müssen, werden Redundanzen vorgehalten, die die volle Funktionalität, ggf. nach kurzer Unterbrechung zur Umschaltung, weiterführen können. Das entspricht einem sicherheitsrelevanten System mit Reserve (Abb. 3.2).

Eine Möglichkeit der Umsetzung ist die 2(2v2)-Konfiguration (Abb. 3.14b). Wird das erste Rechnerpaar abgeschaltet, übernimmt ein zweites Rechnerpaar den Betrieb. Nachteilig ist hierbei, dass insgesamt vier Rechnerkanäle benötigt werden.

Eine modernere und heute hauptsächlich angewandte Methode zur Gewährleistung von Sicherheit und Verfügbarkeit ist die 2v3-Konfiguration (Abb. 3.14c). Hierbei arbeiten ständig drei Kanäle parallel und vergleichen sich gegenseitig. Ermittelt ein Rechner ein abweichendes Ergebnis, so ist dieser durch Mehrheitsentscheidung der anderen beiden identifizierbar und wird abgeschaltet.

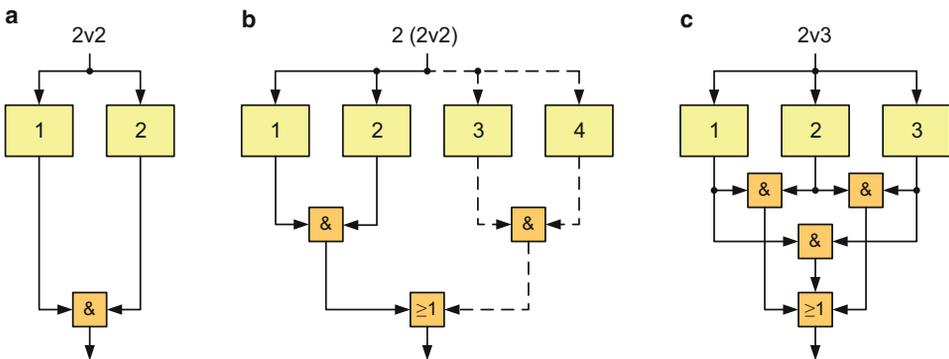


Abb. 3.14a–c Rechnerkonfigurationen zur Gewährleistung von Sicherheit und Verfügbarkeit

Zur Fahrwegsicherung im Schienenverkehr gehören Sensoren und Aktoren, mit denen die Schnittstelle zum Prozess hergestellt wird. Im Wesentlichen sind das die Komponenten der Ortung, die beweglichen Fahrwegelemente und die Signalisierung.

4.1 Ortung

4.1.1 Grundlagen

Unter dem Begriff Ortungskomponenten werden alle Komponenten zusammengefasst, die eine Messwerterfassung von Objekten aller Art im Lichtraum (siehe auch Abschn. 2.2.1.1) vornehmen. Vorrangig werden dabei systemeigene Fahrzeuge betrachtet, aber auch die anderen Objektarten zählen dazu.

4.1.1.1 Aufgaben der Ortung

Für die Sicherung des Schienenverkehrs ergeben sich zwei grundlegende Aufgaben zur Ortung. Zum einen muss die Freiheit des Lichtraums von systemeigenen Fahrzeugen und in einigen Fällen auch von allen anderen Objekten detektiert werden. Zum anderen muss der momentane Ort von Schienenfahrzeugen erfasst werden, um verschiedene Aktionen steuern zu können.

Überwachung des Lichtraums

Der Lichtraum ist definiert als derjenige Raum, der frei sein muss, damit Schienenfahrzeuge sicher verkehren können (siehe auch Abschn. 2.2.1.1). Da im Eisenbahnbetrieb in der Regel im Raumabstand gefahren wird, ist die Freiprüfung des Lichtraums vor Zulassung einer Zugfahrt unerlässlich. Die Überwachung betrifft alle Objektarten, wobei technisch-betrieblich meist nur die systemeigenen Fahrzeuge erfasst werden. Auf die anderen Ob-

jektarten wird nur an exponierten Stellen geprüft und ansonsten auf die Einhaltung von Verhaltensregeln vertraut.

Würde ein bewegliches Fahrwegelement unter einem Schienenfahrzeug umgestellt, bestünde die Gefahr der Entgleisung. Solche Elemente sind in erster Linie Weichen und Gleissperren, aber auch besondere Elemente wie z. B. bewegliche Brücken. Wird ein Fahrzeug auf einem beweglichen Fahrwegelement detektiert, so muss die Bewegung des Elements (z. B. das Umstellen der Weiche) verhindert werden.

Punkt förmige Erkennung von Schienenfahrzeugen

Die zweite Funktion der Ortungskomponenten ist die Erkennung von Schienenfahrzeugen an bestimmten Punkten. Dabei ist für jeden Zweck eine spezifische Aussage einzuholen. So ist beispielsweise für das Einschalten eines Bahnübergangs wesentlich, dass die Zugspitze den Einschaltpunkt erreicht hat. Für das Ausschalten des Bahnübergangs dagegen ist wesentlich, dass das Zugende den Bahnübergang verlassen hat.

4.1.1.2 Unmittelbarkeit der Ortung

Für die Überwachung des Lichtraums kann unterschieden werden, ob der Aufenthalt eines Objekts im betrachteten Raum unmittelbar oder mittelbar detektiert wird. Dies gilt sowohl für technische als auch nichttechnische Ortung.

Unmittelbare Ortung

Bei der unmittelbaren Ortung (direkte Erkennung) wird das Vorhandensein von Objekten zu jedem Zeitpunkt durch die Messeinrichtung bestimmt. Anwendungen dafür sind z. B. die Gleisfreimeldung mit Gleisstromkreisen (technisch) oder durch Hinsehen (nichttechnisch).

Mittelbare Ortung

Bei der mittelbaren Ortung (indirekte Erkennung) wird dagegen das Eintreten eines Objekts in einen definierten Bereich und/oder das Austreten aus diesem bestimmt. Durch logische Verknüpfung und Speicherung der Informationen wird auf den Belegungszustand geschlossen. Anwendung findet das z. B. bei der Freimeldung mit Achszählern (technisch) oder der Zugschlussbeobachtung (nichttechnisch).

4.1.1.3 Informationsinhalt der Ortung

Die Ortung kann herangezogen werden, um verschiedene Aussagen zu treffen. Die praktisch bedeutsamsten sind:

- Lichtraum ist frei/belegt von Schienenfahrzeugen,
- Lichtraum ist frei/belegt von anderen detektierbaren Objekten,
- Schienenfahrzeug hat einen definierten Punkt erreicht und
- Schienenfahrzeug hat einen definierten Punkt verlassen.

4.1.2 Wirkprinzipien

4.1.2.1 Punktförmige Detektoren

Punktförmig wirkend sind diejenigen Detektoren, die an einem bestimmten Punkt das Passieren eines Schienenfahrzeugs erkennen. Sie können als einfaches Gleisschaltmittel oder zur Achszählung verwendet werden. Zur Achszählung eignen sich dabei nur diejenigen, die die besondere Anforderung der Einzelerkennung von Achsen erfüllen und darüber hinaus richtungsselektiv orten. Es werden verschiedene physikalische Wirkprinzipien angewandt.

Mechanisch

Mechanische Detektoren arbeiten mit einem oder mehreren im Lichtraum (meist im Bereich der Schiene) angebrachten beweglichen Elementen. Bei Betätigung, in der Regel durch das Rad eines vorbeifahrenden Fahrzeugs, wird an ihnen ein elektrischer Kontakt hergestellt.

Das mechanische Wirkprinzip wird heute nur noch selten angewandt. Es gibt jedoch auch moderne Bauformen, die sogar zur Richtungserkennung in der Lage sind. Mechanische Detektoren werden wegen ihrer Einfachheit häufig bei automatischen Warnanlagen für Gleisbaustellen verwendet, um einen sich nähernden Zug zu erkennen.

Hydraulisch/Pneumatisch

Hydraulische oder pneumatische Detektoren haben heute kaum noch Bedeutung. Sie werden am Schienenfuß befestigt und erkennen die Durchbiegung der Schiene bei Belastung durch das Rad. Die sich biegende Schiene drückt auf eine Membran, die in einer Druckkammer eine Flüssigkeit oder ein Gas bewegt. Dieses löst seinerseits einen elektrischen Kontakt aus.

Magnetisch

Beim magnetischen Wirkprinzip ist ein magnetischer Kreis so eingestellt, dass sich im Ruhezustand eine magnetische Brücke im Gleichgewicht befindet; am Schalter entsteht so kein magnetischer Fluss (Abb. 4.1a). Bewegt sich ein Rad in die Nähe, wird die magnetische Brücke verstimmt und durch das nun am Schalter anliegende Magnetfeld schließt dieser (Abb. 4.1b).

Induktiv

Das induktive Wirkprinzip ist das heute am häufigsten angewandte bei punktförmigen Detektoren am Gleis. Von den möglichen und angewandten Prinzipien wird hier das der räumlichen Veränderung eines Magnetfeldes beschrieben.

Um eine stromdurchflossene Spule (Sender) baut sich ein Magnetfeld auf. Sender und Empfänger sind so ausgerichtet, dass die Feldlinien des Magnetfeldes nicht senkrecht auf die Empfängerspule treffen, sondern in einem Winkel $\alpha > 0$ (Abb. 4.2a), wodurch im Empfänger eine Spannung induziert wird.

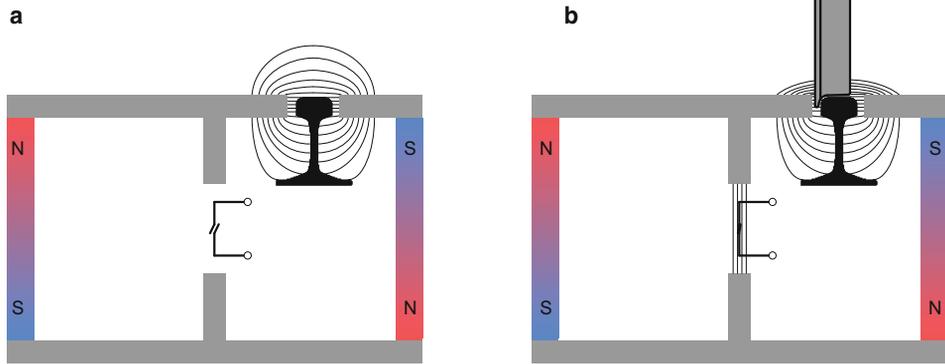


Abb. 4.1a,b Magnetisches Wirkprinzip

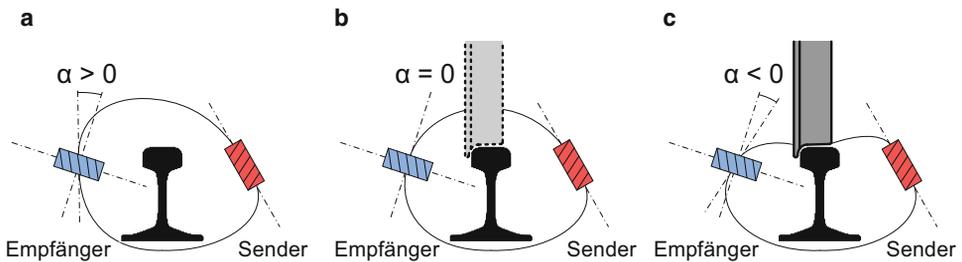


Abb. 4.2a–c Anwendung des induktiven Wirkprinzips

Bewegt sich ein Rad in das Magnetfeld, so verändern sich die Feldlinien durch die Eisenmasse des Rades. Ist das Rad ca. 200 mm von den Spulen entfernt, so treffen die Feldlinien senkrecht auf die Empfängerspule und die induzierte Spannung beträgt Null (Abb. 4.2b). Befindet sich das Rad auf dem Detektor, so werden die Feldlinien noch weiter verändert, so dass der Auftreffwinkel $\alpha < 0$ wird und sich dadurch die Richtung der induzierten Spannung gegenüber dem Grundzustand ändert (Abb. 4.2c).

Die Änderung der Polarität der induzierten Spannung wird ausgewertet. Das Prinzip reagiert sehr empfindlich, weshalb es gut zur Erkennung einzelner Räder geeignet ist und zur Achszählung (siehe auch Abschn. 4.1.4) verwendet wird.

Visuelle Beobachtung

Ebenfalls punktförmig wirkend ist die Beobachtung, ob ein Schienenfahrzeug einen bestimmten Punkt erreicht oder passiert hat. Dazu gehört auch die visuelle Prüfung des Zugschlussignals (Abb. 4.3), wodurch die Zugvollständigkeit festgestellt wird. In einem System auf höherer Ebene (z. B. Blocksystem, siehe auch Abschn. 5.3) kann daraus eine mittelbare Ortung hergestellt werden.

Abb. 4.3 Zugschlusssignal an einem Fahrzeug



4.1.2.2 Linienförmige Detektoren

Mit linienförmigen Detektoren können Schienenfahrzeuge in einem definierten Bereich entlang des Gleises erkannt werden.

Galvanisch

Das am häufigsten angewandte linienförmige Erkennungsprinzip ist das galvanische. Hierbei stellen Räder und Achse eine elektrisch leitende Verbindung zwischen beiden Schienen her und ermöglichen so einen Stromfluss zwischen zwei an den Schienen angebrachten elektrischen Polen. Durch die Auswertung des Stromflusses wird auf das Vorhandensein von Fahrzeugen im Gleis geschlossen (Abb. 4.4). Anwendung findet das Prinzip beim Gleisstromkreis (siehe auch Abschn. 4.1.3).

4.1.2.3 Flächenförmige Detektoren

Flächenförmige Detektoren erkennen Objekte, die sich in einer Ebene befinden bzw. sich durch diese hindurch bewegen.

Abb. 4.4 Galvanisches Wirkprinzip

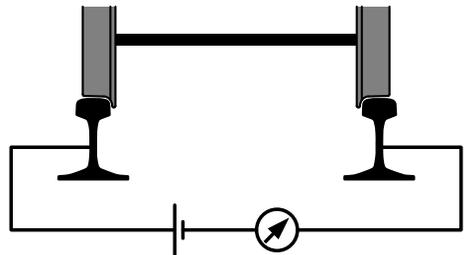
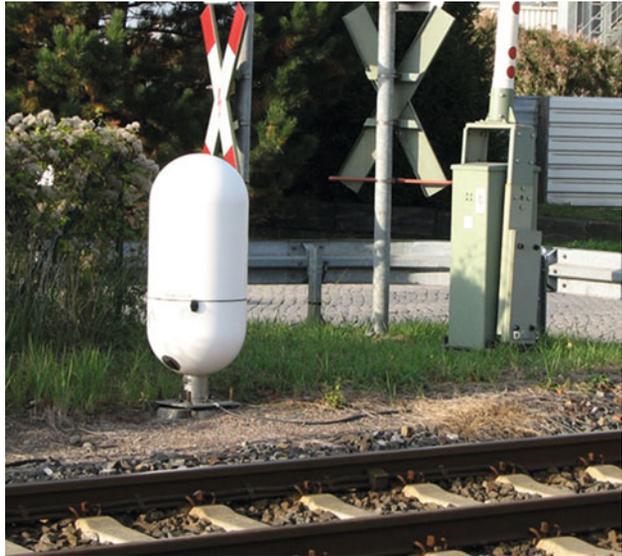


Abb. 4.5 Radarscanner an einem Bahnübergang



Elektromagnetische Wellen

Mittels Laser, Radar oder Infrarot wird eine Lichtschranke gebildet oder periodisch eine Fläche abgetastet. Auch eine Kombination aus mehreren Lichtschranken ist möglich.

Ein Anwendungsbeispiel ist der Radarscanner für Bahnübergänge (Abb. 4.5), der den Gefahrenraum in ca. 1 m Höhe scannt. Durch Reflexion der Strahlen entsteht ein Bild der zu prüfenden Fläche, die mit einem gespeicherten Bild für den Freizustand verglichen wird. Übersteigt die Abweichung vom gespeicherten Bild ein definiertes Maß, gilt der Bahnübergang als nicht frei. Weitere Anwendungen für elektromagnetische Wellen sind die Überwachung des Lichtraums an Bahnsteiggleisen, was bei Schienenverkehrssystemen des automatischen Fahrens zur Anwendung kommt.

Mechanisch

Systemfremde Objekte können auch mechanisch detektiert werden. Eine Anwendung dafür ist z. B. das Spannen eines Netzes von stromdurchflossenen Drähten geringer Reißfestigkeit entlang einer Fläche, die den zu prüfenden Lichtraum umgibt (Abb. 4.6). Durchdringt ein Objekt ausreichender Größe mit genügend Kraft diese Fläche, so kommt es zum Reißen der Drähte und damit zur Unterbrechung des Stromflusses.

Eine andere Möglichkeit der mechanischen Detektion sind Kontaktmatten zwischen und neben den Schienen, die im Gleis befindliche Personen und Gegenstände aufgrund ihrer Gewichtskraft erkennen. Auch dieses Prinzip findet bei Schienenverkehrssystemen des automatischen Fahrens Anwendung.

Abb. 4.6 Anlage zur Erkennung von Erdbeben und Lawinen mittels Reißdrähten



4.1.2.4 Räumliche Detektoren

Räumliche Detektoren überwachen einen Raum und werten hier das Vorhandensein bestimmter Objekte aus.

Induktiv

Beim induktiven Wirkprinzip wird die ferromagnetische Masse von Fahrzeugen durch Änderung der Induktivität einer Spule erkannt. Derartige Fahrzeugdetektoren bestehen aus einer im Fahrweg befindlichen Induktivität L , die zusammen mit einem Kondensator C einen Schwingkreis bildet (Abb. 4.7). Es stellt sich die Schwingfrequenz f_0 ein, die nach folgender Formel berechnet wird:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Abb. 4.7 Induktiver Fahrzeugsensor mit symmetrischer Doppelschleife

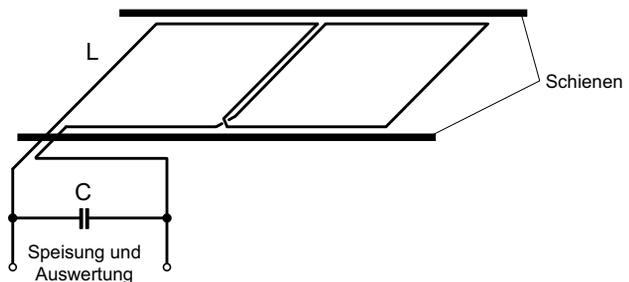




Abb. 4.8 Monitore in einem Stellwerk zur Fernbeobachtung von Gleisabschnitten

Beim Befahren durch ein Fahrzeug verändert sich die Induktivität L . Die dadurch entstehende Änderung der Frequenz des Schwingkreises wird in der Auswerteeinrichtung erkannt. Um bei Anwendungen im Gleis die induktiven Auswirkungen von Fremdströmen zu neutralisieren, wird meist eine symmetrische Doppelschleife verwendet. Da alle Objekte mit einer genügend großen ferromagnetischen Masse erkannt werden, eignet sich das System sowohl für die Erkennung von Schienen- als auch Straßenfahrzeugen.

Visuelle Beobachtung

Die älteste Möglichkeit der Erkennung von Objekten im Lichtraum ist nichttechnischer Art. Durch menschliche Beobachtung wird der Zustand eines Raumes geprüft. Dabei handelt es sich um eine unmittelbare Ortung (siehe auch Abschn. 4.1.1.2). Vorteilhaft hierbei ist, dass der Mensch in der Lage ist, auch außergewöhnliche Situationen zu beurteilen. Nachteilig sind dagegen die relativ hohe Fehlerrate durch Irrtum oder Nachlässigkeit (siehe auch Abschn. 3.5) und der hohe Personalaufwand. Zudem wird durch die Notwendigkeit des örtlichen Personals eine Zentralisierung erschwert.

Durch Videoübertragung kann aber auch eine Fernbeobachtung eingerichtet werden (Abb. 4.8). Technische Verfahren der Bilderkennung werden (noch) nicht für sicherheitsrelevante Ortungsaufgaben im Schienenverkehr verwendet.

4.1.3 Gleisfreimeldung mittels Gleisstromkreis

4.1.3.1 Funktionsprinzip

Der Gleisstromkreis folgt dem galvanischen Wirkprinzip. Die Schienen fungieren hierbei als elektrischer Leiter. Bei besetztem Gleisabschnitt fließt über die Räder und Achsen

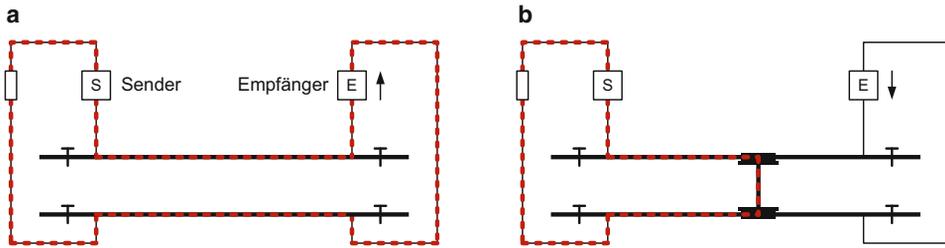


Abb. 4.9 Prinzip des Gleisstromkreises im Zustand. **a** frei, **b** belegt

ein Strom, bei freiem Gleisabschnitt nicht. Als Auswerteeinrichtung in Gleisstromkreisen werden Motorrelais oder elektronische Schaltungen angewandt.

Gleisstromkreise arbeiten nach dem Ruhestromprinzip. Dabei liegt in Grundstellung (freies Gleis) ein geschlossener Stromkreis vor. Den Stromfluss (Ruhestrom) wertet der Empfänger aus. Ist der Empfänger ein Gleisrelais, ist dieses angezogen (Abb. 4.9a). Befindet sich eine Achse im Abschnitt, wird der Stromkreis kurzgeschlossen und es fließt kein Strom über den Empfänger (Gleisrelais fällt ab), wodurch der Abschnitt als besetzt gemeldet wird (Abb. 4.9b). Somit wird der Zustand mit dem höheren Energieniveau (Stromfluss bzw. Gleisrelais angezogen) für die Freigabe genutzt, der energieärmere Zustand (kein Stromfluss bzw. Gleisrelais abgefallen) für die Sperrung.

Die weitaus häufigste Störung ist der Spannungsausfall oder die Unterbrechung des Stromkreises. Dieser Zustand wirkt sich beim Ruhestromprinzip dahingehend aus, dass die Unterbrechung des Stromflusses ein besetztes Gleis anzeigt. Somit kommt es bei den am häufigsten anzunehmenden Fehlern zu einer fehlerhaften Besetztmeldung.

Beim theoretisch ebenfalls möglichen Arbeitsstromprinzip würde im freien Zustand kein Strom fließen und bei Besetzung durch die Achse ein Stromfluss erfolgen. Spannungsausfall oder Stromkreisunterbrechung würden hier ein freies Gleis melden, was bei tatsächlicher Besetzung gefährlich wäre. Deshalb kommt das Arbeitsstromprinzip bei Gleisstromkreisen nicht zur Anwendung.

Die Anordnung von Gleisstromkreisen im Bereich von Verzweigungen ist möglich. Dazu sind an Weichen und Kreuzungen zusätzliche galvanische Verbindungen und Trennungen notwendig (Abb. 4.10).

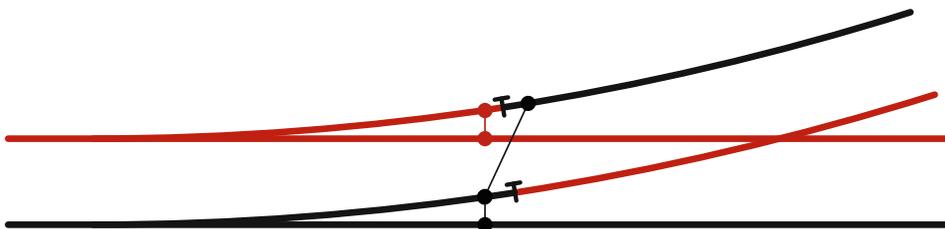
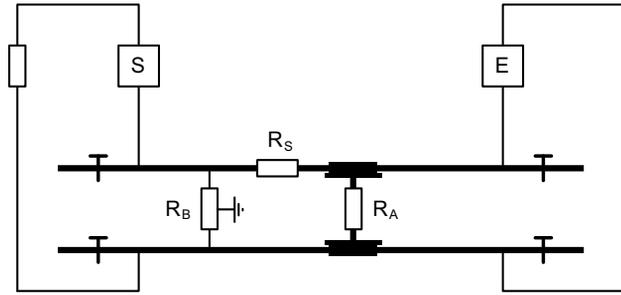


Abb. 4.10 Prinzip der Isolierung einer einfachen Weiche

Abb. 4.11 Widerstände am Gleisstromkreis



4.1.3.2 Widerstände im Gleisstromkreis

Am Gleisstromkreis sind mehrere elektrische Widerstände von Bedeutung (Abb. 4.11). Der **Schienenlängswiderstand** R_S ist der Widerstand der stromdurchflossenen Schiene, der eine ohmsche und eine kapazitive Komponente besitzt. Die ohmsche Komponente ist bei Gleichstromspeisung proportional zur Länge und vernachlässigbar klein. Bei Speisung mit Wechselstrom gewinnen mit steigender Frequenz die ohmsche Komponente aufgrund des Skin-Effekts sowie die induktive Komponente an Bedeutung. Der Widerstand steigt mit zunehmender Länge exponentiell an.

Der **Bettungswiderstand** R_B ist derjenige Widerstand, mit dem die Schienen gegeneinander und gegen Erde isoliert sind. Er besitzt eine ohmsche und eine kapazitive Komponente und ist stark von der Witterung, von konstruktiven Parametern sowie dem Zustand des Oberbaus abhängig und kann um den Faktor 100 schwanken.

Der **Achsnebenschlusswiderstand** R_A ist der Widerstand der elektrischen Verbindung, die eine im Gleisstromkreis befindliche Achse herstellt. Er wird maßgeblich durch die Kontaktfläche zwischen Rad und Schiene bestimmt. Dazu gehören die konstruktive Beschaffenheit und Verschmutzung der Rad- und Schienenoberflächen, die Achslast sowie die Anzahl der im Abschnitt befindlichen Achsen. Die Widerstände von Achse und Rad sind in der Regel vernachlässigbar gering. Allerdings ist hierfür auch eine durchgehende Fahrzeugachse notwendig, die beide Räder galvanisch miteinander verbindet. Bei einigen modernen Schienenfahrzeugen, bei denen jedes Rad eine separate Achse besitzt (vor allem Stadtbahnfahrzeuge), sind die Achsen galvanisch miteinander zu verbinden, damit der Achsnebenschluss funktioniert.

Aus Schienenlängswiderstand und Bettungswiderstand ergibt sich eine längenabhängige Dämpfung des Gleisstromkreises und damit eine Grenze für ihren sinnvollen Einsatz. Diese liegt, je nach eingesetzter Technik, bei ca. 1000 m. Durch Mitteneinspeisung und Empfänger an beiden Enden kann die Länge verdoppelt werden. Größere Längen können freigeprüft werden, indem mehrere Gleisstromkreise hintereinander angeordnet (kaskadiert) werden.

Durch zu geringen Bettungswiderstand können fehlerhafte Meldungen des Besetztzustandes entstehen, die sich betriebshemmend auswirken. Probleme ergeben sich in diesem Zusammenhang durch Verunreinigung des Schotterbettes z. B. mit kleinvolumigen La-

dungsverlusten. Unter anderem deshalb ist eine regelmäßige Reinigung des Schotterbettes erforderlich.

Ein zu hoher Achsnebenschlusswiderstand, z. B. aufgrund von Rost, kann dagegen zu gefährlichem Versagen führen, indem eine Belegung durch Schienenfahrzeuge nicht erkannt wird. Solchen Gefährdungen wird vorgebeugt, indem durch Gleisstromkreise freigeprüfte Gleise regelmäßig (z. B. ein Mal pro Tag) befahren werden müssen. Eine andere Möglichkeit ist die teilweise im Ausland angewandte Aufbringung einer korrosionsfreien Metallschicht, durch deren Rauigkeit aber die Geschwindigkeit auf diesem Gleis drastisch herabgesetzt werden muss. Eine weitere Möglichkeit ist die Überlagerung der Gleisspannung durch Impulse höherer Spannung, mit denen die Isolierschichten durchschlagen werden sollen.

Zu einem weiteren Problem kann Sand führen, der beim Bremsen zur Erhöhung des Reibwertes aufgebracht wird. Wird dabei vor allen Achsen bis zum Stillstand gesandet, besteht die Gefahr, dass durch den Sand zwischen Schiene und Rad der Achsnebenschlusswiderstand unzulässig hoch wird. Hiergegen helfen nur betriebliche Maßnahmen, die darin bestehen können, dass das Sanden bis zum Stillstand verboten ist. Sollte es in einer Notsituation dennoch notwendig sein, muss der Fahrdienstleiter davon verständigt werden.

4.1.3.3 Fremdbeeinflussung von Gleisstromkreisen

Der Gleisstrom wird oft von anderen Strömen im Gleis überlagert. Dazu gehören insbesondere folgende:

- **Ströme anderer Gleisstromkreise:** Da im Wesentlichen alle Gleise frei zu prüfen sind, ergibt sich daraus eine Anordnung mehrerer Gleisstromkreise hinter- und nebeneinander. Zur Abgrenzung von Gleisstromkreisen gegeneinander gibt es verschiedene Lösungen (siehe auch Abschn. 4.1.3.4).
- **Triebrückströme:** Auf Strecken mit elektrischer Traktion fungiert die Schiene als Rückleiter für die Triebströme. Hier ist sicherzustellen, dass die Empfangseinrichtung des Gleisstromkreises die Triebrückströme nicht fälschlicherweise als Signal des Gleisstromkreises auswertet. Dies geschieht durch Auswahl von Frequenzen, die im Triebrückstromspektrum nicht vorhanden sind. Die Empfangseinrichtungen der Gleisstromkreise müssen dazu sehr frequenzselektiv arbeiten.
- **Induktive Einkopplungen von Starkstromsystemen:** Im Gleisbereich verlaufen häufig Leitungen der Leistungsenergieversorgung, die den Gleisstromkreis induktiv beeinflussen können. Durch Einhalten eines Mindestabstandes und Herstellung möglichst rechtwinkliger Kreuzungen kann eine induktive Entkopplung weitgehend erreicht werden.
- **Rückströme der Zugsammelschiene:** Die vom Triebfahrzeug bereitgestellte elektrische Energie für Verbraucher im Zug wird über die Zugsammelschiene in die Wagen geführt. Als Rückleiter werden dabei die Schienen benutzt. Gleisstromkreise müssen so konstruiert sein, dass sie davon nicht beeinflusst werden.

Die Verhinderung von Fremdbeeinflussung ist ein wesentlicher Punkt in der Projektierung von Gleisstromkreisen und stellt einen erheblichen Aufwand dar.

4.1.3.4 Abgrenzung von Gleisstromkreisen gegeneinander

Isolierstoß

Am Isolierstoß wird die Schiene mechanisch unterbrochen und ein isolierendes Material eingefügt (Abb. 4.12). Isolierstöße stellen eine Unstetigkeit in der Schiene dar, die sich negativ auf den Fahrzeuglauf auswirkt. Zur Verminderung dessen wurden schräge Isolierstöße in einem Winkel von 30° zur Schiene getestet, was sich jedoch oberbautechnisch nicht bewährt hat.

Eine häufige Störung an Gleisstromkreisen mit Isolierstößen ergibt sich durch das Überwalzen von Isolierstößen (Abb. 4.13). Hierbei wird durch die Fahrzeugräder der Schienenkopf derart bearbeitet, dass sich eine metallische Überbrückung des Isolierstoßes ergibt, der einen Kurzschluss mit dem benachbarten Gleisstromkreis hervorruft.

Bei elektrischer Traktion ergeben sich Konflikte mit den Triebrückströmen, die den Isolierstoß passieren müssen. Bei einschieniger Isolierung werden die Triebrückströme über die nicht isolierte Schiene geleitet (Erdschiene). Damit ein kurzgeschlossener Isolierstoß erkannt wird, wird die Erdschiene an jedem Isolierstoß mittels Diagonalverbinder gewechselt (Abb. 4.14). Somit führt ein derartiger Kurzschluss immer zur Besetzmeldung des Gleisstromkreises und wirkt damit zur sicheren Seite.

Abb. 4.12 Isolierstoß, Seitenansicht



Abb. 4.13 Isolierstoß, Draufsicht, an dem die Unstetigkeit der Schiene und das beginnende Überwalzen erkennbar sind



Abb. 4.14 Einschienige Isolierung mit Diagonalverbinder

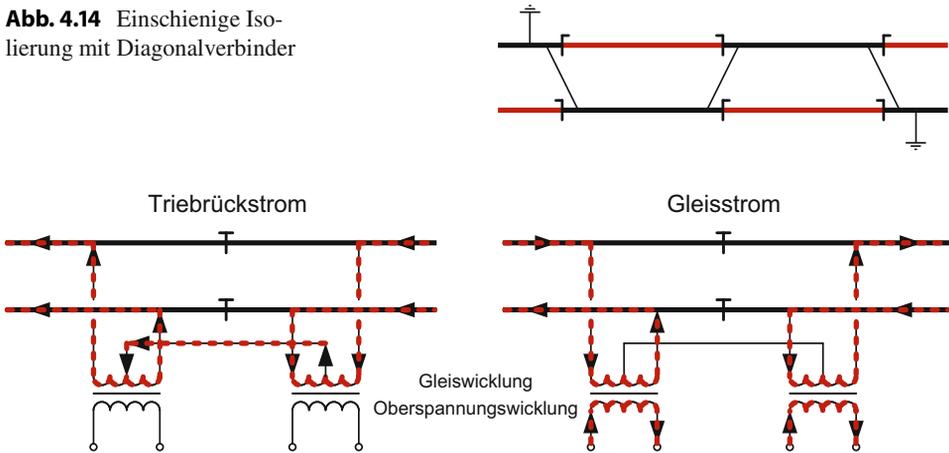


Abb. 4.15 Zweischienige Isolierung mit Drosselstoßtransformator

In vielen Fällen müssen jedoch beide Schienen für den Triebrückstrom zur Verfügung stehen. Hierfür wird die zweischienige Isolierung angewandt. Sie erfordert eine relativ aufwändige Überbrückung der Isolierstöße mittels Drosselstoßtransformatoren (Abb. 4.15).

Unter der Voraussetzung, dass die Triebrückströme symmetrisch auf beide Schienen verteilt sind und die Gleiswicklung genau mittig durch den Mittenverbinder geteilt wird, gleichen sich die durch den Triebrückstrom induzierten Magnetfelder in der Gleiswicklung aus. Im Kern des Transformators entsteht dadurch kein magnetischer Fluss, weshalb durch die Triebrückströme keine Spannung in die Oberspannungswicklung induziert wird.

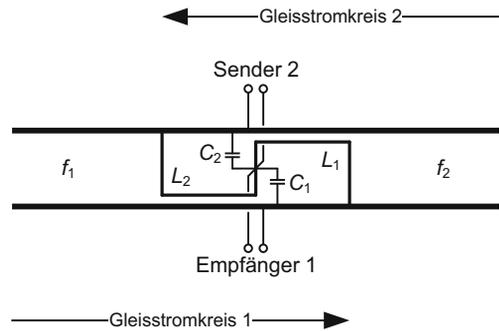
Die Ströme des Gleisstromkreises dagegen durchfließen die Gleiswicklung vollständig in einer Richtung und induzieren durch die Kopplung mit dem Eisenkern auf der Empfangsseite des Gleisstromkreises eine Spannung in der Oberspannungswicklung. Auf der SpeiseSeite des Gleisstromkreises wird umgekehrt die Spannung von der Oberspannungswicklung in die Gleiswicklung induziert. Bei symmetrischem Aufbau bleibt der Mittenverbinder aufgrund des Brückenprinzips frei von Strömen des Gleisstromkreises.

Elektrischer Trennstoß

Bei elektrischen Trennstößen wird der Gleisstromkreis in seiner Länge durch Schienenverbinder mit geringem Widerstand begrenzt. Dadurch sind Isolierstöße nicht notwendig. Das Prinzip ist jedoch nur bei Tonfrequenz-Gleisstromkreisen (siehe auch Abschn. 4.1.3.5) anwendbar.

Die heute am häufigsten angewandte Bauform ist der in Abb. 4.16 dargestellte S-förmige Resonanzverbinder („S-Verbinder“). Durch den Kondensator und die Induktivität der parallel zum Gleis verlaufenden Verbinderschleife entstehen zwei Resonanzkreise mit verschiedenen Frequenzen. Diese werden so eingestellt, dass die Resonanzfrequen-

Abb. 4.16 S-förmiger Resonanzverbinder



zen den Speisefrequenzen der angrenzenden Gleisstromkreise entsprechen, womit sie die Gleisstromkreise begrenzen. Dabei entsteht eine geringfügige Überlappung, die sicherheitsrelevant ist, da es keine scharfe Grenze gibt. Somit können keine nicht überwachten Bereiche entstehen.

4.1.3.5 Speisung von Gleisstromkreisen

Die Speisung von Gleisstromkreisen kann mit Gleich- oder Wechselspannung unterschiedlicher Frequenz erfolgen:

Gleichspannung

Mit Gleichspannung betriebene Gleisstromkreise sind einfach und kostengünstig, jedoch anfälliger gegen Fremdbeeinflussung. Sie werden heute nur noch bei einfachen Verhältnissen wie z. B. bei Werkbahnen angewandt.

Niederfrequente Wechselspannung

Gleisstromkreise mit Wechselspannung geringer Frequenz arbeiten bis etwa 150 Hz. In diesem Frequenzbereich befinden sich auch die Triebrückströme, so dass die Frequenz des Gleisstromkreises sorgfältig zu wählen ist. Sie muss in den Lücken der Oberwellen des Traktionsstroms liegen.

Tonfrequente Wechselspannung

Gleisstromkreise mit Wechselspannung höherer Frequenz arbeiten im Bereich bis etwa 20 kHz. Man spricht auch von Tonfrequenz-Gleisstromkreisen, da es sich um Frequenzen im menschlichen Hörspektrum handelt. Im Spektrum der Triebrückströme sind diese Frequenzen nicht enthalten, so dass entsprechende Beeinflussungen praktisch nicht auftreten. Vorteilhaft ist der Verzicht auf Isolierstöße, nachteilig wirkt sich der größere Schienenlängswiderstand aus (siehe auch Abschn. 4.1.3.2).

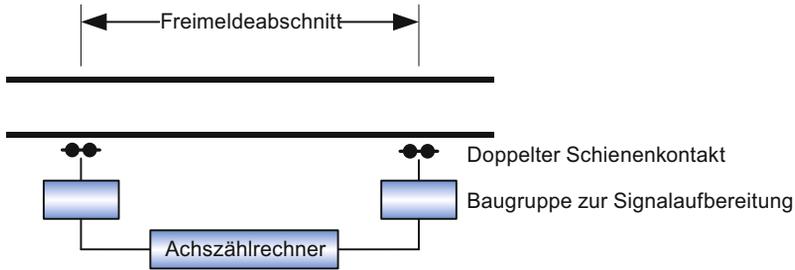


Abb. 4.17 Aufbau eines Achszählkreises

4.1.4 Gleisfreimeldung mittels Achszähler

4.1.4.1 Funktionsprinzip

Achszähler bestimmen den Belegungszustand eines Freimeldeabschnitts indirekt über die Zählung der ein- und ausgefahrenen Achsen. Ist die Differenz Null, wird ein freier Abschnitt angenommen. Der Schienenkontakt des Achszählers detektiert zwar das Rad und nicht die Achse eines Fahrzeugs, es wird jedoch davon ausgegangen, dass zu jedem Rad eine Achse gehört.

Achszählkreise bestehen aus folgenden Teilen (Abb. 4.17):

- Der **doppelte Schienenkontakt** ist ein punktförmiger, auf Räder reagierender Detektor im Gleis. Er muss zur Einzelerkennung von Rädern (Achsen) und zur Richtungserkennung in der Lage sein. Die Richtungserkennung wird in der Regel durch die Auswertung der Signale zweier unmittelbar benachbarter Sensorsysteme im Schienenkontakt realisiert (Abb. 4.18).
- Die **Baugruppe zur Signalaufbereitung** erzeugt aus dem schwachen analogen Signal der beiden Sensorsysteme die digitalen Zählimpulse zur Weiterleitung an den Achs-

Abb. 4.18 Realisierung eines doppelten Schienenkontaktes



zählrechner. Die Baugruppe kann in einem separaten Gehäuse direkt neben dem Gleis untergebracht oder im Zählpunkt integriert sein.

- Der **Achszählrechner** setzt die Informationen mehrerer Zählpunkte zueinander in Beziehung und ermittelt aus der Addition eingefahrener und Subtraktion ausgefahrener Achsen den Belegungszustand. Ist die Summe Null, wird angenommen, dass der Abschnitt frei ist.

Meist werden Mehrabschnitts-Achszähler angewandt. Dabei werden die Zählinformationen eines Zählpunktes für beide an den Zählpunkt angrenzende Freimeldeabschnitte verwendet. Auch die Begrenzung eines Freimeldeabschnitts durch mehr als zwei Zählpunkte ist möglich und bei Verzweigungen (Weichen) unumgänglich.

4.1.4.2 Aufbau und Funktion des Schienenkontaktes

Der Schienenkontakt funktioniert in der Regel nach dem induktiven Wirkprinzip (siehe auch Abschn. 4.1.2.1), indem infolge der ferromagnetischen Masse des Rades die Feldlinien eines Magnetfeldes verändert werden und diese Änderung registriert wird. Die Richtungserkennung wird durch Doppelung des Sensors und Auswertung der Reihenfolge des Ansprechens realisiert (Abb. 4.19).

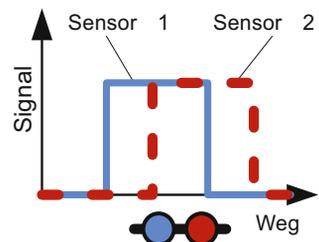
4.1.4.3 Umgang mit Zählfehlern

Typische Zählfehler sind die Nichterkennung und die Mehrfachzählung von Achsen sowie das Zählen nicht vorhandener Achsen. Gefährlich im Sinne einer fehlerhaften Freimeldung kann aber erst das Zusammentreffen mehrerer Fehler in bestimmter Kombination wirken. Dies ist jedoch so wenig wahrscheinlich, dass es praktisch ausgeschlossen wird (Fehlerausschluss). Zählfehler führen zunächst zu einer fehlerhaften Besetztmeldung des Abschnitts und wirken sich damit zur sicheren Seite aus.

Achszählgrundstellung

Um einen fehlerhaft besetzt gemeldeten Achszählabschnitt wieder in Grundstellung zu bringen, sind bestimmte Voraussetzungen zu erfüllen, damit keine Grundstellung eines tatsächlich besetzten Abschnitts erfolgt. In jedem Fall darf Grundstellung nur dann durchgeführt werden, wenn der Freizustand auf andere Art zweifelsfrei festgestellt wurde. Das

Abb. 4.19 Ansprechen der Sensoren eines doppelten Schienenkontaktes in Abhängigkeit vom Standort des Rades (idealisiert)



kann durch Personal vor Ort oder durch das Befahren auf Sicht einer vor der Grundstellung durchgeführten Fahrt erfolgen.

Folgende Sicherheitsvorkehrungen können zusätzlich bei einer Grundstellung gefordert werden:

- technische Registrierung und schriftliche Begründung durch den Bediener,
- letzte Aktion vor der Grundstellung muss das Auszählen einer Achse sein,
- alle den Abschnitt begrenzenden Zählpunkte müssen befahren worden sein.

Automatische Fehlerkorrektur

Um die Verfügbarkeit von Achszählabschnitten zu erhöhen ist es denkbar, bei Fehlzählungen eines Zählpunktes diesen durch benachbarte Zählpunkte zu korrigieren. Da sich jedoch die moderne Achszähltechnik als sehr zuverlässig erwies und eine Korrektur zu Schwierigkeiten in der Stellwerkslogik führe (siehe auch Abschn. 5.2.5.1), wurde zunächst auf derartige Fehlerkorrekturvorrichtungen verzichtet [KI08]. Mittlerweile existieren Stellwerkstechniken, die für die Freimeldung der freien Strecke Fehlerkorrekturen anwenden.

4.1.5 Anwendung von Gleisstromkreisen und Achszählern

Gleisstromkreise und Achszähler haben ihre spezifischen Vor- und Nachteile. Eine Gegenüberstellung zeigt Tab. 4.1.

Seit es Mitte der 1990er Jahre gelang, Achszähler ausreichend zuverlässig zu gestalten, werden bei der Deutschen Bahn fast ausschließlich Achszähler für Neuausrüstungen verwendet. Bis dahin wurden sie vorrangig für die Freimeldung von Streckengleisen eingesetzt, bei denen aufgrund der großen Länge der Bettungswiderstand problematisch für Gleisstromkreise ist. Manche europäische Infrastrukturbetreiber stehen Achszählern kritisch gegenüber. So werden in Westeuropa fast ausschließlich und in Osteuropa vorrangig Gleisstromkreise eingesetzt.

4.1.6 Spezialanwendung: Isolierte Schiene

4.1.6.1 Aufgabe und grundsätzlicher Aufbau

Bei durchgängiger technischer Freimeldung können Schienenfahrzeuge – wenn auch nur diskret – an jedem Punkt geortet werden. Ist eine Gleisfreimeldeanlage nicht vorhanden, muss dennoch für bestimmte Anwendungen (z. B. Fahrstraßenauflösung siehe auch Abschn. 5.2.5.1, Rückblockentsperrung siehe auch Abschn. 5.3.2.3) technisch erkannt werden, dass ein bestimmter Punkt befahren und geräumt wurde. Um das zu erkennen, dient die Isolierte Schiene (Abb. 4.20). Sie besteht aus einem kurzen Gleichstromgleisstromkreis, der länger sein muss als der längste Achsabstand und deshalb heute mit 30 m

Tab. 4.1 Gegenüberstellung von Achszählern und Gleisstromkreisen (nach [KI08])

Eigenschaft	Gleisstromkreis (GSK)	Achszähler (Az)
Anforderung an das Fahrzeug	Galvanisch verbundene, metallische Räder	Ferromagnetische Räder
Anforderung an das Gleis	Isolierung der Schienen gegeneinander (großer Bettungswiderstand)	Keine
Begrenzung der Abschnittslänge	Durch Bettungswiderstand, max. ca. 2000 m	Keine
Beschaffungskosten	Geringer als Az	Höher als GSK
Betriebskosten	Höher als Az	Geringer als GSK
Besondere Behandlung von Traktionsströmen	Notwendig	Nicht notwendig
Mindestbefahrungszyklen	1 Tag	1 Jahr
Wirkversagen durch isolierendes Material auf der Schiene (z. B. große Mengen Laub oder Sand)	Möglich	Nicht möglich
Zuverlässigkeit (Ausfälle pro Jahr)	Niederfrequente GSK: 0,4–0,5 Tonfrequente GSK: 0,1–0,2	< 0,1
Betriebsbereitschaft nach Entstörung	Sofort	Nach betrieblicher Prozedur
Sofortige Erkennung eingesetzter Fahrzeuge	Ja	Nein
Schienenbruchererkennung	Bedingt	Nein

Abb. 4.20 Symbol der Isolierten Schiene

bemessen wird, sowie einem etwa in der Mitte angeordneten Schienenkontakt. Zur Innanlage gehört die Relaischaltung der Isolierten Schiene.

Die Bedeutung der Isolierten Schiene geht zurück, da sie nur bei Hebel- und Relaisstellwerken nach tabellarischem Prinzip Anwendung findet. In modernen Anlagen wird die sichere Zugmitwirkung durch die Prüfung der Auflösereihenfolge (siehe auch Abschn. 5.2.5.1) sichergestellt, wodurch die Isolierte Schiene entbehrlich ist.

4.1.6.2 Detektierbare Informationen

Ein kurzer Gleisstromkreis allein würde bereits ausreichen, um die geforderte Information zu gewinnen. Allerdings könnte bei temporärer Verschlechterung des Bettungswiderstands (kurzzeitige Verringerung) oder kurzzeitigem Spannungsausfall eine Auslösung erfolgen, obwohl kein Schienenfahrzeug darüber gefahren ist. Um sicher zu detektieren, dass ein Schienenfahrzeug gefahren ist, dient der Schienenkontakt.

Der Schienenkontakt allein würde jedoch nur das Erreichen, nicht jedoch das Verlassen eines Punktes detektieren können. Deshalb müssen sowohl der Gleisstromkreis als auch der Schienenkontakt wirken, um die gewünschte Information zu bilden. Dabei wird durch

den Schienenkontakt das Kriterium „erste Achse“ und – wenn der Schienenkontakt gewirkt hat – durch den Gleisstromkreis das Kriterium „letzte Achse“ gebildet. Allerdings kann mit der Isolierten Schiene nur detektiert werden, dass ein Zug darüber gefahren ist; ob dieser vollständig war, kann nicht festgestellt werden.

4.1.6.3 Wirkungsweise

Die Isolierte Schiene ist eine typische und überschaubare Relaischaltung der Sicherungstechnik, an der die Theorie zu Relaischaltungen aus Abschn. 3.6 angewendet werden kann.

Abbildung 4.21 zeigt die Symbole der Isolierten Schiene, Abb. 4.22 die Schaltung in Grundstellung. Zwei Relais werten direkt die Sensoren am Gleis aus:

- Das **Gleisrelais**, das den Zustand des Gleisstromkreises auswertet und
- das **Schienenkontaktrelais**, das bei Befahren des Schienenkontaktes anzieht.

Abb. 4.21 Verwendete Schaltzeichen an der Isolierten Schiene

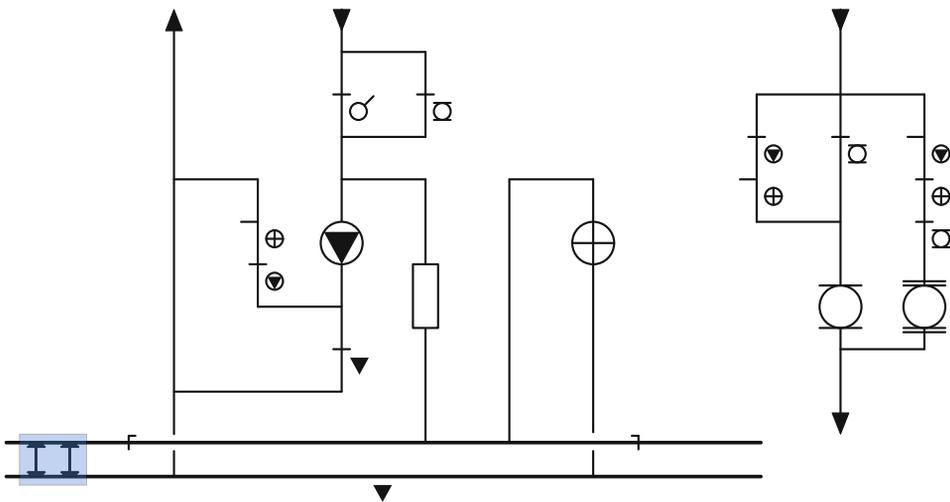


Abb. 4.22 Isolierte Schiene: Schaltung in Grundstellung

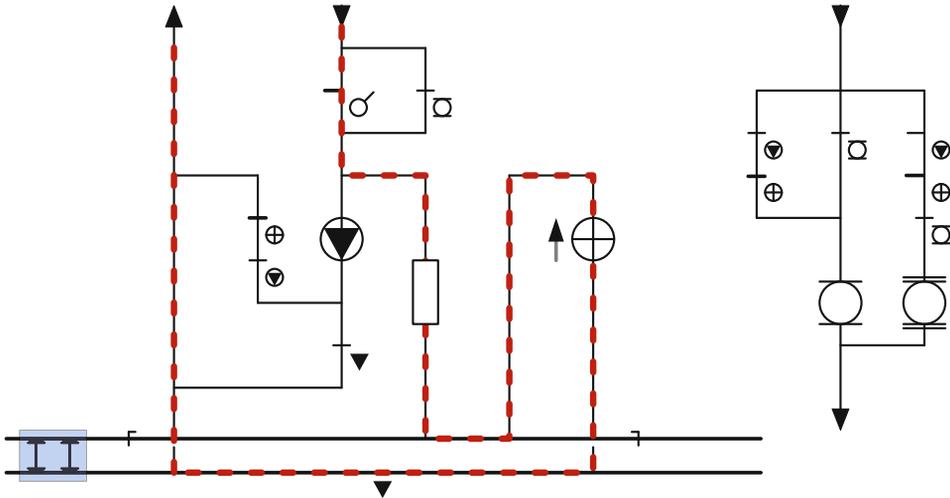


Abb. 4.23 Isolierte Schiene: Aktivierung durch Signalfahrtstellung

In der Auswerteschaltung arbeiten das

- **Auslöserrelais 1** („erste Achse“) und das
- **Auslöserrelais 2** („letzte Achse“),

die jeweils bei der ersten bzw. letzten Achse anziehen.

In der Schaltung befindet sich weiterhin ein Signalhebelkontakt, der schließt, wenn das zugehörige Signal auf Fahrt gestellt wird. Statt des Signalhebelkontakts kann bei Lichtsignalen auch ein Relais aus der Lampenschaltung Verwendung finden.

Im Folgenden werden die Schaltvorgänge beim Befahren der Isolierten Schiene dargestellt. Zunächst wird das zugehörige Signal auf Fahrt gestellt, was die Isolierte Schiene aktiviert: Der Signalhebelkontakt schließt, sodass der Gleisstrom fließen kann. Das Gleisrelais zieht an (Abb. 4.23).

Fährt ein Schienenfahrzeug in den Abschnitt ein, wird der Gleisstromkreis kurzgeschlossen; das Gleisrelais fällt ab (Abb. 4.24).

Wird der Schienenkontakt befahren, lässt er das Schienenkontaktrelais anziehen. Das Schienenkontaktrelais baut über einen eigenen Kontakt eine Selbsthaltung auf (Abb. 4.25). Durch die Selbsthaltung wird verhindert, dass das Schienenkontaktrelais nach jedem Befahren des Schienenkontaktes abfällt.

Dadurch, dass das Gleisrelais abgefallen und das Schienenkontaktrelais angezogen ist, zieht das Auslöserrelais 1 an und stellt damit das Kriterium „erste Achse“ zur Verfügung. Auch das Auslöserrelais 1 hält sich selbst, damit die Information auch dann bestehen bleibt, wenn der Gleisstromkreis verlassen wird. Außerdem schließt ein Kontakt des Auslöser-

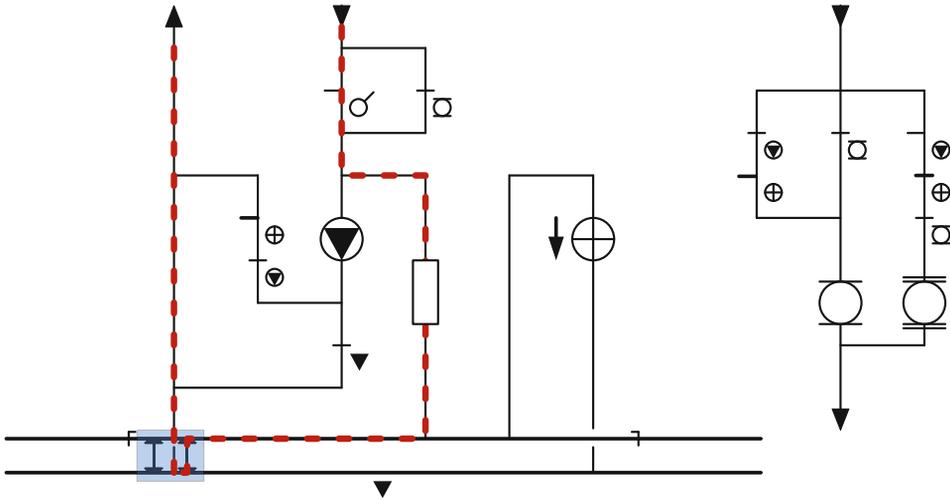


Abb. 4.24 Isolierte Schiene: Befahren des Gleisstromkreises

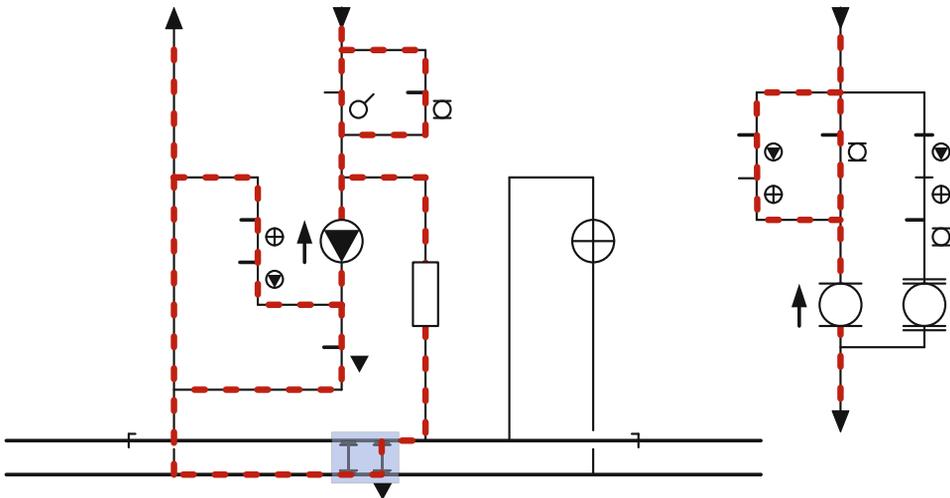


Abb. 4.25 Isolierte Schiene: Befahren des Schienenkontaktes

lais 1 den Signalhebelkontakt kurz, wodurch die Isolierte Schiene auch dann angeschaltet bleibt, wenn das zugehörige Signal in die Haltstellung gebracht wird.

Wird der Gleisstromkreis verlassen, zieht das Gleisrelais wieder an. Ein Kontakt des Gleisrelais unterbricht die Selbsthaltung des Schienenkontaktrelais, wodurch es abfällt (Abb. 4.26). Durch den Abfall des Schienenkontaktrelais wird das Auslöserelais 2 angeschaltet und stellt damit das Kriterium „letzte Achse“ zur Verfügung.

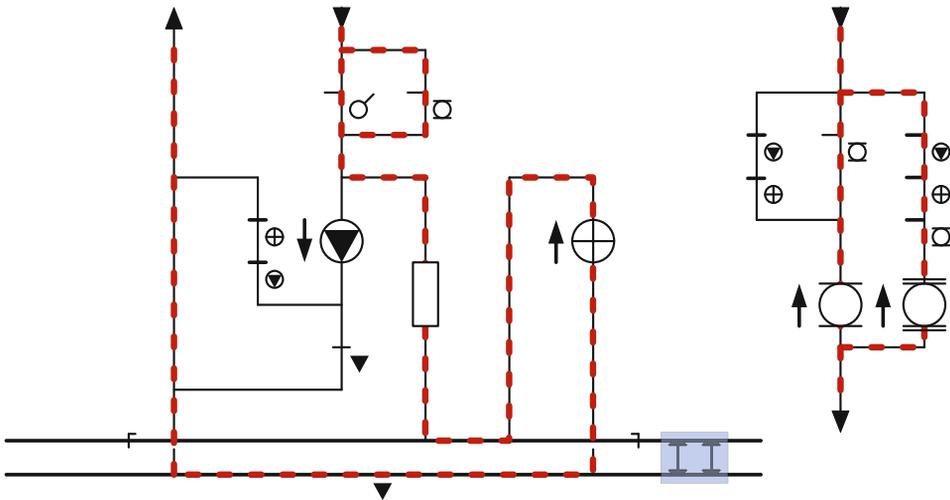


Abb. 4.26 Isolierte Schiene: Verlassen des Gleisstromkreises

Damit wurde sicher festgestellt, dass ein Zug die Isolierte Schiene befahren und wieder verlassen hat. Mit der Information des Auslöserelais 2 können nun weitere Schaltvorgänge angestoßen werden.

4.1.6.4 Betrieb bei Störung des Gleisstromkreises

Die häufigste Störung der Isolierten Schiene ist das Absinken des Bettungswiderstandes (siehe auch Abschn. 4.1.3.2) im Gleisstromkreis, wodurch das Gleisrelais ständig abgefallen bleibt. Damit kann das Auslöserelais 2 nicht mehr anziehen und das Kriterium „letzte Achse“ wird nicht mehr gebildet.

Schaltung

Um sich in diesem Fall nicht vollständig auf den Bediener verlassen zu müssen, soll wenigstens der funktionierende Teil der Isolierten Schiene verwendet werden. Dazu sehen einige Ausführungen der Isolierten Schiene vor, dass durch den Instandhalter eine Umschaltung auf das Kriterium „erste Achse“ vorgenommen werden kann. Durch die Umschaltung wird das Gleisrelais vom Gleisstromkreis abgetrennt und gleichzeitig die Möglichkeit geschaffen, dass der Bediener das Gleisrelais durch die Mitwirkttaste zum Anzug bringen kann (Abb. 4.27). Dieser Taster darf erst bedient werden, wenn der Zug die Isolierte Schiene verlassen hat. Mit der Bedienung zieht das Gleisrelais an und bringt infolgedessen das Auslöserelais 2 zum Anzug. Ein Kontakt des Auslöserelais 2 hält das Gleisrelais weiterhin angezogen, damit das Kriterium „letzte Achse“ gegeben bleibt.

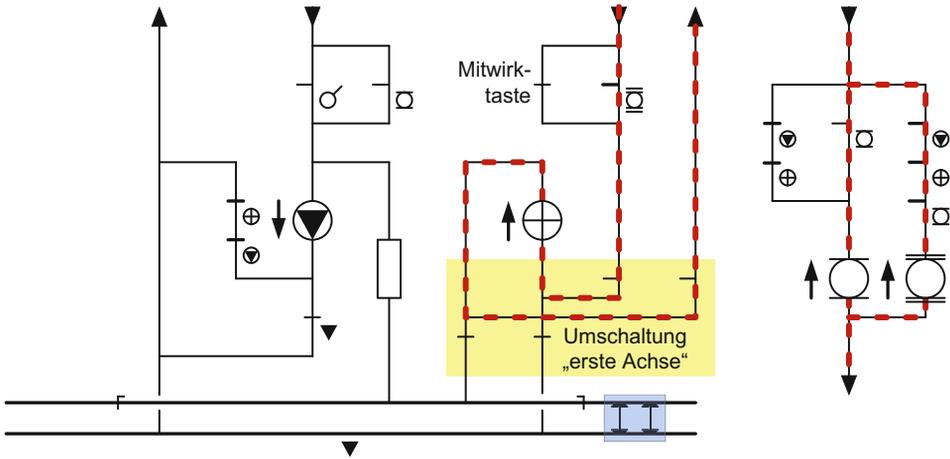


Abb. 4.27 Isolierte Schiene: Verlassen des Gleisstromkreises bei Umschaltung auf „erste Achse“

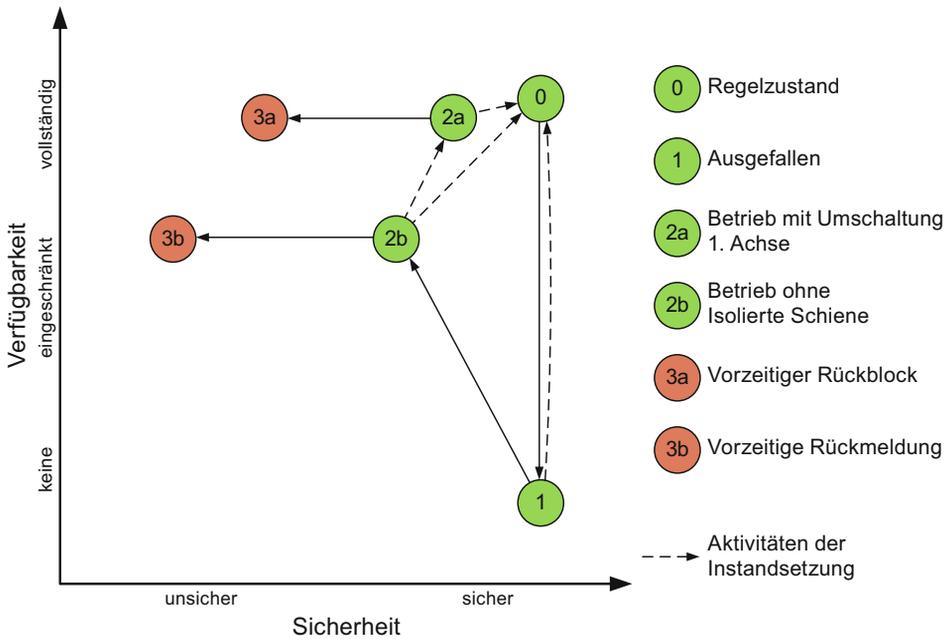


Abb. 4.28 Sicherheits-Verfügbarkeitsdiagramm für die Isolierte Schiene

Sicherheitliche Bewertung

Die Auslösung durch die erste Achse darf nicht zur Fahrstraßenauflösung verwendet werden, da hier eine vorzeitige Auslösung durch den Bediener unmittelbar gefährlich wäre. Bei der Verwendung zur Rückblockentsperrung sieht die Bewertung anders aus: Eine

vorzeitige Auslösung ist nur dann gefährlich, wenn der Zug teilweise vor der Isolierten Schiene zum Stehen käme, der Rückblock unberechtigterweise gegeben würde und ein nachfolgender Zug den Blockabschnitt bis zum Ende beführe.

Gäbe es die Umschaltmöglichkeit jedoch nicht, müsste für den Folgefahrerschutz vollständig auf technische Sicherung verzichtet werden und eine einzelne, unberechtigt gegebene Rückmeldung kann ohne weitere Barrieren zum Unfall führen. In Abb. 4.28 wird dieser Unterschied im Sicherheits-Verfügbarkeitsdiagramm verdeutlicht. Der Gleisstromkreis fällt aus, womit das System vom regulären Zustand 0 in den un verfügbaren Zustand 1 übergeht. Da ohne die Rückblockentsperrung der Block nicht mehr funktioniert, muss zunächst ohne Streckenblock gefahren werden (Zustand 2b). Hierbei kann eine jederzeit mögliche, unberechtigt gegebene Rückmeldung sofort zum gefährlichen Zustand 3b führen. Ist die Umschaltung auf die erste Achse erfolgt (Zustand 2a), ist die Sicherheit höher, da für einen gefährlichen Zustand die oben beschriebenen Bedingungen zusammen kommen müssen. Außerdem ist die Verfügbarkeit höher, da die Blocktechnik wieder genutzt werden kann.

4.2 Sicherung beweglicher Fahrwegelemente

4.2.1 Grundlagen

4.2.1.1 Elementarten

Ein bewegliches Fahrwegelement ist ein dynamisches Element der Infrastruktur, das den stetigen Fahrweg durch

- Unterbrechung der Schiene oder
- in den Lichtraum hineinragende Gegenstände

unterbrechen kann (siehe auch Abschn. 2.2.1.2).

Zu den die Schiene unterbrechenden beweglichen Fahrwegelementen gehören in erster Linie Weichen. Das häufigste, in den Lichtraum hineinragende bewegliche Fahrwegelement ist die Gleissperre. Die Gründe für den Einsatz beweglicher Fahrwegelemente zeigt Tab. 4.2.

4.2.1.2 Grundlegende Anforderungen an die Sicherung

An beweglichen Fahrwegelementen besteht zumeist die Gefahr der Entgleisung, in wenigen Fällen (z. B. Tor, Wasserkran) die Gefahr des Aufpralls. Deshalb sind bewegliche Fahrwegelemente vor Zulassung einer Fahrt in die richtige Stellung zu bringen und während der Fahrt in dieser Stellung festzuhalten.

Zusätzliche Gefahren, nämlich die des Zusammenstoßes und des Zusammenpralls, ergeben sich an Elementen, die dem Wechsel des Gleises dienen (hauptsächlich Weichen). Hier kann durch falsche Stellung des Elements eine Fahrt auf ein Gleis gelenkt werden, was nicht für die Fahrt gesichert wurde.

Tab. 4.2 Gründe für bewegliche Fahrwegelemente

Art	Grund	Beispiel
Unterbrechung der Schiene	Wechsel des Gleises	Weiche, Drehscheibe, Schiebebühne
	Kreuzung des Gleises	Kreuzung mit beweglichen Doppelherzstückspitzen
	Verschwenken des Fahrwegs	Bewegliche Brücke
	Aufhalten von Schienenfahrzeugen	Entgleisungsweiche
In den Lichtraum ragender Gegenstand	Aufhalten von Schienenfahrzeugen	Gleissperre, Beweglicher Prellbock
	Aufhalten von Personen und Gegenständen	Tor zur Einfriedung, Tor am Tunnelportal
	Sonstige Aufgaben im Lichtraum	Ladeeinrichtungen, Wasserkran

4.2.1.3 Festhaltung

Bei der Festhaltung der Elemente kann grundsätzlich zwischen formschlüssiger und kraftschlüssiger Festhaltung unterschieden werden. Obwohl die formschlüssige Festhaltung zunächst sicherer erscheinen mag, spielt die kraftschlüssige ebenfalls eine Rolle.

4.2.1.4 Überwachung

Die Überwachung beweglicher Fahrwegelemente wird heute im Wesentlichen elektrisch durchgeführt. Dazu wird die Stellung des Elements meist elektromechanisch durch Kontakte detektiert. Berührungslose Techniken sind denkbar, werden aber – auch aus Sicherheitsgründen – bisher nicht eingesetzt. Bei älteren Techniken kommen auch rein mechanische Überwachungen zum Einsatz.

4.2.2 Weiche und Kreuzung

4.2.2.1 Aufbau von Weichen und Kreuzungen

Einfache Weiche und Bogenweiche

Einfache Weichen (Abb. 4.29) sind die am häufigsten vorkommende Art von Weichen. Sie bestehen aus einem geraden Stammgleis, von dem ein gebogenes Zweigggleis in Form eines Kreisbogens abzweigt. Der Radius des Zweigggleises ist maßgebend für die Geschwindigkeit, mit der die Weiche abzweigend befahren werden kann.

Die Weichenzungen werden durch den Weichenantrieb gebogen, um so den Fahrweg in das Stamm- oder Zweigggleis einzustellen. Am Herzstück entsteht eine Fahrkantenunterbrechung, weswegen an den gegenüber liegenden Schienen Radlenker angebracht sind, die die Fahrstabilität sicherstellen.

Bei Weichen mit sehr großem Zweigggleisradius wäre aufgrund der geringen Neigung im Herzstückbereich die Fahrkantenunterbrechung bei einem starren Herzstück sehr lang. Deshalb sind Weichen mit einem Radius ab 2500 m immer mit einer beweglichen Herzstückspitze ausgestattet, die dafür sorgt, dass keine Fahrkantenunterbrechung erfolgt. Bei

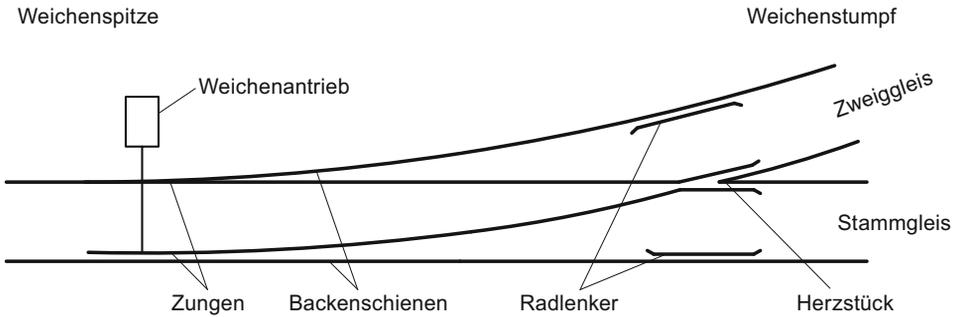


Abb. 4.29 Schematischer Aufbau einer einfachen Weiche

besonderen Anforderungen können Weichen mit geringerem Radius ebenfalls damit ausgerüstet werden. Für die bewegliche Herzstückspitze ist eine separate Antriebseinrichtung erforderlich, die gemeinsam mit dem Antrieb der Zungen angesteuert wird.

Eine Bogenweiche ist eine Weiche, bei der Stamm- und Zweiggleis einen Bogen mit unterschiedlichem Radius beschreiben. Sicherungstechnisch unterscheidet sie sich nicht von einer einfachen Weiche.

Kreuzungsweiche

Ebenfalls zu den Weichen gehören die Kreuzungsweichen. Sie sind bewegliche Fahrwegelemente, an denen sich zwei Gleise kreuzen und gleichzeitig von einem Gleis auf das andere übergegangen werden kann. Sie werden in Einfache Kreuzungsweichen (EKW) mit einer Übergangsmöglichkeit (Abb. 4.30a) und Doppelte Kreuzungsweichen (DKW) mit zwei Übergangsmöglichkeiten (Abb. 4.30b) unterschieden.

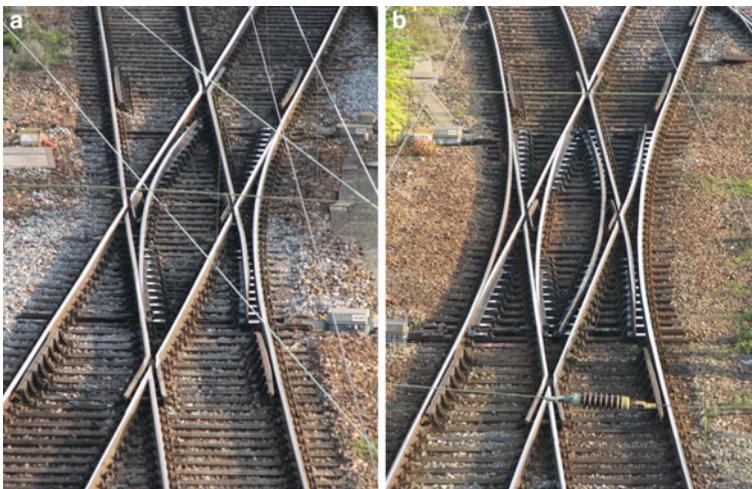


Abb. 4.30 a Einfache Kreuzungsweiche, b doppelte Kreuzungsweiche

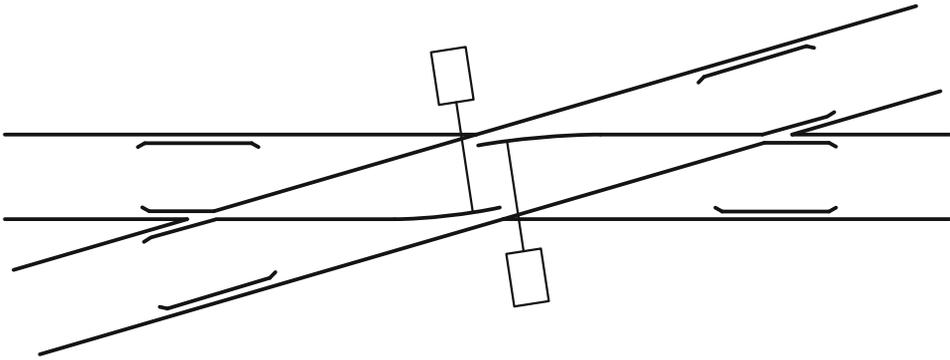


Abb. 4.31 Schematischer Aufbau einer Kreuzung mit beweglichen Doppelherzstückspitzen

Kreuzungsweiche

Eine Kreuzung ist eine Oberbaukonstruktion, an der sich zwei Gleise schneiden, wobei ein Übergang von Fahrzeugen von einem auf das andere Gleis nicht möglich ist. Bei der meistens verwendeten starren Kreuzung befinden sich keine beweglichen Teile daran; dann zählt sie nicht zu den beweglichen Fahrwegelementen und muss, außer in der Fahrweglogik, sicherungstechnisch nicht behandelt werden.

Bei Kreuzungen mit sehr flacher Neigung („Flachkreuzung“) sind bewegliche Doppelherzstückspitzen erforderlich. Diese sorgen dafür, dass keine Fahrkantenunterbrechung in der Mitte der Kreuzung entsteht. Derartige Kreuzungen sind bewegliche Fahrwegelemente, da die beweglichen Spitzen einen Antrieb benötigen (Abb. 4.31).

4.2.2.2 Grenzeichen

Das Grenzeichen ist ein Signal und beschreibt die Stelle, bis zu der auf einem der beiden auseinander laufenden Gleise Fahrzeuge stehen dürfen, ohne Fahrten im anderen Gleis zu gefährden (Profilfreiheit). Der Standort ergibt sich aus dem Schnittpunkt der Grenzlinien (siehe auch Abschn. 2.2.1.1) beider Gleise (Abb. 4.32).

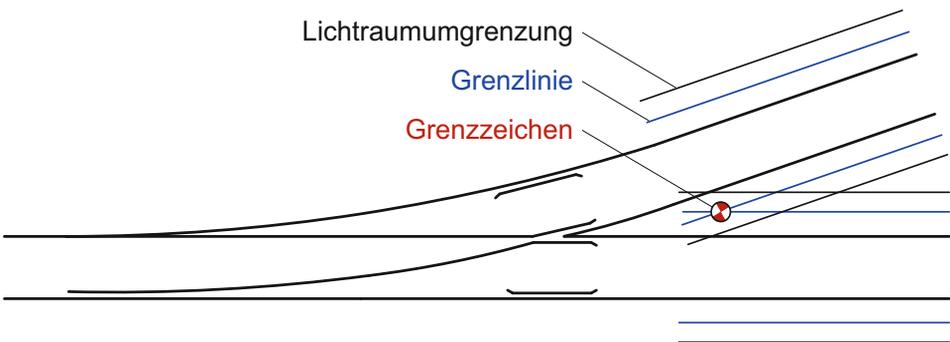


Abb. 4.32 Positionierung des Grenzeichens

Tab. 4.3 Zulässige Abzweiggeschwindigkeiten an Weichen

Weichenradius [m]	190	300	500	760	1200	2500	3700	6000
Abzweiggeschwindigkeit [km/h]	40	50	65	80	100	130	160	200

4.2.2.3 Zulässige Abzweiggeschwindigkeiten an Weichen

Bei einfachen Weichen und Kreuzungsweichen ergibt sich die im Zweiggleis zulässige Geschwindigkeit zumeist aus dem Zweiggleisradius (Tab. 4.3). Ursache hierfür ist nicht die im Bogen auftretende Fliehkraft, sondern der Ruck der sich aus dem unmittelbaren Übergang von einer Geraden in einen Bogen ergibt. Bei Besonderheiten in der Linienführung, wie z. B. Überhöhung oder anschließender Bogen, werden die Geschwindigkeiten vom Trassierer berechnet.

4.2.2.4 Sicherungstechnische Anforderungen an Weichen

Umstellung der Weiche

Um eine Weiche in die gewünschte Lage zu bewegen, ist eine Kraft aufzubringen, die auf die Weichenzungen zu übertragen ist. Die Kraft wird meist durch Maschinen (in der Regel durch einen Elektromotor), in wenigen Fällen auch durch Muskelkraft eines Menschen aufgebracht.

Mechanische Festhaltung

Um Entgleisungen zu vermeiden, müssen die Weichenzungen in der Endlage festgehalten werden. Dazu gehören sowohl das Anliegen der anliegenden Zunge an der Backenschleife sowie die Gewährleistung der Durchfahrrille der abliegenden Zunge. Die Festhaltung muss besonders robust ausgeführt werden, da eine Weiche bei Überfahrt eines Eisenbahnfahrzeugs erheblichen mechanischen Belastungen ausgesetzt ist. Die Festhaltung kann sowohl innerhalb eines Weichenantriebs (Innenverschluss) als auch außerhalb des Weichenantriebs (Außenverschluss) erfolgen.

Prüfung der Endlage

Vor Zulassung der Fahrt über eine Weiche muss geprüft werden, ob sie sich in der richtigen Endlage befindet. Anschließend ist zu prüfen, ob die Weiche in der Endlage verbleibt. Dadurch wird die Funktion der Umstell- und Festhalteeinrichtungen überwacht.

Auffahrbarkeit

In der Regel sind Weichen auffahrbar. Als Auffahren einer Weiche gilt das Befahren von der stumpfen Seite in falscher Lage. Beim Auffahren einer auffahrbaren Weiche entstehen in der Regel keine Schäden, im Gegensatz zur nicht auffahrbaren Weiche. Nur in bestimmten Fällen (z. B. bei beweglicher Herzstückspitze) sind Weichen nicht auffahrbar.

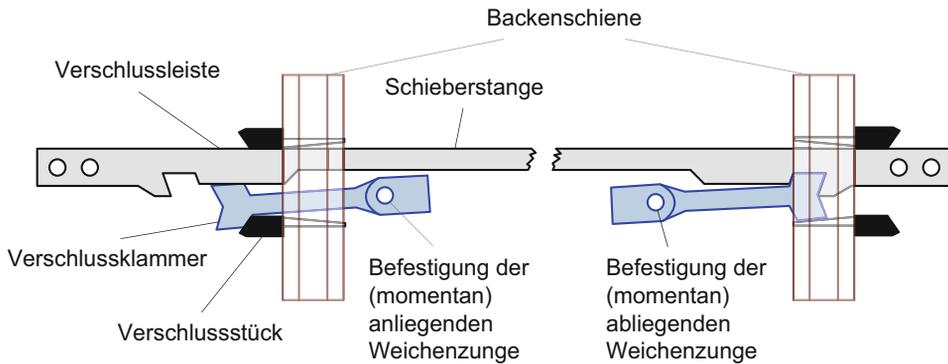


Abb. 4.33 Aufbau des Klammerspitzenverschlusses (Zungenschiene nicht dargestellt)

4.2.2.5 Kraftübertragungs- und Festhalteeinrichtungen

Anforderungen

Die Kraftübertragungs- und Festhalteeinrichtungen verbinden die Antriebseinrichtungen mit den Weichenzungen. Sie haben folgende Aufgaben:

- Übertragung der am Weichenantrieb aufgewandten Kraft auf die Weichenzungen,
- Mechanische Festhaltung der anliegenden Weichenzunge, um eine unbeabsichtigte Bewegung zu verhindern,
- Halten der abliegenden Zunge in einem definierten Abstand von der Backenschiene.

Spitzenverschluss

Spitzenverschlüsse finden beim Außenverschluss (siehe auch Abschn. 4.2.2.4) Anwendung. Im Gegensatz zum Innenverschluss übertragen sie nicht nur die Stellkraft vom Weichenantrieb auf die Weichenzungen, sondern halten diese auch in ihrer Lage fest, wenn die Weiche nicht umgestellt wird.

Der Klammerspitzenverschluss (Abb. 4.33) ist der bisher überwiegend angewandte Spitzenverschluss. Befindet sich die Weiche in einer Endlage, so liegt die Verschlussklammer an der anliegenden Zunge zwischen Verschlussleiste und Verschlussstück. Damit wird eine Bewegung der anliegenden Zunge verhindert. An der abliegenden Seite befindet sich der Kopf der Verschlussklammer im Ausschnitt der Verschlussleiste und kann nicht aus diesem heraustreten, so dass die abliegende Zunge im sicheren Abstand von der Backenschiene gehalten wird.

Der Stellweg für das Umstellen der Weiche besteht aus drei Teilen (Abb. 4.34):

- **Entriegelungsweg** (60 mm): Die abliegende Zunge (1) wird von der Schieberstange mitgenommen, während die anliegende Zunge entriegelt wird.
- **Stellweg** (100 mm): Auf dem Stellweg werden beide Zungen bewegt; die Köpfe der Verschlussklammern befinden sich beide in den Ausschnitten der Schieberstange. Ein

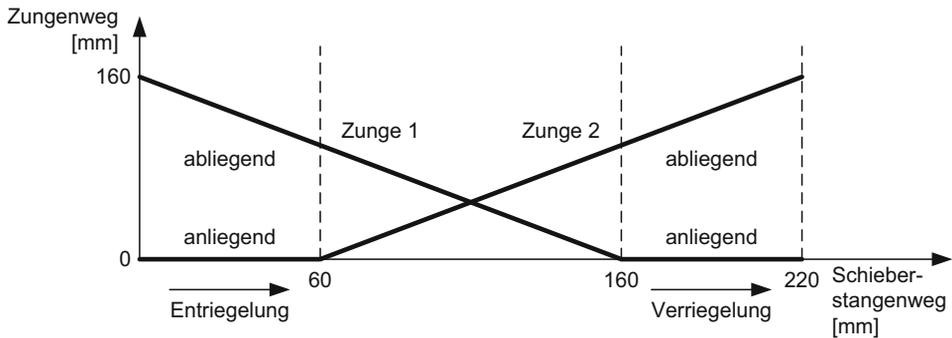


Abb. 4.34 Wege der Weichenzungen mit Spitzenverschluss

Heraustreten des Kopfes der Verschlussklammer aus dem Ausschnitt wird durch die Seitenwände des Verschlussstückes verhindert.

- **Verriegelungsweg** (60 mm): Die anfangs anliegende, jetzt abliegende Zunge (2) entfernt sich weiter von der Backenschiene, während die jetzt anliegende Zunge verriegelt wird. Dies geschieht, indem der Kopf der Verschlussklammer mechanisch so geführt wird, dass er am Ende des Stellvorganges zwischen Verschlussleiste und Verschlussstück verkeilt ist.

Beim Auffahren der Weiche wird durch das Rad zunächst die abliegende Zunge bewegt. Diese bewegt die Schieberstange und löst so den Verschluss der anliegenden Zunge, die sich anschließend mitbewegt. Nach Ende des Stellweges der zuvor abliegenden Zunge stoppt der Stellvorgang, die Verriegelung findet nicht statt.

Neben dem Klammerspitzenverschluss setzen sich mehr und mehr modernere Bauformen wie z. B. der Klinkenverschluss (Abb. 4.35) durch, die prinzipiell genauso funktionieren, sich jedoch durch einfachere Instandhaltung auszeichnen.

Mittelverschluss

Je größer der Weichenradius ist, desto länger werden die Weichenzungen. Dabei besteht die Gefahr, dass sich eine lange, nur an der Zungenwurzel und der Spitze festgehaltene Zunge in der Mitte bewegt, man spricht vom „Schlottern“. Um das zu verhindern, werden Mittelverschlüsse eingesetzt, die mechanisch mit dem Spitzenverschluss verbunden sind und in etwa an der Zungenmitte angreifen. Der Klammersmittelverschluss verklammert die anliegende Zunge mit der Backenschiene, während der Gabelmittelverschluss die abliegende Zunge in einem definierten Abstand zur Backenschiene hält.

4.2.2.6 Zungenprüfer

Zungenprüfer sind mit den Weichenzungen über Prüferstangen verbunden und bewegen sich mit diesen mit. Somit können sie die Lage der Weichenzunge direkt prüfen. Bewegen

Abb. 4.35 Klinkenverschluss**Abb. 4.36** Zungenprüfkontakt an einer Weiche

sich die Zungen während des Umstellens nicht mit, erkennen Prüfer damit ein Versagen der Stellstange oder des Spitzenverschlusses.

Bei elektrischen Weichenantrieben erfolgt die Prüfung über im Antrieb integrierte Kontakte, die von den Prüferstangen angetrieben werden (Abb. 4.39). Die Kontakte steuern den Stromfluss derart, dass eine Überwachung nur bei ordnungsgemäßer Lage der Zungen zustande kommt. Bei mechanischen Weichenantrieben blockieren Prüfer den Antrieb, wenn die Zungen nicht der Stellbewegung folgen und offenbaren dadurch einen Fehler.

Bei sehr langen und schweren Weichenzungen besteht die Gefahr, dass sich diese nur am unmittelbaren Angriff des bzw. der Weichenantriebe bewegen. Um die Bewegung der Zunge auch an weiteren Orten zu prüfen, werden zusätzliche Prüfer angewandt. Einen elektrischen Zungenprüfer (Zungenprüfkontakt) zeigt Abb. 4.36.

Abb. 4.37 Elektrisch ortsbediente Weiche mit Weichenlagemelder



4.2.2.7 Zungenriegel

Zungenriegel sind über Riegelstangen mit den Zungen verbunden und halten diese formschlüssig fest. Dadurch sind geriegelte Weichen nicht auffahrbar. Fernbediente Weichenriegel gibt es nur in Verbindung mit mechanischen Weichenantrieben. Zungenriegel haben aber nach wie vor große Bedeutung, da sie für die Herstellung der Signalabhängigkeit ortsbedienter Weichen über Riegelhandschlösser (siehe auch Abschn. 4.2.2.9) verwendet werden.

4.2.2.8 Weichenantrieb

Mechanische Ortsbedienung

Mechanisch ortsbediente Weichen (umgangssprachlich: Handweichen) sind noch heute im Einsatz, vor allem in Anlagen, in denen nur rangiert wird. Die notwendige Kraft zum Umstellen wird vor Ort durch Muskelkraft aufgebracht. Ortsgestellte Weichen können durch Handverschlüsse in Abhängigkeiten einbezogen werden (Abb. 4.43).

Elektrische Ortsbedienung

Elektrisch ortsbediente Weichen (EOW) sind eine moderne Form ortsgestellter Weichen, die sich in Rangierbereichen zunehmend durchsetzen. Der Antrieb der Weichen erfolgt dabei mit elektrischen Weichenantrieben wie bei der elektrischen Fernbedienung. In Bereichen mit EOW-Technik wird meist frei rangiert, also ohne Rangierstraßen. Ein als Lichtsignal ausgebildeter Weichenlagemelder unmittelbar an der Weiche (Abb. 4.37) meldet dem Rangierpersonal die Weichenlage.

EOW werden in der Regel durch Achszähler freigemeldet. Diese realisieren zum einen die Umstellsperre bei belegter Weiche; zum anderen geben die richtungsselektiven Sensoren einen Umstellanstoß an die Weiche, wenn sie stumpf befahren wird und die falsche Lage besitzt. Darüber hinaus können EOW durch einen Bediener – in der Regel das Rangierpersonal – umgestellt werden durch:

Abb. 4.38 Schlagtaster an einer vorgezogenen Bedienstelle



Abb. 4.39 Rückfallweiche



- Schlagtaster an der Weiche,
- Schlagtaster in gewisser Entfernung vor der Weichenspitze („vorgezogene Bedienstelle“),
- Taster an Stelltafeln,
- Weichenhilfstaster, wenn die Gleisfreimeldeanlage gestört oder besetzt ist.

Schlagtaster sind besonders robuste Bedienelemente, die auch während der Fahrt bedient werden können. Damit sie vom Führerraumfenster der Lokomotive, vom Rangiertritt eines Fahrzeugs und vom Boden aus erreichbar sind, können sie – auch an einem Standort – in verschiedenen Höhen angebracht sein (Abb. 4.38). Eine Bedienung während der Fahrt ist nur sinnvoll, wenn die EOW die Endlage eingenommen hat, bevor die Rangierfahrt die Weichenspitze erreicht hat. Deshalb werden vorgezogene Bedienstellen mindestens 20 m vor der Spitze der EOW angeordnet.

An Stelltafeln können sowohl Fahrwege, also mehrere Weichen, als auch einzelne Weichen mit einer Bedienung gestellt werden. Weiterhin besteht die Möglichkeit, einer EOW

Abb. 4.40 Rückfallweichenüberwachungssignal



eine Grundstellung zu geben, in die sie nach einem Befahren in entgegengesetzter Lage zurückläuft.

Rückfallweiche

Rückfallweichen (Abb. 4.39) sind Weichen, die planmäßig aufgefahren werden und durch einen Energiespeicher nach dem Auffahren in die Grundstellung zurückkehren. Der hauptsächlichste Anwendungsfall sind Kreuzungsbahnhöfe auf Nebenbahnen, wodurch sich der Aufwand der Fernbedienung erübrigt. Gegenüber mechanisch ortsbedienten Weichen besteht der Vorteil, dass sie im Regelfall nicht bedient werden müssen. Für den Ausnahmefall, dass eine Rückfallweiche spitz nicht in Grundstellung befahren werden soll, kann die Weiche mechanisch ortsbedient werden. Hierzu ist jedoch erst ein Handverschluss aufzuschließen.

Rückfallweichen dürfen stumpf und spitz nur mit 40 km/h befahren werden. Wird die Weiche spitz befahren, besteht die Gefahr, dass sie beim vorherigen Zurückfallen nicht die Grundstellung erreicht hat. Um das zu prüfen, wird mit einem Zungenprüfkontakt (siehe auch Abschn. 4.2.2.6) die Lage der Zungen geprüft. Ein Rückfallweichenüberwachungssignal vor der Spitze der Weiche übermittelt die Information über die erreichte Endlage mit einem weißen Licht an den Triebfahrzeugführer (Abb. 4.40).

Mechanische Fernbedienung

Die mechanische Fernbedienung wird nur in mechanischen Stellwerken angewandt. Dabei wird sowohl die Umstellenergie als auch die Lageinformation über Drahtzug- bzw. Gestängeleitungen übertragen. Die Energie wird im Stellwerk in der Regel durch menschliche Muskelkraft aufgebracht.

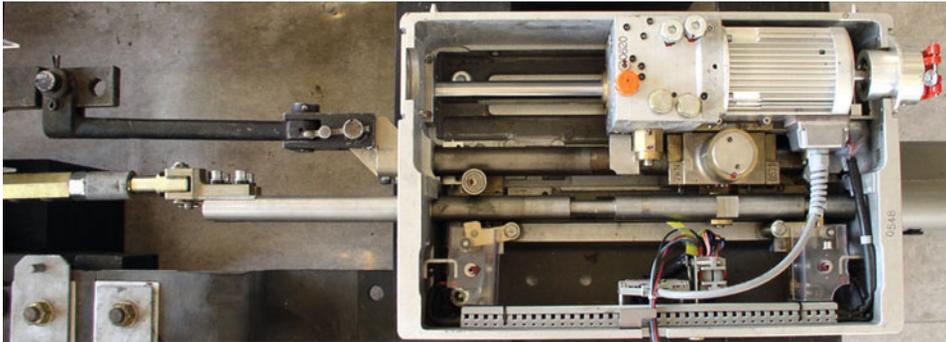


Abb. 4.41 Geöffneter elektrischer Weichenantrieb; *links oben*: Stellstange; *links Mitte*: zwei übereinander angeordnete Prüferstangen

Elektrische Fernbedienung

Die elektrische Fernbedienung ist die am häufigsten angewandte Art der Weichenansteuerung. Dabei kommt ein elektrischer Weichenantrieb (Abb. 4.41) zum Einsatz, der heute überwiegend mit einem Drehstrommotor arbeitet. Die Kraftübertragung auf das Gestänge erfolgt mechanisch oder hydraulisch. Bei mechanischer Übertragung beinhaltet der Antrieb eine Rutschkupplung, damit bei Blockade der Mechanik eine Beschädigung des Motors vermieden wird. Ein Innenverschluss kann in den Antrieb integriert sein.

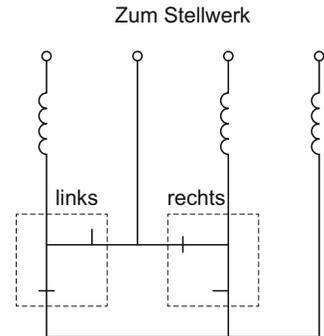
Die Anzahl der erforderlichen Weichenantriebe ist je nach Weichenbauform unterschiedlich. Bei der Mehrzahl der Weichen genügt ein Antrieb an der Spitze der Weichenzungen. Sind die Weichenzungen sehr lang (bei sehr großen Zweiggleisradien), machen sich mehrere Antriebs- und Festhalteeinrichtungen erforderlich (siehe auch Abschn. 4.2.2.6).

Vierdraht-Weichenschaltung

Die am häufigsten angewandte Schaltung zur Ansteuerung von Weichenantrieben ist die Vierdraht-Weichenschaltung (Abb. 4.42). Dabei werden über vier Adern sowohl der Stell- als auch der Überwachungsstrom übertragen. An der Weiche prüfen vier von Antriebs- und Prüferstangen beeinflusste Kontakte die jeweilige Lage. Dabei werden ein Öffner und ein Schließer immer gleichzeitig betätigt. Der Antrieb der Kontakte erfolgt durch die Antriebsstange; allerdings können diese nur umschalten, wenn auch die Prüferstange die entsprechende Endlage erreicht hat. Dadurch wird gewährleistet, dass eine ordnungsgemäße Endlage nur dann detektiert wird, wenn sowohl die Stell- als auch die Prüferstange eine übereinstimmende Endlage erreicht haben.

Bei Erreichen der Endlage wird durch die Kontakte die Umschaltung von Stell- auf Überwachungsstrom initiiert. Zusätzlich findet stellwerksseitig eine zeitverzögerte Abschaltung statt, falls die Endlage nicht erreicht wird. Außerhalb der Weichenumstellung fließt durch alle vier Adern ein (schwacher) Überwachungsstrom, der sowohl den Kabel-

Abb. 4.42 Vierdraht-Weichenschaltung im Weichenantrieb



weg als auch den Weichenantrieb und insbesondere über die Kontakte die Stellung der Prüferstangen und damit der Weichenzunge prüft.

Auch wenn die Vierdraht-Weichenschaltung in allen Techniken nach dem gleichen Prinzip funktioniert, differiert die Schaltung der Ansteuerung in den einzelnen Stellwerkstechniken.

4.2.2.9 Handverschlüsse für Weichen

Handverschlüsse haben nach wie vor große Bedeutung. Sie werden verwendet, wenn

- mechanisch ortsbediente Weichen in Abhängigkeit gebracht,
- vorübergehend außer Betrieb genommene Weichen gesichert oder
- gestörte, fernbediente Weiche gesichert werden sollen.

Das **Riegelhandschloss** (Abb. 4.43) ist die hochwertigste Form des Weichenhandverschlusses und wird für planmäßige Abhängigkeiten – auch für Signalabhängigkeit – genutzt. Über Riegelstangen (siehe auch Abschn. 4.2.2.7) werden die Weichenzungen formschlüssig festgehalten. Die sicherungstechnische Verbindung wird über Schlüssel hergestellt, die in ein korrespondierendes Schloss (z. B. im Stellwerk) passen (siehe auch Abschn. 6.2.1).

Abb. 4.43 Riegelhandschlösser an einer mechanisch ortsbedienten Weiche (je eines pro Stellung)



Abb. 4.44 Handverschluss HV 73 in sperrender Stellung der anliegenden Zunge



Das **Weichenschloss** wird zur Herstellung von temporären Abhängigkeiten oder zur Sicherung untergeordneter Gleise genutzt. Es wird an der Backenschiene befestigt und blockiert die abliegende Zunge. Über den Spitzenverschluss wird die anliegende Zunge festgehalten.

Die heute nur noch wenig verbreitete **Zungensperre** hält entweder die anliegende Zunge fest oder blockiert die abliegende. Es können keine Abhängigkeiten hergestellt werden, da die Schlüssel nicht dafür geeignet sind.

Das heute bei deutschen Eisenbahnen weit verbreitete Schloss **HV 73** (Abb. 4.44) ist dem System nach eine Zungensperre mit dem Unterschied, dass Schlüssel wie beim Riegelhand- bzw. Weichenschloss genutzt werden.

4.2.3 Gleissperre

Gleissperren dienen hauptsächlich dem Flankenschutz, indem sie mittels eines in den Lichtraum hineinragenden Gegenstandes (Entgleisungsschuh) darüber fahrende Schienenfahrzeuge zum Entgleisen bringen (Abb. 4.45). Aufgrund der möglichen Entgleisung dürfen Gleissperren nicht von Zügen befahren und deshalb nur in Nebengleisen eingesetzt werden.

Abb. 4.45 Mechanisch ortsbetiente Gleissperre



Eine Gleissperre besteht aus dem Entgleisungsschuh, dem Antrieb und dem Gleissperrensignal, das die Lage der Gleissperre anzeigt. Der Entgleisungsschuh lässt den Spurranz des Schienenfahrzeugs über den Schienenkopf aufsteigen und drückt ihn nach außen. Die Auswurfrichtung wird so gewählt, dass sie von den zu schützenden Gleisen weg führt.

Gleissperren werden wie Weichen angetrieben, jedoch ohne Prüfer oder Riegel. Zur Herstellung von Abhängigkeiten bei Ortsbedienung werden Gleissperrenschlösser verwendet.

4.2.4 Bewegliche Brücke

Eine bewegliche Brücke unterbricht den stetigen Fahrweg, indem sie diesen verschwenkt, um den Raum für andere Zwecke (z. B. Schiffsverkehr) freizugeben (Abb. 4.46). Sie werden in der Regel durch Deckungssignale gedeckt oder in die Fahrstraßenlogik einbezogen.

4.2.5 Drehscheibe und Schiebebühne

Drehscheiben und Schiebebühnen haben die Funktion des Gleiswechsels mit dem Vorteil eines geringeren Platzbedarfes gegenüber Weichenstraßen. Sie finden vor allem in Werkstätten Anwendung. Nur sehr selten führen Fahrstraßen über diese Elemente, in die sie dann einbezogen werden müssen. In einigen Fällen gibt es Deckungssignale in einfacher Form.



Abb. 4.46 Eisenbahnklappbrücke

4.2.6 Tor

Tore dienen der Einfriedung von Geländen oder dem Verschluss von Räumen. Letztere Aufgabe übernehmen z. B. Tore an Tunnelportalen, die das Eindringen von Schnee oder Tieren verhindern sollen. Auch Tore von Werkstattgebäuden oder Wehrkammertore, mit denen Tunnel wasserdicht abgeriegelt werden können, gehören dazu.

In modernen Anlagen und vor allem, wenn sie Bestandteil von Fahrstraßen sind, werden solche Tore in sicherungstechnische Abhängigkeiten einbezogen. Auch die Sicherung mit Deckungssignalen ist möglich, wobei diese in einfachen Fällen auch aus gängigen Industriekomponenten und nicht aus etablierter Sicherungstechnik bestehen können.

4.3 Signalisierung

4.3.1 Grundlagen

4.3.1.1 Anforderungen

Die Signalisierung dient der Informationsübertragung vorrangig an den Triebfahrzeugführer, aber auch an andere Mitarbeiter im Bahnbetrieb sowie Reisende und Dritte. So wenden sich z. B. Pfeifsignale vor Bahnübergängen an die Bahnübergangsbenuzter.

Folgende Anforderungen werden an die Signalisierung gestellt:

- **Eindeutigkeit:** Aus dem Signalbild muss die Information eindeutig erkennbar sein. Ein Verwechseln verschiedener Signalbilder untereinander muss ausgeschlossen werden.
- **Einfachheit:** Die Signalinformation ist in einprägsamer Form zu geben. Redundante Informationen sind möglichst zu vermeiden.
- **Rechtzeitigkeit:** Die Information muss dem Empfänger zu einem Zeitpunkt signalisiert werden, der ihm einerseits ein sicheres Verarbeiten und Ausführen ermöglicht; andererseits darf aber die Information auch nicht zu früh erfolgen, um ein Vergessen zu vermeiden.
- **Sicherheit:** Es ist sicherzustellen, dass bei technischen Ausfällen nie ein weniger restriktiver Signalbegriff gezeigt wird.
- **Verfügbarkeit:** Da sich Ausfälle hemmend auswirken, sollen diese möglichst selten und möglichst kurz sein, um Betriebsbehinderungen auf ein Minimum zu beschränken. Da in der Rückfallebene viel mit menschlicher Verantwortung gearbeitet wird und die menschliche Zuverlässigkeit schlechter als die technische ist, wirken sich technische Ausfälle mittelbar auch auf die Sicherheit aus (siehe auch Abschn. 3.2.3).

4.3.1.2 Sicherheitsrelevante Gestaltung von Lichtsignalen

Insbesondere bei Lichtsignalen ist die Anwendung des Fail-Safe-Prinzips mit erhöhtem konstruktiven Aufwand verbunden, da hier sowohl der sperrende als auch der freigebende

Begriff mit dem höheren Energieniveau realisiert werden (Strom fließt, Lampe leuchtet). Deshalb sind für ein zweifelhaftes (nicht definiertes) oder erloschenes Signalbild betriebliche Regeln definiert, die die Annahme des jeweils restriktivsten Signalbegriffs vorschreiben.

Ausfälle einzelner Signaloptiken können jedoch gefährliche Auswirkungen haben, wenn sie einen definierten, weniger restriktiven Signalbegriff ergeben. Um dem zu begegnen, sind zwei Strategien bekannt:

Definition der Signalbilder derart, dass das Versagen einer Optik ein restriktiveres oder nicht definiertes Signalbild hervorruft Durch Anzeige eines restriktiveren Begriffs ergibt sich keine Gefährdung. Wird ein Fahrtbegriff mit stärkerer Geschwindigkeitsbeschränkung angezeigt, so ergibt sich hieraus wenigstens noch eine eingeschränkte Verfügbarkeit. Komplexe Signalsysteme lassen sich jedoch kaum so definieren, dass bei jedem Teilausfall ein restriktiveres oder zweifelhaftes Signalbild erscheint.

Überwachung der Signaloptiken Das Verlöschen einer Optik, die leuchten soll, oder das Leuchten einer Optik, die nicht leuchten soll, muss erkannt (Fehleroffenbarung) und entsprechende Reaktionen (Fehlerreaktion) eingeleitet werden. Dabei wird vorrangig versucht, einen gültigen, restriktiveren Signalbegriff anzuschalten. Nur wenn das nicht möglich ist (weil z. B. die Kabelverbindung getrennt wurde), erlischt das Signal vollständig.

4.3.1.3 Einteilung der Signale

Art der Sinnansprache des Menschen

Grundsätzlich können alle Sinne zur Signalisierung von Handlungsanweisungen an einen Menschen herangezogen werden. Sie eignen sich jedoch in sehr unterschiedlichem Maße dafür. Praktische Bedeutung im Schienenverkehr haben **optische und akustische Signale**. Durch optische Signale werden heute die meisten Informationen übertragen.

Ort der Signalgebung

Nach dem Ort des Signalgebers können die optischen Signale folgendermaßen unterschieden werden:

- **Ortsfeste Signale** befinden sich entlang des Fahrwegs (z. B. Hauptsignal).
- **Fahrzeugsignale** befinden sich an Fahrzeugen (z. B. Zugschlussignal).
- **Führerraumsignale** sind Signale, die auf das Fahrzeug übertragen und dem Triebfahrzeugführer im Führerraum angezeigt werden.

Dynamik der Signalgebung

Signale können nach der Wechselfähigkeit des Signalbildes folgendermaßen eingeteilt werden:

- **Statische Signale** zeigen immer das gleiche Signalbild. Sie werden bei ortsfesten Signalen durch Signaltafeln realisiert.
- **Dynamische Signale** sind schaltbar und können verschiedene Signalbilder zeigen.

Technik der Signalgebung

Weiterhin können Signale unterschieden werden nach der Technik der Signalgebung:

- **Formsignale** vermitteln die Information über eine veränderliche Lage von Gegenständen und verändern so das für den Empfänger sichtbare Bild.
- **Lichtsignale** kodieren ihre Informationen in Lichtzeichen. Sie haben gegenüber Formsignalen eine größere Zuverlässigkeit, eine größere Wahrnehmungssicherheit und einen geringeren Instandhaltungsbedarf.
- **Handsignale** werden von Mitarbeitern im Bahnbetrieb durch Armbewegungen, eventuell durch Handlampen besser kenntlich gemacht, oder durch das Zeigen bestimmter Gegenstände gegeben. Das bekannteste derartige Signal ist das Abfahrtauftragssignal des Zugführers an den Triebfahrzeugführer.

4.3.1.4 Inhalt der Signalisierung

Die folgenden Ausführungen beschränken sich auf die dynamischen, ortsfesten Signale, da sie in der Sicherungstechnik die größte Rolle spielen.

Die signalisierte Information von optischen Signalen kann in drei Ebenen eingeteilt werden:

- **Signalbild:** Das unmittelbar optisch wahrnehmbare Bild, z. B. „Ein rotes Licht“.
- **Nominaler Signalbegriff:** Die Signalbilder werden in den Regelwerken (z. B. Signalebuch [DB301]) meist mit bestimmten Bezeichnungen belegt, z. B. „Hp 0“.
- **Logischer Signalbegriff:** Der eigentliche Inhalt ist die Handlungsanweisung, die dem Empfänger mitgeteilt wird, z. B. „Halt“.

Die an den Triebfahrzeugführer übermittelte Information kann nach drei Signalisierungsinhalten unterschieden werden:

- **Signalisierung des gesicherten Fahrwegs:** Information über die grundsätzliche Befahrbarkeit des nach dem Signal folgenden Gleisabschnitts, möglicherweise auch des darauf folgenden Abschnitts.
- **Signalisierung der zulässigen Geschwindigkeit:** Information über die zulässige Geschwindigkeit im Gleisabschnitt nach dem Signal; möglicherweise auch über die im darauf folgenden Abschnitt zulässige Geschwindigkeit.
- **Sonstige Informationen:** Weitere Anweisungen an den Triebfahrzeugführer oder sonstige Hinweise.

4.3.2 Aufbau von Lichtsignalen und lichttechnische Grundlagen

4.3.2.1 Grundlegender Aufbau von Lichtsignalen

Die Signaloptiken von Lichtsignalen werden in der Regel mit einem schwarzen Signalschirm versehen, der als Kontrastblende dient. Durch die Erhöhung des Kontrastes wird die Sichtbarkeit des Signals verbessert. Unter oder über dem Hauptschirm können sich ein oder mehrere Zusatzanzeiger befinden (Abb. 4.47). In Einzelfällen kann ein Zusatzanzeiger auch einzeln stehen.

Verschiedenfarbige Lichtpunkte werden durch unterschiedliche Signaloptiken erzeugt. Nicht mehr gebräuchlich sind Blendenrelaissignale, bei denen vor einer Lichtquelle verschiedenfarbige Blenden bewegt wurden. Diese Idee wird jedoch von den neuesten LED-Optiken wieder aufgegriffen, in denen mittels LED in einer Laterne verschiedenfarbiges Licht erzeugt wird (siehe auch Abschn. 4.3.2.4). Durch die hiermit erreichte Verringerung der Anzahl an Optiken können auch die Signalschirme verkleinert werden [LSZ13].

Der Signalschirm ist in der Regel an einem Mast angebracht, der mit einem Fundament im Boden verankert ist. Am Mast befinden sich bis auf wenige Ausnahmen ein Mastschild bzw. eine Vorsignaltafel sowie ein Bezeichnungsschild, das den Namen des Signals angibt. Bei beschränkten Platzverhältnissen kann das Signal auch über dem Gleis an einer Signalbrücke oder einem -ausleger befestigt sein (Abb. 4.48).

4.3.2.2 Lichtreflexion an Signaltafeln

Wie Lichtsignale, müssen auch Signaltafeln und -schilder aus Richtung des kommenden Zuges bei Tag und Nacht gut erkennbar sein. Tagsüber stellt die Beleuchtung durch das Tageslicht eine ausreichende Erkennbarkeit sicher. Eine ortsfeste Beleuchtung ist aufwändig und wird nur im Ausnahmefall realisiert. Um dennoch die Erkennbarkeit bei Nacht

Abb. 4.47 Konstruktiver Signalaufbau

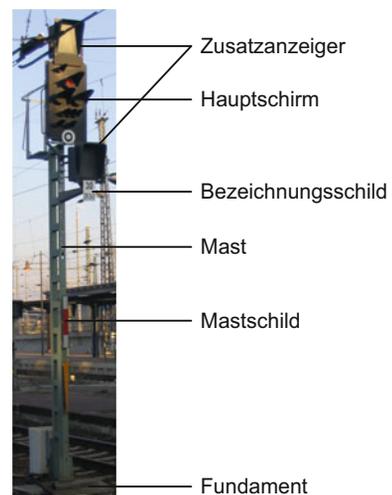


Abb. 4.48 Signale an einem Signalausleger



sicherzustellen, wird die Retroreflexion angewandt. Im Gegensatz zur normalen Reflexion sind retroreflektierende Folien durch Kugel- oder Prismenstrukturen so beschaffen, dass sie einfallendes Licht nicht diffus, sondern genau in die Richtung reflektieren, aus der es einfällt.

Signaltafeln werden meist mit retroreflektierenden Folien beschichtet. Trifft das Licht des Spitzensignals vom führenden Fahrzeug auf die Tafel, wird es zurück zum Fahrzeug reflektiert. Dabei treten retroreflektierende Gegenstände in der Wahrnehmung des Triebfahrzeugführers besonders hervor (Abb. 4.49).

Abb. 4.49 Durch Retroreflexion hervortretende Signaltafeln und Mastschilder bei Dämmerung



4.3.2.3 Signallaternen mit Glühlampen

Die Lichtquelle heutiger Lichtsignale ist überwiegend eine Glühlampe, die weißes Licht strahlenförmig in alle Richtungen aussendet. Das Licht der Glühlampe wird durch eine Linse so gebündelt, dass nahezu parallele Lichtstrahlen die Signaloptik verlassen (Abb. 4.50). Ein Farbfilter erzeugt die jeweilige Farbe des Lichtpunktes. Die Streuscheibe bestimmt den Winkel der Ausstrahlung des Lichtes. Die Schute hat die Aufgabe, Phantomlichter in Folge von Sonnenlicht sowie ein Verdecken der Signaloptik durch Eis und Schnee zu verhindern.

Zur Beurteilung der Sicht auf Lichtsignale werden die Tragweite und die Sichtbarkeit herangezogen.

Tragweite

Die Tragweite einer Lichtquelle ist derjenige „Abstand, in dem bei der jeweils vorhandenen Lichtdurchlässigkeit der Atmosphäre der unter vorgegebenen Beobachtungsbedingungen gültige praktische Schwellenwert des Auges erreicht ist.“ [DIN92] Dieser Wert ist abhängig von der Richtung des Lichtaustritts.

Mit der Tragweitenformel kann die Lichtstärke für Signalscheinwerfer mit Dauerlicht berechnet werden, die erforderlich ist, um eine bestimmte Tragweite zu erreichen:

$$I = 10^6 \cdot E'_p \cdot t^2 \cdot e^{z \cdot t}$$

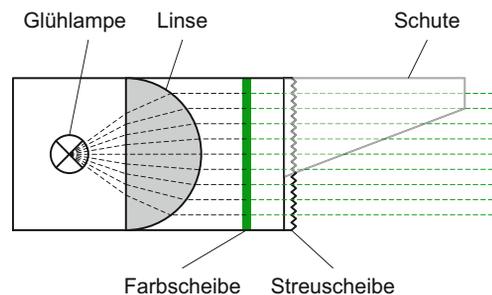
mit

- I Lichtstärke (cd),
- E'_p praktische Schwellenbeleuchtungsstärke des Auges (lx),
- t Tragweite (km),
- z Schwächungskoeffizient (km^{-1}).

Für die Dimensionierung von Tageslichtsignalen wird die folgende zugeschnittene Größengleichung verwendet [LI04]:

$$I = \frac{4 \cdot 10^3 \cdot t^2}{\tau \cdot \varepsilon}$$

Abb. 4.50 Aufbau einer Lichtsignallaterne mit Glühlampe



mit

- τ Transmission des verwendeten Farbfilters,
- ε Faktor für den Hintergrund,
- $\varepsilon = 2$ mit Kontrastblende (Signalschirm),
- $\varepsilon = 1$ ohne Kontrastblende.

Die nach dieser Formel errechnete Lichtstärke entspricht ungefähr derjenigen für starken Dunst. Sie bezieht sich auf die Ausgangslichtstärke des weißen Lichts vor der Farbfilterung.

Sichtbarkeit

Die Sichtbarkeit ist diejenige Entfernung, über die das Signal unter Berücksichtigung von Gleisgeometrie und Sichthindernissen (Gelände, Bewuchs, Bauten) aus der Annäherungsrichtung sichtbar ist.

Bei gerader Trassierung vor dem Lichtsignal ist die Blickrichtung auf das Signal nahezu senkrecht und das Licht kann in einem sehr kleinen Winkel ausgestrahlt werden. Liegt der Bereich der Sichtbarkeit dagegen im Bogen, wird eine Streuscheibe notwendig, die das Licht in einem größeren Winkel verteilt. Dabei sinkt allerdings die Tragweite. Es existieren verschiedene normierte Typen für verschiedene topografische Anwendungsfälle. In der Regel besitzen die Streuscheiben einen Tiefenstreusektor der dazu dient, das Signal auch für einen unmittelbar davor stehenden Beobachter sichtbar zu machen.

4.3.2.4 Signallaternen mit LED

Signaloptiken mit Lichtquellen auf Halbleiterbasis als Ersatz für die Glühlampe setzen sich in den letzten Jahren mehr und mehr durch (Abb. 4.51). Die Lichtquelle besteht dabei

Abb. 4.51 LED-Signalgeber



aus einer Vielzahl von Lichtemitterdioden (LED); neuere Entwicklungen kommen auch mit wenigen oder gar nur einer LED aus.

Erst seit wenigen Jahren existieren LED-Mehrfarbsignalgeber. Dazu werden verschiedenfarbige LED im Signalgeber angeordnet und je nach benötigter Farbe alle LED dieser Farbe angesteuert [LSZ13].

Es ergeben sich deutliche Vorteile im Energieverbrauch, wenn die Ansteuerung auf LED-Optiken abgestimmt ist, sowie in der Instandhaltung. Signallaternen mit LED sind, da die Optiken regelmäßig gereinigt werden müssen, zwar nicht wartungsfrei, jedoch ist das eine planbare Arbeit (Instandhaltung). Der bei Glühlampensignalgebern häufig auftretende Ausfall der Lampe ist nicht planbar (Instandsetzung) und entfällt bei LED.

4.3.3 Ansteuerung und Überwachung der Signaloptiken

4.3.3.1 Sicherheitsanforderungen an die Ansteuerung

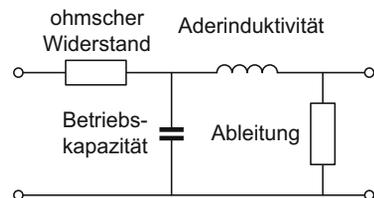
Grundsätzlich sollen die einzelnen Lichtpunkte eines Signals immer dann leuchten bzw. nicht leuchten, wenn es funktional erforderlich ist. Der häufigste Fehlerfall ist das Nichtleuchten, was der energieärmere Zustand und damit die Vorzugsausfallrichtung ist. Allerdings kann auch das fehlerhafte Leuchten eines Lichtpunktes durch Fremdbeeinflussung auftreten.

In beiden Fällen kann durch den Ausfall sowohl ein restriktiveres als auch ein weniger restriktiveres Signalbild erscheinen, je nach Gestaltung des Signalsystems. Beide Fehler können sich damit sowohl zur sicheren als auch zur nicht sicheren Seite auswirken. Somit ist es notwendig, beide Fehlzustände zu offenbaren und entsprechend zu reagieren. Auch wenn sich der Ausfall einer Optik zur sicheren Seite auswirkt, so ist aus Verfügbarkeitsgründen eine rasche Offenbarung sinnvoll, um die Instandsetzung einzuleiten.

4.3.3.2 Bedingungen im Lampenstromkreis

Die elektrische Leitung vom Stellwerk zur Signaloptik kann als Leitungsvierpol aufgefasst werden (Abb. 4.52). Dabei ist die Aderinduktivität bei der angewandten Frequenz von 50 Hz vernachlässigbar klein. Dasselbe gilt bei isolierten Adern für die Ableitung. Zwischen den Adern ergibt sich jedoch eine Kapazität und damit ein nicht vernachlässigbarer kapazitiver Widerstand.

Abb. 4.52 Leitungsvierpol



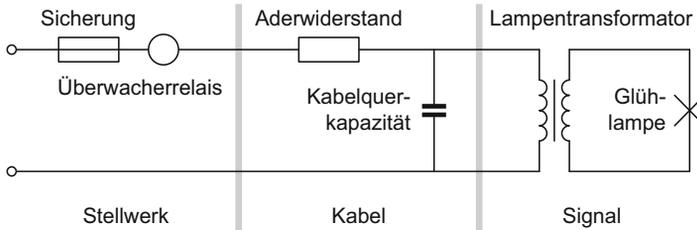


Abb. 4.53 Lampenstromkreis

Der Lampenstromkreis zur Einzelansteuerung von Signallampen ist in Abb. 4.53 dargestellt. Im Stellwerk befinden sich die Spannungsquelle und eine Sicherung zur Erkennung von Kurzschlüssen. Der Transformator am Signal dient zur Transformation der Speisenspannung, da diese mit höherer Spannung übertragen wird, um Verluste in der Leitung zu minimieren.

Zur Verlängerung der Lebensdauer werden die Signallampen am Tag nur mit dem 0,9-fachen der Nennspannung betrieben, womit sich ungefähr der 0,95-fache Wert des Nennstroms einstellt. Das führt jedoch zu einer Reduktion der Lichtstärke. Da eine Blendwirkung vermieden werden soll, wird die Lichtstärke durch weitere Verringerung der Spannung in der Nacht reduziert.

Die Überwachung auf Stromfluss wird durch einen Stromsensor realisiert, wie z. B. ein Relais, was bei ausreichender Stromhöhe anzieht. Aber auch elektronische Überwachungen sind bei modernen Anlagen anzutreffen.

Die Information über das Leuchten einzelner Lichtpunkte wird in der Sicherungslogik auch an anderer Stelle verwendet, wie z. B. bei der Signalthaltprüfung vor Abgabe des Rückblocks (siehe auch Abschn. 5.3.2.2).

Der Stromsensor muss das Leuchten der Lampe zuverlässig detektieren. Hierzu sind drei Fehlerfälle zu unterscheiden:

- Ausfall der Spannungsquelle oder Aderunterbrechung: Es fließt kein Strom.
- Leerlauf des Transformators bei Unterbrechung im Glühlampenstromkreis: Es fließt ein geringer Strom.
- Kurzschluss der Glühlampe oder des Glühfadens: Es fließt ein sehr hoher Strom.

Fehlerfall Leerlauf

Der Leerlauftritt tritt meist dadurch ein, dass der Glühfaden bricht oder durchbrennt. Aber auch das Entfernen der Glühlampe entspricht dem Leerlauftritt. Der Widerstand der Lampe geht gegen unendlich, womit der Widerstand des Transformators im Primärstromkreis sehr groß wird.

Für eine sichere Erkennung dieses Falls ist es wichtig, dass der Stromfühler den geringen Stromfluss nicht als das Leuchten der Lampe erkennt. Im Fall eines Relais darf dieses nicht anziehen. Im Ersatzschaltbild (Abb. 4.53) sind die Zusammenhänge zu erkennen:

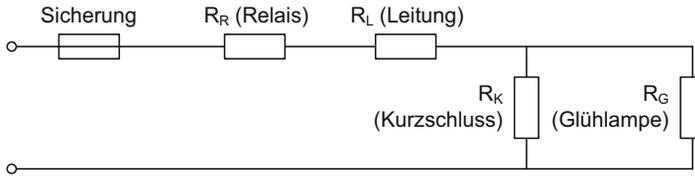


Abb. 4.54 Ersatzschaltbild des Lampenstromkreises im Kurzschlussfall

- Der über den Transformator fließende Strom ist umso größer, je kürzer das Kabel und je kleiner damit der Kabellängswiderstand ist. Aufgrund des im Verhältnis zum Kabellängswiderstandes großen Widerstandes des Transformators ist dieser Strom jedoch begrenzt.
- Je länger das Kabel ist, desto größer ist die gesamte Kabelquerkapazität und desto kleiner demzufolge der kapazitive Blindwiderstand. Somit wächst mit steigender Kabellänge auch der Strom über die Kabelquerkapazität, so dass bei einer bestimmten Kabellänge die Ansprechschwelle des Stromfühlers erreicht ist.

Fehlerfall Kurzschluss

Im Kurzschlussfall entsteht das in Abb. 4.54 dargestellte Ersatzschaltbild. Damit sollen zur Erläuterung des Prinzips alle Widerstandskomponenten vereinfacht als ohmsche Widerstände angenommen werden.

Der Gesamtwiderstand des Lampenstromkreises ohne Kurzschluss berechnet sich demnach zu:

$$R_{Ges} = R_R + R_L + R_G.$$

Im Kurzschlussfall beträgt der Widerstand:

$$R_{GesK} = R_R + R_L + \frac{1}{1/R_G + 1/R_K}.$$

Dabei ist der Kurzschlusswiderstand viel kleiner als der Lampenwiderstand, so dass gilt:

$$\frac{1}{1/R_G + 1/R_K} \approx R_K.$$

Weiterhin ist der Kurzschlusswiderstand viel kleiner als der Relais- und Leitungswiderstand, so dass sich die Widerstandsgleichung für den Kurzschlussfall folgendermaßen vereinfachen lässt:

$$R_{GesK} \approx R_R + R_L.$$

Somit ist der Widerstand im Kurzschlussfall kleiner als im Regelbetrieb. Im Regelbetrieb fließt ein Strom $I = \frac{U}{R_{Ges}}$, der sich im Kurzschlussfall auf $I_K = \frac{U}{R_{GesK}}$ erhöht. Dieser Strom muss ausreichen, um im Kurzschlussfall die Sicherung zur Auslösung zu bringen. Im Normalbetrieb darf sie jedoch nicht auslösen.

Somit muss das Verhältnis $\frac{I_K}{I} = \frac{R_{Ges}}{R_{GesK}} = \frac{R_R + R_L + R_G}{R_R + R_L}$ einen bestimmten Mindestwert haben. Der Widerstand R_G der Glühlampe ist durch konstruktive Eigenschaften festgelegt, so dass sich eine Begrenzung des Widerstandes $R_R + R_L$ nach oben ergibt. Während der Relaiswiderstand R_R durch konstruktive Eigenschaften des Relais bestimmt wird, ist der Leitungswiderstand R_L proportional zur Länge der Leitung, so dass auch hieraus eine Längenbegrenzung des Kabels entsteht.

Auswirkungen auf die Signalkabel

Durch die beschriebenen Fehlerfälle sind zwei Längenbegrenzungen des Signalstromkreises nach oben vorgegeben. Die anliegende Spannung kann jedoch variieren. So erfolgt ein Umschalten zwischen Tag- und Nachtbetrieb; außerdem ist mit Spannungsschwankungen der Spannungsversorgung innerhalb definierter Toleranzen zu rechnen.

Der Signalstromkreis muss daher so dimensioniert sein, dass:

- Auch bei der kleinsten anzunehmenden Spannung im Kurzschlussfall die Sicherung noch auslöst.
- Auch bei der größten anzunehmenden Spannung im Leerlauf der Stromfühler kein Leuchten detektiert (Relais nicht anzieht).

Aus Leerlauf- und Kurzschlussfall ergibt sich jeweils eine Längenbegrenzung des Signalkabels. Die genaue Grenze ist abhängig von den Widerständen, Induktivitäten und Kapazitäten im Stromkreis.

4.3.3.3 Besonderheiten der Überwachung bei LED-Optiken

Im Gegensatz zur Glühlampe ist die Überwachung des Leuchtens bei LED-Optiken schwieriger. Während bei der Glühlampe die Überwachung des Stroms ausreicht, um auf deren Leuchten zu schließen, besteht die Möglichkeit, dass eine LED trotz Stromfluss nicht leuchtet. Außerdem verlieren LED im Laufe ihres Lebens an Leuchtkraft. Um eine sichere Erkennbarkeit des Lichtpunktes zu gewährleisten, muss eine Mindestanzahl von LED innerhalb eines Lichtpunktes leuchten. Der Ausfall einzelner LED kann somit toleriert werden. Allgemein weisen LED eine sehr hohe Zuverlässigkeit auf. Um die geforderte, hohe Sicherheit zu gewährleisten, wird die Beibehaltung einer Mindestlichtstärke über einen bestimmten Zeitraum (z. B. 10 Jahre) mit Mitteln der Zuverlässigkeitstheorie nachgewiesen (Fehlerausschluss). Nach diesem Zeitraum erfolgt eine Auswechslung.

Darüber hinaus wird der Stromfluss geprüft, um z. B. Aderunterbrechungen zu offenbaren. Handelt es sich dabei um ein Stellwerk, was darauf konstruiert ist, den Stromfluss einer Glühlampe zu prüfen, so muss die LED-Optik auch den (höheren) Stromfluss einer Glühlampe emulieren. Obwohl LED wesentlich energiesparender sind, kann das Potenzial in diesem Fall nicht ausgeschöpft werden; erst mit einer Neukonstruktion der Ansteuerung gelingt das.

Auch eine Überwachung der LED in Ketten ist möglich. Dabei bilden jeweils mehrere in Reihe geschaltete LED eine Kette. Jede Kette wird auf ihren Strom überwacht. Je nach Konstruktion kann der Ausfall einer Kette toleriert werden.

In neuesten Entwicklungen wird innerhalb der Optik die Helligkeit der eingeschalteten LED gemessen. Hierdurch kann neben der grundsätzlichen Erkennung des Leuchtens auch festgestellt werden, ob die Mindestlichtstärke noch gegeben ist (Gefährdungsausschluss). Somit kann auf eine vorbeugende Auswechslung verzichtet werden [LSZ13].

4.3.3.4 Ansteuerung der Lichtpunkte bei moderner Stellwerkstechnik

Bisher war die parallele Ansteuerung der Lichtpunkte eines Signals üblich, um im Stellwerk jeden Lichtpunkt einzeln überwachen zu können. Mit Mitteln der Elektronik ist es heute aber auch möglich, eine serielle Ansteuerung der Lichtpunkte vorzunehmen. In elektronischen Stellwerken werden beide Varianten angewandt.

Bei der parallelen Ansteuerung wird Energie und Information über die gleichen Adern von der Außenelementansteuerung, in der sich die Leistungsschalter befinden, zum Signal geleitet (Abb. 4.55a). Dabei ist eine sternförmige Verkabelung notwendig (siehe auch Abschn. 6.6.2.2). Es werden pro Lichtpunkt zwei bis drei Adern benötigt. Für die Verbindung ergibt sich eine Begrenzung der Stellentfernung wie in Abschn. 4.3.3.2 beschrieben.

Bei der seriellen Ansteuerung werden Energie und Information getrennt zum Signal übertragen (Abb. 4.55b). Hierbei ergibt sich der Vorteil, dass für beide Übertragungen nur noch jeweils ein Aderpaar pro Signal benötigt wird. Dabei kann die Energiezuführung als Ringleitung ausgeführt werden. Erfolgt die Zuführung der Information über ein entsprechendes Bussystem (siehe auch Abschn. 6.6.2.3), ist auch hier keine sternförmige Verkabelung zwischen Außenelementansteuerung und Signal erforderlich. Dem geringeren Nachteil von aktiven Komponenten im Gleisfeld steht der große Vorteil der Einsparung

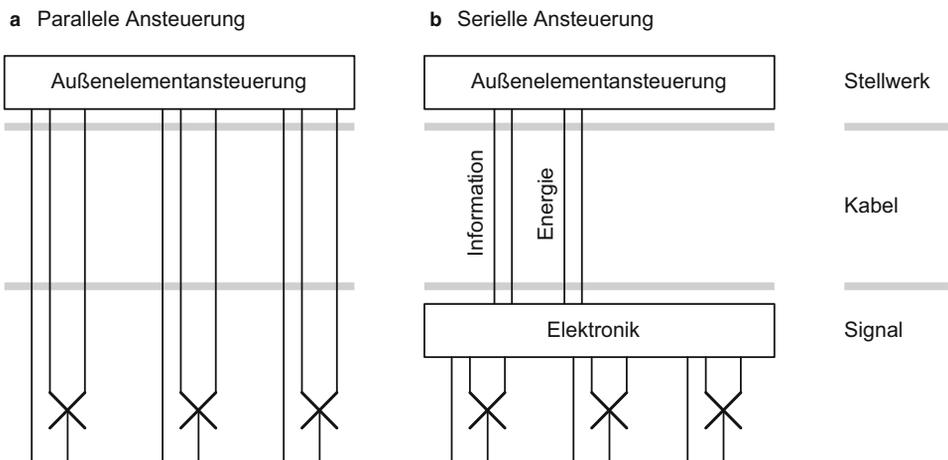


Abb. 4.55 Parallele (a) und serielle (b) Ansteuerung von Signalen

von Kabeladern (> 50 %) gegenüber. Außerdem erhöht sich die Stellentfernung und bei entsprechender Busgestaltung die Verfügbarkeit.

4.3.3.5 Rückfallebenen bei Ausfällen

Wie in Abschn. 4.3.3.1 erwähnt, wird der Verfügbarkeit von Lichtsignalen eine hohe Bedeutung beigemessen. Bis zu einer Instandsetzung werden daher folgende Strategien angewandt, um die Verfügbarkeit des Signals (auch wenn es nur Halt zeigt) zu erhalten:

Einschalten redundanter Lichtquellen

Der weitaus häufigste Ausfall bei Signaloptiken mit Glühlampen ist das Durchbrennen des Glühfadens. Hier kann als Redundanz ein zweiter Glühfaden in der Lampe (Zweifadenlampe, Abb. 4.56) verwendet werden, auf den im Fehlerfall umgeschaltet wird. Auch eine redundante Optik („Ersatzrot“/„Nebenrot“) kann die Funktion übernehmen.

Einschalten eines restriktiveren Signalbildes

In jedem Fall muss bei einzelnen Ausfällen ein restriktiveres Signalbild erscheinen. Ist hierzu nur der Haltbegriff möglich, muss der Betrieb bis zur Störungsbeseitigung durch eine ersatzweise Zustimmung zur Fahrt abgewickelt werden.

Erloschenes Signalbild

Besonders betrachtet werden muss der Totalausfall eines Lichtsignals. Während bei Formsignalen immer ein Signalbild gezeigt wird (Fehlerausschluss) wird beim völligen Erlöschen eines Lichtsignals kein Signalbild gezeigt, was gefährliche Auswirkungen haben kann. Deshalb dienen Mastschilder und Tafeln dazu, Lichtsignale zu kennzeichnen und die Verhaltensweise des Triebfahrzeugführers, der auf ein erloschenes Lichtsignal trifft, festzulegen. Grundsätzlich muss dann der jeweils restriktivste Signalbegriff angenommen werden, den das Signal zeigen kann (siehe auch Abschn. 4.3.7). Allerdings wird die Wirkung eines Mastschildes als weniger auffällig als ein leuchtendes Signal angesehen, weshalb der Verfügbarkeit von Lichtsignalen große Bedeutung beigemessen wird.

Abb. 4.56 Zweifadenlampe



4.3.4 Abschnittssignalisierung

4.3.4.1 Einordnung

Ob der Fahrweg gesichert ist, wird heute meist durch dynamische, ortsfeste Signale angezeigt. Dabei werden zwei wesentliche Informationen über den durch das Signal gedeckten Abschnitt übertragen:

- **Sicherung des Fahrens im Raumabstand:** Information, ob der Abschnitt frei von Fahrzeugen ist.
- **Sicherung beweglicher Fahrwegelemente:** Information, ob nach Lage der beweglichen Fahrwegelemente ein Fahrweg eingestellt und gesichert ist.

4.3.4.2 Vorsignalisierung

Vorsignalabstand

Das Fahren im Raumabstand wird durch Zugfolgeabschnitte realisiert, die in der Regel durch Hauptsignale begrenzt sind. Da bei Eisenbahnen der Bremsweg in der Regel länger ist als der Sichtweg, muss ein Hauptsignal durch ein Vorsignal derart angekündigt werden, dass die erforderliche Geschwindigkeitsreduktion (z. B. von 160 auf 0 km/h) möglich ist. Der dazu erforderliche Abstand wird Vorsignalabstand genannt.

Der am häufigsten anzutreffende Vorsignalabstand beträgt 1000 m. Aufgrund örtlicher Zwangspunkte kann das Vorsignal meist nicht genau in diesem Abstand aufgestellt werden, weshalb für den zulässigen Vorsignalabstand ein Bereich mit den Grenzen +50––5 % definiert ist, bei 1000 m also 950–1500 m. Die mögliche Unterschreitung ergibt sich aus der Tatsache, dass der Triebfahrzeugführer meist schon vor dem Vorsignal die Bremsung einleitet. Die Obergrenze liegt darin begründet, dass nach eingeleiteter Bremsung am Halt erwarten zeigenden Vorsignal der Triebfahrzeugführer ein entsprechendes Hauptsignal erwartet. Läge dies in wesentlich größerem Abstand als dem Bremswegabstand, müsste unnötig lange langsam gefahren werden. Außerdem bestünde die Gefahr, dass die Warnung des Vorsignals vergessen würde.

Verkürzter Vorsignalabstand

Bei speziellen infrastrukturellen Bedingungen kann die Situation entstehen, dass der baulich erreichbare Vorsignalabstand die untere Grenze unterschreitet. In solchen Fällen wird durch Geschwindigkeitssignalisierung vor dem Vorsignalabstand die zulässige Geschwindigkeit derart begrenzt, dass auch der Zug mit den schlechtesten Bremseigenschaften im verfügbaren Abstand zum Stehen kommen kann. In solchen Fällen bekommt der Triebfahrzeugführer einen Hinweis in seinen Unterlagen. Außerdem werden die Vorsignale in den Signalsystemen H/V und Ks durch ein weißes Zusatzlicht gekennzeichnet.

Vorsignalwiederholer

Für Signale muss sichergestellt sein, dass der Triebfahrzeugführer eine ausreichende Sicht darauf erhält. Kann die Sicht auf Hauptsignale aufgrund örtlicher Verhältnisse nicht gewährleistet werden, sind Vorsignalwiederholer so aufzustellen, dass die Sicht auf das Hauptsignal ersatzweise durch den Vorsignalwiederholer hergestellt wird. Er zeigt das Signalbild des Vorsignals an und wiederholt es dadurch. Vorsignalwiederholer werden wie Vorsignale im verkürzten Vorsignalabstand gekennzeichnet.

4.3.4.3 Ein- und Mehrabschnittssignalisierung

Bei der Einabschnittssignalisierung sendet jedes Haupt- oder Vorsignal Informationen über einen Signalisierungsabschnitt. Wenn bei kurzem Hauptsignalabstand Zugfolge- und Signalisierungsabschnitt zusammenfallen, werden Haupt- und Vorsignal am gleichen Ort aufgestellt.

Um den Signalisierungsaufwand zu reduzieren, können modernere Signalsysteme mehrere (meist zwei) Abschnitte signalisieren. Vor- und Hauptsignalfunktion werden dann in einem Mehrabschnittssignal vereint. Mehrabschnittssignale werden aber nur dort verwendet, wo Zugfolge- und Signalisierungsabschnitt identisch sind. Auch in Mehrabschnittssystemen gibt es reine Haupt- und Vorsignale.

Abbildung 4.57 zeigt die Anwendung von Vor-, Haupt- und Mehrabschnittssignal. Zugfolgeabschnitte werden durch Hauptsignale begrenzt. Entspricht die Länge eines Zugfolgeabschnitts dem zulässigen Vorsignalabstand (Zugfolgeabschnitt b), wird am Anfang des Abschnitts ein Mehrabschnittssignal aufgestellt. Überschreitet aber die Länge des Zugfolgeabschnitts den zulässigen Vorsignalabstand (Zugfolgeabschnitt a), darf am Anfang des Abschnitts noch keine Vorsignalisierung erfolgen und es wird nur ein Hauptsignal aufgestellt. Vor dem Haupt- bzw. Mehrabschnittssignal am Ende des Zugfolgeabschnitts wird dann ein Vorsignal im Vorsignalabstand aufgestellt.

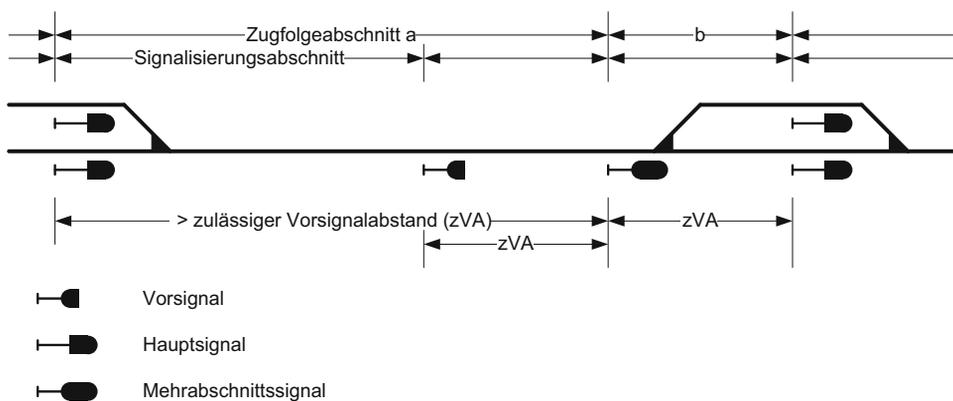


Abb. 4.57 Anwendung der Ein- und Zweiabschnittssignalisierung (nur eine Fahrtrichtung dargestellt)

4.3.4.4 Rangiersignalisierung

Im Gegensatz zu Zugfahrten verkehren Rangierfahrten auf Sicht. Daher ergeben sich vereinfachte Anforderungen an die Signalisierung. Somit ist eine Vor- und Geschwindigkeitssignalisierung nicht erforderlich. In der Regel genügen zwei Signalbegriffe: Fahrt und Halt. Einige ausländische Bahnen treffen bei den Fahrtbegriffen weitere Unterscheidungen, wie z. B. Gleis frei/besetzt oder einer Unterscheidung nach Rangieren auf Fahrstraße oder freiem Rangieren.

4.3.5 Signalisierung der zulässigen Geschwindigkeit

Verschiedene Ursachen können zur Reduzierung der zulässigen Geschwindigkeit führen. Während statische, fahrwegunabhängige Geschwindigkeiten durch Tafeln signalisiert werden, werden die fahrwegabhängigen Geschwindigkeiten dynamisch an Hauptsignalen angezeigt (Geschwindigkeits-Ausführung). In der Regel wird dies am Vorsignal vorsignaliert, damit der Triebfahrzeugführer seine Fahrweise auf die veränderte Geschwindigkeit einstellt (Geschwindigkeits-Ankündigung). Bei Geschwindigkeitserhöhungen kann darauf verzichtet werden, da ohnehin erst ab dem Hauptsignal beschleunigt werden darf.

4.3.5.1 Möglichkeiten der Geschwindigkeitssignalisierung mit Lichtsignalen

Um verschiedene Geschwindigkeitsstufen voneinander zu unterscheiden, gibt es mehrere Möglichkeiten:

- **Variation der Lichtpunkte** durch Farbe, Zahl, Blinkfrequenz und geometrische Anordnung. Allerdings werden mit steigender Anzahl von Geschwindigkeitsstufen die Signalbilder zunehmend unübersichtlicher.
- **Geometrische Zusatzanzeiger** können durch verschiedenfarbige Lichtstreifen oder in verschiedenen geometrischen Formen angewandt werden.
- **Numerische Zusatzanzeiger** können durch Zahlen Geschwindigkeiten (gegebenenfalls in Stufen von z. B. 10 km/h) signalisieren. Nachteilig ist der höhere konstruktive Aufwand, der heute aber beherrscht wird.

4.3.5.2 Räumliche Gültigkeit der Geschwindigkeitssignalisierung

Die signalisierte Geschwindigkeit gilt jeweils für einen bestimmten Bereich, der nicht immer mit dem Bereich bis zum nächsten Hauptsignal identisch ist. Bei deutschen Eisenbahnen gilt die **Weichenbereichsregel**; eine signalisierte Geschwindigkeit gilt danach immer im anschließenden Weichenbereich. Dieser ist jedoch unterschiedlich definiert, abhängig davon, ob es sich um ein Einfahr- bzw. Zwischensignal oder Ausfahr- bzw. Blocksignal handelt. Im Ausland weichen die Regeln zur räumlichen Gültigkeit einer Geschwindigkeitssignalisierung teilweise deutlich von der deutschen Regelung ab.

Bei Einfahr-/Zwischensignalen reicht der Weichenbereich für durchfahrende Züge bis zum nächsten Hauptsignal (Abb. 4.58a). Hält der Zug jedoch, endet der Weichenbereich

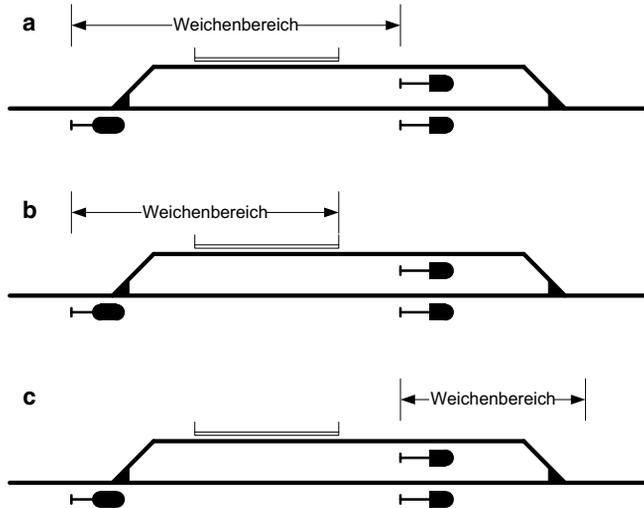


Abb. 4.58a–c Weichenbereiche

am Halteplatz des Zuges (Abb. 4.58b). Bei der Weiterfahrt gilt bereits die am folgenden Hauptsignal gezeigte Geschwindigkeit.

Bei Ausfahr-/Blocksignalen ist der Weichenbereich bis zur letzten Weiche der Betriebsstelle definiert (Abb. 4.58c). Danach gilt die Geschwindigkeit der Strecke.

In jedem Fall muss der vollständige Zug die jeweils geringste Geschwindigkeit einhalten. Das bedeutet, dass bei einer Geschwindigkeitsverminderung der Zug mit der Einfahrt in den Bereich die vorgeschriebene Geschwindigkeit erreicht haben muss. Umgekehrt bedeutet das bei einer Geschwindigkeitserhöhung, dass der Zug vollständig den vorherigen Abschnitt geräumt haben muss, damit beschleunigt werden darf.

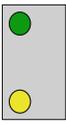
4.3.6 Signalsysteme nach ESO

Für Bahnen nach EBO gilt die Eisenbahn-Signalordnung (ESO). Diese soll erreichen, dass auf den Eisenbahnen ein einheitliches Signalsystem angewendet wird. Die unternehmerische Ausprägung findet die ESO in den Signalbüchern der Eisenbahninfrastrukturunternehmen (z. B. [DB301]). Hier können weitere Signale definiert, jedoch dürfen die in der ESO festgeschriebenen Signale nicht geändert werden.

4.3.6.1 H/V-System

Das älteste noch in Gebrauch befindliche Signalsystem ist das Haupt-/Vorsignalsystem (H/V-System). Es handelt sich dabei um eine Einabschnittsignalisierung.

Tab. 4.4 Hauptsignalisierung beim H/V-System

Signalbild Form	Signalbild Licht	Nominaler Signalbegriff	Logischer Signalbegriff
		Hp 0	Halt
		Hp 1	Fahrt
		Hp 2	Fahrt mit Geschwindigkeitsbeschränkung (40 km/h)

H/V-System mit Formsignalen

Formhauptsignale (Abb. 3.4) entwickelten sich aus den optischen Flügeltelegraphen. Während die optischen Telegraphenlinien längst durch elektrische Informationsübertragung ersetzt wurden, war dies zwischen der Eisenbahninfrastruktur und einem fahrenden Zug lange Zeit nicht möglich, so dass die Form der optischen Informationsübertragung mit Form- oder Lichtsignalen bis heute gebräuchlich ist. Die immer noch vorhandenen Formsignale werden jedoch zunehmend durch Lichtsignale ersetzt.

Formsignale sind nur in Verbindung mit Hebelstellwerken (siehe auch Abschn. 6.1.3.1) gebräuchlich und werden mit Drahtzugleitungen oder elektromotorisch angetrieben. Entsprechend des Fail-Safe-Prinzips ist die Antriebsvorrichtung so konstruiert, dass im Fehlerfall (z. B. Drahtbruch oder Aderunterbrechung) das Signal stets die Haltstellung einnimmt.

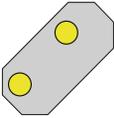
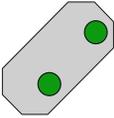
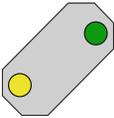
Formhauptsignale können ein- oder zweiflügelig sein, je nachdem, welche Signalbegriffe benötigt werden (Tab. 4.4). Formvorsignale bestehen aus einer runden, gelben Scheibe mit weißem Rand, die waagrecht umgeklappt werden kann, so dass sie nicht mehr sichtbar ist. Ein gelber Flügel kann am Mast angebracht sein (Tab. 4.5).

Bei Dunkelheit sind die Signalfügel und -scheiben nicht sichtbar. Deshalb werden Nachtzeichen durch beleuchtete, mechanisch angetriebene, farbige Blenden gegeben. Die bis vor einigen Jahren noch gasbetriebenen Laternen werden heute ausschließlich elektrisch betrieben.

H/V-System mit Lichtsignalen

Die Signalbilder des H/V-Systems sind unmittelbar von den Nachtzeichen der Formsignale abgeleitet (Tab. 4.4 und 4.5). H/V-Lichtsignale sind fast ausschließlich im Gebiet der ehemaligen Deutschen Bundesbahn im Zusammenhang mit Relais- oder älteren elektronischen Stellwerken zu finden (Abb. 4.59). Die früher gebräuchliche Unterscheidung

Tab. 4.5 Vorsignalisierung beim H/V-System

Signalbild Form	Signalbild Licht	Nominaler Signalbegriff	Logischer Signalbegriff
		Vr 0	Halt erwarten
		Vr 1	Fahrt erwarten
		Vr 2	Fahrt mit Geschwindigkeitsbeschränkung erwarten

in Doppel- und Einfachrot betraf ausschließlich Rangierfahrten und ist heute nicht mehr relevant. Dennoch ist das Doppelrot in nahezu allen Anlagen mit H/V-Lichtsignalen noch zu sehen.

Mit dem Aufkommen von Relaisstellwerken wurde das System mit numerischen Geschwindigkeitsanzeigern ergänzt, um feinere Geschwindigkeitsabstufungen signalisieren zu können. Dabei können mit den Zahlen 2–16 Geschwindigkeiten zwischen 20 und 160 km/h signalisiert werden.

Bis 60 km/h wird der Geschwindigkeitsanzeiger zusammen mit Hp 2 gezeigt, darüber mit Hp 1. Da es im zweiten Fall zu einer Abwertung des Signals kommt, muss hier der Geschwindigkeitsanzeiger zwingend überwacht und bei Ausfall ein restriktiveres Signalbild gezeigt werden.

Abb. 4.59 H/V-Lichtsignale

Abb. 4.60 Lichtsignale des HI-Systems mit Stellwerks-hochbau im Hintergrund



4.3.6.2 HI-System

Das HI-System geht auf Vereinheitlichungsbestrebungen der OSJD (Organisation für die Zusammenarbeit der Eisenbahnen – eine zwischenstaatliche Organisation sozialistischer Länder) in den 1950er Jahren zurück. Hiermit wurde ein einheitliches Grundschema der Signalisierung geschaffen, das jedoch durch die anwendenden Bahnen auf ihre Bedürfnisse angepasst werden konnte. Die deutsche Ausprägung ist das HI-Signalsystem, das nur im Gebiet der ehemaligen Deutschen Reichsbahn angewendet wird (Abb. 4.60).

Grundsätzlich ist das System eine Zweiabschnittssignalisierung, d. h. Vor- und Hauptsignal können in einem Signalbild vereinigt werden. Dabei befindet sich im unteren Teil die Haupt- und im oberen Teil die Vorsignalisierung.

Wie beim H/V-System maskiert die Hauptsignalisierung „Halt“ jegliche Vorsignalisierung. Besitzt das Signal nur Hauptsignalfunktion (in der Regel bei Ausfahr- und Blocksignalen), wird als Vorsignalisierung „Fahrt mit Höchstgeschwindigkeit erwarten“ gezeigt, die ab dem Ende des anschließenden Weichenbereichs gilt. Nach einem solchen Hauptsignal muss in der Regel ein Vorsignal folgen, um eine Vorsignalisierung für das folgende Hauptsignal zu geben. Dann bleibt der untere Teil (Hauptsignalisierung) dunkel, was laut Logik des Signalsystems „Fahrt mit Höchstgeschwindigkeit“ bedeutet und auch logisch ist, da ein Vorsignal keine Einschränkung für seinen Signalisierungsabschnitt geben kann.

Die Unterscheidung der Geschwindigkeiten im Signalbild erfolgt in der Vorsignalisierung durch Blinklichter und für die Hauptsignalisierung durch Lichtstreifen. Bei der Deutschen Reichsbahn wurden, ausgehend von den verwendeten Weichenbauformen, vier Geschwindigkeitsstufen (40, 60, 100 km/h, v_{\max}) festgelegt (Tab. 4.6). Eine Besonderheit ist, dass für die Vorsignalisierung von 40 und 60 km/h der gleiche Begriff (gelb blinkend) verwendet wird, was bei der geringen Geschwindigkeitsdifferenz tolerierbar ist.

Tab. 4.6 Signalbilder im HI-System

	Geschwindigkeit im Weichenbereich				Halt
	v_{max}	100 km/h	60 km/h	40 km/h	
Geschwindigkeit nach Ende des Weichenbereiches	v_{max}				
	100 km/h				
	40/60 km/h				
	Halt				

4.3.6.3 Ks-System (Kombinationssignal)

Das Ks-System ist das neueste und modernste unter den deutschen Signalsystemen. Es wurde 1992 entwickelt und wird seitdem bei allen Neubauten von elektronischen Stellwerken angewendet.

Es erfolgt eine konsequente Trennung zwischen der Abschnitts- und der Geschwindigkeitssignalisierung. Die Signalisierung des gesicherten Fahrwegs wird durch die Signalbegriffe Hp 0, Ks 1 und Ks 2 im Hauptschirm vorgenommen (Tab. 4.7).

Tab. 4.7 Abschnittssignalisierung beim Ks-System

Signalbild	Nominaler Signalbegriff	Logischer Signalbegriff
	Hp 0	Halt
	Ks 1	Fahrt (zwei Signalisierungsabschnitte frei)
	Ks 2	Fahrt; Halt am nächsten Signal erwarten (ein Signalisierungsabschnitt frei)

Das grüne Licht wird zur Erhöhung der Aufmerksamkeit in Form eines Blinklichts gezeigt, wenn an diesem Signal eine Geschwindigkeitsverringerung vorsektalisiert und damit eine Bremsung einzuleiten ist. Zur Signalisierung von Geschwindigkeiten, die geringer sind als die Geschwindigkeit der Strecke, dienen – analog zum H/V-System – Geschwindigkeitsanzeiger (Zs 3) bzw. -vorangeiger (Zs 3v). Dabei kann auf das Signal Zs 3v verzichtet werden, wenn ab dem nächsten Signal keine geringere als die momentane Geschwindigkeit gilt und der Weichenbereich bis zum nächsten Hauptsignal reicht, der Triebfahrzeugführer also bis zum nächsten Signal die Geschwindigkeit nicht verringern muss.

4.3.6.4 Signalisierung sonstiger, dynamischer Informationen

Die obigen Beschreibungen der Signalsysteme beinhalten nur die Signalisierung des gesicherten Fahrwegs und die Signalisierung der zulässigen Geschwindigkeit. Bei allen genannten Systemen können aber auch noch weitere dynamische Informationen (sonstige Informationen nach Abschn. 4.3.1.4) gegeben werden.

Richtungsanzeiger (Zs 2) und Richtungsvorangeiger (Zs 2v)

Um Fehlleitungen zu vermeiden, muss der Triebfahrzeugführer bei Fahrmöglichkeiten in mehrere Strecken oder Bahnhofsteile prüfen, ob die richtige Fahrstraße eingestellt ist. Das dient vor allem dazu, Fehlleitungen zu vermeiden, da hieraus Betriebsbehinderungen und auch unmittelbare Betriebsgefahren erwachsen können, wie z. B. bei der Überleitung von einer elektrifizierten in eine nicht elektrifizierte Strecke. Der Triebfahrzeugführer ist verpflichtet, bei Erkennen einer Fehlleitung sofort anzuhalten.

Ist die Fahrtrichtung nicht anhand unterschiedlich signalisierter Geschwindigkeiten erkennbar, zeigt ein Richtungsanzeiger (Zs 2) das Ziel der Fahrstraße an (Abb. 4.61a). Hierzu wird ein weißer Kennbuchstabe verwendet, der in der Regel der Anfangsbuchstabe des nächsten Knotenbahnhofs ist.

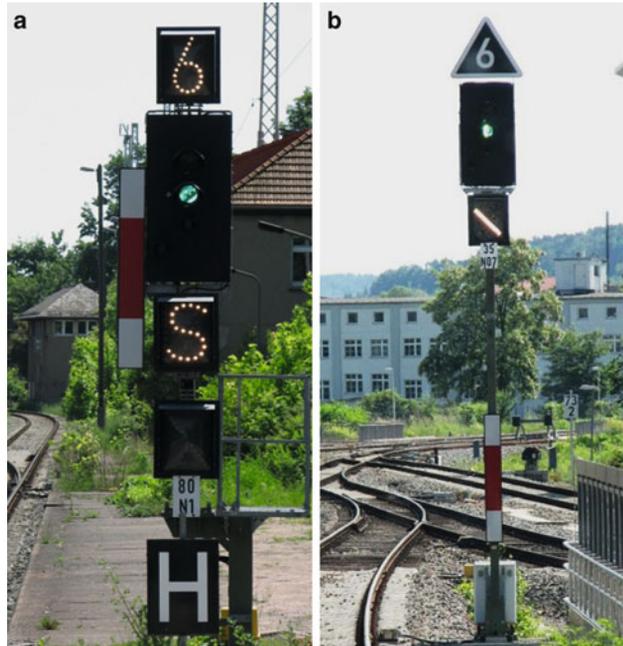
Wo mit höherer Geschwindigkeit gefahren wird, ist die Ankündigung durch einen Richtungsvorangeiger (Zs 2v) am zugehörigen Vorsignal erforderlich, der den Kennbuchstaben in gelb zeigt. Der Vorsignalisierung liegt die Überlegung zugrunde, dass bei höherer Geschwindigkeit die Fehlleitung nach Erkennen des Richtungsanzeigers nicht mehr zu verhindern ist, während bei geringerer Geschwindigkeit das Hauptsignal vielleicht schon passiert, jedoch noch nicht in die falsche Strecke eingefahren wurde.

Gegengleisanzeiger (Zs 6)

Auf zweigleisigen Strecken wird in der Regel rechts gefahren (Regelgleis). Aus betrieblichen Gründen kann es jedoch vorteilhaft sein, das Gleis entgegen der gewöhnlichen Fahrtrichtung zu benutzen (Gegengleis). Hierfür ist die sicherungstechnische Ausrüstung des Gegengleises erforderlich, wozu insbesondere gehören:

- Ausfahrstraßen auf das Gegengleis,
- Streckenblock für das Gegengleis,
- Einfahrsignale und -fahrstraßen vom Gegengleis.

Abb. 4.61 a Ks-Signal mit Zs 3 (Lichtsignal, *oben*) und Zs 2 (*unten*), b Ks-Signal mit Zs 3 (Formsignal, *oben*) und Zs 6 (*unten*)



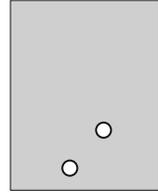
Aus Aufwandsgründen war es in älterer Stellwerkstechnik nicht üblich, bei zweigleisigen Strecken das Gegengleis regulär zu nutzen. In neuerer Technik hingegen wird in der Regel die technisch gesicherte Nutzung des Gegengleises ermöglicht. Um den Triebfahrzeugführer für diese Betriebsweise zu sensibilisieren, wird dann der Gegengleisanzeiger (Zs 6) gezeigt (Abb. 4.61b). Insbesondere muss der Triebfahrzeugführer nun die in der Regel links stehenden Signale und in seinen Unterlagen die Angaben für das Gegengleis beachten.

Stumpfgleis- und Frühhaltanzeiger (Zs 13)

In den häufigsten Fällen wird hinter dem Zielsignal ein Durchrutschweg freigehalten. Bei besonderen infrastrukturellen Bedingungen (z. B. Einfahrt in ein Stumpfgleis) ist dies nicht möglich. In solchen Fällen muss der Triebfahrzeugführer dafür sensibilisiert werden, besonders vorsichtig einzufahren, was mit dem Stumpfgleis- und Frühhaltanzeiger (Zs 13) geschieht, der ein liegendes, gelbes T auf schwarzem Grund zeigt (Abb. 4.62). Dieser wird auch verwendet, wenn der Einfahrtsweg deutlich kürzer ist als bei den anderen Einfahrten des Bahnhofs. In der Regel wird der Stumpfgleis- und Frühhaltanzeiger als

Abb. 4.62 Stumpfgleis- und Frühhaltanzeiger



Abb. 4.63 Signal Sh 1/Ra 12

Lichtsignal verwendet, er kann aber auch – analog zum Zs 3 und Zs 3v – als Formsignal ausgebildet sein.

4.3.6.5 Rangiersignalisierung (Sh 1/Ra 12)

Die Signalisierung für Rangierfahrten erfolgt in allen drei genannten Signalsystemen gleich. Das Signal Hp 0 gilt für Rangierfahrten wie auch für Zugfahrten. Die Zustimmung zur Rangierfahrt wird durch das Signal Sh 1 (DS-Bereich, ehemalige Deutsche Bundesbahn)/Ra 12 (DV-Bereich, ehemalige Deutsche Reichsbahn) mit zwei weißen, nach rechts steigenden Lichtern gezeigt (Abb. 4.63).

4.3.7 Rückfallebenen der Signalisierung

Aufgrund der Fail-Safe-Eigenschaft der Sicherungstechnik führen Ausfälle der Technik zu einem sicheren Zustand. Bei der Signalisierung entspricht dies dem jeweils restriktiveren Signal; der restriktivste bei Hauptsignalen ist der Haltbegriff. Um in solchen Fällen den Bahnbetrieb weiterführen zu können, existieren besondere Verfahren und Signalisierungen, die jedoch mit einem geringeren Sicherheitsniveau verbunden sind.

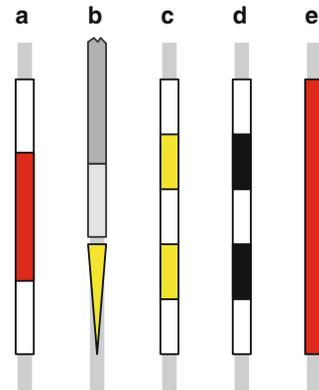
4.3.7.1 Besonderheit beim Fahren auf Sicht

Bei einigen Verfahren in der Rückfallebene ist das Fahren auf Sicht bis zum nächsten Hauptsignal vorgeschrieben. Da die Haltstellung eines Signals aber nicht unmittelbar nach der Vorbeifahrt, sondern etwas später erfolgt (siehe auch Abschn. 5.2.4.6), besteht die Möglichkeit, dass sich noch ein Fahrzeug hinter dem Fahrt zeigenden Signal befindet. Aus diesem Grund muss beim Fahren auf Sicht, wenn das nächste Signal einen Fahrtbegriff zeigt, noch 400 m über das Signal hinaus auf Sicht gefahren werden, da der Signalhaltfall spätestens nach dieser Strecke erfolgt.

4.3.7.2 Mastschilder

Das Mastschild (Abb. 4.64) kennzeichnet ein Hauptsignal. Es hat nur in der Rückfallebene Bedeutung: Trifft der Triebfahrzeugführer ein Signal mit Halt zeigendem, erloschenem oder zweifelhaftem Signalbild an, muss er anhand des Mastschildes seine weiteren Handlungen vornehmen.

Abb. 4.64a–e Mastschilder für Hauptsignale



Mastschild a kennzeichnet die Mehrzahl aller Hauptsignale. Zeigt ein so gekennzeichnetes Signal keinen Fahrtbegriff, darf nur mit Auftrag des Fahrdienstleiters vorbeigefahren werden.

Mastschild b wird nur in Kombination mit a verwendet. Es zeigt an, dass dieses Hauptsignal ein Mehrabschnittssignal ist und somit auch Vorsignalfunktion übernimmt. Wird an einem so gekennzeichneten Signal ohne Fahrtbegriff vorbeigefahren, muss gleichzeitig der restriktivste Vorsignalbegriff (Halt erwarten) angenommen werden.

Mastschild c wird nur bei Blocksignalen von Zugfolgestellen des selbsttätigen, dezentralen Streckenblocks verwendet (siehe auch Abschn. 5.3.2.5). Hier darf an Halt zeigenden oder gestörten Signalen auch ohne Auftrag des Fahrdienstleiters auf Sicht vorbeigefahren werden, wenn eine Verständigung nicht möglich ist.

Mastschild d entspricht c mit dem Unterschied, dass grundsätzlich ohne Verständigung mit dem Fahrdienstleiter vorbei gefahren werden darf. Dieses Mastschild wird nur noch bei der Berliner und Hamburger S-Bahn auf dicht befahrenen Strecken angewandt, hier jedoch auch bei zentralen Blockbauformen.

Mastschild e entspricht a mit dem Zusatz, dass im anschließenden Zugfolgeabschnitt auf Sicht gefahren werden muss. Anwendung findet es nur noch bei der Berliner S-Bahn.

4.3.7.3 Schriftlicher Befehl

Der schriftliche Befehl (Abb. 4.65) wird vom örtlichen Personal an den Triebfahrzeugführer übergeben oder diktiert und gestattet so, an einem Halt zeigenden Signal vorbeizufahren. Da hierbei die Sicherheitsverantwortung von der Technik auf den Menschen übergeht, ist größte Sorgfalt bei den handelnden Personen vonnöten (siehe auch Abschn. 3.5).

Anhand der Anzeigen auf seiner Bedienoberfläche oder aus anderen Informationsquellen muss sich der Fahrdienstleiter vom gesicherten Zustand des Fahrwegs überzeugen, bevor der Befehl erteilt werden darf. Kann er dabei keine Information über die Freimeldung des Fahrwegs erlangen, muss zusätzlich das Fahren auf Sicht angeordnet werden, wobei dann der Triebfahrzeugführer für die Gleisfreiprüfung zuständig ist.

Abb. 4.65 Ausschnitt aus einem Befehlsvordruck [DB408]

Befehle		
Triebfahrzeugführer Zug - Sperrfahrt - Sperrfahrt KI - Schiebetriebfahrzeug für Zug - Rangierfahrt		
Standort: in Rg/Gg/GI <small>(km/Signal/Weiche) (G-Tr., Betriebsstelle / von Betriebsstelle nach Betriebsstelle)</small>		
1	Sie dürfen - in den / im Bf / Bft - auf der Abzw / Üst weiterfahren - einfahren.	
1.1	Sie müssen bis zum Erkennen der Stellung des nächsten Hauptsignals mit höchstens 40 km/h fahren.	
2	Sie dürfen - vorbeifahren - weiterfahren nach Vorbeifahrt / TR - am / an / in	
	Signal usw.	Bezeichnung / km Bf, Bft, Abzw, Üst, Bk, Dkst
2.1	Sie müssen bis zum Erkennen der Stellung des nächsten Hauptsignals mit höchstens 40 km/h fahren.	
3	Sie dürfen aus dem Bf/Bft ausfahren.	
3.1	Sie müssen bis zum Erkennen der Stellung des nächsten Hauptsignals mit höchstens 40 km/h fahren.	
4	Sie fahren auf dem Gegengleis von bis	

4.3.7.4 Ersatz- und Vorsichtssignal

Zur Verkürzung der zeitaufwändigen Prozedur der Erteilung eines schriftlichen Befehls dienen Zusatzsignale, die die ersatzweise Zustimmung zur Fahrt durch ein Signalbild übermitteln.

Grundsätzlich ist dabei zwischen zwei verschiedenen Bedeutungen zu unterscheiden [PA06]:

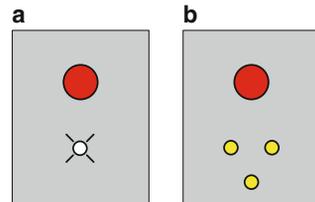
1. Auftrag zur Vorbeifahrt am Signal (max. 40 km/h) und Weiterfahrt nach dem Passieren des anschließenden Weichenbereichs mit der im Fahrplan festgelegten zulässigen Geschwindigkeit.
2. Vorbeifahrt am Signal und anschließendes Fahren auf Sicht bis zum nächsten Hauptsignal.

Weiterhin ist bei Ausfahrten zu unterscheiden, ob ins Regelgleis oder ins Gegengleis gefahren wird. Eine Übersicht zeigt Tab. 4.8.

Tab. 4.8 Signalisierungen der Rückfallebene

	Vorbeifahrt am Hauptsignal und	
	Fahrplangeschwindigkeit nach Verlassen des Weichenbereichs	Fahren auf Sicht bis zum nächsten Hauptsignal
Fahrt ins Regelgleis oder innerhalb von Bahnhöfen	Ersatzsignal (Zs 1)	Vorsichtssignal (Zs 7)
Fahrt ins Gegengleis	Gegengleisfahrt-Ersatzsignal (Zs 8) Vorrangig innerhalb und bei Schnittstellen zur Alntechnik, sonst schriftlicher Befehl oder Kombination Zs 1 mit allein stehendem Zs 6	Schriftlicher Befehl

Abb. 4.66 Ersatzsignal (a) und Vorsichtssignal (b). Die Hauptanzeige ist irrelevant, zeigt aber meist Halt



Das **Ersatzsignal** (Zs 1) wird heute als weißes Blinklicht gegeben, während es in älteren Anlagen auch noch als „Drei weiße Lichter in Form eines A“ [DB301] als Standlicht vorhanden ist. Das **Vorsichtssignal** (Zs 7) wird gegeben als „Drei gelbe Lichter in Form eines V“ [DB301] (Abb. 4.66).

Die Aussagen des Ersatzsignals und des Gegengleisanzeigers verbindet das **Gegengleisfahrt-Ersatzsignal** (Zs 8). Das Signalbild ist im DV-Bereich ein „weißblinkender Lichtstreifen von rechts nach links steigend“ [DB301] und im DS-Bereich „Drei blinkende weiße Lichter in Form eines A“ [DB301]. Das Gegengleisfahrt-Ersatzsignal soll innerhalb moderner Anlagen der Stellwerkstechnik nicht mehr neu gebaut werden. In den seltenen Fällen der ersatzweisen Zustimmung zur Fahrt auf dem Gegengleis kann ein schriftlicher Befehl oder die Kombination von Ersatzsignal mit einem allein stehenden Gegengleisanzeiger verwendet werden.

Mit Ausnahme des blinkenden Lichtstreifens, der in einem Zusatzanzeiger gezeigt wird, werden alle anderen Signale der Rückfallebene mit gesonderten Signaloptiken gegeben, die in der Regel kleiner sind als die Hauptsignaloptiken und deshalb auch eine geringere Tragweite besitzen. Da diese Signale im Stand oder mit sehr geringer Geschwindigkeit des Zuges vor dem Signal aufgenommen werden, ist auch nur eine kürzere Sichtbarkeit erforderlich.

Um mit den Signalen die sicherungstechnischen Abhängigkeiten zu umgehen, sind keine oder nur sehr wenige technische Vorbedingungen vor dem Geben des Signals zu erfüllen. Wie beim schriftlichen Befehl liegt die Verantwortung beim Fahrdienstleiter. Während jedoch der Nachweis für das Geben beim Befehl durch die Schriftform vorliegt, muss das Geben von Ersatz- und Vorsichtssignal technisch registriert und vom Bediener schriftlich begründet werden, wobei in modernen Anlagen die Dokumentation elektronisch erfolgt.

4.3.7.5 Überfahrbare Haltbegriffe

Durch Mastschilder (Abb. 4.64) werden unter anderem Hauptsignale mit Absoluthalt (weiß-rot-weiß) von solchem mit unter bestimmten Voraussetzungen überfahrbarem Halt (weiß-gelb-weiß-gelb-weiß) unterschieden. Letztere dürfen nicht für die Sicherung von beweglichen Fahrweegelementen zuständig sein, sondern lediglich das Fahren im Raumabstand gewährleisten (reine Blocksignale). An derart gekennzeichneten Hauptsignalen darf auch in der Haltstellung vorbeigefahren werden, wenn zuvor erfolglos versucht wurde, mit dem zuständigen Fahrdienstleiter Kontakt aufzunehmen. Da jedoch nicht erkennbar

ist, ob das Signal wegen einer Störung oder wegen des tatsächlichen Nichtvorhandenseins der Freigabebedingungen auf Halt steht, muss anschließend auf Sicht gefahren werden, um vor eventuell im Abschnitt befindlichen Fahrzeugen sicher zum Stehen zu kommen.

4.3.8 Lichtsignale ohne positives Signalbild

In Lichtsignalssystemen wird jeder Signalbegriff durch ein positives Signalbild dargestellt. In bestimmten Fällen kann ein solches Signal aber auch keinen Signalbegriff zeigen.

Signal erloschen

Im Gegensatz zu Formsignalen können Lichtsignale aufgrund eines Totalausfalls kein Signalbild zeigen. Obwohl durch verschiedene Maßnahmen die Verfügbarkeit erhöht wird, kann der Fall dennoch eintreten. Dann ist vom Triebfahrzeugführer der für dieses Signal restriktivste Signalbegriff anzunehmen.

Signal betrieblich abgeschaltet

Wird ein Signal in einer betrieblichen Situation nicht benötigt, so wird es abgeschaltet. Um aber nicht den Eindruck eines erloschenen Signals zu erwecken, wird dieser Zustand durch ein weißes Licht – das Kennlicht – gekennzeichnet.

Signal dunkel geschaltet

Wird ein Zugfolgeabschnitt durch ortsfeste und Führerraumsignalisierung signalisiert, so kann es aufgrund der unterschiedlichen Abschnitte, auf die sich die jeweilige Signalisierung bezieht, zu widersprüchlicher Signalisierung kommen (siehe auch Abschn. 7.1.3). Um hier nicht gleichzeitig einen Halt- und einen Fahrtbegriff anzuzeigen, wird der Haltbegriff der ortsfesten Signalisierung dunkel geschaltet. Die Führerraumanzeige genießt Vorrang.

Ungültiges Signal

Ist ein Signal zwar physisch vorhanden, jedoch momentan außer Betrieb (z. B. bei Bauzuständen), wird es durch ein weißes Kreuz als ungültig gekennzeichnet oder verdeckt.

4.3.9 Betriebliche Bedeutung von Haupt- und Sperrsignalen

Das Ks-System als das modernste deutsche Signalsystem sowie die dafür geltenden Regeln sollen in allen folgenden Ausführungen beispielhaft herangezogen werden. Die Systematik der Signalbezeichnung wird in Abschn. 10.4.1 erläutert.

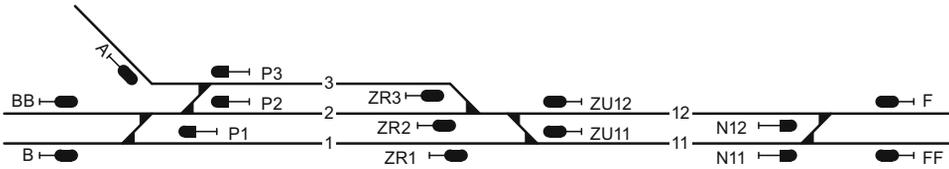


Abb. 4.67 Anordnung der Hauptsignale im Bahnhof

4.3.9.1 Einfahr-, Ausfahr- und Zwischensignal

In der Regel wird ein Bahnhof durch Hauptsignale begrenzt. Diese Signale werden **Einfahrtsignale** genannt. Einfahrtsignale sind dadurch gekennzeichnet, dass die an ihnen beginnenden Fahrstraßen im Bahnhof enden. In Abb. 4.67 sind das die Signale A, B, BB, F und FF.

Im Gegensatz dazu stehen die **Ausfahrtsignale**. Die an ihnen beginnenden Fahrstraßen führen immer aus dem Bahnhof heraus. In Abb. 4.67 sind das alle Signale, deren Bezeichnung mit P oder N beginnt.

Auf längeren Bahnhöfen sind oft **Zwischensignale** vorhanden. Kennzeichnendes Merkmal dieser ist, dass die an ihnen beginnenden Fahrstraßen im Bahnhof sowohl beginnen als auch enden. In Abb. 4.67 sind das alle Signale, deren Bezeichnung mit Z beginnt.

4.3.9.2 Blocksignal

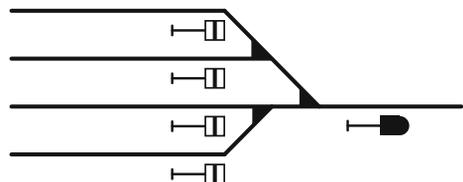
Blocksignale finden ihre Anwendung ausschließlich auf der freien Strecke. Sie sind unterscheidbar in die Blocksignale, die lediglich der Regelung der Zugfolge dienen („reine Blocksignale“) und in die Blocksignale an Abzweig- bzw. Überleitstellen.

4.3.9.3 Gruppensignal

Ein Gruppenausfahr- oder Gruppenzwischensignal ist ein Hauptsignal, was nach dem Zusammenlauf der Fahrwege einer Gleisgruppe angeordnet und für alle Gleise gültig ist (Abb. 4.68). Die Fahrstraße beginnt allerdings schon am Sperrsignal des jeweiligen Gleises. Für die Zulassung einer Zugfahrt muss sowohl das Gruppensignal als auch das Sperrsignal einen Fahrtbegriff zeigen.

Verwendet werden sie, um Hauptsignale zu sparen. Gruppensignale finden vor allem in Gleisgruppen von Güter- und Rangierbahnhöfen Verwendung. Aber auch auf Strecken

Abb. 4.68 Gruppensignal als Ausfahrtsignal einer Gleisgruppe



mit einfachen Verhältnissen können sie als Ausfahrtsignal eingesetzt werden, in diesem Anwendungsfall auch ohne Sperrsignal.

4.3.9.4 Sperrsignal

Sperrsignale dienen hauptsächlich der Zulassung von Rangierfahrten. Sie können ausschließlich das Signal Sh 1/Ra 12 (siehe auch Abschn. 4.3.6.5) und Halt zeigen. In seltenen Fällen können Sperrsignale auch für Zugfahrten relevant sein: als Ziel einer Zugfahrt oder als Start bei Gruppensignalen.

Da das Sperrsignal in Grundstellung Halt zeigt und dieser Begriff für Zug- und Rangierfahrten gleichermaßen gilt, können die am Fahrweg eines Zuges befindlichen Sperrsignale nicht in der Grundstellung verbleiben. Deshalb wird an allen diesen Signalen das Signal Sh 1/Ra 12 angeschaltet.

Damit erloschene Sperrsignale als solche erkennbar sind, müssen sie ebenso wie Hauptsignale mit einem Mastschild ausgerüstet werden. Hierfür wird in den meisten Fällen das weiß-rot-weiße Mastschild verwendet. Daraus erwächst der Nachteil, dass an erloschenen Sperrsignalen – obwohl technisch für die Zugfahrt irrelevant – der restriktivste Begriff angenommen werden muss und das Signal nur mit einem Befehl passierbar ist. Diesen Nachteil vermeidet das weiße Mastschild mit zwei schwarzen Punkten, was nur im Bereich der ehemaligen Deutschen Reichsbahn Anwendung findet (Abb. 4.69). Ein erloschenes Sperrsignal mit diesem Mastschild hat für Züge keine Bedeutung.

4.3.9.5 Zugdeckungssignal

Mittels eines Zugdeckungssignals kann ein Bahnhofsgleis in mehrere Abschnitte unterteilt werden, so dass das Gleis gleichzeitig von mehreren Zugfahrten benutzt werden kann. In Abb. 4.70 ist das untere Gleis durch Zugdeckungssignale unterteilt.

Steht in einem Teil des Gleises ein Zug, kann dennoch in den anderen Teil ein Zug einfahren, da hierbei das Zugdeckungssignal das Ziel der Fahrstraße darstellt. Allerdings

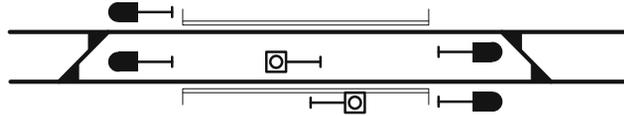
Abb. 4.69 Ra 12 zeigendes Sperrsignal mit weißem Mastschild mit zwei schwarzen Punkten



steht nur ein extrem kurzer Durchrutschweg zur Verfügung. Deshalb muss besonders vorsichtig eingefahren werden, was am vorgelegenen Hauptsignal durch besondere Signalisierung kenntlich gemacht wird. Das Zugdeckungssignal zeigt in Grundstellung Kennlicht. Nur wenn es Fahrstraßenziel ist, zeigt es Halt.

Anwendung finden Zugdeckungssignale in solchen Fällen, wo z. B. zwei Züge am gleichen Bahnsteig halten oder wo Züge zusammengekuppelt werden (Flügelzugkonzept).

Abb. 4.70 Beispiel für Zugdeckungssignale



Die Systeme zur Sicherung des Schienenverkehrs setzen die betrieblichen Anforderungen an einen sicheren Betrieb durch konkrete Steuerungen um. Dazu bedienen sie sich der von den Ortungskomponenten und beweglichen Fahrwegelementen gelieferten Informationen, werten diese aus, verknüpfen sie und geben Informationen über die Signalisierung aus. Grundsätzlich bestehen zwei Technologien zur Sicherung, die im Folgenden ausführlich besprochen werden.

5.1 Herleitung

5.1.1 Flanken-, Folge-, Gegenfahrerschutz

5.1.1.1 Grundlegende Bedingung

Aus den maßgebenden Systemeigenschaften des Schienenverkehrs ergeben sich besondere Anforderungen an die Regelung der Abstandshaltung (siehe auch Abschn. 2.2.1). An Abstandshalteverfahren kommt heute überwiegend neben dem „Fahren auf Sicht“ (z. B. Eisenbahn beim Rangieren, Straßenbahnen) das Fahren im festen Raumabstand zur Anwendung. Dabei muss jedem Zug garantiert ein räumlicher Abschnitt zur ausschließlichen Verfügung gestellt werden. Um das zu erfüllen, sind zwei Grundbedingungen einzuhalten:

1. Bevor die Zustimmung zur Einfahrt in den Abschnitt gegeben wird, muss dieser frei von anderen Fahrzeugen sein.
2. Vom Geben der Zustimmung bis zur Beendigung der Fahrt müssen alle feindlichen Fahrten in diesen Abschnitt ausgeschlossen werden (Abb. 5.1).

Wurde die Fahrt im Abschnitt beendet, so wird zwar die 2. Bedingung nicht mehr aufrecht erhalten, jedoch müsste vor einer potenziell feindlichen Fahrt wiederum die 1. Bedingung für diese geprüft werden, die dann negativ ausginge.

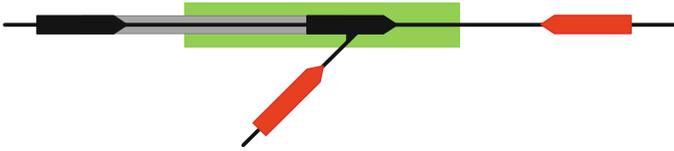


Abb. 5.1 Fahrt eines Fahrzeugs (*schwarz*) in einen exklusiven Raum (*grün*) und ausgeschlossene feindliche Fahrten (*rot*)

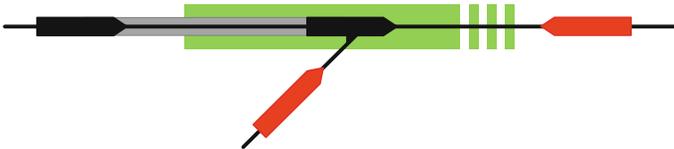


Abb. 5.2 Erweiterung des Raumes durch einen Sicherheitsraum (Durchrutschweg)

Das Fahren im Raumabstand kann grundsätzlich mit zwei verschiedenen Technologien realisiert werden:

- **Sicherung mit Fahrstraßen** und
- **Sicherung mit Blockinformation.**

5.1.1.2 Erweiterung der Bedingung

In bestimmten Situationen kann es vorkommen, dass sich der Triebfahrzeugführer „verbrems“, also die Bremseigenschaften nicht richtig einschätzt. Ursachen hierfür sind meist kurze Unaufmerksamkeit oder verminderter Reibwert zwischen Rad und Schiene, z. B. bei Nieselregen. Die Folge ist, dass der Zug einige Meter über das Ende des für ihn reservierten Raumes hinaus fährt. Um für solche Fälle vorzubeugen, wird zusätzlich ein Sicherheitsraum freigehalten und gesichert – der so genannte **Durchrutschweg** (Abb. 5.2).

5.1.1.3 Sicherung mit Fahrstraßen

Bei der Fahrstraße werden unmittelbar vor der Fahrt die Gleise auf Freiheit von anderen Fahrzeugen geprüft. Außerdem wird verhindert, dass feindliche Folge-, Gegen- und Flankenfahrten in den freigegebenen Fahrweg gelangen. Somit werden die oben genannten Grundbedingungen für das Fahren im Raumabstand direkt umgesetzt.

5.1.1.4 Sicherung mit Blockinformationen

Vor mehr als hundert Jahren geschah die Gleisfreimeldung ausschließlich durch menschliche Beobachtung. Bestand in den Betriebsstellen noch genügend Übersicht, um den relevanten Fahrweg zu überblicken, war dies auf den Strecken aufgrund der räumlichen Ausdehnung nicht mehr möglich (Abb. 5.3). Hier konnte die Freimeldung der Strecke nur indirekt erfolgen: Gibt man jedem Zug am letzten Fahrzeug ein repräsentatives Zeichen (Abb. 4.3) mit und wird dieses Zeichen gesehen, kann davon ausgegangen werden, dass

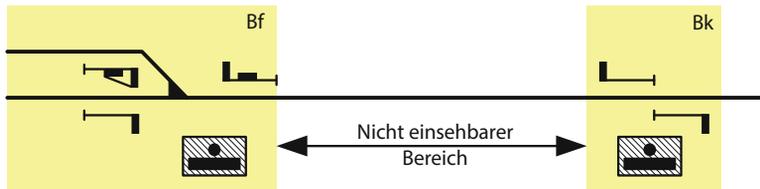


Abb. 5.3 Einsehbare und nicht einsehbare Fahrwege

der Zug die zurückgelegte Strecke vollständig geräumt hat. Somit geschieht die Freiprüfung nicht unmittelbar vor einer Zugfahrt, sondern nachdem der vorherige Zug die Strecke geräumt hat.

Dadurch, dass bei der Fahrstraße die Freiprüfung der Gleise in den Betriebsstellen stattfindet, steht diese Information auch dort zur Verfügung, wo das Signal bedient wird. Nicht so auf der Strecke: Hier steht die Information nicht an der signalbedienenden Stelle zur Verfügung und muss somit zu ihr übertragen werden – was durch die Blockinformation geschieht.

Im Gegensatz zur Fahrstraße wird hier aber zwischen dem Folge- und dem Gegenfahrerschutz unterschieden. Der Folgefahrerschutz wird durch Austausch von Informationen zwischen Signalen aufeinander folgender Zugfolgstellen gewährleistet. Durch Austausch von Blockinformationen zwischen Signalen, die auf dasselbe Streckengleis benachbarter Zugmeldestellen weisen, wird der Gegenfahrerschutz gewährleistet (Abb. 5.4). Den Gegenfahrerschutz zwischen Zugfolgstellen auszutauschen wäre zwar sicher, aber betrieblich nicht sinnvoll, da dann Deadlock-Situationen derart entstehen können, dass sich zwei Züge an einer Blockstelle gegenüberstehen.

5.1.1.5 Vergleich der Technologien

Tabelle 5.1 stellt die beiden Technologien gegenüber. Beide gewährleisten Folge- und Gegenfahrerschutz, jedoch auf unterschiedliche Art und Weise, was ursprünglich auf die Möglichkeiten zur nichttechnischen Gleisfreimeldung zurückgeht. Daraus resultieren unterschiedliche Verwaltungen der Fahrerlaubnis: Während dies bei der Fahrstraße zentral geschieht, sind beim Block immer mehrere dezentrale Logiken beteiligt (Abb. 5.5). Nur deren Zusammenspiel gewährleistet die korrekte Funktion eines Blocksystems.

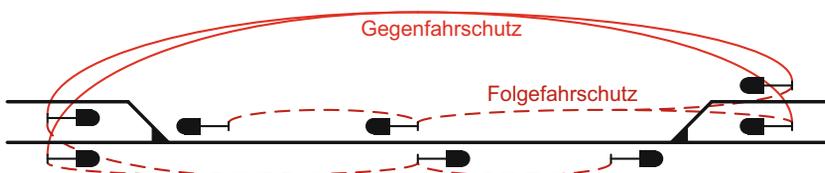
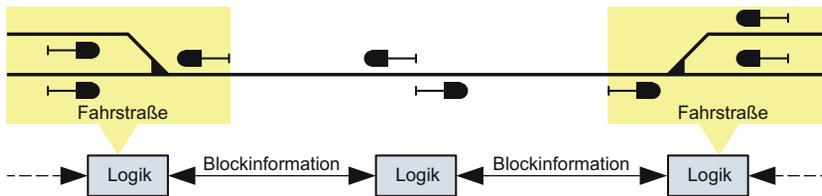


Abb. 5.4 Folgefahrerschutz und Gegenfahrerschutz durch Austausch von Informationen zwischen Signalen bei der Sicherung mit Blockinformationen

Tab. 5.1 Gegenüberstellung der Technologien Fahrstraße und Block

	Fahrstraße	Block
Folgefahrerschutz	<ul style="list-style-type: none"> – Freier Fahrweg als Voraussetzung unmittelbar vor Zulassung einer Zugfahrt – Verhinderung feindlicher Fahrten während der Zulassung 	<ul style="list-style-type: none"> – Abhängigkeit zwischen aufeinander folgenden Signalen (Zugfolgestelle) – Ermittlung der „Frei“-Information nach der Zugfahrt
Gegenfahrerschutz		<ul style="list-style-type: none"> – Abhängigkeit zwischen gegeneinander stehenden Signalen benachbarter Zugmeldestellen – Richtungsänderung möglich, wenn keine Zugfahrt auf der Strecke
Verwaltung der Fahrerlaubnis	Zentral	Dezentral

**Abb. 5.5** Zentrale und dezentrale Verwaltung der Fahrerlaubnis

Mit der Einführung von Gleisfreimeldeanlagen auch auf der freien Strecke bestand eigentlich keine Notwendigkeit mehr, hier die Technologie Blockinformation zu nutzen. Dennoch wurden zunächst automatisch arbeitende, dezentrale Blocksysteme konstruiert, die auf dem Austausch von Blockinformationen basieren. Später wurden dann Systeme entwickelt, die die Strecke mit der Technologie Fahrstraße sichern. Nur aus der Tradition heraus werden diese Systeme „Blocksysteme“ genannt, doch allein die Bezeichnung „Zentralblock“ deutet an, dass es sich hier um eine zentrale Verwaltung der Fahrerlaubnis handelt, die kein Zusammenwirken dezentraler Logiken beinhaltet.

5.1.1.6 Besonderheit bei ortsfester Signalisierung

Aus der Forderung nach Verhinderung weiterer Fahrten in den freigegebenen Abschnitt ergibt sich eine Besonderheit, sofern die Abschnitte durch Signale voneinander abgegrenzt sind. Verlässt ein Zug einen Abschnitt, so kann dieser für eine weitere Fahrt genutzt werden. Ist aber der Zug im zweiten Abschnitt nicht durch ein halt zeigendes Signal gedeckt (Abb. 5.6), so besteht die Gefahr, dass ein berechtigter in den ersten Abschnitt eingefahrener Zug dem vorausfahrenden Zug in den zweiten Abschnitt folgt; damit befänden sich unzulässigerweise zwei Züge in einem Abschnitt und die Vorschrift des Fahrens im Raumabstand wäre verletzt.

Abb. 5.6 Entstehung einer gefährlichen Situation durch fehlerhaft auf Fahrt stehen gebliebenes Signal



Zur Verhinderung dieser Situation gibt es vier Strategien:

1. **Verhinderung der gleichzeitigen Fahrtstellung zweier aufeinander folgender Signale.** Nachteil ist hierbei, dass bei im Bremswegabstand stehenden Signalen ein zügiges Durchfahren der Strecke nicht möglich ist, da ständig „Halt erwarten“ signalisiert werden muss.
2. **Prüfung des folgenden Signals B auf Halt im Moment der Fahrtstellung des Signals A.** Zum Zeitpunkt der Fahrtstellung des Signals muss das folgende Signal Halt zeigen. Danach kann das folgende Signal – sofern die Voraussetzungen vorliegen – in Fahrtstellung gebracht werden. Diese Strategie verlangt eine strikte Reihenfolge bei der Fahrtstellung der Signale.
3. **Im Moment der Fahrtstellung des Signals A muss das folgende Signal B seit letzter Fahrtstellung des Signals A mindestens einmal auf Halt gefallen sein.** Es muss also gespeichert werden, dass das Signal B zwischen zwei Fahrtstellungen des Signals A in Haltstellung gekommen ist. Vorteil: Es ist keine Reihenfolge zu beachten.
4. **Sicherstellung des Haltfalls eines Signals nach Vorbeifahrt des Zuges.** Dabei wird der Signalhaltfall so zuverlässig gestaltet, dass eine fehlerhafte Fahrtstellung nach Vorbeifahrt des Zuges nicht angenommen werden muss.

Dabei stellen die Strategien 1., 2. und 3. einen Gefährdungsausschluss, die Strategie 4. einen Fehlerrückmeldung dar. Je nach eingesetzter Technologie und Technik werden alle Strategien angewandt. An späterer Stelle wird darauf zurückgekommen.

5.1.2 Steuerung und Sicherung der Fahrweegelemente

Eine weitere, sich aus den maßgebenden Systemeigenschaften ergebende Aufgabe ist die Steuerung und Sicherung der beweglichen Fahrweegelemente. Diese Aufgabe wird im Wesentlichen von der Fahrstraße bewältigt. Nur in seltenen Fällen werden bei der Sicherung mit Blockinformationen auch bewegliche Fahrweegelemente gesichert.

Fahrstraßen finden sich in allen Zugmeldestellen. Die Sicherung der Zugfolge zwischen Zugfolgestellen, wo in der Regel keine beweglichen Fahrweegelemente zu erwarten sind, wird klassischerweise mit Blockinformationen, in modernen Anlagen jedoch ebenfalls mit Fahrstraßen durchgeführt.

5.2 Technologie Fahrstraße

Im Folgenden werden die einzelnen Stufen beim Fahrstraßenauf- und -abbau erläutert. Zuerst sollen jedoch die Grundlagen der Fahrstraßensicherung behandelt werden.

Da sich die Umsetzung der Technologie Fahrstraße in den Generationen der Stellwerkstechnik unterscheidet, wird in den folgenden Beschreibungen des Öfteren in den Kategorien Hebelstellwerk und Gleisbildstellwerk unterschieden. Die Definition dieser Begriffe ist in Abschn. 6.1.3.1 enthalten.

5.2.1 Grundlagen

5.2.1.1 Begriff

Im Unterschied zum Straßenverkehr kann ein Schienenfahrzeug nur einen durch die Spurführung vorgegebenen Weg nehmen. Dieser Weg, der durch die Stellung der Weichen und die Verbindung dieser mit Gleisen determiniert ist, heißt **Fahrweg**.

Um den Fahrweg zu sichern, müssen vor dem Befahren die jeweilige Lage der beweglichen Fahrwegelemente sowie weitere sicherheitsrelevante Bedingungen gegeben sein. Ist ein Fahrweg derart gesichert, wird er **Fahrstraße** genannt.

Je nach Art der Fahrt, die darauf stattfinden soll, unterscheidet man zwischen **Zug- und Rangierstraße**. In alten Stellwerksbauformen gab es noch keine Rangierstraßen.

Eine Fahrstraße besitzt immer einen definierten Startpunkt und ein definiertes Ziel. Fast immer beginnt eine Fahrstraße an einem Hauptsignal. Ziel einer Fahrstraße ist meist ein Hauptsignal oder (bei Ausfahrten aus einem Bahnhof) die freie Strecke an der Grenze des Bahnhofs. Aber auch andere Signale können eine Fahrstraße begrenzen. So besitzt ein Prellbock an einem Stumpfgleis, in das eine Fahrstraße führt (z. B. in Kopfbahnhöfen), ein definiertes Zeichen, was das Ende des Fahrwegs und damit auch der Fahrstraße markiert (Abb. 5.7).

Abb. 5.7 Prellbock mit Signal, an dem eine Fahrstraße endet



5.2.1.2 Grundsätzliche Kriterien für die Sicherung einer Fahrstraße

Anhand von Abb. 5.8 soll untersucht werden, welche Gefährdungsmöglichkeiten einer Zugfahrt in einer Fahrstraße bestehen. Dazu wird die Zugfahrt A.N1 betrachtet, also vom Signal A zum Signal N1.

Zunächst sollen die Gefährdungen an beweglichen Fahrweegelementen untersucht werden. Auf seiner Fahrt befährt der Zug die Weiche 1. Hierbei besteht die Gefahr, dass die Weiche eine falsche oder keine Endlage hat. Es ergibt sich also die Forderung, dass die Weiche 1 vor Zulassung der Fahrt die richtige Endlage eingenommen haben muss. Aber auch während der Fahrt, vor allem, wenn sich der Zug auf der Weiche befindet, darf sie ihre Lage nicht verändern. Mit der Forderung der Festhaltung der Weiche vor und während der Fahrt wird die Schutzfunktion „Sicherung beweglicher Fahrweegelemente“ sowie „Flankenschutz“ erfüllt. Die Sicherstellung des Flankenschutzes erfolgt im Fall der Weiche 1 aber nicht für die betrachtete Fahrt, sondern für andere Schienenfahrzeuge, die von der betrachteten Fahrt gefährdet werden könnten.

Im Weiteren soll der Flanken-, Folge- und Gegenfahrerschutz betrachtet werden. Eine Gefährdung würde sich aus der Gegenfahrt – der Fahrt F.P1 – ergeben. Folglich muss ausgeschlossen werden, dass diese Fahrt stattfinden kann. Außerdem können Fahrzeuge aus Gleis 2 dem einfahrenden Zug in die Flanke fahren, was ebenfalls zu verhindern ist. Weiterhin wäre es möglich, dass die zu befahrenden Gleise nicht frei von anderen Schienenfahrzeugen sind. Es muss also sichergestellt werden, dass sich keine Fahrzeuge im zu befahrenden Bereich befinden.

Für den Fall, dass sich der Triebfahrzeugführer „verbremst“ (siehe auch Abschn. 5.1.1.2), wird der Durchrutschweg als Sicherheitsreserve vorgehalten. Zur Sicherung dessen gelten ebenso alle oben genannten Bedingungen bezüglich des Flanken-, Folge- und Gegenfahrerschutzes sowie der Sicherung beweglicher Fahrweegelemente.

Signalabhängigkeit

Die Sicherstellung der richtigen Endlage von beweglichen Fahrweegelementen, insbesondere von Weichen, wird durch die **Signalabhängigkeit** sichergestellt. Die EBO führt dazu aus: *„Weichen, die gegen die Spitze befahren werden, müssen von den für die Zugfahrt gültigen Signalen derart abhängig sein, dass die Signale nur dann in Fahrtstellung gebracht werden können, wenn die Weichen für den Fahrweg richtig liegen und verschlossen sind (Signalabhängigkeit).“* Dabei ist die Einschränkung „gegen die Spitze befahren“ eine Minimalforderung. Nach den anerkannten Regeln der Technik werden heute alle beweglichen Fahrweegelemente in die Signalabhängigkeit einbezogen.



Abb. 5.8 Musterbahnhof

Es ergeben sich zwei Forderungen:

1. Ein Signal darf sich nur dann auf Fahrt stellen lassen, wenn alle zur Fahrstraße gehörenden Elemente richtig gestellt sind und
2. solange ein Signal auf Fahrt steht, müssen alle zur Fahrstraße gehörenden Elemente verschlossen sein.

Die Signalabhängigkeit wird im Stellwerk durch den **Fahrstraßenverschluss** realisiert. Nur wenn alle Elemente richtig stehen, kann der Verschluss eintreten (Teil 1 der Signalabhängigkeit). Durch den Fahrstraßenverschluss werden die Elemente gegen Umstellen gesperrt und somit in ihrer Lage festgehalten. Weiterhin wird verhindert, dass der Fahrstraßenverschluss zurückgenommen werden kann, während ein Signal auf Fahrt steht (Teil 2 der Signalabhängigkeit).

Fahrstraßenfestlegung

Durch die Signalabhängigkeit wird nur erreicht, dass die Elemente während der Fahrtstellung des Hauptsignals richtig stehen. Ist der Zug am Signal vorbeigefahren, so besteht die Möglichkeit, das Signal auf Halt zu stellen, wodurch der Zug unverschlossene Elemente befahren könnte. Zur Verhinderung dessen dient die **Fahrstraßenfestlegung**. Die Fahrstraßenfestlegung hält den Fahrstraßenverschluss so lange aufrecht, bis der Zug die letzte befahrene Weiche verlassen hat. Danach kann die Fahrstraße aufgelöst werden, was die Rücknahme der Fahrstraßenfestlegung bedeutet. Der Punkt, den der Zug verlassen haben muss, damit die Fahrstraße aufgelöst wird, ist die **Fahrstraßenzugschlussstelle**.

Fahrstraßenauschluss

Zwei Fahrstraßen, die im befahrenen Teil gemeinsame Fahrwegelemente nutzen, nennt man feindliche Fahrstraßen. Zur Kollisionsvermeidung muss die gleichzeitige Einstellbarkeit zweier feindlicher Fahrstraßen ausgeschlossen sein.

Die in Abb. 5.9 gezeigte Ausfahrstraße von P2 ist zur Fahrstraße A.N1 feindlich. Da aber beide Fahrstraßen die Weiche 1 in unterschiedlichen Stellungen benötigen, können – bedingt durch die Wirkung der Signalabhängigkeit – beide niemals gleichzeitig eingestellt werden. Man spricht von einem **einfachen Ausschluss** (auch: natürlicher Ausschluss), wenn sich zwei Fahrstraßen in der Stellung mindestens eines Fahrwegelements unterscheiden. Tritt ein einfacher Ausschluss auf, sind keine weiteren Maßnahmen erforderlich.

Haben zwei feindliche Fahrstraßen keine gemeinsamen Fahrwegelemente, die sich in der Stellung unterscheiden, wie z. B. die Gegenfahrten A.N1 und F.P1 in Abb. 5.9, so ist ein **besonderer Ausschluss** erforderlich. Ein besonderer Ausschluss bedeutet immer einen zusätzlichen Aufwand in der Sicherungslogik.

Flankenschutz

Flankenschutz ist eine Maßnahme zur Verhinderung des Eindringens von Fahrzeugen in Fahrstraßen über einmündende Fahrwege. Während feindliche Fahrstraßen durch Aus-



Abb. 5.9 Feindliche Fahrstraßen (rot) zur Fahrstraße A.N1 (grün)

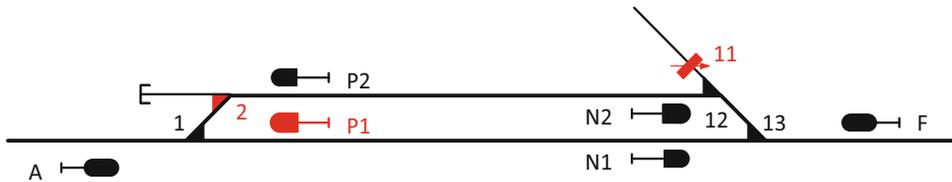


Abb. 5.10 Beispiele für unmittelbare Flankenschutzeinrichtungen

schlüsse bereits verhindert sind, besteht immer noch die Möglichkeit, dass Rangierfahrten, die frei (also ohne Rangierstraße) rangieren, oder unabsichtlich in Bewegung geratene Fahrzeuge eine Flankenfahrt verursachen.

Es wird zwischen mittelbarem und unmittelbarem Flankenschutz unterschieden [DB819]. **Mittelbarer Flankenschutz** wird durch Betriebsvorschriften gewährleistet. Dies kann durch ein Abstellverbot für den Schutz vor abgestellten Fahrzeugen oder ein Rangierverbot für den Schutz vor Rangierfahrten geschehen.

Besser ist jedoch der **unmittelbare Flankenschutz**. Dafür werden Fahrwegelemente oder Signale in schützende Stellung gebracht und in den Verschluss der zu schützenden Fahrstraße einbezogen.

Der unmittelbare Flankenschutz wird weiterhin unterteilt in direkt wirkend und indirekt wirkend [DB819]. **Direkt wirkende Flankenschutzeinrichtungen** lenken die gefährdende Fahrt vom Fahrweg der zu schützenden Fahrt ab. Dies kann durch Flankenschutz bietende Weichen (Weiche 2 in Abb. 5.10) oder Gleissperren (Gleissperre 11 in Abb. 5.10) geschehen. Gleissperren dürfen allerdings nur in Nebengleisen eingesetzt werden.

Indirekt wirkender Flankenschutz kann durch Halt gebietende Signale erreicht werden (z. B. P1 für die Fahrstraße A.N2). Dieser wirkt allerdings nur gegen Rangierfahrten, da unbeabsichtigt in Bewegung geratene Fahrzeuge nicht an solchen Signalen anhalten werden. In Gleisen, aus denen nur indirekt wirkender Flankenschutz gewährleistet wird, muss deshalb ein Abstellverbot erlassen werden.

Allerdings schützt unmittelbarer Flankenschutz nur vor Flankenfahrten, die vor dem Flankenschutz bietenden Element beginnen. Deshalb muss das Gleis zwischen dem Flankenschutz suchenden und dem Flankenschutz bietenden Element frei sein. Dieser Raum wird **Flankenschutzraum** genannt.

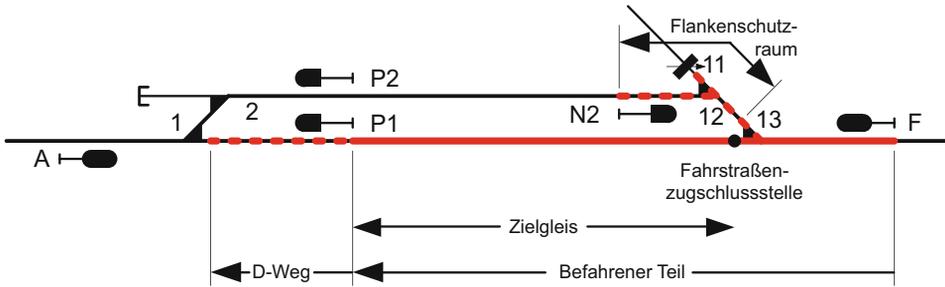


Abb. 5.11 Bestandteile einer Fahrstraße

Gleisfreimeldung

Die Gleisfreimeldung ist eine Maßnahme, mit der die Freiheit der Gleise von Schienenfahrzeugen geprüft wird (siehe auch Abschn. 4.1). In den seltenen Fällen, wo eine Freimeldung des Lichtraums auch von systemfremden Verkehrsteilnehmern oder übriger Umwelt erfolgt, kann auch diese mit hinzugezählt werden.

5.2.1.3 Topologische Bestandteile einer Fahrstraße

Topologisch besteht eine Fahrstraße nicht nur aus den Elementen, die zwischen Start und Ziel liegen. Drei Bestandteile gehören dazu (Abb. 5.11):

- Befahrer Teil,
- Flankenschutzraum,
- Durchrutschweg.

In der Regel werden alle drei Teile in die Gleisfreimeldung einbezogen.

Wie der Name schon sagt, gehören zum befahrenen Teil alle diejenigen Elemente, die die Zug- oder Rangierfahrt auf ihrem Weg vom Start zum Ziel befährt. Dabei kommt dem Zielgleis eine besondere Bedeutung zu: Es muss nicht verlassen werden, um die Fahrstraße aufzulösen. Es ist zwar Teil der Fahrstraße und wird vor Zulassung dieser freigepüft, die Auflösung der Fahrstraße geschieht jedoch nach dem Passieren der Fahrstraßenzugschlussstelle. Dies ist auch logisch, da eine Fahrt im Zielgleis halten und für längere Zeit dort verweilen kann.

5.2.1.4 Teilfahrstraßen

In hoch belasteten Fahrstraßenknoten ist es sinnvoll, bereits freigefahrene Fahrwegelemente schon vor dem Passieren der Fahrstraßenzugschlussstelle aufzulösen, um sie für andere, zur betreffenden Fahrt feindliche Fahrstraßen zu nutzen. Dazu werden Teilfahrstraßen eingerichtet. An deren Ende befindet sich die Teilfahrstraßenzugschlussstelle. Nach Räumung der Teilfahrstraße wird sie aufgelöst und die darin enthaltenen Fahrwegelemente stehen für andere Fahrten zur Verfügung.

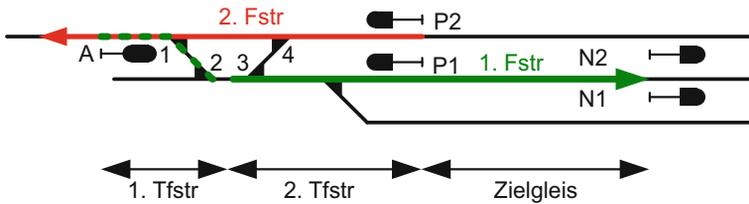


Abb. 5.12 Beispiel für Teilfahrstraßen

Ein Beispiel zeigt Abb. 5.12. Nach der Einfahrt A.N1 (grün) soll die Ausfahrt P2 (rot) eingestellt werden. Existierten keine Teilfahrstraßen, müsste mit der Einstellung der nächsten Fahrstraße gewartet werden, bis die Fahrstraßenzugschlusstelle hinter der letzten befahrenen Weiche (hier: Weiche 5) freigefahren ist. Nach Lage der Fahrwegelemente wäre aber die Einstellung der nächsten Fahrstraße bereits nach dem Verlassen der Weichen 1 und 2 möglich. Dann nämlich können die beiden Weichen umgestellt und die Ausfahrt P2 eingestellt werden. Bei hoher Leistungsanforderung wäre an dieser Stelle die Einrichtung von Teilfahrstraßen sinnvoll.

5.2.2 Fahrstraßenbildung

5.2.2.1 Prüfung der Fahrstraße auf Zulässigkeit

Um bei fehlenden Voraussetzungen eine Abweisung der Fahrstraße nicht erst durch die Sicherungslogik im Stellwerkskern zu erreichen, wird vor dem Einlaufen der Fahrstraße eine nicht sicherheitsrelevante Prüfung der Fahrstraße auf Zulässigkeit durchgeführt. In älterer Stellwerkstechnik erfolgt dies ausschließlich durch das Bedienpersonal; moderne Stellwerke nutzen dafür eine technische Fahrstraßenzulassungsprüfung. Dabei werden nur bestimmte Voraussetzungen im befahrenen Teil und im Durchrutschweg geprüft, wie z. B. die Ausschlussfreiheit mit anderen Fahrstraßen.

5.2.2.2 Prinzipien der Fahrstraßenbildung

Das Prinzip der Fahrstraßenbildung beschreibt die Art und Weise, wie die Zuordnung der Elemente zur einer Fahrstraße geschieht. Dabei werden immer anhand einer Routensuche zwischen vorgegebenem Start und Ziel die Elemente ggf. mit ihrer Lage identifiziert.

Tabellarisches Prinzip (Verschlussplanprinzip)

Das Tabellarische Prinzip ist die traditionelle Form der Zusammenstellung aller benötigten Elemente einer Fahrstraße. Dazu wird eine Tabelle aufgestellt – der so genannte Verschlussplan, früher auch Verschlussstafel genannt. In der Tabelle repräsentieren die Zeilen alle vorgesehenen Fahrstraßen, die Spalten alle Fahrwegelemente. In der so aufgespannten Matrix wird in den Feldern die benötigte Stellung der beweglichen Fahrwegelemente und Signale für jede Fahrstraße eingetragen. Wird ein Element von einer Fahrstraße nicht

	Fahrstraßen						Weichen, Gleissperren					Flankenschutz bietende Signale			
	A.N2	N2.Re	F.P1	F.P2	P1.Li	P2.Li	W1	W2	W11	W12	W13	P1	P2	N2	22X
A.N2	-				-		L	L	A	L		0			0
N2.Re		-							A	L	R				
F.P1			-						A	L	L			0	
F.P2				-				L	A	L	R				0
P1.Li					-		R	R							
P2.Li						-	L	L				0			0

- Selbstkorrelation (Hauptdiagonale)
- | Einfacher Ausschluss
- || Besonderer Ausschluss
- L Weiche in Linksstellung
- R Weiche in Rechtsstellung
- A Gleissperre aufgelegt
- 0 Signal zeigt Halt

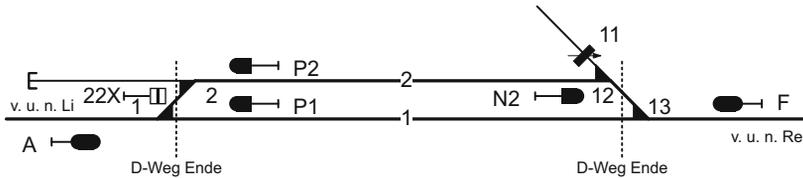


Abb. 5.13 Beispiel für einen Verschlussplan (vereinfacht)

beansprucht, so bleibt das Feld leer. In gleicher Weise werden Fahrstraßenausschlüsse abgebildet. Ist das Stellwerk mit einer Gleisfreimeldeanlage ausgerüstet, so werden auch die geprüften Gleisfreimeldeabschnitte im Verschlussplan aufgeführt.

Einen vereinfachten Verschlussplan zeigt Abb. 5.13. Zunächst werden Fahrstraßenausschlüsse eingetragen. Die Fahrt A.N2 hat mit der Fahrt P1.Li einen einfachen Ausschluss, da die Weichen 1 und 2 in unterschiedlichen Stellungen benötigt werden. Dies wird durch einen Eintrag mit einem senkrechten Strich gekennzeichnet. Mit der Fahrt F.P2 und P2.Li besteht kein einfacher Ausschluss, eine gleichzeitige Fahrt muss aber vermieden werden. Deshalb wird mit diesen Fahrten ein besonderer Ausschluss eingerichtet, gekennzeichnet durch zwei senkrechte Striche.

Als nächstes werden Weichen und Gleissperren in ihren benötigten Stellungen eingetragen. Die Stellung der Weichen wird heute mit „L“ und „R“ für links und rechts gekennzeichnet. Dies steht für die von der Weichenspitze aus gesehene Fahrmöglichkeit. Früher wurde für Weichen eine Grundstellung definiert, die mit „+“ bezeichnet wurde; dementsprechend wurde die andere Stellung mit „-“ benannt. Die Grundstellung war dabei die Stellung, in der die Elemente am häufigsten beansprucht wurden; in Hebelstellwerken entspricht dies der Grundstellung des Hebels.

Im Beispiel müssen die befahrenen Weichen 1 und 2 in der Linksstellung verschlossen werden. Zur Sicherung des Durchrutschweges ist die Weiche 12 in Linksstellung zu

verschließen. Um den Flankenschutz zu gewährleisten, müssen die Gleissperre 11 in aufgelegter Stellung sowie die Signale P1 und 22X in Haltstellung verschlossen werden.

Topologisches Prinzip (Spurplanprinzip)

Beim topologischen Prinzip werden die Elemente einer Fahrstraße nicht wie beim tabellarischen Prinzip fest abgespeichert. Vielmehr wird nur die Topologie der Fahrwegelemente, also jedes Element mit seinen entsprechenden Nachbarschaftsbeziehungen, gespeichert. Dies kommt dem aus der Informatik bekannten Prinzip der Objektorientierten Programmierung gleich und wird bei vielen Bauformen von Relais- und elektronischen Stellwerken angewandt.

Zur Bildung einer Fahrstraße wird eine Routensuche zwischen Start- und Zielelement entlang der Verbindungen der einzelnen Fahrwegelemente („Spur“) durch das Stellwerk durchgeführt. Die berührten Fahrwegelemente werden dabei für diese Fahrt reserviert (beansprucht). Im Fall der Fahrstraße F.P2 (Abb. 5.14) sind das die Weichen 13 und 12. Nunmehr muss geprüft werden, ob sich die beweglichen Fahrwegelemente in der richtigen Lage befinden. Sind sie das nicht, wird ein Stellanstoß gegeben. Ist ein Fahrwegelement bereits für eine andere Fahrstraße in einer anderen Lage verschlossen, so wirkt hier der einfache Ausschluss und die gewünschte Fahrstraße kann nicht gebildet werden.

Auch die Einstellung des Flankenschutzes verläuft automatisch. Jede beanspruchte Weiche sendet vom nicht befahrenen Strang eine Flankenschutzanforderung aus. Das benachbarte Flankenschutz bietende Element wird die Anforderung aufnehmen und nach Möglichkeit eine Flankenschutz bietende Lage einnehmen; ist das geschehen, wird das dem Flankenschutz anfordernden Element gemeldet. Im Fall der Fahrstraße F.P2 sucht der rechte Strang der Weiche 12 Flankenschutz und findet ihn in der Gleissperre 11, die sich in der aufgelegten Stellung verschließt und das der Weiche 12 meldet. Die Flankenschutz

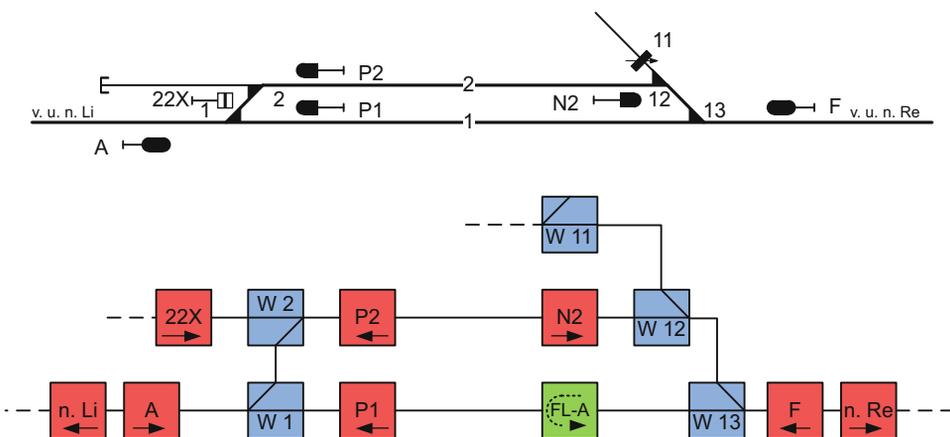


Abb. 5.14 Beispiel für einen Elementverbindungsplan

bietenden Elemente bleiben so lange verschlossen und überwacht, wie die Anforderung andauert.

Eine Besonderheit im Flankenschutz ergibt sich an der Weiche 13. Da kein Signal N1 existiert, was Flankenschutz aus Gleis 1 bieten könnte, kann kein Flankenschutz gefunden werden. In dem Fall wird nur mittelbarer Flankenschutz durch ein Rangier- und Abstellverbot auf Gleis 1 gewährleistet. Da die Flankenschutzanforderung der Weiche 13 aber dennoch kommt, wird ein Element vorgesehen, was auf eine Flankenschutzanforderung immer eine positive Antwort generiert. Dieses Element ist als „Flankenschutz-Antwort“ (FL-A) in Abb. 5.14 dargestellt.

Vergleich der Prinzipien

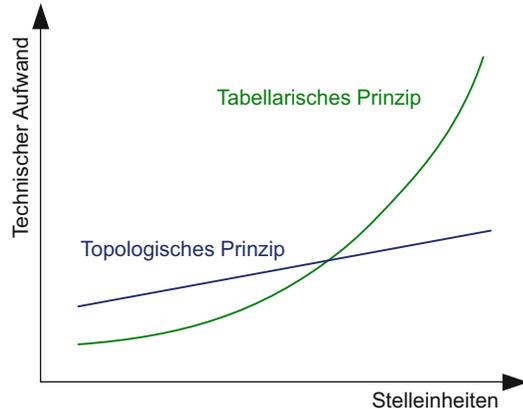
Beide, heute angewandten Prinzipien haben Vor- und Nachteile. Der entscheidende Unterschied ist der Zeitpunkt, zu dem die Routensuche durchgeführt wird. Während das beim Tabellarischen Prinzip vor Inbetriebnahme des Stellwerks z. B. durch einen Planer geschieht und die Ergebnisse statisch im Stellwerk gespeichert werden, wird beim topologischen Prinzip der Algorithmus zur Laufzeit des Stellwerks bei jeder Einstellung einer Fahrstraße durchlaufen, womit die Elemente dynamisch bestimmt werden.

Der Unterschied im gerätetechnischen Aufwand kommt nur in der Relaischnik zum Tragen: Beim topologischen Prinzip müssen nur industriell gefertigte Relaisgruppen mit ebenso vorgefertigten „Spurkabeln“ verbunden (gesteckt) werden, was erhebliche Schaltarbeiten auf der Baustelle erübrigt. Außerdem sind bei großen Anlagen Verschlusspläne für den Menschen kaum noch handhabbar, weshalb das topologische Prinzip auch in der manuellen Planung Vorteile bietet. Nachteilig ist der hohe Aufwand, der in den Relaisgruppen steckt: Jeder Schaltungsteil muss implementiert sein, auch wenn er im konkreten Einsatzfall nicht benötigt wird.

Es ergibt sich die in Abb. 5.15 gezeigte Abhängigkeit des Aufwands von der Anzahl der Stelleinheiten. Der Grundaufwand beim topologischen Prinzip ist höher als beim tabellarischen. Doch während beim topologischen Prinzip der Aufwand in etwa linear mit der Anzahl der Stelleinheiten steigt, steigt er beim tabellarischen in etwa quadratisch. Dies lässt sich durch folgende Modellvorstellung nachvollziehen: Unter der vereinfachenden Annahme, dass mit jeder Stelleinheit eine Fahrstraße mehr eingerichtet wird, wird der Verschlussplan um eine Spalte und eine Zeile größer – damit wächst er quadratisch. Technisch liegt der Grund u. a. darin, dass die Fahrstraßenlogik beim topologischen Prinzip bereits in den Relaisgruppen der Elemente enthalten ist, während beim tabellarischen Prinzip separate Fahrstraßengruppen notwendig sind.

In der elektronischen Technik gelten die für die Relaischnik gezeigten Zusammenhänge nicht. Da die Vervielfältigung der Elemente (eigentlich: Instanzen von Objekten) nur durch Kopieren von Software erfolgt, steckt kein gerätetechnischer Aufwand wie in der Relaischnik dahinter. Da die Logik durch Software realisiert wird und nicht mehr verdrahtet werden muss, ist auch der Aufwand auf der Baustelle bei beiden Prinzipien identisch. Vor- und Nachteil kommen durch die Dynamik des topologischen Prinzips zustande: Nachteilig ist der höhere Aufwand zur Sicherstellung der korrekten Funktion des

Abb. 5.15 Technischer Aufwand bei Relais-technik im Vergleich



umfangreicheren Algorithmus; Vorteile ergeben sich aus der dynamischen Anpassung an bestimmte Betriebsituationen (z. B. Zwieschutz, siehe Abschn. 5.2.3.2), die bei Stellwerken nach tabellarischem Prinzip wiederum einen höheren Aufwand bedeuten.

5.2.2.3 Weichenselbstlauf

Während in Hebelstellwerken die Fahrwegelemente durch jeweils eine einzelne Bedienung umgestellt werden müssen, geschieht dies bei den meisten Gleisbildstellwerken automatisch durch den Weichenselbstlauf. Dabei wird bei Einstellung einer Fahrstraße durch eine Automatik ein Umstellanstoß für alle nicht in der Solllage befindlichen Elemente ausgelöst.

5.2.2.4 Umstellbedingungen der beweglichen Fahrwegelemente

Die nachfolgend beschriebenen Umstellbedingungen werden in der Regel technisch geprüft. Nur in älteren Stellwerkstechniken können einzelne Bedingungen auch nur durch den Bediener geprüft werden, z. B. dann, wenn keine Gleisfreimeldeanlage vorhanden ist.

Müssen für eine Fahrstraßenbildung bewegliche Fahrwegelemente umgestellt werden, so darf das nur unter bestimmten Bedingungen erfolgen. Die wichtigste Bedingung hierbei ist, dass das Element nicht durch Fahrzeuge besetzt ist, da es andernfalls zu einer Entgleisung kommen kann. Selbstverständlich darf ein in der anderen Stellung bereits durch andere Anforderungen verschlossenes Element ebenfalls nicht umstellbar sein.

Bewegliche Fahrwegelemente können – ähnlich wie beim Verschluss – gegen Umstellen gesperrt sein. Dabei kann das Element zwar in der aktuellen, nicht jedoch in der umgestellten Lage verwendet werden. Gegen Umstellen gesperrte Elemente können mit einer Regelhandlung nicht umgestellt werden.

Wird in der Rückfallebene eine Fahrt über einen nicht verschlossenen Fahrweg durchgeführt, so besteht die Gefahr des Weichenumlaufs, während der Fahrweg befahren wird. Deshalb muss der Weichenselbstlauf für die betroffenen Weichen ausgeschaltet sein. Würde jedoch der Weichenselbstlauf für alle Weichen im Stellwerksbereich ausgeschaltet,



Abb. 5.16 Beispiel für Weichenlaufketten (WLK) in einem Bahnhof

ergäbe dies betriebliche Behinderungen auch in den Teilen, die von der Fahrt nicht betroffen sind. Um die Behinderungen einzuschränken, werden Weichenlaufketten eingerichtet. Eine Weichenlaufkette umfasst eine Anzahl von örtlich zusammengehörigen Weichen, z. B. in einem Bahnhofskopf (Abb. 5.16). Der Weichenselbstlauf kann je Weichenlaufkette ein- und ausgeschaltet werden, wodurch sich die betriebliche Behinderung nur auf den geografischen Bereich der Weichenlaufkette beschränkt. Der automatische Umlauf eines Elements darf nur dann erfolgen, wenn die zugehörige Weichenlaufkette nicht gesperrt ist.

5.2.3 Fahrstraßensicherung und -überwachung

5.2.3.1 Fahrstraßenverschluss

Der Fahrstraßenverschluss ist eine Voraussetzung, um das Signal auf Fahrt zu stellen (Signalabhängigkeit, Abschn. 5.2.1.2). Die vom Verschluss geprüften Bedingungen sowie die Aufrechterhaltung des Verschlusses selbst werden ständig geprüft und würden bei Ausbleiben zur sofortigen Signalhaltstellung führen (Ausnahme: mechanisches Stellwerk).

Eine verschlossene Fahrstraße kann vor dem Eintreten der Fahrstraßenfestlegung jederzeit zurückgenommen werden. Eine Gefährdung ergibt sich daraus nicht, da das Signal erst nach der Festlegung auf Fahrt gestellt wird und sich somit noch kein Zug im Fahrweg befinden kann.

Teilfahrstraßen werden jeweils für sich verschlossen, da sie auch einzeln aufgelöst werden. In Stellwerken nach topologischem Prinzip bildet standardmäßig jeder Gleisfreimeldeabschnitt eine Teilfahrstraße für alle darin enthaltenen Weichen- und Gleisabschnitte.

Der erfolgte Fahrstraßenverschluss kann als Zwischenbilanz beim Fahrstraßenaufbau betrachtet werden, bei dem nur die wichtigsten, selten gestörten Freigabebedingungen geprüft werden. Andere Bedingungen (z. B. Gleisfreimeldung) werden bewusst erst später geprüft, um bei deren Störung mit dem Fahrstraßenverschluss wenigstens die wichtigsten Bedingungen technisch geprüft zu haben. Dadurch muss in den meisten Fällen bei Fahrten in der Rückfallebene der Bediener nicht die Verantwortung für alle Bedingungen im Fahrweg übernehmen. Der Umfang der Bedingungen ist je nach Stellwerksbauform unterschiedlich.

Verschluss der Fahrwegelemente

Bei beweglichen Fahrwegelementen bedeutet der Verschluss, dass sie die jeweils richtige Endlage besitzen und jeglicher Umstellanstoß durch das Stellwerk verhindert wird. Der Verschluss im Stellwerk darf nicht mit dem Verschluss an der Weiche (Spitzen- und Mittelverschlüsse, siehe auch Abschn. 4.2.2.5) verwechselt werden.

Für Zwecke des Flankenschutzes werden Flankenschutz bietende Signale in Haltstellung verschlossen. In Stellwerken nach topologischem Prinzip werden auch Gleisabschnitte verschlossen, die dadurch nicht mehr für andere Fahrstraßen zur Verfügung stehen. Weitere, eher selten verwendete Elemente wie bewegliche Brücken, Drehscheiben, Tore und Ladeeinrichtungen können ebenfalls zu den verschlossenen Elementen gehören.

Besondere Bedingungen

Im Fahrstraßenverschluss können auch besondere Bedingungen für die Fahrt abgeprüft werden. So kann z. B. auf Systemwechselbahnhöfen die Einschaltung der richtigen Traktionsspannung Voraussetzung für den Verschluss sein.

Besondere Fahrstraßenausschlüsse

Mit dem Fahrstraßenverschluss werden auch die besonderen Ausschlüsse feindlicher Fahrstraßen hergestellt. Dazu ist es notwendig, dass sich diese in Grundstellung (nicht eingestellt) befinden. Ebenso, wie sich verschlossene Elemente nicht mehr umstellen lassen, lassen sich dann auch die ausgeschlossenen Fahrstraßen nicht mehr einstellen.

Fahrstraßen, die einen besonderen Ausschluss benötigen, sind folgende:

- Gegenfahrten (z. B. die Fahrt A.N1 und F.P1 in Abb. 5.9),
- Mitfahrten (Zug- und Rangierstraße gleichen Fahrwegs und gleicher Richtung),
- Feindliche Fahrten, die sich durch unterschiedliche Weichenstellung eigentlich ausschließen müssten (einfacher Ausschluss), bei denen aber auf den Verschluss der Weiche verzichtet wird (Regelstellungsweiche, siehe auch Abschn. 5.2.3.5),
- Fortsetzungsfahrten, wenn Durchfahrten verboten sind.

Eine Durchfahrt besteht aus der gleichzeitig eingestellten Ein- und Ausfahrstraße desselben Gleises in gleicher Richtung. In Hebelstellwerken wurden die Durchfahrten oftmals verboten, da für eine Durchfahrt ein höherer technischer Aufwand notwendig war. Dies gilt bei Gleisbildstellwerken in der Regel nicht mehr. Bei moderner Stellwerkstechnik werden Durchfahrten nur noch in wenigen Fällen ausgeschlossen, z. B. bei Reisendenübergängen zum Bahnsteig.

5.2.3.2 Elemente im Vor-Start-Bereich (Mittelweichen)

Besondere Behandlung müssen Elemente unmittelbar vor dem Fahrstraßenstart („Vor-Start-Bereich“) erfahren. Meist sind das Weichen, die dann Mittelweichen genannt werden (Abb. 5.17). Befindet sich die Weiche noch vor der regulären Fahrstraßenzugschlussstelle,

Abb. 5.17 Mittelweiche vor einem Ausfahrtsignal



handelt es sich um eine **unechte Mittelweiche**, deren Verschluss durch die Fahrstraßensicherung ohnehin erst nach dem Verlassen aufgehoben wird. Liegt die Weiche dagegen in Fahrtrichtung des Zuges nach der Fahrstraßenzugschlussstelle (im Zielgleis), handelt es sich um eine **echte Mittelweiche**, deren Verschluss bei der Ausfahrt besonders behandelt werden muss.

Verschluss und Flankenschutz

Die Einfahrstraße wird üblicherweise nach dem Verlassen der Fahrstraßenzugschlussstelle, die sich hinter dem zuletzt befahrenen beweglichen Fahrweegelement befindet, aufgelöst. Verbleibt der Zug jedoch auf der Mittelweiche, könnte die Fahrstraße nicht aufgelöst werden, solange er sich dort befindet. Deshalb wird die Fahrstraßenzugschlussstelle vor der echten Mittelweiche angeordnet. Ist der Zug zum Stehen gekommen, wird auch der Verschluss der Mittelweiche aufgelöst. Da eine besetzte Weiche nicht umgestellt werden darf und der Zug darauf oder davor steht, ist der fehlende Verschluss weniger kritisch. Kritisch ist der Flankenschutz, der durch den fehlenden Verschluss der Weiche nicht mehr existiert. Echte Mittelweichen müssen bei einer Ausfahrt mit Verschluss und Flankenschutz in die Ausfahrstraße einbezogen und damit – obwohl sie vor dem Startsignal liegen – wie solche im befahrenen Teil der Fahrstraße gesichert werden.

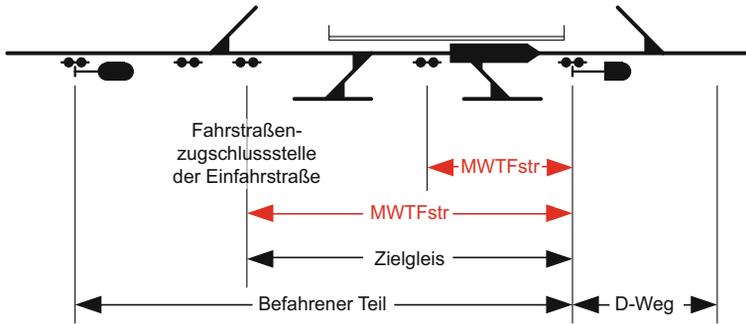


Abb. 5.18 Beispiel für Mittelweichenteilfahrstraßen (MWFstr)

Geschwindigkeitssignalisierung

Sowohl bei echten als auch bei unechten Mittelweichen ist die am Ausfahrtsignal signalisierte Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Mittelweiche zu betrachten. Da nach der Weichenbereichsregel (siehe auch Abschn. 4.3.5.2) die Geschwindigkeit bereits bei Abfahrt des Zuges vom Halteplatz gilt, muss die zulässige Geschwindigkeit der Mittelweiche in die Signalisierung einbezogen werden.

Mittelweichenteilfahrstraße

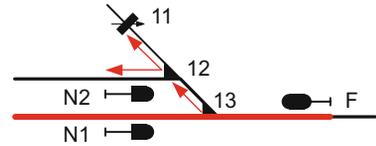
In modernen Stellwerksbauformen geschieht die Sicherung der Mittelweichen dadurch, dass nach der Einfahrt die nicht freigefahrene Teilfahrstraße, in der sich das Element befindet, verschlossen bleibt; damit bestehen Verschluss und Flankenschutz weiterhin. Verlässt der Zug bei Weiterfahrt die Teilfahrstraße, löst sie auf. Fährt der Zug jedoch nicht in die gleiche Richtung weiter oder endet er und fährt als Rangierfahrt in entgegengesetzter Richtung, löst sie nicht auf, da die Reihenfolgeprüfung fehlschlägt (siehe auch Abschn. 5.2.5.1). Sie muss dann mit einer registrierpflichtigen Bedienhandlung hilfswise aufgelöst werden.

Sind aus Gründen wie Zugbereitstellung oder Stärken/Schwächen von Zügen keine oder nicht alle erforderlichen Teilfahrstraßen verschlossen, müssen diese vor Ausfahrt des Zuges separat gesichert werden. Hierfür muss eine **Mittelweichenteilfahrstraße** eingerichtet sein, die zusammen mit der Ausfahrstraße eingestellt wird. Je nach Erfordernis sind auch mehrere Mittelweichenteilfahrstraßen vor einem Signal möglich (Abb. 5.18). Um Auflösestörungen zu vermeiden wird dabei diejenige Mittelweichenteilfahrstraße eingestellt, die auch durch den Zug belegt ist. Hierfür ist der Startpunkt zu wählen, von dem aus sich die Mittelweichenteilfahrstraße bis zum Ausfahrtsignal erstreckt.

5.2.3.3 Flankenschutz

Wie die befahrenen Fahrweegelemente, werden auch die Elemente des unmittelbaren Flankenschutzes (siehe auch Abschn. 5.2.1.2) verschlossen. Für alle Weichen und Kreuzungen im befahrenen Teil und im Durchrutschweg muss Flankenschutz gewährleistet sein. Bei

Abb. 5.19 Flankenschutztransport



Rangierstraßen wird in der Regel auf Flankenschutz verzichtet. Neben Fahrstraßen fordern auch Nahbedienbereiche (siehe auch Abschn. 5.2.6) an deren Grenzen zu stellwerksbedienten Bereichen Flankenschutz, alle weiteren Aussagen gelten deshalb auch für sie.

Flankenschutztransport

In den meisten Fällen gibt das benachbarte Element den Flankenschutz; in einigen Fällen ist das jedoch nicht möglich. So kann die Weiche 12 in Abb. 5.19 selbst keinen Flankenschutz bieten, wenn Weiche 13 ihn anfordert. Hier muss der Flankenschutz von der Weiche 12 an Gleissperre 11 und Signal N2 weitergeleitet und von diesen Elementen gewährleistet werden. Eine Weiche, die den Flankenschutz auf diese Art weitergibt, heißt **Flankenschutztransportweiche**.

Zwieschutzweichen

Ein besonderer Fall im Flankenschutz sind Zwieschutzweichen. Sie ergeben sich immer dann, wenn eine Weiche gleichzeitig in beiden Stellungen für den Flankenschutz angefordert werden kann. In Abb. 5.20a kann das bei Weiche 3 geschehen: Wenn die eingezeichneten Fahrstraßen von P1 und P3 gleichzeitig eingestellt werden, fordert jede Fahrstraße die Flankenschutzweiche 3 in einer anderen Stellung an. Da Flankenschutzweichen verschlossen werden, ergäbe sich daraus ein einfacher Ausschluss und die beiden Fahrstraßen wären nicht gleichzeitig einstellbar, obwohl sie keine gemeinsam befahrenen Elemente besitzen. Eine solche Weiche wird **Echte Zwieschutzweiche** genannt.

Im Fall der Weiche 14 in Abb. 5.20b handelt es sich um eine **Eigenzwieschutzweiche**. Im Gegensatz zur Echten Zwieschutzweiche wird die Eigenzwieschutzweiche von der gleichen Fahrt in beiden Stellungen gleichzeitig angefordert. Durch die im Beispiel gekennzeichnete Fahrt von P11 verlangt einerseits die Weiche 13, andererseits die Weiche 11

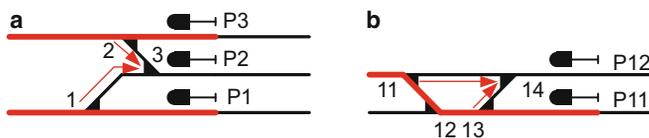


Abb. 5.20 a Echte und b Eigenzwieschutzweiche

nach Flankenschutz und beide finden ihn an der Weiche 14 – aber in unterschiedlichen Stellungen.

Während bei unbehandelten Echten Zwieschutzweichen die beiden Fahrten wenigstens einzeln einstellbar sind, ist die betreffende Fahrt bei Eigenzwieschutzweichen gar nicht einstellbar. Zwieschutzweichen müssen in der Stellwerkslogik besonders behandelt werden. Der Konflikt des Ausschlusses von Fahrstraßen durch Zwieschutzweichen wird behoben, indem für die Flankenschutzanforderungsfälle folgende Reaktionen alternativ vorgesehen werden:

- Verschluss der Zwieschutzweiche (Bedienung der Flankenschutzanforderung),
- Ersatzschutz (Erfüllung der Flankenschutzanforderung durch ein alternatives Flankenschutzelement) oder
- Flankenschutzverzicht.

Die Wahl der jeweiligen Maßnahme hängt von der betrieblichen Situation auf der Infrastruktur ab. So kommt Flankenschutzverzicht in der Regel nur dann zur Anwendung, wenn die zu schützende Fahrt kein hohes Risikopotenzial birgt (z. B. bei Güterverkehr).

Stellwerke nach topologischem Prinzip (Spurplan) sind aufgrund der dynamischen Bildung der Fahrstraße bei Echten Zwieschutzweichen im Vorteil. Während in Stellwerken nach tabellarischem Prinzip die jeweilige Maßnahme fest programmiert ist, kann sie in Spurplanstellwerken dynamisch ausgewählt werden: Jede Fahrstraße für sich allein bekommt den hochwertigen Flankenschutz durch die Weiche; werden beide Fahrstraßen gleichzeitig eingestellt, so bekommt die Fahrt mit dem größeren Risikopotenzial den Flankenschutz der Weiche, die andere Fahrt bekommt Ersatzschutz oder Verzicht.

Bei Eigenzwieschutzweichen ist die gleichzeitige Anforderung immer gegeben. Hier wird die Anforderung mit dem kürzeren Flankenschutzraum bedient, während die andere Anforderung Ersatzschutz oder Verzicht erhält. Dem liegt die Überlegung zugrunde, dass eine eventuell gefährdende Fahrt im längeren Flankenschutzraum eine größere Chance besitzt, noch anzuhalten.

Flankenschutz gegen das Strecken der Züge

Das Phänomen des Streckens von Zügen besteht darin, dass ein haltender Zug mit eingedrückten Federpuffern zum Stehen kommt, da die Wagen beim Bremsen aufeinander auflaufen, was insbesondere bei locker gekuppelten Güterzügen auftritt. Wenn während eines längeren Halts die Bremskraft der Luftdruckbremse nachlässt, entspannen sich die Federn der Puffer wieder und der Wagenzug bewegt sich bis zu mehreren Metern rückwärts. Es wird angenommen, dass sich ein Zug in der Ebene um maximal 10 m streckt. Diese ungewollte Bewegung kann zu einer Gefährdung durch Flankenfahrt führen, der entgegengewirkt werden muss.

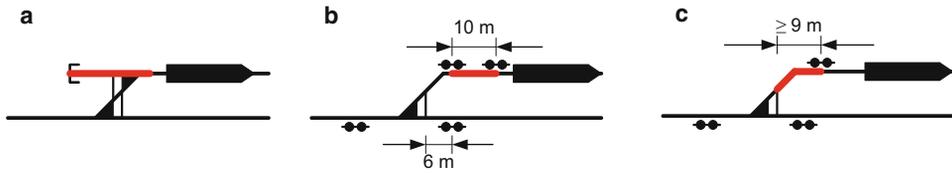


Abb. 5.21a–c Möglichkeiten zur Gewährleistung des Streckenschutzes

Sind Fahrwegweichen mit Flankenschutzfunktion vorhanden, so werden diese verwendet, wie in Abb. 5.21a dargestellt. Sind sie nicht vorhanden, wird der Streckenschutz durch Gleisfreimeldeabschnitte sichergestellt.

Eine aufwändigere Möglichkeit ist der Einsatz eines separaten Streckenschutzabschnitts (Abb. 5.21b). Hierbei liegt die Fahrstraßenzugschlussstelle am Ende des Streckenschutzabschnitts, so dass die Einfahrstraße erst dann aufgelöst wird, wenn dieser besondere Abschnitt frei ist. Sollte sich der eingefahrene Zug in den Abschnitt hinein strecken, so hat das keine Auswirkungen, da für die Fahrt auf dem anderen Gleis nur die Weiche freigemeldet werden muss.

Eine einfachere Möglichkeit ist die Verlängerung des Freimeldeabschnitts der einmündenden Weiche (Abb. 5.21c). Hierbei liegt die Fahrstraßenzugschlussstelle am Ende dieses Abschnitts, der Zug muss ihn also geräumt haben, damit die nächste Fahrt stattfinden kann. Sollte er sich nun strecken, so stehen ihm dafür, abhängig von der Neigung, minimal 9 m (siehe auch Abschn. 10.5.3.3) zur Verfügung. Diese Länge reicht aus, damit das Zugende noch vor dem Grenzzeichen der Weiche zum Stehen kommt. Nachteilig an dieser Lösung ist, dass bei dem seltenen Ereignis des Streckens in den Freimeldeabschnitt hinein eine Fahrt auf dem Nachbargleis verhindert wird, da nun die Freimeldung der Fahrstraße nicht mehr gewährleistet ist.

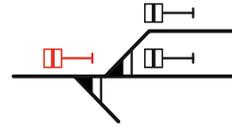
Flankenschutzsignal mit Zielsperre

Wird der Flankenschutz nur durch ein Halt zeigendes Signal gewährleistet, besteht die Gefahr, dass eine Rangierfahrt dieses Signal nicht beachtet und eine Flankenfahrt verursacht. Um die Wahrscheinlichkeit dessen zu mindern, kann das Signal während der Flankenschutzbeanspruchung mit einer Zielsperre versehen werden. Diese verhindert, dass das Signal als ein Rangierstraßenziel verwendet wird, wodurch Rangierfahrten auf Fahrstraßen, die dieses Signal zum Ziel haben, unterbunden sind. Betrieblich wird diese Maßnahme „doppelter Lichtschutz“ genannt.

Fernschutz

In bestimmten Infrastruktursituationen kann es vorkommen, dass ein Flankenschutzsignal aufgrund seiner örtlichen Lage keinen Flankenschutz bieten kann. In Abb. 5.22 kann das Sperrsignal zwischen den Weichen für die linke Weiche keinen Flankenschutz bieten, da es sich aus Sicht der Flankenfahrt bereits hinter dem Grenzzeichen der Weiche befindet.

Abb. 5.22 Beispiel für die Notwendigkeit von Fernschutz



In solchen Fällen muss ein Fernschutz eingerichtet werden, d. h. ein anderes Element den Flankenschutz übernehmen. In Abb. 5.22 würde eine Flankenschutzweitergabe über die rechte Weiche vorgesehen werden, die damit zur Flankenschutztransportweiche wird und den Flankenschutz von den zwei rechten Sperrsignalen bekommt.

5.2.3.4 Freimeldung der Fahrstraßenbestandteile

Umfang der Freimeldung

In der Regel müssen alle topologischen Bestandteile einer Zugstraße auf Freiheit von anderen Schienenfahrzeugen geprüft werden. Dazu werden alle frei zu prüfenden Gleise in Gleisfreimeldeabschnitte unterteilt.

Bei Rangierstraßen ist die Freimeldung in der Regel nicht notwendig, da zum Bilden und Zerlegen von Zügen in besetzte Gleise eingefahren werden muss. Im Ausnahmefall kann aber auch für Rangierstraßen eine Freimeldung bestimmter Abschnitte gefordert sein.

In Stellwerken ohne Gleisfreimeldeanlage kann die Prüfung nur durch Hinsehen erfolgen und ist damit diskontinuierlich (zeitlich punktförmig). In Anlagen mit technischer Gleisfreimeldung erfolgt die Prüfung kontinuierlich. Somit wird der Freizustand der Gleise ständig geprüft. Eine Besetzung durch ein in die Fahrstraße eindringendes Fahrzeug führt in der Regel zum sofortigen Signalhaltfall.

Hilfsgleisfreimeldung

In einigen Stellwerksbauformen gibt es die Möglichkeit, bei gestörter Gleisfreimeldeanlage die Freimeldung hilfsweise durch örtliches Personal durchführen zu lassen. Durch eine besondere Bedienhandlung kann die Freimeldung technisch eingegeben werden. Je nach Stellwerksbauform kann damit die Fahrtstellung des Signals oder zumindest die Anschaltung eines Ersatzsignals mit hilfsweise gesicherter Fahrstraße erreicht werden.

Grenzzeichenfreie Freimeldung von Weichen

Um sicherzustellen, dass ein Fahrzeug an einer Weiche nicht mit einer Fahrt im benachbarten Strang zusammenstößt, muss es noch vor dem Grenzzeichen der Weiche stehen; man spricht von grenzzeichenfreier Stellung des Fahrzeugs.

Hieraus ergibt sich eine Anforderung der Freimeldung an Weichen. Zur Gleisfreimeldung werden Schienenfahrzeuge nur an ihren Rädern detektiert. Jedes Fahrzeug hat aber eine Ausdehnung (Überhang) über die jeweils äußere Achse hinaus (Abb. 5.23a). Um sicherzustellen, dass ein Fahrzeug, das den Freimeldeabschnitt der Weiche verlas-

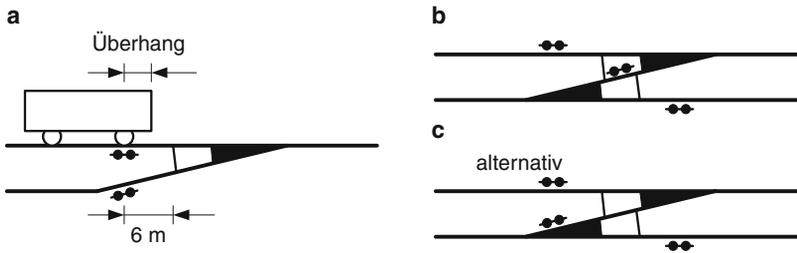


Abb. 5.23a-c Freimeldung von Weichen

sen hat, auch grennzeichenfrei steht, wird die Gleisfreimeldegrenze einige Meter vor dem Grennzeichen angeordnet. Nach aktuellem Regelwerk der Deutschen Bahn sind das 6 m.

Ein besonderes Problem, was häufig auftritt, besteht an Gleisverbindungen dicht benachbarter Gleise. Hierbei sind die Weichen so dicht aneinander angeordnet, dass sich die Grennzeichen überlappen (Abb. 5.23b). Die Freimeldung mit einer Freimeldegrenze zwischen den Weichen kann nicht mehr grennzeichenfrei erfolgen. Eine Möglichkeit der Abhilfe wäre die Anordnung zweier Gleisfreimeldegrenzen jeweils 6 m nach dem Grennzeichen. Aufgrund des hohen Aufwands für einen weiteren Gleisfreimeldeabschnitt kommt diese Maßnahme nicht zur Anwendung. Außerdem ist die Positionierung von Gleisfreimeldegrenzen in Weichen bei Gleisstromkreisen kaum möglich.

Das Problem wird durch einen Eingriff in die Stellwerkslogik gelöst. Dazu wird bei jeder Weiche – aber nur in der Stellung für den Fahrweg, der über beide Weichen geht – eine Umstell Sperre aktiv, die so lange andauert, bis die benachbarte Weiche frei ist. Durch die Umstell Sperre kann im benachbarten Gleis (im Beispiel über die geraden Stränge der Weichen) keine weitere Fahrt stattfinden.

Da bei Achszählern das Anordnen von Gleisfreimeldegrenzen in bestimmten Bereichen von Weichen möglich ist, besteht die Möglichkeit, zumindest eine Weiche grennzeichenfrei freizumelden (Abb. 5.23c). Hierbei ist nur die nicht grennzeichenfrei freigemeldete Weiche entsprechend zu behandeln. Allerdings ist die Montage von Achszählpunkten in der Weiche an bestimmte Bedingungen gebunden, weshalb auf diese Variante meist verzichtet wird.

5.2.3.5 Durchrutschweg

Ursachen für das Überfahren Halt zeigender Signale

Dass ein Zug nicht vor einem Halt zeigenden Signal anhält, sondern in seltenen Fällen (ca. 10^{-5} je Fahrt auf ein Halt zeigendes Signal [LZ08]) eine gewisse Länge darüber hinaus fährt, hat verschiedene Ursachen, wobei einige in Kombination auftreten können.

Gleiten Die namensgebende Ursache ist das Durchrutschen aufgrund verminderten Reibwertes zwischen Rad und Schiene. Hierbei wird davon ausgegangen, dass der Triebfahrzeugführer gemäß den üblichen Reibwerten rechtzeitig die Bremsung einleitet, dann jedoch die erforderliche Bremskraft nicht auf die Schienen übertragbar ist.

Verbremsen Eine weitere Ursache ist das so genannte Verbremsen. Hierbei leitet der Triebfahrzeugführer die Zielbremsung z. B. aufgrund von Unaufmerksamkeit zu spät ein. Zusätzlich kann hier ein verminderter Reibwert auftreten.

Missachten Die dritte Ursache ist die Signalmissachtung bzw. -verwechslung. Dabei leitet der Triebfahrzeugführer in Unkenntnis des Haltgebotes keine Bremsung oder keine Zielbremsung ein. Zur Verminderung der Auswirkungen, insbesondere zur Begrenzung der Länge des Überfahrens, dient die Zugbeeinflussung. Auch hier kann zusätzlich ein verminderter Reibwert auftreten.

Sicherungskriterien

Mit wenigen Ausnahmen gelten alle Sicherungskriterien für die Fahrstraße auch für den Durchrutschweg. So wird er in den Fahrstraßenverschluss und die -festlegung einbezogen, benötigt Flankenschutz sowie Freimeldung und schließt andere Fahrten aus. Während der Sicherung des Durchrutschweges muss folgendes gewährleistet sein:

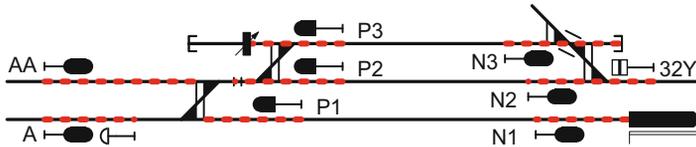
- Zusammenstoß: Der Durchrutschweg muss frei von Schienenfahrzeugen sowie gegen Benutzung durch andere Fahrten geschützt sein.
- Entgleisung: Bewegliche Fahrwegelemente, an denen eine durchrutschende Fahrt entgleisen könnte, müssen die richtige Lage einnehmen und in dieser gesichert sein.
- Zusammenprall: Teilweise müssen im Durchrutschweg enthaltene Bahnübergänge – abhängig von der Entfernung vom Zielsignal – gesichert sein.
- Aufprall mit systemeigenen Objekten: Der Durchrutschweg muss frei von systemeigenen Objekten (z. B. Gleisabschluss) sein.

Die Sicherung gegen die genannten Gefahren wird nur innerhalb des Durchrutschweges betrieben; die dahinter befindlichen Gegebenheiten liegen außerhalb der Betrachtung. Es wird davon ausgegangen, dass die vorgesehene Länge ausreichend ist. Sollte eine Fahrt über das Ende des Durchrutschweges hinausrutschen, so ist dies als (akzeptiertes) Restrisiko anzusehen.

Je nach Risiko können die einzelnen Gefährdungen unterschiedlich bewertet und deshalb für sie eine jeweils unterschiedliche Sicherungslänge hinter dem Signal vorgehalten werden. So ist z. B. das Risiko eines Zusammenpralls deutlich geringer einzustufen als das Risiko eines Zusammenstoßes, da gefährdete Straßenverkehrsteilnehmer leichter flüchten können als Eisenbahnfahrzeuge, weshalb nicht alle BÜ im Durchrutschweg gesichert werden müssen (siehe auch Abschn. 10.4.4.5).

Tab. 5.2 Grundlängen von Durchrutschwegen [DB819]

Geschwindigkeit [km/h]	Durchrutschweg [m]
$60 < v \leq 160$	≥ 200
$40 < v \leq 60$	≥ 100
$v \leq 40$	≥ 50
In besonderen Fällen	< 50

**Abb. 5.24** Beispiele für markante Punkte. A, N2: Signal der Gegenrichtung, AA, P1: Gerenzzeichen einer Weiche, P2: Spitze einer Weiche, P3: Gleissperre, N1: Bahnsteiganfang, N3: Gleisabschluss

Länge von Durchrutschwegen

Der Durchrutschweg beginnt am Zielsignal und endet an einem markanten Punkt. Ein markanter Punkt ist deshalb notwendig, damit bei Stellwerken ohne Gleisfreimeldeanlage oder bei gestörter Gleisfreimeldeanlage in der Rückfallebene der visuell freizuprüfende Abschnitt eindeutig in der Außenanlage identifizierbar ist.

Je nach Geschwindigkeit, mit der auf das Halt zeigende Signal zugefahren wird, sind unterschiedliche Längen von Durchrutschwegen vorzusehen. Die Staffelung ergibt sich aus der Annahme, dass sich bei größeren Geschwindigkeiten der Bremsweg und damit auch der tatsächliche Durchrutschweg verlängern.

Die Länge von Durchrutschwegen ist – wenn überhaupt vorgesehen – international sehr unterschiedlich. Deutsche Regelwerke sehen die in Tab. 5.2 genannten Längen vor. Genauere Regelungen zur Bemessung werden in Abschn. 10.4.4.1 behandelt.

In besonderen Fällen, wie Einfahrt in ein teilweise besetztes Gleis oder in ein Stumpfgleis, kann es vorkommen, dass kein oder nur ein sehr kurzer Durchrutschweg zur Verfügung steht. Dann sind Maßnahmen zu treffen, die die Wahrscheinlichkeit des Durchrutschens verringern, wie z. B. Verringerung der Einfahrtsgeschwindigkeit und/oder besondere Hinweise an den Triebfahrzeugführer durch Signalisierung oder Fahrplanunterlagen.

In den meisten Fällen wird beim Durchrutschen nur ein kleiner Teil des Durchrutschweges in Anspruch genommen. Eine typische Verteilung zeigt Abb. 5.25. Darin ist zu erkennen, dass etwa 50 % der Fälle nur bis 10 m durchrutschen.

Bewegliche Fahrwegelemente im Durchrutschweg

Die Einbeziehung beweglicher Fahrwegelemente in den Durchrutschweg ist unter bestimmten Umständen möglich. Wird der Durchrutschweg nur während einer Fahrt auf das Halt zeigende Signal gesichert (Technologie Fahrstraße), so ist es möglich, zu dieser Zeit auch die darin befindlichen beweglichen Fahrwegelemente zu sichern. Muss der

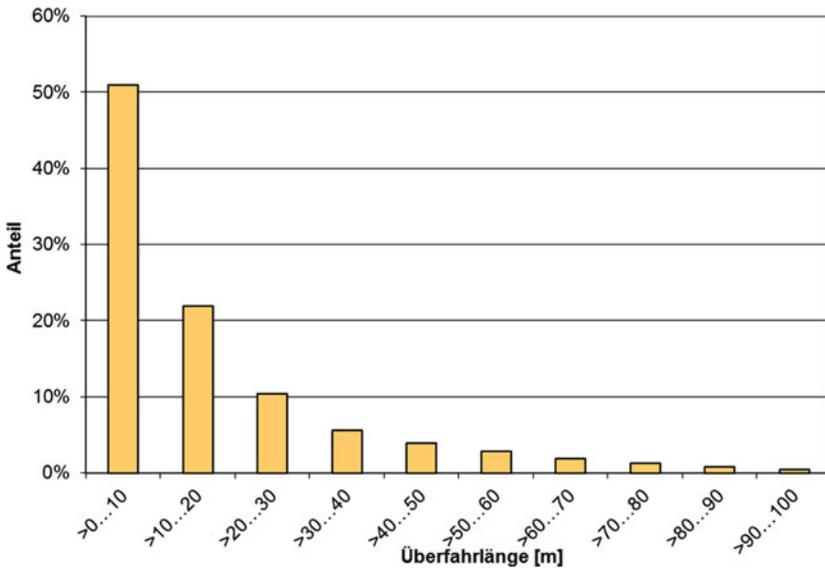


Abb. 5.25 Typische Verteilung der Überfahrlängen bei Inanspruchnahme des Durchrutschweges

Durchrutschweg allerdings ständig gesichert sein (Technologie Block), ist eine solche Einbeziehung nicht sinnvoll, da für das Element dann keine andere Lage als die gesicherte möglich wäre. Auf dieses Problem wird in Abschn. 5.3.2 noch genauer eingegangen.

Werden bewegliche Fahrweegelemente im Durchrutschweg zugelassen, so kann deren Art der Sicherung variieren: So ist es z. B. möglich, auf den Verschluss stumpf berutschter Weichen zu verzichten, wenn sie auffahrbar sind (**Regelstellungsweiche**). Dem liegt die Überlegung zugrunde, dass das Durchrutschen selten ist und das Auffahren einer auffahrbaren Weiche in der Regel keinen Schaden verursacht. Nicht in allen Stellwerksbauformen kann die Logik von Regelstellungsweichen implementiert werden; dann sind auch stumpf berutschte Weichen zu verschließen.

Als Grund für den Verzicht auf den Verschluss wurde bei älterer Stellwerkstechnik die Möglichkeit angegeben, eventuell entgegenkommende, feindliche Fahrten ablenken zu können. Im Hinblick auf die heute stattfindende Zentralisierung tritt diese Begründung in den Hintergrund. Dennoch gibt es einen wichtigen Grund, auf den Verschluss stumpf berutschter Weichen zu verzichten: Die Überlagerung von Durchrutschwegen der gleichen Richtung ist in fast allen Fällen nur dann möglich, wenn in mindestens einem auf den Verschluss einer stumpf berutschten Weiche verzichtet wird (Abb. 5.26).



Abb. 5.26 Überlagernde Durchrutschwege, die den Verzicht des Verschlusses der Weiche bedingen

Mehrere Durchrutschwege hinter einem Signal (Wahl-Durchrutschweg)

Hinter einem Signal können auch mehrere Durchrutschwege eingerichtet werden. Diese werden als **Wahl-Durchrutschwege** bezeichnet. Grundsätzlich bestehen dabei zwei Möglichkeiten. Beide Maßnahmen können miteinander kombiniert werden.

Verkürzung Eine einfache Maßnahme ist die Verkürzung des Durchrutschweges. Da hierbei nun nicht mehr die volle Länge zur Verfügung steht, müssen bei Inanspruchnahme verkürzter Durchrutschwege betriebliche Restriktionen, meist Beschränkungen der Einfahrtsgeschwindigkeit, in Kauf genommen werden.

Verlegung Die Verlegung von Durchrutschwegen in ein anderes Gleis ist immer mit einer anderen Stellung einer spitz beruhten Weiche verbunden.

Wenn es verschiedene Durchrutschwege gibt, kann weiterhin unterschieden werden, ob jeder Fahrstraße, die auf das Signal zuführt, ein Durchrutschweg zugewiesen ist oder ob Fahrstraße und Durchrutschweg miteinander frei kombiniert werden können. Zwei Gründe können zu mehreren Durchrutschwegen führen:

Ausschlussverhinderung mit anderen Fahrstraßen Ragen Durchrutschwege in den Fahrweg anderer Fahrstraßen, so schließen sie sich gegenseitig aus. Um solche betrieblichen Behinderungen zu vermeiden, ist es möglich, mehrere verschiedene Durchrutschwege zu definieren, die je nach betrieblicher Situation ausgewählt werden. Mögliche Maßnahmen sind die Verkürzung und die Verlegung.

Wenn z. B. in Abb. 5.27a die Ausfahrt von P3 und die Einfahrt auf P2 gleichzeitig eingestellt werden sollen, würden sich die beiden Fahrten ausschließen, wenn der reguläre Durchrutschweg hinter P2 in die Ausfahrtstraße hineinreicht. Um solche Ausschlüsse zu vermeiden, ist es möglich, einen weiteren Durchrutschweg hinter P2 einzurichten. Dieser ist kürzer und endet bereits am Grenzzeichen der nächsten Weiche.

Ausschlussverhinderung der eigenen Weiterfahrt Ein anderes Erfordernis für die Einrichtung mehrerer Durchrutschwege können mehrere Ausfahrrichtungen hinter einem Signal sein. Um eine Durchfahrt einzustellen, müssen Ein- und Ausfahrtstraße gleichzeitig eingestellt werden. Wenn aber die Verzweigung unterschiedlicher Ausfahrwege im Durchrutschweg liegt, kann nur die Ausfahrt eingestellt werden, in die der Durchrutschweg hinein reicht. Um einen Fahrstraßenausschluss mit der anderen Ausfahrt zu vermeiden, muss

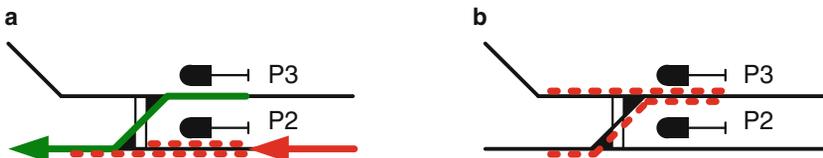


Abb. 5.27 Wahldurchrutschwege

ein weiterer Durchrutschweg eingerichtet werden. Abbildung 5.27b zeigt zwei Wahl-durchrutschwege hinter P3, damit in beide Richtungen ausgefahren werden kann.

Überlagerung von Durchrutschwegen

Durchrutschwege schließen sich immer mit anderen Fahrten aus. Es kann jedoch zugelassen werden, dass sich Durchrutschwege überlagern dürfen (Abb. 5.26). Hier liegt folgende Überlegung zugrunde: Die Wahrscheinlichkeit für das Durchrutschen ist gering und beträgt ca. 10^{-5} pro Fahrt auf ein Halt zeigendes Signal. Fahren zwei Züge gleichzeitig auf jeweils ein Halt zeigendes Signal zu, so beträgt die Wahrscheinlichkeit des gleichzeitigen Durchrutschens beider Züge 10^{-10} pro Fall einer gleichzeitigen Einfahrt. Hierbei ist jedoch Bedingung, dass der zweite Zug bereits das zulassende Signal passiert haben muss, bevor der erste Zug durchrutscht.

Betrachtet man nun die Verhältnisse innerhalb der Fahrstraßenbestehenszeit, so wird deutlich, dass hier ein weiterer reduzierender Faktor wirkt: Der erste durchrutschende Zug bringt das Fahrt zulassende Signal des zweiten Zuges durch die Inanspruchnahme des Durchrutschweges in die Haltstellung. Somit ist die Wahrscheinlichkeit des Durchrutschens zweier Züge innerhalb der Fahrstraßenbestehenszeit sogar geringer als 10^{-10} pro Fahrt zweier Züge auf Halt zeigende Signale.

Betrachtet man weiterhin die geringe Länge, mit der die häufigsten Fälle des Durchrutschens geschehen (Abb. 5.25), so besteht hier ein weiterer Reduktionsfaktor, da beide Züge über das Grenzzeichen der zusammenführenden Weiche bzw. Kreuzung rutschen müssen, um zusammenzustoßen.

Die betrachteten Wahrscheinlichkeiten sind hinreichend klein, so dass ein gleichzeitiges Durchrutschen mit anschließendem Zusammenstoß nicht angenommen werden muss (Fehlerausschluss). Deshalb ist es legitim, die gleichzeitige Inanspruchnahme von Fahrwegelementen durch zwei Durchrutschwege zu erlauben.

Die Überlagerung von Durchrutschwegen ist jedoch nicht in allen Stellwerksbauformen implementierbar. Ein Grund dafür ist, dass einige Stellwerkslogiken die Besonderheit der Regelstellungsweiche nicht beherrschen, wodurch hier stumpf berutschte Weichen immer verschlossen werden.

5.2.3.6 Fahrstraßenfestlegung

Vor dem Stattfinden der Fahrt muss die Fahrstraßenfestlegung erfolgen, die ein Zurücknehmen des Fahrstraßenverschlusses verhindert. Sie ist Voraussetzung für die Fahrtstellung des Signals, damit nur festgelegte Fahrstraßen befahren werden können.

Mit der Festlegung ist die Fahrstraße nicht mehr ohne weiteres rücknehmbar, da ab diesem Zeitpunkt ein Signal auf Fahrt gestanden haben und sich damit ein Zug in der Fahrstraße befinden kann. Soll bei Unregelmäßigkeiten eine bereits festgelegte Fahrstraße ohne durchgeführte Fahrt aufgelöst werden, so ist eine registrierpflichtige Handlung notwendig.

5.2.3.7 Mitwirkung des Zuges bei Annäherung an die Fahrstraße

Um bei Unregelmäßigkeiten die Fahrstraße nicht mit registrierpflichtigen Handlungen auflösen zu müssen, ist es ratsam, die Fahrstraße so spät wie möglich festzulegen. Dafür gibt es stellwerksintern zwei Möglichkeiten: Die Annäherungsschaltung und der Signalsebststellbetrieb. Hierzu ist es notwendig, den Zug vor dem Sichtpunkt des Vorsignals zu orten, damit es beim Erreichen des Sichtpunktes „Fahrt erwarten“ zeigt. Würde es das nicht, würde der Zug anfangen zu bremsen, was zu Fahrzeitverlängerungen und Energiemehrverbrauch führte.

Bei der **Annäherungsschaltung** wird die Fahrstraße durch Bedienung zunächst in das Stadium des Verschlusses gebracht. Erst wenn der Zug sich dem Sichtpunkt des Vorsignals nähert, müssen die Festlegung und anschließend die Signalfahrtstellung eintreten. Die Annäherungsschaltung wird auch „Anrückverschluss“ genannt, obwohl sie eigentlich besser „Anrückfestlegung“ heißen müsste.

Beim **Signalsebststellbetrieb** wird durch den sich nähernden Zug die Einstellung der Fahrstraße angestoßen. Nachteilig ist hierbei, dass für jedes Signal nur eine Fahrstraße projiziert werden kann, die automatisch einläuft. Für jedes Signal, für das Signalsebststellbetrieb eingerichtet ist, kann dieser ein- und ausgeschaltet werden. Vorteilhaft ist, dass bei eingeschaltetem Selbststellbetrieb der Bediener gar nicht mehr mitwirken muss.

Im Ausland ist es auch gebräuchlich, zunächst den Fahrstraßenverschluss sowie die Signalfahrtstellung herbeizuführen und erst bei Annäherung des Zuges festzulegen. Das bedingt aber das sichere Eintreten der Festlegung.

Mit fortschreitendem Einsatz der Zuglenkung (siehe auch Abschn. 9.2.2), die ebenfalls die Einstellung von Fahrstraßen anstoßen kann, verlieren die beschriebenen stellwerksinternen Funktionen an Bedeutung.

5.2.3.8 Abhängigkeiten zum Streckenblock

Bei Ausfahrstraßen werden auch die Kriterien des Folge- und Gegenfahrtschutzes der anschließenden freien Strecke geprüft. Weitere Erläuterungen dazu erfolgen in Abschn. 5.3.

5.2.3.9 Weitere Abhängigkeiten

Bei besonderen Bedingungen kann es weitere Abhängigkeiten zur Einstellung der Fahrstraße geben. So ist es z. B. möglich, die Einfahrt in ein bestimmtes Ladegleis von der Zustimmung des Bedieners der Ladeeinrichtung abhängig zu machen. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, auf Grenzbahnhöfen die Ausfahrt eines Zuges nur dann zu gestatten, wenn die Stellen der Grenzabfertigung zugestimmt haben.

5.2.3.10 Abhängigkeiten zu Bahnübergängen

In einigen Fällen müssen Bahnübergänge (BÜ) von Fahrstraßen abhängig sein. Das betrifft sowohl den Einschaltanstoß als auch die Überwachung des gesicherten Zustands (Hp-Abhängigkeit, siehe auch Abschn. 8.3.3).

Die Einschaltung eines Bahnübergangs erfolgt beim Fahrstraßenaufbau immer als letztes Kriterium vor der Signalfahrtstellung. Dem liegt die Überlegung zugrunde, dass bei

einer Störung im Fahrstraßenbau der Bahnübergang nicht unnötig für den Straßenverkehr gesperrt sein soll.

Die Überwachung eines gesicherten Bahnübergangs erfolgt permanent. Voraussetzung für den gesicherten Zustand sind das Leuchten der Rotlichter der Straßensignale sowie weitere Bedingungen, die betreiberabhängig sind (z. B. geschlossene Schranken). Sollte eine Voraussetzung nicht mehr gegeben sein, kommt das Signal automatisch in die Haltstellung. Weitere Informationen zu Bahnübergängen werden in Abschn. 8.3 gegeben.

5.2.4 Signalisierung von Fahrstraßen

5.2.4.1 Fahrtstellung des Signals

Erfüllt die Fahrstraße alle Anforderungen und ist sie festgelegt, kann das Signal auf Fahrt gestellt werden. Diese Phase wird auch „Signal freigabe“ genannt.

Voraussetzung für die Fahrtstellung ist, dass weder am Start- noch am Zielsignal Erstsatzsignal oder Kennlicht gezeigt werden. Auch darf das Zielsignal nicht erloschen sein. Die Bedingungen des Zielsignals weisen auf das Problem der Sicherung des folgenden Abschnitts hin. Zum einen müssen im folgenden Abschnitt befindliche Fahrzeuge gedeckt, zum anderen muss der Zug vor ungesicherten Fahrwegelementen geschützt werden. Wichtig ist daher, dass der freigegebene Bereich am Ende durch ein Halt zeigendes Signal begrenzt wird. Da es in den meisten Fällen möglich sein muss – bei Vorliegen der Voraussetzungen – auch aufeinander folgende Fahrstraßen einzustellen (Durchfahrt), kommt eine Haltprüfung des Zielsignals nur in solchen Fällen in Frage, bei denen das gleichzeitige Einstellen einer Folgefahrstraße nicht gefordert ist.

In Stellwerken werden verschiedene Strategien angewandt, um das Problem der unberechtigten Weiterfahrt in den folgenden Abschnitt (siehe auch Abschn. 5.1.1.6) zu lösen: In Hebelstellwerken werden hauptsächlich die Strategien 1) und 4) angewandt. Strategie 1) wird dadurch implementiert, dass durch die meisten Gleise im Bahnhof keine Durchfahrt zugelassen sind, d. h. das gleichzeitige Einstellen der Ein- und Ausfahrstraße durch besondere Fahrstraßenausschlüsse verhindert wird. Nur bei den Gleisen, durch die durchgefahren werden darf (in der Regel die durchgehenden Hauptgleise) kommt die Strategie 4) zum Einsatz, die höheren technischen Aufwand erfordert.

In Gleisbildstellwerken wird die Durchfahrt nur bei besonderen Bedingungen verhindert; in der Regel werden durch alle Hauptgleise Durchfahrten zugelassen. Damit kommen nur die Strategien 2), 3) und 4) in Betracht. Da Strategie 2) die Einhaltung einer Reihenfolge – erst Einfahrstraße, dann Ausfahrstraße – erfordert, kommt diese nur bei Bahnen untergeordneter Bedeutung zur Anwendung. Meist bedient man sich der Strategien 3) und 4), da die Bedienungsreihenfolge der Fahrstraßen nicht vorgeschrieben werden soll.

5.2.4.2 Geschwindigkeitssignalisierung

Ursachen für Geschwindigkeitsbegrenzungen in der Fahrstraße

Statische Geschwindigkeitsbegrenzungen werden durch die Einrichtung ständiger oder vorübergehender Langsamfahrstellen gekennzeichnet. Wo aber ein Hauptsignal einen Fahrweg sichert, kann es z. B. durch Fahrwegverzweigungen zu unterschiedlichen Geschwindigkeiten je nach Fahrweg kommen; diese müssen durch dynamische Signalisierung dem Triebfahrzeugführer bekannt gegeben werden. Drei grundsätzliche Ursachen für eine Geschwindigkeitsbeschränkung in der Fahrstraße können unterschieden werden:

Geschwindigkeitseinschränkung durch Fahrweg bei verschiedenen Fahrwegen Die häufigste Einschränkung der Geschwindigkeit ergibt sich durch die im jeweiligen Fahrweg zulässige Geschwindigkeit, die wiederum fast immer durch die Abzweiggeschwindigkeit abweigend befahrener Weichen bestimmt wird. In der Regel können Weichen im Stammgleis mit unverminderter Geschwindigkeit durchfahren werden; die Geschwindigkeit im Zweiggleis richtet sich nach dem Radius des Zweiggleises (Tab. 4.3). Bei besonderen Weichenformen bzw. Weichen, die in einer Überhöhung liegen und/oder durch Gleisbögen angeschlossen sind, können andere Geschwindigkeiten vorgegeben sein. Aber auch andere Trassierungselemente (z. B. Gleisverziehungen) können zur Einschränkung der Geschwindigkeit eines Fahrweges führen. In den meisten Fällen wird jedoch so trassiert, dass neben den Weichen keine weiteren Geschwindigkeitseinschränkungen entstehen.

Verkürzter Durchrutschweg Wie in Abschn. 5.2.3.5 erläutert, können zur Vermeidung von Fahrstraßenausschlüssen Wahldurchrutschwege eingerichtet werden. Oftmals sind alternative Durchrutschwege kürzer. Sie führen damit zu einer Einschränkung der Geschwindigkeit, mit der auf das Zielsignal zugefahren werden darf. Diese Geschwindigkeit muss am Startsignal signalisiert werden.

Verkürzter Bremswegabstand Bei örtlichen Zwängen kann der Fall eintreten, dass der Abstand zweier Hauptsignale und damit der Vorsignalabstand des zweiten Signals geringer ist als der Regelbremsweg. Eine Möglichkeit den Betrieb trotzdem sicher zu führen ist, dass am ersten Signal bereits eine geringere Geschwindigkeit gefahren werden muss, um den Zug innerhalb des verkürzten Bremswegabstandes sicher zum Stehen zu bringen. Damit sich der Triebfahrzeugführer auf die Besonderheit des Bremsens einrichten kann, wird ihm der verkürzte Abstand durch besondere Signalisierung (Zusatzlicht) und Eintragungen in seinen Fahrplanunterlagen bekannt gegeben.

Generierung der Geschwindigkeitsinformation

Tritt mindestens eine der oben genannten Bedingungen ein, so ist eine verringerte Geschwindigkeit zu signalisieren, was in den verschiedenen Signalsystemen (siehe auch

Abschn. 4.3.6) mit unterschiedlichen Signalbildern geschieht. Die Bildung der Geschwindigkeitsinformation kann auf unterschiedliche Art und Weise erfolgen:

Statische Geschwindigkeitsgenerierung In allen Stellwerken, die nach tabellarischer Fahrstraßenlogik arbeiten, ist jeder Fahrstraße (jeder Zeile in der Tabelle) ein bestimmtes Signalbild und damit eine bestimmte Geschwindigkeit zugeordnet. Hat eine Fahrstraße mehrere Durchrutschwege, so wird für jeden eine separate Fahrstraße eingerichtet.

Dynamische Geschwindigkeitsgenerierung (kontinuierlich) Eine dynamische Geschwindigkeitsermittlung kommt in Stellwerken zur Anwendung, die Fahrstraßen nach dem topologischen Prinzip (Spurplanprinzip) bilden. Erfolgt die Übertragung der höchsten, zulässigen Geschwindigkeit durch die Spur dauernd, so wird die zu signalisierende Geschwindigkeit kontinuierlich an das Element „Startsignal“ übertragen. Tritt ein Umstand ein, der eine Erhöhung der signalisierten Geschwindigkeit zulässt, so kann diese (sofern es die Stellwerksbauform gestattet) auch signalisiert werden („Hochsignalisieren“).

Dynamische Geschwindigkeitsgenerierung (einmalig) Nicht alle Stellwerke nach topologischem Prinzip bilden die Geschwindigkeitsinformation dauernd. In einigen Bauformen wird sie einmalig vor der Fahrtstellung des Signals gebildet und ist damit für die gesamte Bestehenszeit der Fahrstraße gültig. Ein Hochsignalisieren ist damit nicht möglich.

5.2.4.3 Sonstige Zusatzsignalisierung

Neben der Geschwindigkeitssignalisierung müssen weitere Signalisierungen in Abhängigkeit von der Fahrstraße angeschaltet werden. Das betrifft den Richtungsanzeiger, den Gegengleisanzeiger sowie den Stumpfgleis- und Frühhaltanzeiger. Die Anwendung der Signale wird in Abschn. 10.4.5 erläutert.

5.2.4.4 Vorsignalisierung

Die Stellung des Hauptsignals einschließlich der dortigen Geschwindigkeit und eventuell weiterer Bedingungen ist vorzusignalisieren, damit der Triebfahrzeugführer seine Fahrweise darauf einstellen kann. Erfolgt die Vorsignalisierung durch jeweils ein separates Vorsignal, so wird es meist direkt von der Hauptsignallogik aus angesteuert.

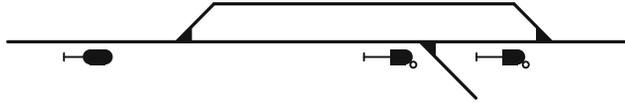
Insbesondere bei Ausfahr- und Zwischensignalen gehören häufig mehrere Hauptsignale zu einem Vorsignal. Stehen Vorsignale in einer Weichenstraße, z. B. weil der Abstand zum rückliegenden Hauptsignal für eine dortige Vorsignalisierung zu groß ist (Abb. 5.28), so können einem Hauptsignal auch mehrere Vorsignale zugeordnet sein. In solchen Fällen muss durch die Fahrstraßenlogik das für die aktuelle Fahrstraße notwendige Vorsignal ausgewählt werden.

Stehen Vor- und Hauptsignal an einem Standort oder werden kombinierte Signale genutzt, so muss ein Haltbegriff am Hauptsignal einen eventuellen „Fahrt erwarten“-Begriff



Abb. 5.28 Verschiedene Zuordnungen von Vor- und Hauptsignal

Abb. 5.29 Signalisierung bei sehr kurzem Signalabstand



am Vorsignal maskieren, d. h. das Vorsignal muss dann dunkel sein (Lichtsignal) oder den restriktivsten Begriff (Formsignal) anzeigen.

5.2.4.5 Signalisierung bei sehr kurzem Signalabstand

Im Gegensatz zum verkürzten Hauptsignalabstand, der zu einer Geschwindigkeitsverringerung in der Fahrstraße führt (siehe auch Abschn. 5.2.4.2), wird bei einem sehr kurzen Hauptsignalabstand (< 400 m), immer nur ein Signal genutzt. In Grundstellung zeigen beide Signale Halt. Sie sind mit Kennlicht ausgestattet, was in einigen der nachfolgend beschriebenen Situationen benötigt wird.

Abbildung 5.29 zeigt ein typisches Beispiel. In einem Gleis zweigt ein Hauptgleis für eine weitere Ausfahrriechtung ab. Möchte man die gesamte Gleisnutzlänge ausnutzen und weiter geradeaus fahren, so wird bis zum hinteren Ausfahrnsignal eingefahren („Langeinfahrt“). Das vordere Ausfahrnsignal zeigt in diesem Fall Kennlicht.

Es besteht aber auch die Möglichkeit, nur bis zum vorderen Ausfahrnsignal einzufahren („Kurzeinfahrt“). Von dort aus kann dann in beide Richtungen ausgefahren werden, allerdings unter Inkaufnahme einer kürzeren Gleisnutzlänge. Wird weiter geradeaus gefahren, so zeigt das hintere Ausfahrnsignal bei der Ausfahrt Kennlicht, wird die abzweigende Strecke befahren, so bleibt es in der Haltstellung.

5.2.4.6 Haltstellung des Signals

Nach der Vorbeifahrt des Zuges am Startsignal der Fahrstraße muss es umgehend auf Halt gestellt werden, damit der Zug durch ein Halt zeigendes Signal gedeckt ist. Bei vorhandener Gleisfreimeldeanlage geschieht die Haltstellung des Signals ohnehin mit dem Befahren des ersten, für die Fahrstraße ständig überwachten Freimeldeabschnitts, da die Gleisfreimeldung Voraussetzung für die Signalfahrtstellung ist. Dieser Abschnitt wird auch **Haltfallabschnitt** oder **Löschabschnitt** genannt (Abb. 5.30a).

Allerdings kann dabei ein Problem entstehen: Befindet sich der Löschabschnitt unmittelbar nach dem Signal, so wird mit der Vorbeifahrt am Signal dieses auf Halt gestellt. Eine am Signal angebrachte punktförmige Zugbeeinflussung wird damit aktiv. Ist aber die Antenne der Zugbeeinflussung auf dem Fahrzeug hinter der ersten Achse angebracht, er-

folgte damit regelmäßig eine Beeinflussung. Außerdem führe bei Triebfahrzeugen, deren Führerstand nicht unmittelbar vorn angeordnet ist (z. B. Diesellok mit Mittelführerstand) der Triebfahrzeugführer immer an einem Halt zeigenden Signal vorbei, da sich die erste Achse einige Meter vor ihm befindet. Um dem zu begegnen, bestehen mehrere Möglichkeiten:

Beginn des ersten Abschnitts hinter dem Signal

Der erste Gleisfreimeldeabschnitt nach dem Signal und damit der erste in der Fahrstraße überwachte Abschnitt beginnt nicht direkt am, sondern einige Meter hinter dem Signal (Abb. 5.30b). Der Abstand muss mindestens den größtmöglichen Abstand zwischen erster Achse eines Fahrzeugs und dessen Antenne des Zugbeeinflussungssystems (z. B. Fahrzeugmagnet bei PZB) betragen.

Die steigende Zentralisierung in der Bedienung und der damit einhergehende Entzug des Blicks auf die Bahnanlagen ergab das Problem, dass sich der Bediener nunmehr allein auf die Anzeigen seiner Bedienoberfläche verlassen muss. Ist am Hauptsignal keine Gleisfreimeldegrenze angeordnet, so kann keine Aussage darüber getroffen werden, ob sich ein Fahrzeug vor oder hinter dem Signal befindet. Deshalb ist heute eine Freimeldegrenze am Hauptsignal immer gefordert.

Heranziehung des zweiten Abschnitts als Lösabschnitt

Muss am Signal eine Gleisfreimeldegrenze angeordnet werden, so kann der zweite Abschnitt als Lösabschnitt genutzt werden (Abb. 5.30c). Hierbei darf der erste Abschnitt, der auch Nichthaltfallabschnitt oder Haltfallverhinderungsabschnitt genannt wird, dann keinen Signalhaltfall hervorrufen, wenn er und der davor liegende Freimeldeabschnitt besetzt sind. Nachteilig an dieser Vorgehensweise ist die Tatsache, dass kurze Züge, die innerhalb des Nichthaltfallabschnitts stehen bleiben, keine Haltstellung herbeiführen. Dem wird dadurch abgeholfen, indem das Freifahren des Abschnitts vor dem Signal als weiteres Haltfallkriterium herangezogen wird.

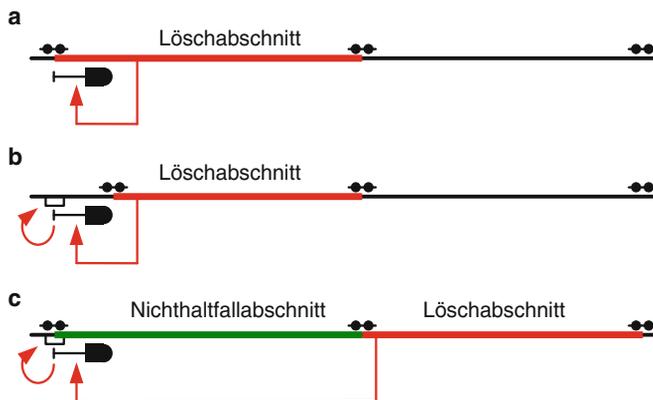


Abb. 5.30a–c Möglichkeiten der Anordnung von Lösabschnitten

Weitere Möglichkeiten

Eine weitere, heute nicht mehr neu angewandte Möglichkeit ist die verzögerte Wirkamschaltung der Zugbeeinflussung. Außerdem können auch andere, an das Stellwerk angeschlossene Gleisschaltmittel die Signalhaltstellung herbeiführen.

Neben der regulären Haltstellung des Signals muss diese natürlich zur Gefahrenabwehr jederzeit möglich sein. Das kann durch einen Eingriff des Bedieners erfolgen oder durch die technische Fahrstraßenüberwachung, wenn nicht mehr alle Voraussetzungen für die Fahrstraße gegeben sind.

5.2.5 Fahrstraßenabbau

5.2.5.1 Fahrstraßenauflösung im Regelfall

Nach erfolgter Fahrt wird die Fahrstraße aufgelöst. Dabei ist zwischen den topologischen Bestandteilen einer Fahrstraße (siehe auch Abschn. 5.2.1.3) zu differenzieren.

Auflösung des befahrenen Teils einschließlich Flankenschutz

Nachdem die Fahrstraßenzugschlussstelle passiert wurde, kann der befahrene Teil einschließlich dessen Flankenschutzes aufgelöst werden. Sind die Fahrwegelemente in Teilfahrstraßen aufgeteilt, wird nach dem Befahren der Teilfahrstraßenzugschlussstelle die jeweilige Teilfahrstraße aufgelöst. Teilfahrstraßen werden durch einen (meist) oder mehrere (selten) Gleisfreimeldeabschnitte freigemeldet. Da nicht alle Elemente (z. B. gemeinsam freigemeldete Weichen) einen eigenen Freimeldeabschnitt besitzen, müssen diese gemeinsam mit den im gleichen Freimeldeabschnitt liegenden Elementen aufgelöst werden.

Um zu erreichen, dass ein Zug nur festgelegte Fahrstraßen befährt, muss die Festlegung eingetreten sein, bevor das Signal auf Fahrt geht. Analog dazu muss beim Fahrstraßenabbau das Signal erst in die Haltstellung kommen, bevor die Festlegung gelöscht werden kann. Dadurch ist sichergestellt, dass ein Signal ohne Festlegung einer darauf folgenden Fahrstraße nie Fahrt zeigen kann.

In Hebelstellwerken, die in der Regel keine Gleisfreimeldeanlage besitzen, erfolgt die Detektion des Passierens der Fahrstraßenzugschlussstelle oftmals dennoch durch die Mitwirkung des Zuges. Technisch wird hierfür die Isolierte Schiene (siehe auch Abschn. 4.1.6) verwendet (Abb. 5.31).

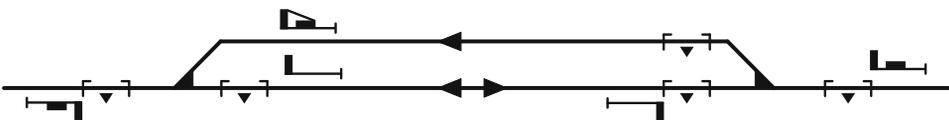


Abb. 5.31 Lage der Isolierten Schienen bei Hebelstellwerken zur Detektion des Freifahrens der Fahrstraßenzugschlussstelle

In Stellwerken mit Gleisfreimeldeanlage werden die Freimeldeabschnitte zur Fahrstraßenauflösung herangezogen. Diese müssen belegt gewesen und wieder frei sein, um aufzulösen. Damit wird gleichzeitig eine Funktionskontrolle der Freimeldeeinrichtungen durchgeführt, da nur so geprüft werden kann, ob ein besetzter Zustand wirklich ermittelt wird.

Es ergibt sich hierbei aber ein sicherheitsrelevantes Problem: Wird – bei Gleisstromkreisen – eine Besetzung und anschließendes Freisein detektiert, so kann dies auch durch eine kurzzeitige Isolierstörung oder einen kurzzeitigen Spannungsausfall verursacht werden. Würde jetzt die Fahrstraße auflösen, obwohl der Zug diese noch nicht passiert hat, wäre das gefährlich. Um dem entgegenzuwirken, gibt es zwei Möglichkeiten:

Einbeziehung eines zusätzlichen Kriteriums zur Auflösung Das zusätzliche Kriterium wird in Form eines Schienenkontaktes hinzugefügt, was die Fahrstraße nur dann auflösen lässt, wenn tatsächlich ein Fahrzeug gefahren ist. Um das festzustellen muss sowohl der Gleisstromkreis besetzt- und freigemeldet, als auch der Schienenkontakt befahren werden. Nach dem gleichen Prinzip funktioniert die Isolierte Schiene.

Prüfung der Auflösereihenfolge der einzelnen Gleisfreimeldeabschnitte Nur wenn die Freimeldeabschnitte in Richtung der Fahrt in der richtigen Reihenfolge besetzt- und freigemeldet wurden, erfolgt die Auflösung (Reihenfolgeprüfung). Dabei wird geprüft, ob der aufzulösende Abschnitt besetzt war, der in Fahrtrichtung dahinter liegende besetzt und der davor liegende inzwischen aufgelöst ist.

Bei Verwendung von Achszählern zur Gleisfreimeldung wären derartige Maßnahmen nicht mehr notwendig. In der Stellwerkslogik hat man sie dennoch beibehalten, so dass auch bei Freimeldung durch Achszähler die Auflösereihenfolge geprüft wird. Vorteilhaft dabei ist, dass wahlweise Achszähler oder Gleisstromkreise eingesetzt werden können; nachteilig sind der höhere Aufwand in der Logik und betriebliche Behinderungen durch nicht aufgelöste Elemente bei Achszählfehlern. Außerdem kann damit eine Achszählfehlerkorrektur nicht sinnvoll eingesetzt werden (siehe auch Abschn. 4.1.4.3).

Auflösung des Durchrutschweges

Der Durchrutschweg kann aufgelöst werden, wenn er nicht mehr benötigt wird. Das ist dann der Fall, wenn der Zug steht und somit die Gefahr des Durchrutschens nicht mehr gegeben ist. Bei vorhandenem örtlichem Personal kann dieses den Stillstand durch Beobachtung feststellen und mit einer Bedienhandlung den Durchrutschweg auflösen.

Befindet sich kein Personal vor Ort, kann lediglich die Gleisfreimeldung ausgewertet werden. Da sie aber diskret wirkt und eine Fahrzeugbewegung nicht direkt erkennen kann, muss auf den Stillstand des Zuges indirekt geschlossen werden. Deshalb wird nach dem Besetzen des letzten Gleisfreimeldeabschnitts (meist Zielgleis) eine zeitverzögerte Auflösung des Durchrutschweges angestoßen. Die Dauer der Zeitverzögerung wird in Abhängigkeit von der Länge des Abschnitts gewählt: Je länger er ist, umso mehr Zeit wird

der Zug benötigen, bis er am Zielsignal anhält. Theoretisch spielt zwar auch die Einfahrgeschwindigkeit eine Rolle, praktisch jedoch kann ein Zug immer langsamer fahren, als es die örtlich zulässige Geschwindigkeit zulässt. Deshalb wird zur Berechnung immer eine geringe Geschwindigkeit angenommen.

Je nach Stellwerkstechnik kann parallel oder alternativ zur zeitverzögerten Auflösung für den Stellwerksbediener auch eine Möglichkeit zur manuellen Auflösung des Durchrutschweges vorgesehen werden. Vor deren Betätigung muss sich der Bediener vom Stillstand des Zuges überzeugt haben. Das kann durch direkte bzw. indirekte Sicht auf den Zug oder durch fernmündliche Meldung geschehen.

Gemeinsame und getrennte Auflösung der Bestandteile

In alten Stellwerksbauformen werden die topologischen Teile gemeinsam aufgelöst, da die Fahrstraßenfestlegung nur durch ein Element realisiert wird. Das bringt Nachteile in der Leistungsfähigkeit, weil immer erst abgewartet werden muss, bis der Zug steht, obwohl er möglicherweise längst die Fahrstraßenzugschlussstelle passiert hat und somit der befahrene Teil ausschließlich des Zielgleises für andere Fahrten genutzt werden könnte. In weiterentwickelten Stellwerksbauformen können zumindest der befahrene Teil und der Durchrutschweg getrennt aufgelöst werden; ist eine Teilfahrstraßenauflösung vorhanden, wird die Ausnutzung der Fahrwegressourcen noch effektiver.

5.2.5.2 Fahrstraßenhilfsauflösung

Kann eine Fahrstraße nicht regulär aufgelöst werden, so sind meist technische Ausfälle dafür verantwortlich. Aber auch betriebliche Gründe können die Auflösung verhindern, z. B. dann, wenn der vorgesehene Zug die Fahrstraße nicht oder nur teilweise befahren hat. In solchen Fällen muss die Fahrstraße durch eine Hilfsbedienung aufgelöst werden.

Auflösestörungen entstehen häufig durch Fehler in der Gleisfreimeldung. Solche werden durch die Reihenfolgeprüfung bei der Auflösung (siehe auch Abschn. 5.2.5.1) offenbart. Bei Einstellung der folgenden Fahrt darf sich dann nicht auf die Wirkung dieses Freimeldeabschnitts verlassen werden.

Fahrstraßenhilfsauflösungen sind sicherheitsrelevante Bedienungen. Da nach der Festlegung das Signal auf Fahrt gestanden haben kann, kann sich bereits ein Zug in der Fahrstraße befinden. Deshalb unterliegt die Fahrstraßenhilfsauflösung einer Registrierpflicht, bei der der Bediener seine Handlung begründen muss.

Eine Fahrstraße darf nur dann hilfsaufgelöst werden, wenn sich das Signal in Haltstellung und kein Zug in der Fahrstraße befindet. Eine in der deutschen Stellwerkslogik nur selten angewandte Möglichkeit ist, eine Fahrstraßenhilfsauflösung zeitverzögert wirksam werden zu lassen. Nach Ablauf der Zeit kann angenommen werden, dass ein eventuell in der Fahrstraße befindlicher Zug diese verlassen hat oder am Fahrstraßenziel zum Stehen gekommen ist.

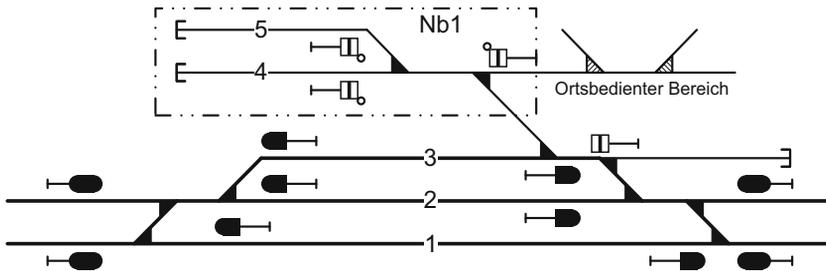


Abb. 5.32 Beispiel für einen Nahbedienbereich

5.2.6 Nahbedienung

In Stellwerksbereichen stellt im Regelfall der Stellwerksbediener (Wärter) die Weichen bzw. Rangierstraßen für Rangierfahrten. Um den Bediener von solchen Handlungen zu entlasten, kann die fahrdienstliche Verantwortung in abgegrenzten Bereichen an den Rangierer vor Ort abgegeben werden (**Nahbedienbereich**, Abb. 5.32), wobei sowohl Neben- als auch Hauptgleise enthalten sein können. Die in dem Bereich liegenden Weichen werden dann vom Personal vor Ort bedient, was bei elektrisch angetriebenen Weichen durch in der Außenanlage aufgestellte Bedienelemente geschieht. Damit entfällt auch die sonst notwendige Kommunikation zwischen Rangier- und Stellwerkspersonal.

Neben dem Nahbedienbereich, bei dem die fahrdienstliche Verantwortung wechseln kann, steht der ortsbediente Bereich, in dem immer das Rangierpersonal die Verantwortung trägt und ausschließlich die beweglichen Fahrweegelemente bedient. Im Abb. 5.32 bildet das Areal mit den zwei ortsbedienten Weichen den ortsbedienten Bereich. Die darin enthaltenen Weichen können sowohl mechanisch als auch elektrisch ortsbedient (EOW, siehe auch Abschn. 4.2.2.8) sein. Die im Nahbedienbereich enthaltenen Weichen sind keine EOW, sondern stellwerksgesteuerte Weichen, deren Bedienung temporär örtlich erfolgt.

Ist die Nahbedienung eingeschaltet und somit die Verantwortung beim Rangierpersonal, muss der Bereich vom stellwerksgesteuerten Bereich abgetrennt werden. Das wird dadurch erreicht, dass Flankenschutzelemente – meist Weichen – die Bereiche gegenseitig schützen. Bei eingeschalteter Nahbedienung werden diese Elemente in Schutzlage verschlossen. Im Abb. 5.32 sind das die zwei Weichen der Gleisverbindung, die den Nahbedienbereich mit dem übrigen Bahnhof verbinden.

Da bei ausgeschalteter Nahbedienung meist Rangier- oder auch Zugstraßen in und aus dem Bereich eingestellt werden können, sind im Bereich oft Sperr- bzw. Hauptsignale vorhanden. Weil sie bei eingeschalteter Nahbedienung keine Gültigkeit besitzen, müssen sie betrieblich ausgeschaltet werden. Dazu werden die Signalbilder abgeschaltet und Kennlicht gezeigt.

5.3 Technologie Blockinformation

5.3.1 Wesen der Blockinformation

Auf der freien Strecke reduzieren sich die Gefährdungsmöglichkeiten. Mit wenigen Ausnahmen muss kein Flankenschutz gewährleistet werden, da keine Weichen vorhanden sind. Dadurch entfällt die Sicherung beweglicher Fahrwegelemente. Somit sind vorrangig Folge- und Gegenfahrerschutz zu gewährleisten.

Wie in Abschn. 5.1.1.4 beschrieben, hat sich die von der Fahrstraße abweichende Technologie aufgrund der besonderen nichttechnischen Freimeldung entwickelt. Durch die indirekte Freimeldung der Strecke an deren Ende steht die Freimeldeinformation nur dort zur Verfügung, und zwar immer nachdem ein Zug gefahren ist. Benötigt wird sie aber am Anfang der Strecke, wo die Signalbedienung erfolgt. Deshalb muss sie dorthin übertragen werden – was durch die Blockinformation geschieht. Da es sich nur um eine einfache Information (1 Bit) handelt, die aber ggf. über mehrere Kilometer übertragen werden muss, nutzte man schon frühzeitig die Mittel der Elektrotechnik.

5.3.2 Folgefahrerschutz

5.3.2.1 Bedingungen des Folgefahrerschutzes

Um den Folgefahrerschutz zu realisieren, muss lediglich gewährleistet sein, dass ein Nachfahren in einen Abschnitt – hier den Blockabschnitt – nicht möglich ist. Ein solcher Abschnitt muss nun auf alle Möglichkeiten untersucht werden, wie dies im Eisenbahnbetrieb zustande kommen kann.

Zunächst darf keine Fahrt in einen bereits besetzten Abschnitt zugelassen werden, d. h. das Signal am Abschnittsanfang darf nur Fahrt zeigen, wenn der Abschnitt frei ist. Da es aber auch, wie in Abschn. 5.2.3.5 ausführlich dargestellt, beim klassischen Eisenbahnbetrieb zu einem ungewollten Überfahren eines Halt zeigenden Signals kommen kann, muss hinter dem Signal am Abschnittsende auch in dieser Technologie ein Sicherheitsweg freigehalten werden. Dieser wird „**Gefahrpunktabstand**“ genannt, abweichend zur Bezeichnung „Durchrutschweg“ in der Technologie Fahrstraße. In betrieblichen Regelwerken hat sich die Bezeichnung Durchrutschweg durchgesetzt mit eventuellen Ergänzungen, wie „Durchrutschweg hinter Einfahrsignalen“; im Folgenden soll jedoch zwischen Durchrutschweg und Gefahrpunktabstand unterschieden werden.

In Abschn. 5.1.1.6 wurde die Problematik der Deckung eines Zuges durch ein Halt zeigendes Signal aufgezeigt. Das Problem besteht natürlich auch bei der Sicherung mit Blockinformationen. Würde ein Zug in einen freien Abschnitt eingelassen werden, an dessen Ende aber das Signal fehlerhaft nicht in die Haltstellung gekommen ist, so könnte er in den nächsten Abschnitt einfahren, ohne dass geprüft wurde, ob dieser frei ist (Abb. 5.6). Bei der Sicherung mit Blockinformationen wird die Strategie 3) nach Abschn. 5.1.1.6 angewandt.

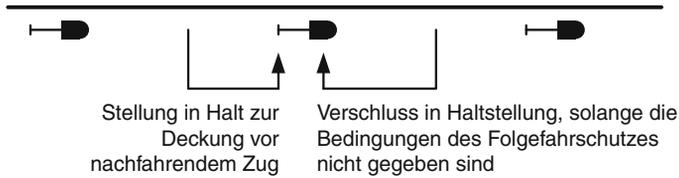


Abb. 5.33 Wirkung des davor und dahinter liegenden Blockabschnitts auf ein Blocksignal

Das Signal am Anfang des Blockabschnitts muss nach Einfahrt des Zuges in den Abschnitt in der Haltstellung verschlossen werden, um den Zug zu decken. Dabei ist es so zu sichern, dass es erst wieder nach dem Eintritt der Grundbedingungen des Folgefahrerschutzes einen Fahrtbegriff zeigen kann. Im Gegensatz dazu steht die Sicherung des Signals am Ende des Abschnitts, was beim Verlassen nur gegen eine fehlerhafte, weiterhin Fahrt zeigende Stellung gesichert werden muss.

Da das Signal am Ende des Blockabschnitts gleichzeitig das Signal am Anfang des folgenden Blockabschnitts ist, wirken zwar beide Mechanismen zur Haltstellung auf alle Blocksignale, allerdings für verschiedene Abschnitte – den davor und den danach befindlichen (Abb. 5.33).

Bedingt durch die praktische Umsetzung der Bedingungen ergeben sich in der Technologie der Sicherung mit Blockinformationen gewisse Schritte im praktischen Ablauf.

Nachdem ein Zug in einen Blockabschnitt eingefahren ist, wird zunächst das Signal am Anfang des Abschnitts in die Haltstellung gebracht. Die Haltstellung ist solange nicht sicherheitsrelevant, wie kein anderer Zug in den davor liegenden Abschnitt gelangen kann.

Befindet sich das Signal in der Haltstellung, so kann die nächste Zugfolgestelle über die Besetzung des Blockabschnitts informiert werden. Dieser Vorgang wird **Vorblocken** genannt. Die Übertragung des Vorblocks ist nicht sicherheitsrelevant. Der gleichzeitig eintretende Verschluss des oder der Signale am Anfang des Blockabschnitts hingegen besitzt Sicherheitsrelevanz. Man spricht vom **Signalverschluss**. Das bzw. die Signal(e) müssen nun so lange in Halt verschlossen bleiben, bis die Bedingungen für eine Fahrtstellung wieder gegeben sind.

Wie bereits erwähnt, liegen die Bedingungen am Ende des Blockabschnitts vor, weshalb die Information über ihr Eintreten übertragen werden muss. Die Übertragung wird durch den **Rückblock** realisiert. Dieser ist in höchstem Maße sicherheitsrelevant, gibt er doch den Abschnitt für die nächste Zugfahrt frei.

5.3.2.2 Realisierung der Folgefahrerschutz-Bedingungen

Bedingung 1: Blockabschnitt frei

Eine wesentliche Bedingung, die für die Freigabe eines Blockabschnitts erfüllt sein muss, ist, dass dieser frei ist. Bei nichttechnischer Gleisfreimeldung kann diese Information nur durch Beobachtung des Zugschlusses am Ende des Abschnitts erfolgen (indirekte Freimeldung, siehe auch Abschn. 4.1.1.2). Damit steht eine wesentliche Information für

die Freigabe des Abschnitts nur an dessen Ende zur Verfügung. Bei einer technischen Gleisfreimeldung hingegen kann die Information auch am Anfang des Abschnitts zur Verfügung gestellt werden, abhängig von der eingesetzten Lösung.

Bedingung 2: Gefahrpunktabstand frei

Hinter einem Halt zeigenden Zielsignal wird der **Gefahrpunktabstand** freigehalten. Der Gefahrpunktabstand unterscheidet sich in einem wesentlichen Punkt vom Durchrutschweg: Während der Durchrutschweg nur dann gesichert ist, während die Fahrstraße besteht (also nur unmittelbar vor und während der Zugfahrt), ist der Gefahrpunktabstand ständig gesichert. Die Ursache ist darin zu finden, dass die Sicherung eines Blockabschnitts nicht unmittelbar vor, sondern unmittelbar nach einer Zugfahrt erfolgt. Bis zur nächsten Fahrt muss der Blockabschnitt einschließlich seines Gefahrpunktabstands gesichert bleiben – unabhängig davon, wann die nächste Zugfahrt erfolgt.

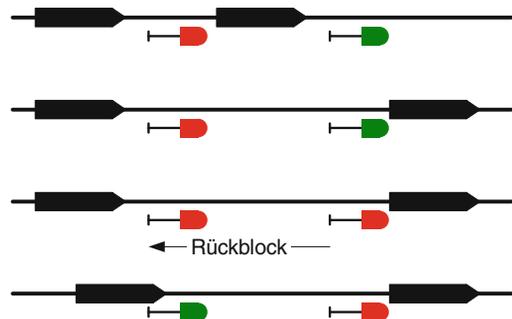
Das hat auch Auswirkungen auf bewegliche Fahrwegelemente: Wegen der dauernden Sicherung ließe sich ein darin befindliches, bewegliches Fahrwegelement nur in der kurzen Zeit zwischen dem Verlassen des Elements bis zur Abgabe des Rückblocks umstellen. Man müsste zu diesem Zeitpunkt schon wissen, in welcher Lage das Element für die nächste Fahrt benötigt wird. Deshalb werden Gefahrpunktabstände so eingerichtet, dass sich darin keine beweglichen Fahrwegelemente befinden. Vielfach lässt es auch die Blocktechnik nicht zu.

Die Grundlänge von Gefahrpunktabständen beträgt nach [DB819] 200 m, in einigen Fällen auch weniger. Die genaue Bemessung wird in Abschn. 10.4.4.1 gezeigt.

Bedingung 3: Deckung durch Halt zeigendes Signal

Wie bereits erwähnt, wird die Bedingung, dass ein Zug durch ein Halt zeigendes Signal gedeckt sein muss, durch die Strategie 3) nach Abschn. 5.1.1.6 realisiert. Bei dieser wird gespeichert, dass das folgende Signal zwischen zwei Fahrtstellungen des vorhergehenden Signals mindestens einmal in die Haltstellung gekommen ist. Die Sicherung mit Blockinformationen erreicht das dadurch, dass die Freigabe eines Blockabschnitts (Rückblock) nur dann erfolgen kann, wenn das Signal am Ende des Abschnitts Halt zeigt – wodurch der Zug, der den Abschnitt gerade verlassen hat, gedeckt ist (Abb. 5.34).

Abb. 5.34 Verhinderung des Nachfahrens von Zügen bei Sicherung mit Blockinformation



5.3.2.3 Aus der Umsetzung resultierende Zusatzbedingungen

Die Umsetzung der Bedingungen erfolgt in verschiedenen technischen Niveaus, an denen der Mensch in unterschiedlichem Maß beteiligt ist. Da der Mensch in den Prozessketten vielfach das schwächste Glied hinsichtlich der Sicherheit darstellt (siehe auch Abschn. 3.5), muss er – soweit möglich – durch Technik unterstützt und überwacht werden. Außerdem muss damit gerechnet werden, dass Fehler in der Technik auftreten, die sich nicht gefährlich auswirken dürfen.

Die daraus erwachsenden Bedingungen werden auch **Zusatzbedingungen** genannt, die dann zur Anwendung kommen, wenn der Mensch sicherheitsrelevante Aufgaben übernimmt oder mit Fehlern der Technik gerechnet werden muss. Es handelt sich dabei um Gegenmaßnahmen, um einen Gefährdungsausschluss herbeizuführen.

Wiederholungssperre

Nachdem ein Zug in einen Blockabschnitt eingefahren ist, ist das Signal am Anfang des Abschnitts in die Haltlage zu bringen und vorzublocken. Insbesondere bei manuell bedienten Anlagen besteht die Möglichkeit, dass der Bediener vergisst, vorzublocken. Aber auch in automatisierten Anlagen kann durch einen Fehler der Technik der Vorblock ausbleiben.

In solchen Fällen wäre der Signalverschluss nicht eingetreten und das Signal könnte erneut Fahrt zeigen – was gefährlich ist. Um dem entgegenzuwirken, wird die **Wiederholungssperre** verwendet. Sie hat die erneute Signalfahrtstellung so lange zu unterbinden, bis der Signalverschluss durch den Vorblock eingetreten ist.

Die Wiederholungssperre ist ein Speicherglied, das den Umstand, dass ein Signal in Fahrt gestanden hat, so lange speichert, bis vorgeblockt wurde. In Abhängigkeit von der Technik kann sie auch erst bei Eintreffen des Rückblocks gelöscht werden. In dem Fall wirkt sie parallel zum Signalverschluss (Abb. 5.35).

Zugmitwirkung beim Rückblock

Hat, bei fehlender technischer Gleisfreimeldung, der Bediener am Ende des Blockabschnitts den Zugschluss festzustellen, so wird hier eine hochgradig sicherheitsrelevante Aufgabe dem Menschen übertragen: Die Bedingung „Blockabschnitt frei“ und „Gefahr-

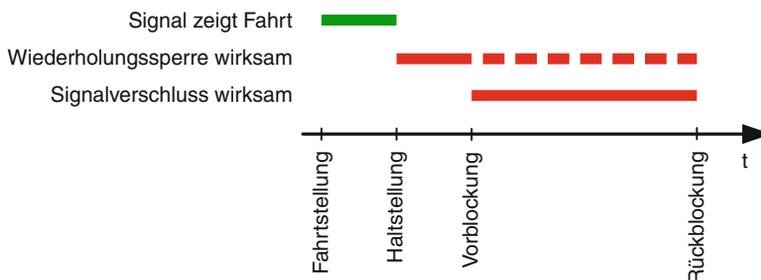


Abb. 5.35 Zeitliches Wirken der Wiederholungssperre



Abb. 5.36 Lage der Isolierten Schienen zur Rückblockentsperrung

punktabstand frei“ würde allein durch den Menschen geprüft werden. Ein menschlicher Fehler hätte unmittelbar eine Gefährdung zur Folge. Da es aus diesem Grund in der Vergangenheit zu schweren Unfällen kam, wurde eine Gegenmaßnahme entwickelt, bei der ein technisches Kriterium mitwirkt: die Isolierte Schiene (siehe auch Abschn. 4.1.6).

Die Isolierte Schiene benötigt – im Gegensatz zum Gleisstromkreis für die direkte Gleisfreimeldung – nur einen kurzen Gleisstromkreis und ist deshalb relativ einfach installierbar (Abb. 5.36). Sie kann die Information „Zug hat einen definierten Punkt verlassen“ sicher bilden. Sie kann aber nicht die Vollständigkeit eines Zuges feststellen; diese Tätigkeit obliegt weiterhin dem Bediener.

Das technisch gebildete Kriterium, dass ein Zug gefahren ist, wird **Rückblockentsperrung** genannt. Wird es in den Rückblock integriert, so kann das (unzeitige) Zurückblocken, ohne dass ein Zug gefahren ist, verhindert werden. Eine Gefährdung kann jetzt nur noch dadurch entstehen, dass eine unbemerkte Zugtrennung auch nicht durch den Bediener am Ende des Blockabschnitts im Rahmen der Zugschlussbeobachtung offenbart wird. Diese Wahrscheinlichkeit ist aber hinreichend klein und hat sich in der Vergangenheit als akzeptabel erwiesen.

Gänzlich ausschließen lässt sich der menschliche Einfluss im Regelbetrieb nur bei technischer Gleisfreimeldung, die gleichzeitig die Automatisierung der Blocktechnik ermöglicht. Dann allerdings ist die Zugmitwirkung automatisch gegeben.

5.3.2.4 Folgefahrerschutz an der Grenze zur Fahrstraßensicherung

Ein Zug, der in einen Blockabschnitt einfährt, wird durch die Haltstellung des Signals am Anfang gedeckt. Die Haltstellung ist Vorbedingung für das Zulassen einer weiteren Fahrt im vorhergehenden Abschnitt (Bedingung 3 des Folgefahrerschutzes). Wird der vorhergehende Abschnitt aber mit Fahrstraßen gesichert, so muss der Schutz vor Nachfahren durch Methoden der Sicherung mit Fahrstraßen realisiert werden (siehe auch Abschn. 5.2.4.1).

5.3.2.5 Einmalige und kontinuierliche Freigabeinformation

Systeme, die mit Blockinformationen arbeiten, können grundsätzlich in zwei Kategorien eingeteilt werden. Maßgebend dafür ist, ob die Rückblockinformation einmalig (diskontinuierlich) oder ständig (kontinuierlich) übertragen wird.

Der Rückblock kann nur erfolgen, wenn alle Bedingungen dafür erfüllt sind. Ist keine Gleisfreimeldeanlage vorhanden, werden die Bedingungen der Gleisfreimeldung nur beim Verlassen des Blockabschnitts geprüft, womit die Information nur zeitlich punktförmig zur Verfügung steht. Die Freigabeinformation wird ebenso nur zu einem Zeitpunkt gegeben.

Tab. 5.3 Einteilung der Blocksysteme nach einmaliger und kontinuierlicher Freigabe

	Einmalige Freigabe		Kontinuierliche Freigabe
	durch Bediener	durch Technik	
Gleisfreimeldeanlage	Nein	Ja	Ja
Freigabeinformation bei Vorliegen der Blockbedingungen	Einmalig		Ständig
Automatisierungsgrad	Nicht-/Halbautomatisch	Vollautomatisch	Vollautomatisch
Deutsche Klassifikation	Nichtselbsttätig		Selbsttätig
Verfahren der Rückfallebene	Rückmelden		Räumungsprüfung

Derartige Systeme sind die klassischen Blocksysteme, die untereinander meist kompatibel sind.

Steht hingegen eine Gleisfreimeldeanlage zur Verfügung, können die drei Bedingungen des Folgefahrerschutzes ständig geprüft und die Freigabeinformation kontinuierlich gegeben werden. Solche Systeme sind spezielle Blocksysteme, die nur mit bestimmten Stellwerksbauformen zusammenarbeiten.

Eine Mischform beider Systeme sind die Blocksysteme mit diskontinuierlicher Freigabe und Gleisfreimeldeanlage. Derartige Techniken entstehen, wenn die herkömmliche Blocktechnik mit einer technischen Gleisfreimeldung erweitert wird. Vorteilhaft ist, dass bei Ausfall der Freimeldung ein Bediener diese übernehmen und die Blockanlage weiter betrieben werden kann. Trotzdem solche Anlagen im Regelbetrieb vollautomatisch arbeiten, gehören sie nach deutschem Regelwerk zu den nichtselbsttätigen Blocksystemen. Hintergrund ist die Rückfallebene, die sich nach Rückmeldung und Räumungsprüfung unterscheidet (siehe auch [PA11]).

5.3.3 Gegenfahrerschutz

5.3.3.1 Bedingungen des Gegenfahrerschutzes

Für den Gegenfahrerschutz ist zu gewährleisten, dass zwei Züge nicht im gleichen Abschnitt aufeinander zufahren können. Grundsätzlich bestehen zwei Möglichkeiten, wie eine solche Situation eintreten kann, was sich auch aus den grundlegenden Bedingungen des Fahrens im Raumabstand herleiten lässt (siehe auch Abschn. 5.1.1.1).

Einerseits kann eine Zugfahrt zugelassen werden, während sich bereits eine andere in entgegengesetzter Richtung im Abschnitt befindet. Andererseits kann aber auch eine Zugfahrt zugelassen werden, während sich zwar keine Zugfahrt im Abschnitt befindet, jedoch gleichzeitig eine entgegengesetzte Fahrt zugelassen werden kann.

Darüber hinaus besteht noch eine nicht sicherheitsrelevante, aber Behinderungen vermeidende Aufgabe. Zwar könnten auf einem Gleis zwei Züge aufeinander zufahren, solange sie sich in eigenen Blockabschnitten befinden. Allerdings würden sie sich dann an

einer Blockstelle gegenüberstehen und damit eine Betriebsbehinderung, einen Deadlock, verursachen (Abb. 5.37).

Die letzte, nicht sicherheitsrelevante Aufgabe zeigt, dass eine Vereinbarung über die Richtung, in der die Strecke befahren werden darf, nur zwischen benachbarten Zugmeldestellen sinnvoll ist. Eine solche Vereinbarung wird **Erlaubniswechsel** genannt.

5.3.3.2 Realisierung der Gegenfahrerschutz-Bedingungen

Bedingung 1: Kein Zug auf der Strecke

Dass sich kein Zug auf der Strecke befindet, wird dadurch erzwungen, dass ein Erlaubniswechsel nur bei freier Strecke stattfinden kann. Die Prüfung, ob sich ein Zug auf der Strecke befindet, geschieht bei den einzelnen Techniken auf unterschiedliche Art und Weise.

Bedingung 2: Alle auf die Strecke weisenden Signale auf Halt

Um nicht bei einer möglichen Gegenfahrt eine Fahrt zuzulassen, muss gewährleistet werden, dass im Moment des Erlaubniswechsels alle auf die Strecke weisenden Signale der benachbarten Zugmeldestellen Halt zeigen und verschlossen sind. Das kann auf den Stellwerken leicht abgeprüft werden.

5.3.3.3 Varianten des Erlaubnisverfahrens

Bei der bisherigen Beschreibung wurde immer von einer **platzierten Erlaubnis** ausgegangen. Dabei befindet sich die Erlaubnis immer in der Zugmeldestelle, die Züge ablassen kann; deren Ausfahrtsignale sind demnach nicht durch die Erlaubnis verschlossen. Beim Wechsel der Erlaubnis kann unterschieden werden zwischen dem **Abgeben** und dem **Holen** der Erlaubnis. In der deutschen Sicherungslogik ist das Abgeben der Erlaubnis üblich, in der Schweiz z. B. wird die Erlaubnis geholt. Bei modernen Stellwerken kann auch eine Grundstellung der Erlaubnis eingerichtet werden, was z. B. bei zweigleisigen Strecken sinnvoll ist, wo in der Regel auf dem rechten Gleis gefahren wird. Hierbei läuft die Erlaubnis automatisch in die Grundstellung zurück, nachdem eine Fahrt entgegen der Grundstellung stattgefunden hat.

Im Ausland existieren auch Verfahren mit **neutraler Erlaubnis**. Dabei hat in Grundstellung keine Zugmeldestelle die Erlaubnis („neutrale Stellung“), es sind also alle Ausfahrtsignale in Halt verschlossen. Um eine Fahrt durchführen zu können, muss sich eine Stelle die Erlaubnis „nehmen“, sofern die Bedingungen erfüllt sind. Nach der Fahrt geht die Erlaubnis wieder in die neutrale Stellung.



Abb. 5.37 Deadlock auf eingleisiger Strecke

5.3.4 Einbeziehung von Fahrwegelementen

In den meisten Fällen befinden sich auf der freien Strecke keine beweglichen Fahrwegelemente. In einigen Fällen ist das jedoch möglich. Dann müssen diese Elemente gesichert werden, bevor das Signal am Anfang des Blockabschnitts die Fahrtstellung einnehmen kann. Die Notwendigkeit der Sicherung betrifft auch Deckungsstellen und bestimmte Bahnübergänge.

5.3.4.1 Anschlussstellen und Ausweichanschlussstellen

Anschluss- und Ausweichanschlussstellen dienen der Verbindung von Anschlussgleisen mit der freien Strecke. Die Anschlussweiche muss selbstverständlich in die Signalabhängigkeit integriert werden; ebenso ist Flankenschutz zu gewährleisten. Dafür ist es notwendig, eine sichere Verbindung zwischen der Anschluss- bzw. Ausweichanschlussstelle und den deckenden Signalen herzustellen. Nachteilig ist dabei, dass die Bedienungsfahrten in den und aus dem Bahnhof nicht mit Fahrtstellung eines Hauptsignals zugelassen werden können. Diesen Nachteil vermeidet der Zentralblock, der jedoch mit Fahrstraßen arbeitet.

Anschlussstelle

Bei einer Anschlussstelle (Abb. 5.38) wird die Information mittels eines repräsentativen Gegenstandes, in der Regel ein Schlüssel, mit der Bedienungsfahrt übertragen. Dieser Schlüssel ist in Grundstellung in einer bestimmten, benachbarten Zugmeldestelle in die Blocktechnik integriert. Er ist nur entnehmbar, wenn der Block Grundstellung hat und die Erlaubnis vorhanden ist. Wird der Schlüssel entnommen, müssen die Weichen auf der freien Strecke als nicht mehr gesichert angesehen werden. Deshalb werden bei Entnahme über eine technische Abhängigkeit Zugfahrten mit Blockbedienung unterbunden.

Mittels des Schlüssels können die Anschlussweiche und die dazugehörigen Flankenschutzeinrichtungen aus der Grundstellung gebracht werden, so dass die Anschlussbedienung erfolgen kann. Nach Beendigung der Bedienung werden alle Elemente wieder in Grundstellung gelegt; erst dann kann der Schlüssel aus der örtlichen Anlage entnommen werden.

Die zurückkehrende Bedienungsfahrt bringt den Schlüssel wieder zur Zugmeldestelle, auf der die Bedienungsfahrt begann. Nach Einschluss in die dortige Sicherungstechnik können die Fahrwegelemente als gesichert angenommen werden, so dass auf der Strecke wieder reguläre Zugfahrten stattfinden können.

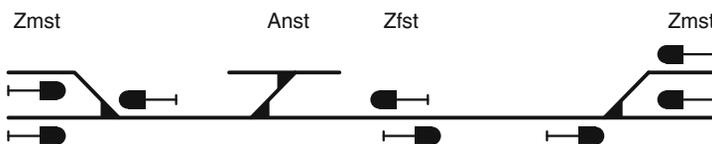


Abb. 5.38 Anschlussstelle (Anst) im Kontext von Zugmelde- und Zugfolgestellen

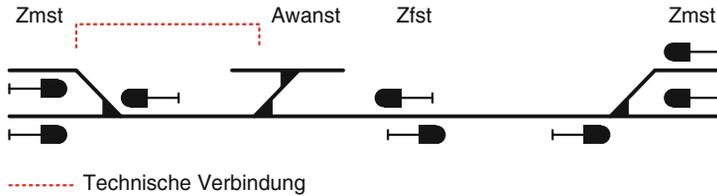


Abb. 5.39 Ausweichanschlussstelle (Awanst) im Kontext von Zugmelde- und Zugfolgestellen

Ausweichanschlussstelle

Weniger betriebliche Restriktionen bestehen bei einer Ausweichanschlussstelle. Hier wird die Bedienungsfahrt nicht für die Informationsübertragung benutzt. Vielmehr muss eine technische Informationsübertragung zwischen einer benachbarten Zugmeldestelle und der Ausweichanschlussstelle hergestellt werden (Abb. 5.39). Über diesen Weg werden von der Zugmeldestelle aus die Fahrwegelemente der Ausweichanschlussstelle freigegeben, was nur dann erfolgen kann, wenn sich laut Blocklogik kein Zug auf der Strecke befindet. Nach Freigabe der Elemente kann – wie bei der Anschlussstelle – keine Zugfahrt mit Blockbedienung verkehren, da die Fahrwegelemente unverschlossen sein können.

Der Vorteil von Ausweichanschlussstellen besteht darin, dass die Bedienungsfahrt nicht zurückkehren muss, bevor eine weitere reguläre Zugfahrt stattfindet. Man spricht hierbei auch vom „Einschließen“ der Bedienungsfahrt. Sind alle Elemente der Ausweichanschlussstelle wieder in Grundstellung, so kann die Information auf technischem Wege übertragen werden. Eine weitere Voraussetzung ist, dass das Streckengleis frei ist. Bei technischer Gleisfreimeldung ist die Prüfung dieser Bedingung bereits in die Blockbedingungen integriert. Bei nichttechnischer Gleisfreimeldung muss eine Meldung des Personals der Bedienungsfahrt die Freiheit der Streckengleise bestätigen.

5.3.4.2 Bahnübergänge

Die Einbeziehung von Bahnübergängen erfolgt ähnlich wie bei der Sicherung mit Fahrstraßen (siehe auch Abschn. 5.2.3.10). Ist ein Bahnübergang abhängig von einem Blocksignal (Hp-Abhängigkeit, siehe Abschn. 8.3.3), ist die Meldung über die Sicherung des Bahnübergangs Voraussetzung für die Fahrtstellung des Blocksignals.

5.3.4.3 Deckungsstellen

Deckungsstellen (z. B. bewegliche Brücken) müssen nicht unbedingt mit separaten Hauptsignalen (Deckungssignalen) gesichert werden. Die Deckung kann ebenso durch die Einbeziehung eines Blocksignals vor der Deckungsstelle erfolgen. Dabei wird als weiteres Kriterium für die Fahrtstellung des Blocksignals die Information „Deckungsstelle befahrbar“ einbezogen.

Die Technologien der Fahrwegsicherung verlangen nach konkreten Techniken, in denen sie umgesetzt werden. Hierfür existieren verschiedene Generationen von Stellwerkstechniken. Da Stellwerke sehr langlebig sind, sind neben den modernen Bauformen auch heute noch mechanische und elektromechanische Exemplare im Einsatz. Neubauten werden heute jedoch fast ausschließlich durch moderne elektronische Stellwerke realisiert. Insofern ist es wichtig, einen Überblick über alle Generationen zu bekommen.

6.1 Systematisierung

6.1.1 Informationsverarbeitung

Prinzipiell können Informationen auf verschiedene Art und Weise technisch und nicht-technisch verarbeitet werden. Diese Vielfalt wird auch im Bereich der Leit- und Sicherungstechnik genutzt.

6.1.1.1 Grundsätzliche Möglichkeiten

Zur nichttechnischen Informationsverarbeitung dient der Mensch, dem über entsprechende Regeln eine Verarbeitung aufgegeben wird, aus der letztlich eine Handlung erwachsen soll. So kann eine Regel beispielsweise lauten: „Nur wenn eine Weiche frei ist, darf sie umgestellt werden.“

Wie jedoch aus Abschn. 3.5 bekannt ist, besitzt der Mensch eine Fehleranfälligkeit, die für die Steuerung komplexer, sicherheitsrelevanter Prozesse nicht optimal ist. Deshalb werden verschiedene Möglichkeiten der technischen Informationsverarbeitung genutzt:

- Mechanik,
- Elektrotechnik,
- Hydraulik,

- Pneumatik,
- Elektronik (Hardware),
- Informatik (Software).

Oggleich alle genannten Technologien zur Informationsverarbeitung und Leistungsübertragung in der Sicherungstechnik eingesetzt wurden, konnten sich nicht alle durchsetzen, wie z. B. die Pneumatik.

6.1.1.2 Nutzung der Möglichkeiten

Sicherungstechnik

Sicherungstechnische Anlagen sind von zwei grundlegenden Merkmalen geprägt, die die Begründung dafür liefern, dass heute noch so viele Altstellwerke in Betrieb sind.

Funktionalität Durch die Spurführung der Eisenbahn sind die Fahrmöglichkeiten auf diskrete Alternativen begrenzt – im Gegensatz z. B. zum Flugwesen, bei dem der Kurs stetig innerhalb von drei Dimensionen berechnet werden muss. Deshalb kann mit einer vergleichsweise einfachen Logik der Bahnbetrieb gesteuert werden. Die Anforderungen an die Logik haben sich im Laufe der Entwicklung der Eisenbahn kaum geändert, da sich der zu steuernde Prozess – die Sicherung von Zug- und Rangierfahrten – im Grundsatz nicht geändert hat. Lediglich die Sicherheit oder die Leistungsfähigkeit steigernde Anforderungen sind im Laufe der Zeit hinzugekommen.

Sicherheit Die Forderung nach dem Fail-Safe-Charakter relativiert die Aussagen zur geringen Komplexität der Informationsverarbeitung nur wenig. Sie bedeutet aber, dass spezielle, „sichere“ Komponenten und Systeme eingesetzt werden müssen, deren Herstellung aufwändig und deshalb kostenintensiv ist.

Da ältere Techniken die Anforderungen der Funktionalität nach wie vor beherrschen und moderne Technik aufgrund der hohen Sicherheitsanforderungen sehr teuer ist, wird die Mehrheit der Stelleinheiten im deutschen Eisenbahnnetz nicht durch moderne elektronische, sondern durch Hebel- und Relaisstellwerke (zur Klassifizierung siehe Abschn. 6.1.3) gesteuert und gesichert.

Leittechnik

Leittechnische Anlagen, wie z. B. eine Zuglenkung (siehe auch Abschn. 9.2.2), benötigen hingegen eine sehr viel komplexere Informationsverarbeitung. Deshalb kommen hier fast ausschließlich Elektronik und Informatik zum Einsatz, weil nur diese die Komplexität beherrschen. Die Forderung nach einem Fail-Safe-Charakter besteht in der Regel nicht. Aus den genannten Gründen ähneln Anlagen der Leittechnik eher den heute allgemein bekannten Anlagen der Automatisierungstechnik. Aus Prozessgründen (siehe auch Abschn. 3.2.3) werden aber auch an die Leittechnik hohe Anforderungen an die Verfügbarkeit gestellt.

6.1.2 Historische Entwicklung

In der Anfangszeit der Eisenbahnen wurde die Steuerung und Sicherung des Bahnbetriebes ausschließlich durch Personal mit entsprechenden Betriebsvorschriften gewährleistet. Schnell zeigte sich aber, dass mit dem starken Anwachsen des Verkehrs die Bediensteten mit der Aufgabe, den Verkehr sicher und zeitoptimal zu steuern, überfordert waren. Einerseits verdeutlichte eine Zunahme der Eisenbahnunfälle, dass der Mensch mit der ihm innewohnenden Fehlerwahrscheinlichkeit nicht in der Lage war, den sicherheitskritischen Prozess des Eisenbahnbetriebs durchzuführen, ohne diesen zu gefährden. Andererseits bedeutete eine dezentrale Bedienung der Elemente einen großen Zeitbedarf für das Einstellen der Fahrwege und eine gefährliche Arbeit zwischen den Gleisen. Die notwendig gewordene Zentralisierung der Bedienung schuf gleichzeitig die Voraussetzungen, die Bedienelemente und damit die Weichen und Signale untereinander in Abhängigkeit zu bringen.

Die im Laufe der Eisenbahngeschichte entwickelten Techniken sind und waren auch immer eine Manifestation der zum Entwicklungszeitpunkt vorhandenen technischen Möglichkeiten. Vor allem betrifft das die Mittel zur technischen Informationsverarbeitung, die namensgebend für die jeweilige Generation wurden. Meilensteine der technischen Entwicklung, wie z. B. der Elektromotor oder der Mikrorechner waren Anstoß für die Entwicklung einer neuen Stellwerksgeneration. Außerdem hatten die technischen Voraussetzungen, insbesondere die Möglichkeiten zur Gleisfreimeldung, unmittelbaren Einfluss auf die Herausbildung der unterschiedlichen Technologien zur Fahrwegsicherung. Im Folgenden wird nur auf bei deutschen Eisenbahnen eingesetzte Techniken eingegangen; im Ausland wurden teilweise andere Wege beschritten.

6.1.3 Klassifizierung der Techniken

6.1.3.1 Stellwerke

Hebelstellwerk

Im 19. Jahrhundert stand nur die Mechanik zur technischen Informationsverarbeitung zur Verfügung. Deshalb wurden zunächst rein **mechanische Stellwerke** entwickelt, die später mit elektrischen Zusatzeinrichtungen verbessert wurden. Mit Anwendungsreife der Leistungselektrotechnik wurden **elektromechanische Stellwerke** entwickelt, die zunächst „elektrisches Stellwerk“ genannt und der Gruppe der „Kraftstellwerke“ zugeordnet wurden. „Kraftstellwerk“ war Synonym für jene Stellwerke, bei denen die Energie zum Umstellen der Elemente nicht vom Bediener aufgebracht werden musste. Ein weiteres „Kraftstellwerk“ war das Druckluftstellwerk, das jedoch keine größere Bedeutung erlangte. Die Bezeichnung „elektrisches Stellwerk“ für das elektromechanische Stellwerk bezog sich jedoch nur auf die Energieübertragung zum Element. Da die Informationsverarbei-

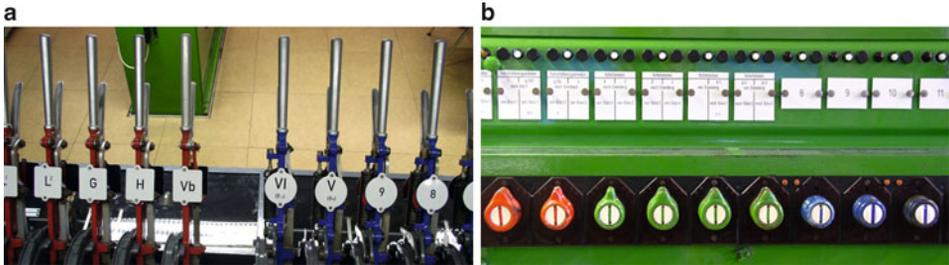


Abb. 6.1 Anordnung der Hebel in einem mechanischen (a) und einem elektromechanischen Stellwerk (b)

Die Bedienung teilweise mechanisch und teilweise elektrisch erfolgt, gehört das elektromechanische Stellwerk zu den hybriden Bauformen.

Namensgebend für Hebelstellwerke ist, dass für jedes Element (z. B. Weiche, Signal) ein Bedienelement existiert, was unabhängig von der Platzierung in der Außenanlage in einer oder mehreren Reihen angeordnet ist (Abb. 6.1). Während die Bezeichnung „Hebel“ bei mechanischen Stellwerken offensichtlich ist, werden die hauptsächlichlichen Bedienelemente im elektromechanischen Stellwerk ebenfalls „Hebel“ genannt.

Den genannten Stellwerksgenerationen ist gemein, dass sie in der Regel ohne technische Gleisfreimeldung arbeiten, was für die Gestaltung dieser Stellwerke und für deren Bedienung besondere Folgen hat: Sie müssen derart geschaffen sein, dass vom Bedienraum aus die visuelle Gleisfreimeldung vorgenommen werden kann. Das führt auf Bahnhöfen in der Regel dazu, dass mehrere Stellwerke eingerichtet werden, die zusammenarbeiten müssen.

Für Hebelstellwerke wird gelegentlich auch der Begriff „Stellwerksaltbauform“ oder „Stellwerke der Altbauformen“ verwendet.

Gleisbildstellwerk

Ab Mitte des 20. Jahrhunderts standen **Relaisstellwerke** zur Verfügung, bei denen die Informationsverarbeitung ausschließlich elektrisch über Relais erfolgt. Hierdurch konnte auch ein höherer Automatisierungsgrad erreicht werden. Etwa 30 Jahre später wurden **elektronische Stellwerke (ESTW)** entwickelt, deren Informationsverarbeitung auf Mikrorechnern basiert. Die Funktionalität wurde von den Relaisstellwerken übernommen.

Die namensgebende Eigenschaft von Gleisbildstellwerken besteht darin, dass die Bedienelemente in einer topologischen Anordnung („Gleisbild“) zueinander stehen, die der Anordnung in der Außenanlage entspricht (Abb. 6.2). Dadurch wird eine bessere Übersichtlichkeit erreicht.

Die Bezeichnung Gleisbildstellwerk darf nicht mit der Bezeichnung der Relaisstellwerke der Deutschen Reichsbahn verwechselt werden. Hier stand der Begriff Gleisbildstellwerk synonym für Relaisstellwerk. Da Relaisstellwerke zur damaligen Zeit die einzige Form von Gleisbildstellwerken nach heutiger Definition waren, war das auch nicht falsch.

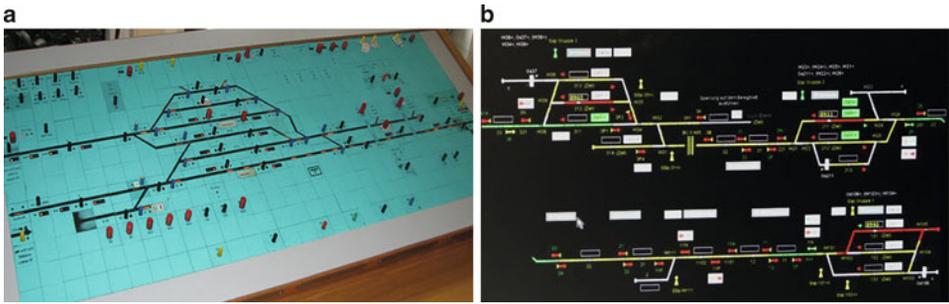


Abb. 6.2 Gleisbild der Bedienoberfläche eines Relais- (a) und eines elektronischen Stellwerks (b)

Mit der Erweiterung um die Generation der elektronischen Stellwerke wird der Begriff aber heute weiter gefasst.

Gleisbildstellwerke besitzen in der Regel eine Gleisfreimeldeanlage. Damit ist die Voraussetzung geschaffen, dass der Bediener nicht unbedingt direkte Sicht auf seinen gesteuerten Bereich haben muss. Dennoch wurden die Bedienräume zunächst so angeordnet, dass ein Großteil der Anlagen einsehbar ist (Abb. 4.60). Mit steigender Zentralisierung in der Bedienung und damit einhergehender Fernsteuerung ist das jedoch nicht mehr möglich.

Gegenüberstellung: Gleisbild- und Hebelstellwerk

Tabelle 6.1 zeigt in einer Gegenüberstellung die Eigenschaften von Gleisbild- und Hebelstellwerken. Während im Gleisbildstellwerk die Fahrstraßenbildezeit aufgrund höherer Automatisierung kurz ist (einige Sekunden), muss im Hebelstellwerk jedes Element einzeln bedient werden. Auch die notwendige Zusammenarbeit mehrerer Hebelstellwerke auf einem Bahnhof erhöht den Zeitbedarf, der etwa dem Zehnfachen des Bedarfs der Gleisbildstellwerke beträgt.

Tab. 6.1 Gegenüberstellung von Gleisbild- und Hebelstellwerken

Eigenschaft	Gleisbildstellwerk	Hebelstellwerk
Zuordnung Feldelement – Bedienelement	In topologischer Darstellung	Durch Bediener
Fahrstraßenbildezeit	Kurz	Lang
Komplexität der Technik	Hoch	Gering
Komplexität der Bedienung	Gering	Hoch
Gleisfreimeldung	Technisch	Visuell
Zentralisierungsgrad	Hoch	Gering
Fernsteuerbarkeit	Ja	Nein
Stellwerksgenerationen	Relaisstellwerk, Elektronisches Stellwerk (ESTW)	Mechanisches Stellwerk, Elektromechanisches Stellwerk

Der Komplexitätsgrad der Technik von Gleisbildstellwerken ist höher als der von Hebelstellwerken. Dadurch sind aber auch erst Automatisierungen möglich und die Komplexität der Bedienung sinkt.

6.1.3.2 Sicherung ortsbedienter Fahrwegelemente

In sehr schwach belasteten Anlagen ist eine zentrale Bedienung der Elemente nicht notwendig. Hier kann die Elementstellung, im Wesentlichen das Stellen von Weichen, an den Elementen vor Ort durchgeführt werden. Dazu wird die mechanische und die elektrische Ortsbedienung (siehe auch Abschn. 4.2.2.8) verwendet. Weiterhin werden Handverschlüsse (siehe auch Abschn. 4.2.2.9) genutzt, die benötigt werden, um ortsgestellte Weichen über **Schlüsselabhängigkeiten** in die Signalabhängigkeit einzubeziehen. Wird über diese Weichen lediglich rangiert und werden sie auch nicht für Flankenschutzaufgaben benötigt, so können sie auch völlig ohne Abhängigkeit bleiben.

6.1.3.3 Streckenblock

Betrieblich werden Streckenblockanlagen nach nichtselbsttätigem und selbsttätigem Streckenblock unterschieden. Bei Nutzung von Blockinformationen entspricht das der in Abschn. 5.3.2.5 beschriebenen Einteilung nach einmaliger und kontinuierlicher Freigabeinformation. Seitens der Technologie muss unterschieden werden, ob die Sicherung mit Blockinformationen oder mit Fahrstraßen erfolgt (siehe auch Abschn. 5.1.1.5). Blocktechniken, die mit Fahrstraßen arbeiten, werden betrieblich ebenfalls zum selbsttätigen Streckenblock gezählt (Tab. 6.2).

Dezentraler Streckenblock

Klassische Streckenblockanlagen bedienen sich der **Sicherung mit Blockinformationen**. Bei den Streckenblockanlagen ist grundsätzlich – ähnlich wie bei den Stellwerken zur Sicherung mit Fahrstraßen – zu unterscheiden, ob die Gleisfreimeldung technisch

Tab. 6.2 Klassifizierung der Blocktechniken

Einteilung	Dezentral			Zentral	
Technologie	Blockinformation			Fahrstraße	
Gewährleistung der Freiheit des Blockabschnitts	Einmalige Freigabe nach Zufahrt durch Bediener		Technik	Kontinuierliche Freigabe nach Zufahrt	Gleisfreiprüfung vor Zufahrt
	Nein		Ja		
Gleisfreimeldeanlage	Nein		Ja		
Betriebliche Klassifikation	Nichtselbsttätig			Selbsttätig	
Automatisierungsgrad	Nichtautomatisch	Halbautomatisch	Vollautomatisch		
Techniken	Felderblock	Relaisblock, Tf-Block	Automatis. Relaisblock	Selbstblock, Automatikblock	Zentralblock, LZB-Block

oder nichttechnisch geschieht. Ist eine technische Freimeldung vorhanden, so kann der Folgefahrerschutz vollautomatisch gewährleistet werden. Ist diese nicht vorhanden, ist die Mitwirkung des Menschen zur Zugschlussprüfung notwendig.

Wie in Abschn. 5.1.1 beschrieben, haben sich die unterschiedlichen Technologien Fahrstraße und Blockinformation aufgrund der Möglichkeiten zur nichttechnischen Gleisfreimeldung entwickelt. Mit Einführung von Gleisfreimeldeanlagen auch auf längeren Abschnitten war die Notwendigkeit einer abweichenden Technologie (Blockinformation) auf der Strecke mit allen daraus folgenden Unterschieden für die betriebliche Handhabung gegenüber der Fahrstraße eigentlich entfallen. Dennoch wurde zunächst an der Sicherung mit Blockinformationen festgehalten, vor allem, um die Kompatibilität zu bestehenden Techniken und zum Regelwerk zu bewahren.

Zentraler Streckenblock

Erst später wurden Blocktechniken entwickelt, die auf der Technologie der **Fahrstraße** basieren. Im Gegensatz zu den Techniken, die mit Blockinformation arbeiten und bei denen die Blocklogik an jeder Zugfolgestelle (dezentral) vorhanden ist, wird hier die Sicherungslogik zentral angeordnet. Deshalb werden solche Blockbauformen „Zentralblock“ genannt.

Da die Sicherung mit Fahrstraßen erfolgt, wäre der Begriff „Streckenfahrstraße“ passender als „Streckenblock“. Da aber in der Vergangenheit jegliche Sicherung der Strecke mit „Block“ beschrieben wurde, behielt man diese Terminologie bei.

6.2 Elementabhängigkeiten

6.2.1 Schlüsselabhängigkeiten

6.2.1.1 Grundlegende Eigenschaften

Der Grund, warum Schlüsselabhängigkeiten auch heute noch populär sind, ist der vergleichsweise geringe technische Aufwand bei Gewährleistung der Signalabhängigkeit. Erkauft wird dies zwar mit einem erhöhten Bedienungsaufwand, jedoch ist das bei schwach belasteten Anlagen akzeptabel.

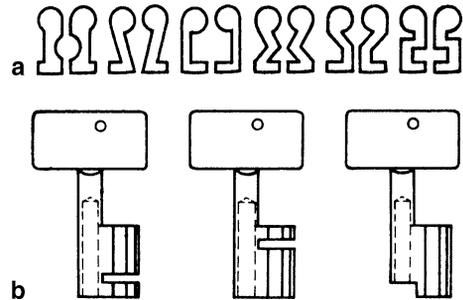
Grundsätzlich werden Schlüsselabhängigkeiten im Zusammenhang mit ortsbedienten Elementen eingerichtet. Da hierbei weder eine mechanische noch eine elektrische Verbindung zum Stellwerk besteht, muss die Energie zum Umstellen der Elemente vor Ort aufgebracht werden, was meist durch Muskelkraft des Menschen bewerkstelligt wird. Weiterhin muss die Information über die Stellung des Elements auf eine andere, geeignete Weise zur Verknüpfungsstelle übertragen werden, was durch den Transport des Schlüssels geschieht.

Der Schlüssel im sicherungstechnischen Sinn ist ein repräsentativer und innerhalb einer Örtlichkeit einmaliger Gegenstand. Durch den Besitz des Schlüssels kann sicher und eindeutig auf einen bestimmten Anlagenzustand geschlossen werden. Somit können durch

Abb. 6.3 Schlüssel für Schlüsselabhängigkeit



Abb. 6.4 Ausgewählte Schlüsselbartformen (a) und Schlüsselgruppen (b)



Verknüpfung mit weiteren Elementen oder einer informationsverarbeitenden Einheit sichere Abhängigkeiten geschaffen werden.

6.2.1.2 Schlüssel

Das Kernelement – der Schlüssel – ist für die rauen Umgebungsbedingungen in den Außenanlagen geschaffen und daher sehr robust ausgeführt (Abb. 6.3). Um die erwähnte Einmaligkeit innerhalb einer Örtlichkeit herzustellen, darf eine Schlüsselartform nur einmal innerhalb einer Betriebsstelle oder besser noch eines Streckenabschnitts verwendet werden. Dazu sind 24 verschiedene Schlüsselbartformen vorhanden, die mit sechs Schlüsselgruppen kombiniert werden können (Abb. 6.4). Nicht jede Bartform wird mit jeder Gruppe kombiniert. So stehen insgesamt 92 verschiedene Schlüsselarten zur Verfügung.

6.2.1.3 Informationsgewinnung und -auswertung

Anforderungen

Um die Information über die Stellung der Elemente zu gewinnen und auszuwerten, bedarf es technischer Einrichtungen, die zwei grundlegende Funktionen gewährleisten müssen:

- Erkennung des Schlüssels und
- Festhaltung des Schlüssels.

Die **Erkennung** des Schlüssels wird geprüft, wie es in einem mechanischen Schloss üblich ist, damit die gewünschte Aktion nur mit dem einmaligen Gegenstand (Schlüssel) durchführbar ist.

Die **Festhaltung** des Schlüssels während seiner Prüfung auf Anwesenheit ist deshalb nötig, weil der Schlüssel Auskunft über die Elementstellung gibt. Deswegen darf er nicht herausnehmbar sein, solange die Stellung des Elements, die der Schlüssel repräsentiert, nicht eingenommen ist.

Handschlösser

In Abschn. 4.2.2.9 wurden Handverschlüsse für Weichen vorgestellt. Für Gleissperren werden Gleissperrenschlösser verwendet, die eine Gleissperre jeweils in aufgelegter oder abgelegter Stellung verschließen können.

Abhängigkeitsschlösser für mechanische Stellwerke

Zur informationstechnischen Verknüpfung eines Schlüssels mit einem mechanischen Stellwerk gibt es drei Möglichkeiten:

Das **Hebelbankschloss** (Abb. 6.5) lässt einen Verschlussbalken (siehe auch Abschn. 6.3.3) nur die obere oder untere Stellung einnehmen, wenn ein Schlüssel eingeschlossen ist und hält den Schlüssel fest, während der Hebel umgelegt ist.

Das **Signalhebelschloss** befindet sich an einem Signalhebel (siehe auch Abschn. 6.3.2.5). Es lässt die Bedienung des Hebels nur bei eingeschlossenem Schlüssel zu und hält gleichzeitig den Schlüssel bei umgelegtem Hebel fest.

Das **Blockschloss** lässt die Bedienung eines Blockfeldes (siehe auch Abschn. 6.3.4.1) nur bei eingeschlossenem Schlüssel zu und hält den Schlüssel bei geblocktem Feld fest.

Abb. 6.5 Hebelbankschlösser



Abb. 6.6 Elektrische Schlüsselsperre



Elektrische Schlüsselsperre

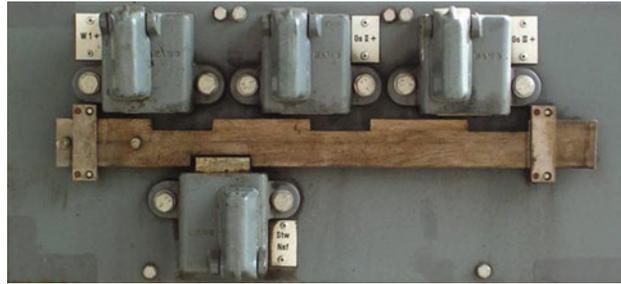
In allen elektrischen Stellwerksbauformen kommt die elektrische Schlüsselsperre (Abb. 6.6) zum Einsatz. Diese prüft auf elektromechanische Art über Kontakte die Anwesenheit des Schlüssels und meldet sie dem Stellwerk, wodurch das jeweils verschlossene Element in die Abhängigkeitsschaltungen integriert werden kann. Außerdem wird der Schlüssel mechanisch festgehalten. Durch einen Elektromagneten erfolgt – bei Vorliegen der Bedingungen – die Freigabe. Erst dann kann der Schlüssel entnommen und das jeweilige Element umgestellt werden. Ebenso wie die Anwesenheit wird das Fehlen des Schlüssels in der Schlüsselsperre in der Stellwerkslogik ausgewertet.

6.2.1.4 Verarbeitung der Schlüsselinformation

Folgeabhängigkeit

Um mehrere Elemente mit einem Schlüssel in Abhängigkeit zu bringen, werden Folgeabhängigkeiten verwendet. Bis auf das letzte in der Folge liegende Element werden dazu an allen Elementen zwei Handschlösser benötigt. Der durch die Umstellung eines Elements frei werdende Schlüssel ist gleichzeitig der Schlüssel für die Umstellung des folgenden Elements. Somit muss auch immer eine exakte Bedienungsreihenfolge eingehalten werden, die bei der Rückstellung in umgekehrter Richtung durchlaufen werden muss. Ein Beispiel für eine Folgeabhängigkeit wird in Abschn. 6.2.1.5 gegeben.

Folgeabhängigkeiten dienen zum einen dazu, eine bestimmte Bedienungsreihenfolge zu erzwingen, zum anderen, um mehrere Elemente mit einem Schlüssel in Abhängigkeit zu bringen. Dieser eine Schlüssel muss dann über ein Abhängigkeitsschloss oder eine nichttechnische Einrichtung in die Sicherungslogik integriert werden.

Abb. 6.7 Schlosskombination

Schlosskombination

Eine Schlosskombination (Abb. 6.7) gibt einen Schlüssel frei, wenn alle ihm zugeordneten Schlüssel eingeschlossen sind. Somit lässt sich die Information über die Stellung mehrerer Elemente in einem Schlüssel zusammenfassen. Es ergibt sich damit eine ähnliche Funktion wie bei einer Folgeabhängigkeit, jedoch wird keine Bedienungsreihenfolge erzwungen und – bei Sicherung der Fahrweegelemente in nur einer Lage – ist je Element nur ein Handschloss erforderlich.

Gekoppeltes Riegel Schloss

Eine ähnliche Funktion wie die Schlosskombination bietet das gekoppelte Riegelhandschloss. Es besteht aus zwei Riegelhandschlössern an einer Weiche (siehe auch Abschn. 4.2.2.9), die parallel zu den zwei Riegelstangen der Weiche einen Kuppelschieber besitzen. Nach dem Einschließen des Schlüssels der Grundstellung kann nach der Bewegung des Kuppelschiebers der zweite Schlüssel entnommen werden, ohne die Weiche umstellen zu müssen, was bei einem doppelten Riegelhandschloss notwendig wäre. Allerdings kann im Gegensatz zur Schlosskombination mit einem gekoppelten Riegelhandschloss nur ein Schlüssel freigegeben werden.

Schlüsselwerk

In Schlüsselwerken (Abb. 6.8) lässt sich ein Fahrstraßenschlüssel nur dann entnehmen, wenn alle für die Fahrstraße notwendigen Schlüssel (die die jeweilige Lage der benötigten Elemente repräsentieren) eingeschlossen sind. Der Fahrstraßenschlüssel wiederum wird über ein Abhängigkeitsschloss oder eine nichttechnische Einrichtung in die Sicherungslogik integriert. Das kann beispielsweise ein Signalhebelschloss oder eine Schlüsselsperre sein. Schlüsselwerke sind heute nur noch selten im Einsatz.

6.2.1.5 Integration in die Sicherungslogik

Stellwerkslogik

Die Einbindung von beweglichen Fahrweegelementen (meist Weichen und Gleissperren) über Abhängigkeitsschlösser findet statt, wenn ortsbediente Elemente in die Sicherungs-

Abb. 6.8 Schlüsselwerk (*unten*) mit Weiterverarbeitung der Fahrstraßenschlüssel in Schlüsselsperren (*oben rechts*)



logik des Stellwerks integriert werden sollen. Dazu werden heute vorrangig Schlüsselsperren verwendet. Anwendungen sind:

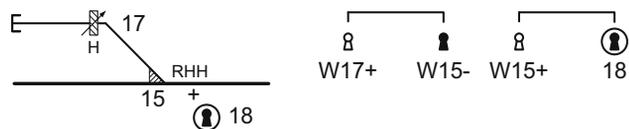
- Sicherung von Elementen in Ausweichanschlussstellen,
- Sicherung selten benutzter, aber in die Signalabhängigkeit zu integrierender Elemente im Bahnhof,
- vorübergehende Sicherung von Elementen bei Bauarbeiten.

Ein Beispiel für eine ortsbediente Weiche mit Flankenschutz, die über eine Folgeabhängigkeit mit einer Schlüsselsperre in das Stellwerk integriert wird, zeigt Abb. 6.9: Über die in einem Hauptgleis liegende Weiche 15 mit doppeltem Riegelhandschloss (RHH) wird ein Nebengleis angeschlossen; die Gleissperre 17 mit einem Gleissperrenschloss (H) gewährt Flankenschutz. Mit der Schlüsselsperre 18 wird der Schlüssel der Weiche in der Plus-Stellung (Grundstellung) festgehalten, wodurch auf dem Hauptgleis Zugfahrten mit Signalabhängigkeit durchgeführt werden können.

Schlüsselbrett

Nur noch selten und nur bei einfachsten betrieblichen Verhältnissen wird ein Schlüsselbrett verwendet. An einem solchen Brett muss vor Zulassung einer Zugfahrt vom Fahrdienstleiter das Vorhandensein aller für die Fahrstraße notwendigen Schlüssel (und damit der richtigen Elementstellungen) in eigener Verantwortung geprüft werden. Da das oh-

Abb. 6.9 Beispiel für eine Schlüsselsperre mit Folgeabhängigkeit



ne technische Abhängigkeit geschieht, ist bei diesem Verfahren keine Signalabhängigkeit gegeben.

Zugführerschlüssel

Im Zugleitbetrieb besteht die Möglichkeit, die Sicherung der Fahrwegelemente mit dem Zugführerschlüssel vorzunehmen. Dabei sind alle von Zügen genutzten und nicht anderweitig gesicherten Weichen und Flankenschutzeinrichtungen auf der Zugleitstrecke durch Handschlösser mit der gleichen Schlüsselform verschlossen, die dem Zugführerschlüssel entspricht.

Befinden sich mehrere Züge auf der Strecke, so existieren auch mehrere gleichartige Zugführerschlüssel, womit die Einmaligkeit des Schlüssels auf der Strecke nicht mehr gegeben ist. Die Fahrwegsicherung ist trotzdem gewährleistet, da der Zugführer den Schlüssel bei Zugfahrten immer bei sich haben muss. Somit ist nach Verlassen einer Betriebsstelle immer der Standardfahrweg eingestellt. Stellt der Zugführer einen anderen Fahrweg für einen anderen Zug ein, so sind besondere Meldungen an den Zugleiter (Fahrwegsicherungsmeldung) notwendig.

Wie das Schlüsselbrett, ist auch der Zugführerschlüssel eine nichttechnische Methode der Auswertung des Schlüssels, weshalb die damit gesicherten Elemente nicht als signalabhängig gelten.

6.2.1.6 Systematisierung

Über Schlüsselabhängigkeiten lassen sich mit geringem Aufwand Abhängigkeiten herstellen. Bei durchgängiger technischer Verarbeitung kann auch Signalabhängigkeit gewährleistet werden. Abbildung 6.10 zeigt die Möglichkeiten von der Gewinnung der Lageinformation über die Verarbeitung bis zur technischen bzw. nichttechnischen Integration in die Sicherungslogik.

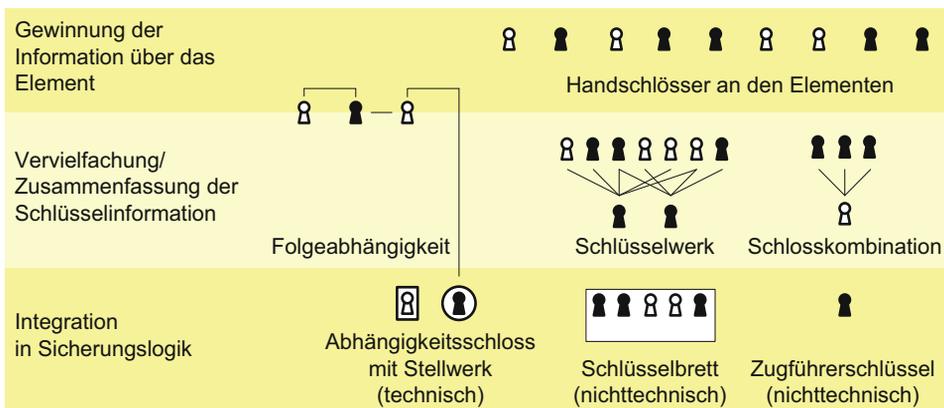


Abb. 6.10 Systematisierung der Schlüsselabhängigkeiten

6.2.2 Abhängigkeiten mit EOW

Mit elektrisch ortsbedienten Weichen (EOW) können auch außerhalb der Stellwerkstechnik Abhängigkeiten hergestellt werden. Wie in Abschn. 4.2.2.8 beschrieben, besitzen EOW eine eigene Logik, die insbesondere die Umstellanforderung, die Umstellsperre bei Besetzung und eine eventuelle Grundstellung beinhaltet. Eine Umstellanforderung kann auch über die Einstellung eines Fahrwegs ausgelöst werden. Hierzu dienen Fahrwegstelltafeln, bei denen mit einer Tastenbedienung jeweils ein Fahrweg angefordert wird. Innerhalb der EOW-Logik wird die Anforderung auf die einzelnen Weichen verteilt.

Fahrstraßen können in EOW-Bereichen nicht hergestellt werden, dazu fehlen Verschluss und Signalisierung. Grundsätzlich wird in EOW-Bereichen frei rangiert, wobei das Rangierpersonal die Weichensignale zu beachten hat.

6.3 Mechanisches Stellwerk

6.3.1 Grundlagen

6.3.1.1 Historische Entwicklung

Zunächst stand für die Informationsverarbeitung und -übertragung nur die Mechanik zur Verfügung. So konstruierten zunächst Firmen des Maschinenbaus mechanische Apparate zur Steuerung und Sicherung des Eisenbahnbetriebs.

Viele Prozesse, die z. B. die Zugmitwirkung oder die Zusammenarbeit von Stellwerken benötigten, waren mit der Mechanik nicht zu realisieren. Folgerichtig wurden mit dem Aufkommen erster elektrischer Anwendungen sehr bald elektrische Zusatzeinrichtungen für mechanische Stellwerke entwickelt.

Die Vielzahl der Hersteller führte zu einer großen Vielfalt an mechanischen Stellwerksapparaten, von denen auch im 21. Jahrhundert noch einige in Betrieb sind. Um die Vielfalt einzudämmen, wurde 1924 das mechanische Stellwerk der Bauform „Einheit“ standardisiert, was in der folgenden Beschreibung nach [ML05] beispielhaft herangezogen wird.

6.3.1.2 Allgemeine Eigenschaften

Im mechanischen Stellwerk wird zur Gewährleistung der Sicherheit hauptsächlich der Fehlerausschluss betrieben. Dazu werden die mechanischen Komponenten so konstruiert, dass mit dem Auftreten eines Fehlers (z. B. Bruch eines Bauteils oder Lockerung einer sicherheitsrelevanten Verbindung) nicht gerechnet werden muss. Erst an zweiter Stelle steht der Gefährdungsausschluss.

Als typische Vertreter der Hebelstellwerke besitzen mechanische Stellwerke in der Regel keine technische Gleisfreimeldung. Aufgrund der begrenzten Stellentfernungen und der geforderten Übersicht sind in Bahnhöfen fast immer mehrere Stellwerke notwendig. Die Abhängigkeiten der Stellwerke eines Bahnhofs untereinander werden elektrisch hergestellt und als Bahnhofsblockanlagen bezeichnet.

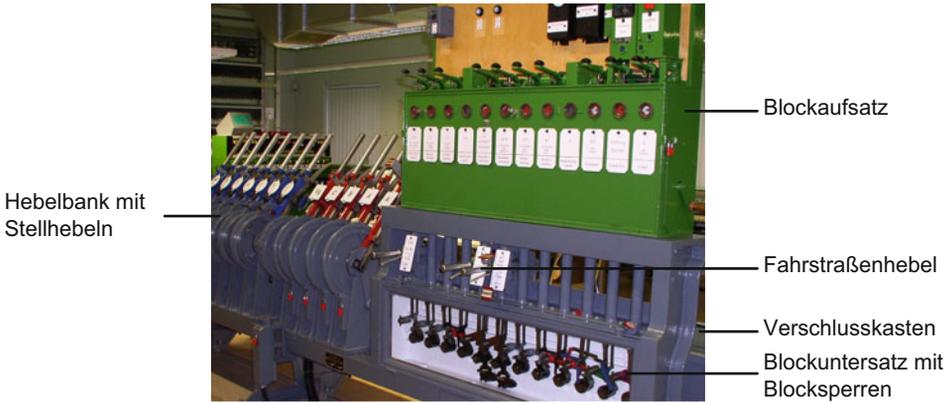


Abb. 6.11 Innenanlagen des mechanischen Stellwerks

6.3.1.3 Allgemeiner Aufbau

Die zum Stellen der Signale, Weichen, Riegel und Gleissperren erforderliche Energie, die durch den Bediener aufgewendet werden muss, wird mit Hilfe von Doppeldrahtzugleitungen auf die Antriebe übertragen. Die Signalabhängigkeit wird durch ein Verschlussregister mit mechanisch bewegten Teilen hergestellt.

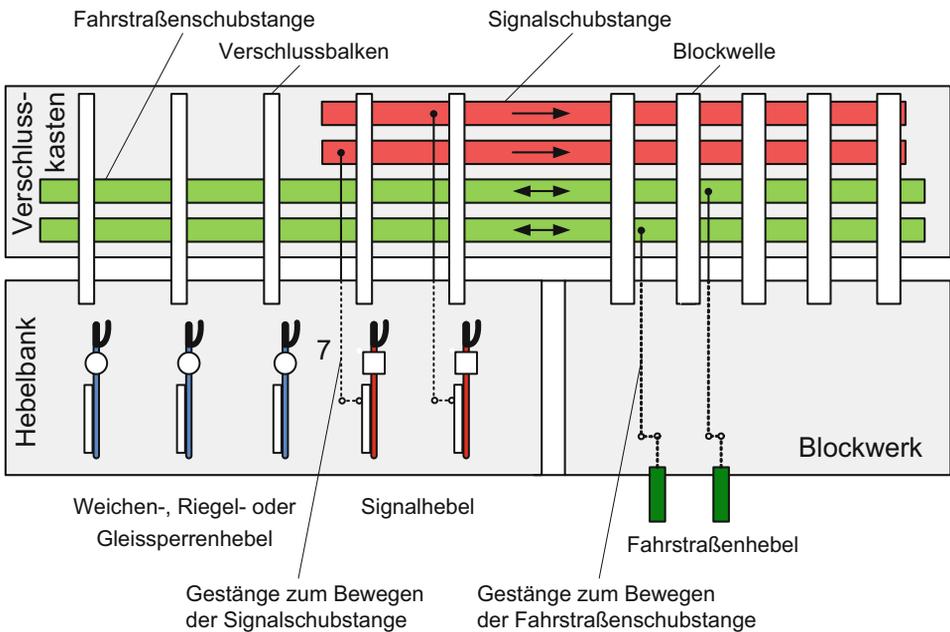


Abb. 6.12 Schematische Draufsicht der Innenanlagen

Mit Hilfe des Blockwerks und der im Blockuntersatz befindlichen Blocksperren werden sicherungstechnische Abhängigkeiten mit anderen Stellwerken hergestellt. Hinter der Hebelbank und dem Blockuntersatz ist der Verschlusskasten angeordnet.

An das Blockwerk anschließend werden auf der Hebelbank erst die Signalhebel, dann die Weichen-, Riegel- und Gleissperrenhebel aufgestellt (Abb. 6.11 und 6.12). Die Fahrstraßenhebel befinden sich zwischen Blockaufsatz und Blockuntersatz. Alle Hebel des mechanischen Stellwerks sind durch Bezeichnungsschilder und unterschiedliche Farbanstriche gekennzeichnet. Folgende Farben finden Verwendung:

Blau: Weiche, Gleissperre, Riegel,

Rot: Signale,

Grün: Fahrstraße.

6.3.2 Stelleinrichtungen

6.3.2.1 Stelleleitungen

Die für den Umstellvorgang notwendige Energie wird gemeinsam mit der Information über Soll- und Istlage über die Stelleleitungen übertragen. Die Verbindung zwischen den Stellhebeln und den Antrieben wird durch Doppeldrahtzugleitungen hergestellt. Hierbei wirkt in jeder Stellrichtung jeweils ein Draht als Zugdraht und der andere als Nachlassdraht, wodurch eine quasistarre Verbindung hergestellt wird. Jeder der beiden Leitungen endet mit einem Ende an der Seilscheibe des Stellhebels, mit dem anderen Ende an der Seilscheibe des Antriebs.

Die Länge der Drahtzugleitungen ist begrenzt. Sie bestimmt wesentlich die Größe der Stellbereiche. Für Weichen, Riegel und Gleissperren können nur wenige hundert Meter, für Signale knapp über 1000 m erreicht werden.

6.3.2.2 Spannwerke

Spannwerke sollen Längenänderungen durch Temperatureinflüsse oder Dehnungen kompensieren und den Doppeldrahtzugleitungen eine möglichst gleichmäßige Vorspannung geben. Außerdem bewirken die Spannwerke bei Drahtbruch

- die Endlage einer Weiche oder
- die Haltlage eines Hauptsignals oder Warnstellung eines Vorsignals und
- das Ausscheren des Stellhebels.

6.3.2.3 Weiche

Die notwendigen Einrichtungen zur mechanischen Fernbedienung einer Weiche und deren Zusammenwirken sind in Abb. 6.13 dargestellt und bestehen im Wesentlichen aus:

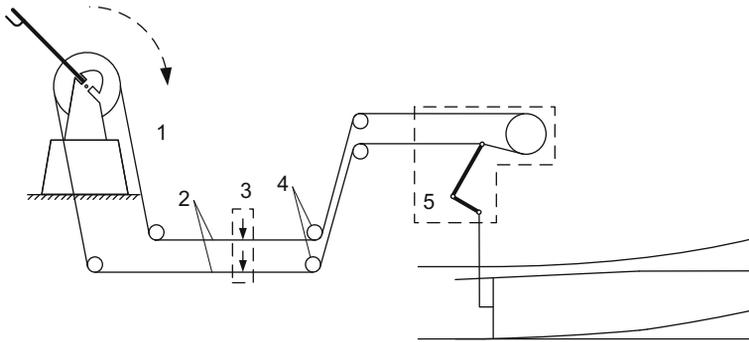


Abb. 6.13 Einrichtungen zur mechanischen Fernbedienung einer Weiche

- Weichenhebel (1),
- Stellleitungen (2) mit Spannwerk (3) und Leitungsführungselementen (4) sowie
- Weichenantrieb (5).

Zungenprüfer

Bei bestimmten fernbedienten Weichen ist es erforderlich, mit einem Zungenprüfer zu prüfen, ob die Weichenzungen der Stellbewegung gefolgt sind und ihre Endlage erreicht haben. Der Zungenprüfer ist im zugehörigen Weichenantrieb untergebracht und hält beide Weichenzungen in den Endlagen fest, um bei einem Defekt des Weichenverschlusses oder der Stellstange eine betriebsgefährdende Bewegung der Zungen zu verhindern. Während des Stellvorgangs prüft er, ob die Weichenzungen der Stellbewegung folgen. Ist dies nicht Fall, verhindert der Zungenprüfer das vollständige Umlegen des Weichenhebels, wodurch der Ausfall offenbart wird.

Weichenhebel

Der Weichenhebel ist so konstruiert, dass im Fall des Auffahrens der Weiche oder bei Drahtbruch kein Schaden am Hebel entsteht, dennoch aber die undefinierte Stellung der Weiche bemerkt wird.

Um den Weichenhebel aus der Grundstellung umzulegen, muss die Handfalle zum Handgriff herangezogen werden. Dabei senkt sich der hinter dem Hebel befindliche Verschlussbalken ab (Abb. 6.16b). Die Stellungen des Verschlussbalkens werden für weitere Informationsverarbeitungen genutzt (siehe auch Abschn. 6.3.3). Befindet sich der Verschlussbalken in Mittelstellung, ist das Verschließen nicht möglich (Tab. 6.3).

6.3.2.4 Riegel

Das mechanische Stellwerk ist die einzige Stellwerksgeneration, in der fernbediente Weichenriegel (siehe auch Abschn. 4.2.2.7) eingesetzt werden. Sie werden wie Weichen über Drahtzugleitungen angetrieben und halten die Weichenzungen formschlüssig fest.

Tab. 6.3 Stellung des Verschlussbalkens in Abhängigkeit von der Stellung des Weichenhebels

Stellung des Weichenhebels	Stellung des Verschlussbalkens
Grundstellung, Handfalle nicht gedrückt	Oben
Handfalle gedrückt (in Endstellung oder während des Umstellens) oder Hebel ausgeschert	Mittelstellung
Umgelegte Stellung, Handfalle nicht gedrückt	Unten

6.3.2.5 Signal

Auch die stellbaren Signale werden vom mechanischen Stellwerk aus über Drahtzugleitungen fernbedient. Im Signalantrieb wird die Bewegung in eine Zug- oder Schubbewegung zum Stellen des Signalfügels bzw. der -scheibe umgewandelt. Der Signalhebel ist ähnlich aufgebaut wie der Weichenhebel; der Verschlussbalken bewegt sich ebenso.

6.3.3 Verschlusseinrichtungen

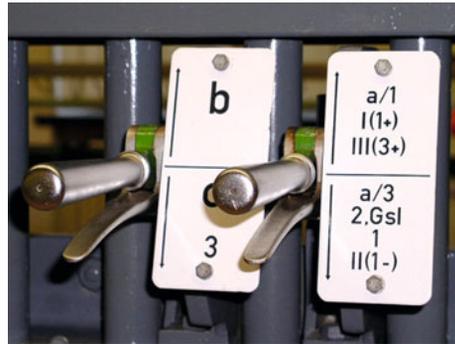
Die Fahrstraßenschubstange ist im Verschlusskasten, der sich hinter den Stellhebeln befindet, angeordnet (Abb. 6.14).

Eine Fahrstraßenschubstange wird immer durch einen Fahrstraßenhebel (Abb. 6.15) angetrieben. Dieser ist rastend, damit er in der mittigen Grundstellung sowie in der oberen und unteren Endlage für jeweils eine Fahrstraße arretiert werden kann. Im Fall von Störungen, wenn sich eine Fahrstraße nicht einstellen lässt, besteht die Möglichkeit, den Fahrstraßenhebel in einer Mittelstellung (Hilfsstellung, Hilfsrast) zwischen Grundstellung und Endlage zu arretieren. Damit können wenigstens die Weichen-, Riegel- und Gleissperrenhebel auf korrekte Stellung geprüft und verschlossen werden, auch wenn dieser Verschluss jederzeit zurückgenommen werden kann. Auf dem Bezeichnungsschild des Fahrstraßenhebels sind die für die jeweilige Fahrstraße umzulegenden Hebel vermerkt.

Mit den Verschlussstücken lassen sich die Stellhebel in Plus- oder Minusstellung verschließen. Dies geschieht dadurch, dass sich die Verschlussstücke unter oder über die

Abb. 6.14 Verschlusskasten

Abb. 6.15 Fahrstraßenhebel



Verschlussbalken der jeweiligen Hebel schieben und diesen damit formschlüssig festhalten.

Signale werden nur in der Plusstellung verschlossen. Für sie werden besondere Verschlussstücke verwendet. Sie sind länger als die für Weichen-, Riegel- und Gleissperrenhebel, damit Weichen, Riegel und Gleissperren bereits bei der Hilfsstellung des Fahrstraßenhebels verschlossen, die Signale aber noch nicht freigegeben sind.

Über die Verschlussbalken, Verschlussstücke und Fahrstraßenschubstange wird die Signalabhängigkeit erfüllt:

1. Ein Signal lässt sich (neben anderen Bedingungen) erst auf Fahrt stellen, wenn die Fahrstraßenschubstange eine Endlage erreicht hat, weil erst dann das Signalverschlussstück den Verschlussbalken des Signalhebels frei gibt. Die Endlage der Fahrstraßenschubstange kann aber erst dann erreicht werden, wenn sich die Verschlussstücke unter

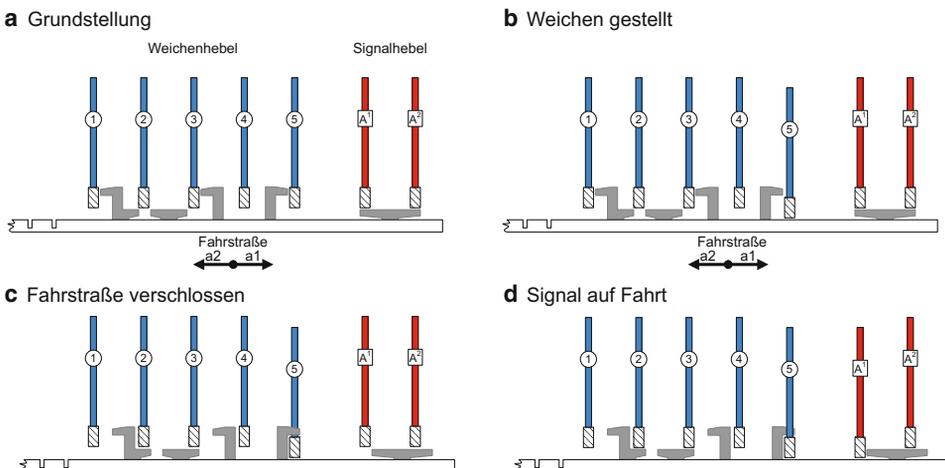


Abb. 6.16a-d Herstellung der Signalabhängigkeit im mechanischen Stellwerk

- oder über die Verschlussbalken der Weichen-, Riegel- und Gleissperrenhebel geschoben haben, diese mithin in der richtigen Stellung verschlossen sind (Abb. 6.16c).
2. Es lässt sich durch den gesenkten Verschlussbalken des Signalhebels über das Signalverschlussstück die Fahrstraßenschubstange nicht aus ihrer Endlage bewegen, so dass die Weichen-, Riegel- und Gleissperrenhebel in der richtigen Lage verschlossen bleiben (Abb. 6.16d).

6.3.4 Blockanlagen

Mit den bisher beschriebenen, mechanischen Mitteln lassen sich nur Abhängigkeiten zwischen Elementen herstellen, die sich entweder nahe beieinander oder in mittlerer Entfernung befinden. Handelt es sich um größere Abstände, so ist eine mechanische Verbindung praktisch unmöglich. Deshalb wurden eine Reihe elektromechanischer Zusatzeinrichtungen entwickelt, die einerseits größere Entfernungen überwinden können und andererseits die Funktionalität des Stellwerks erweitern.

6.3.4.1 Elemente

Blockfeld

Während die Schnittstelle Mechanik – Elektrik durch mechanisch angetriebene Kontakte relativ einfach hergestellt werden kann, verlangt die Schnittstelle Elektrik – Mechanik, vor allem durch die geringe Leistung der elektrisch übertragenen Signale, spezielle Bauelemente: die Blockfelder. Über sie können Stellwerke untereinander in Abhängigkeit gebracht werden sowie Fahrzeuge oder Bediener direkt Einfluss auf die Stellwerkseinrichtungen nehmen. Über die im Blockuntersatz angeordneten Blocksperren und weiter über die Blockwellen kann so Einfluss auf die Fahrstraßen- und Signalschubstangen genommen werden (Abb. 6.12).

Die Unterscheidung der Blockfelder erfolgt nach der Art ihres Betriebsstromes in Gleich- und Wechselstromblockfeld. Der Wechselstrom wird in der Regel durch einen per Hand zu kurbelnden Blockinduktor mit einer Spannung von ca. 60 V und einer Frequenz von ca. 12 Hz erzeugt, während der Gleichstrom aus der Stellwerksbatterie entnommen wird.

Wirkungsweise des Wechselstromblockfeldes

Wechselstromblockfelder arbeiten immer paarweise zusammen. Die zwei zusammenarbeitenden Blockfelder werden korrespondierende Blockfelder genannt. Dabei ist stets ein Blockfeld geblockt und das andere entblockt. Die Elektromagnete beider Blockfelder sind in Reihe geschaltet. Abbildung 6.17 zeigt das Wechselstromblockfeld in geblocktem und entblocktem Zustand.

Das Blocken eines Wechselstromblockfeldes wird mit dem Niederdrücken der Blocktaste (1) eingeleitet. Dabei wird die Druckstange (2) und mit ihr die Riegelstange (5)

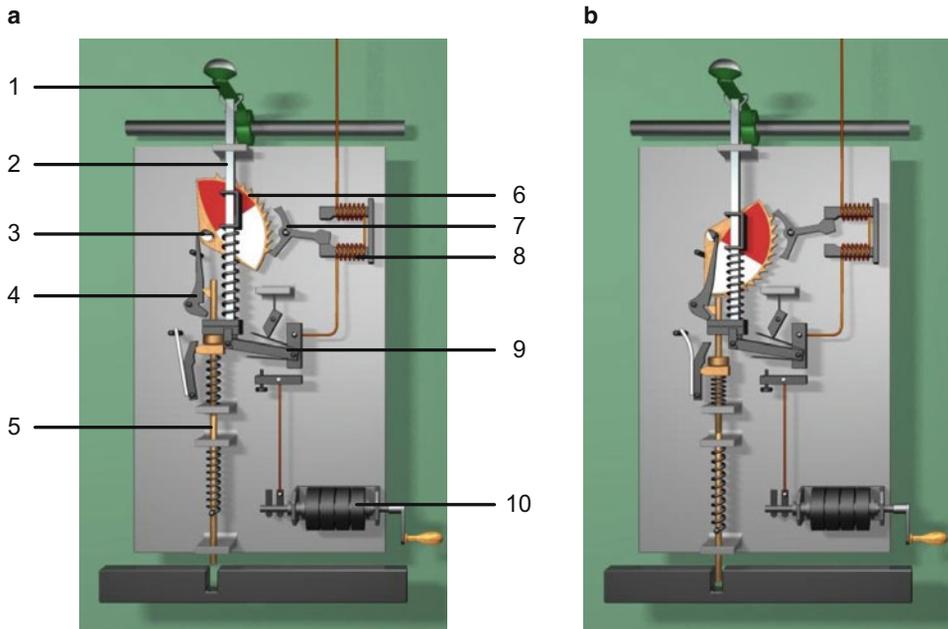


Abb. 6.17 Wechselstromblockfeld entblockt (a) und geblockt (b) (Medienzentrum der TU Dresden)

gesenkt. Die Riegelstange überträgt die Information vom Blockaufsatz zum Blockuntersatz und wirkt auf die Blocksperren. Mit der Bewegung der Druckstange wird ein Kontakt (9) umgeschaltet, der die Spule des Elektromagneten (8) mit dem Blockinduktor (10), einem Wechselstromgenerator mit Handkurbel, verbindet. Wird der Blockinduktor bedient, so fließt Blockstrom über den Elektromagneten, welcher im Takt des Wechselstromes die Hemmung (7) bewegt. Wie bei einem mechanischen Uhrwerk fällt nun der Rechen Zahn für Zahn, hier allerdings durch Schwerkraft, herunter. Dabei verdreht sich die Halbachse (3), an der der Rechen befestigt ist.

Wird die Blocktaste losgelassen, kehren die Druckstange und mit ihr die Druckstangenkontakte durch Federkraft in ihre ursprüngliche Lage zurück. Der Rechen (6) wird aber durch die Hemmung in der unteren Lage festgehalten, wodurch auch die Halbachse verdreht bleibt. Dadurch wiederum kann der Verschlusshalter (4) nicht in die Grundstellung zurückkehren, wodurch er die Riegelstange in der unteren Endlage festhält. Das Blockfeld ist geblockt.

Soll wieder entblockt werden, so muss Blockstrom von der korrespondierenden Stelle fließen. Dieser Strom lässt – über die Bewegung der Hemmung – den Rechen zahnweise steigen, diesmal durch Federkraft angetrieben. Nach zehn Zähnen hat sich die Halbachse so weit zurückgedreht, dass der Verschlusshalter zurückspringt und damit die Riegelstange frei gibt. Diese schnell durch Federkraft nach oben und die Blocksperren sind wieder frei. Nach zwölf Zähnen ist das Blockfeld vollständig entblockt.

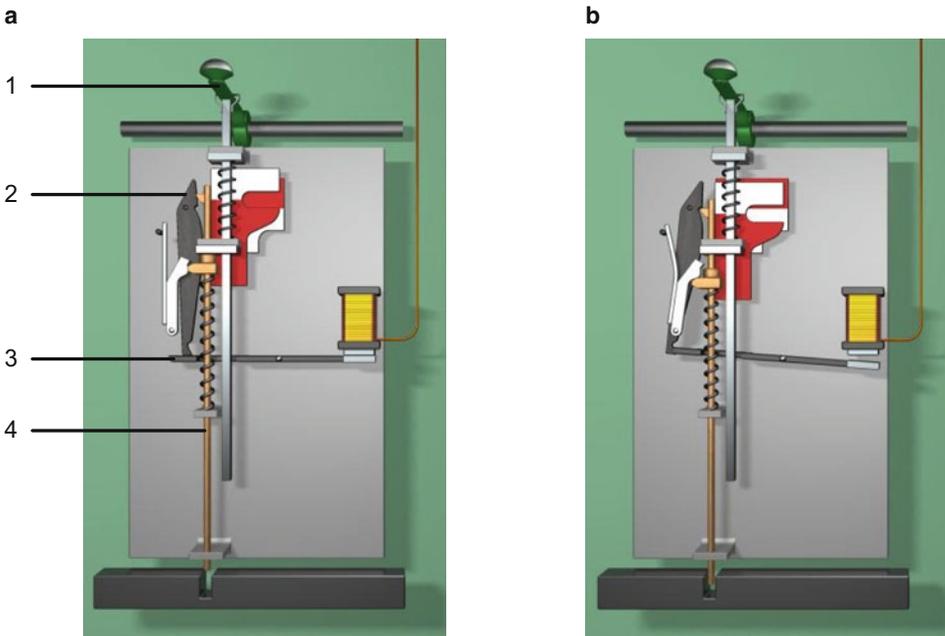


Abb. 6.18 Gleichstromblockfeld entblockt (a) und geblockt (b) (Medienzentrum der TU Dresden)

Wirkungsweise des Gleichstromblockfeldes

In Fällen, in denen z. B. durch eine Zugeinwirkung oder durch die Bedienung einer Taste das Entlocken ausgelöst werden soll, also nicht die Bedienung eines korrespondierenden Blockfeldes zum Entlocken herangezogen werden kann, steht kein Wechselstrom, sondern nur ein Gleichstromimpuls zur Verfügung. In solchen Fällen wird das Gleichstromblockfeld (Abb. 6.18) genutzt.

Zum Blocken genügt das Drücken der Blocktaste (1). Der Verschluss kommt durch den Verschlusshalter (2) zustande, der sich am abgefallenen Magnetanker (3) abstützt. Wie beim Wechselstromblockfeld tritt der Verschluss durch die in der unteren Lage festgehaltene Riegelstange (4) ein. Durch einen Gleichstromimpuls zieht der Magnetanker an, wodurch die Abstützung des Verschlusshalters verloren geht und das Blockfeld durch Federkraft in die entblockte Stellung zurückkehrt.

Elektrische Tastensperre

In einigen Fällen darf ein Blockfeld erst bedienbar sein, wenn bestimmte Voraussetzungen vorliegen. Ein häufiger Anwendungsfall ist die Mitwirkung eines Zuges. Elektrische Tastensperren sind über dem Blockfeld angebracht und verhindern im gesperrten Zustand das Drücken der Taste.

6.3.4.2 Bahnhofsblokkung

Aufgaben

Aufgrund der begrenzten Stellentfernungen mechanischer Stellwerke sowie durch die Notwendigkeit, die Gleisfreimeldung durch Hinsehen durchzuführen, ergibt sich ein begrenzter Aktionsradius. Deshalb ist ein Bahnhof in der Regel in mehrere Stellwerksbereiche bzw. -bezirke aufgeteilt (Abb. 6.19). Die Verantwortung für den Betriebsablauf trägt der Fahrdienstleiter im Befehlsstellwerk (B). Ihm können ein oder mehrere Wärter in Wärterstellwerken (W) unterstellt sein.

Durch die Bahnhofsblokkung werden die Stellwerke eines Bahnhofes untereinander in Abhängigkeit gebracht. Dabei gilt es, folgende Forderungen zu erfüllen:

1. Da der Fahrdienstleiter die Zugfolge regelt, dürfen Hauptsignale nur unter seiner Mitwirkung auf Fahrt gestellt werden.
2. Da eine Fahrstraße durch mehrere Stellwerksbereiche führen kann, müssen alle beteiligten Stellwerke an der Fahrt mitwirken.
3. Eine festgelegte Fahrstraße darf nur außerhalb des Stellwerkes – durch einen Zug oder einen anderen Bediener – aufgelöst werden.

Befehl und Zustimmung

Zur Erfüllung der Forderungen 1) und 2) dienen Befehle und Zustimmungen, die mit Wechselstromblockfeldern realisiert werden.

Der Fahrdienstleiter gibt Befehle durch das Blocken des Befehlsabgabefeldes (Ba) ab; der Wärter empfängt sie, indem bei ihm das Befehlsempfangsfeld (Be) entblockt wird. Ein Befehl ist mittelbare Voraussetzung für die Bedienbarkeit eines Signalhebels auf einem Wärterstellwerk. Eine Zustimmung wird vom Wärter an den Fahrdienstleiter durch das Blocken des Zustimmungsabgabefeldes (Za) gegeben, wodurch sich beim Fahrdienstleiter das Zustimmungsempfangsfeld (Ze) entblockt. Die Zustimmung beinhaltet nur die Bestätigung, dass der Teil der Fahrstraße beim Wärter verschlossen und geprüft ist. Befehls- und Zustimmungsfelder wirken auf den Fahrstraßenhebel.

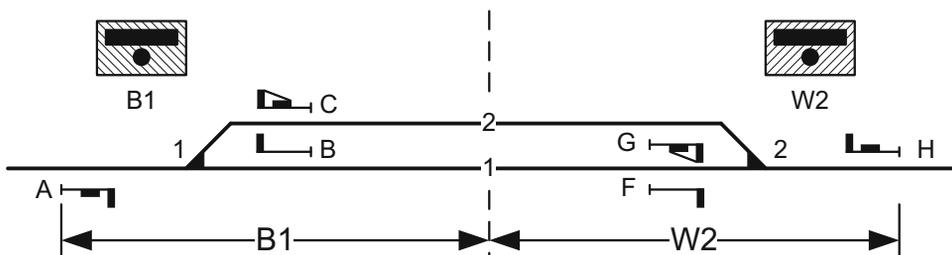


Abb. 6.19 Bereiche von Wärter und Fahrdienstleiter

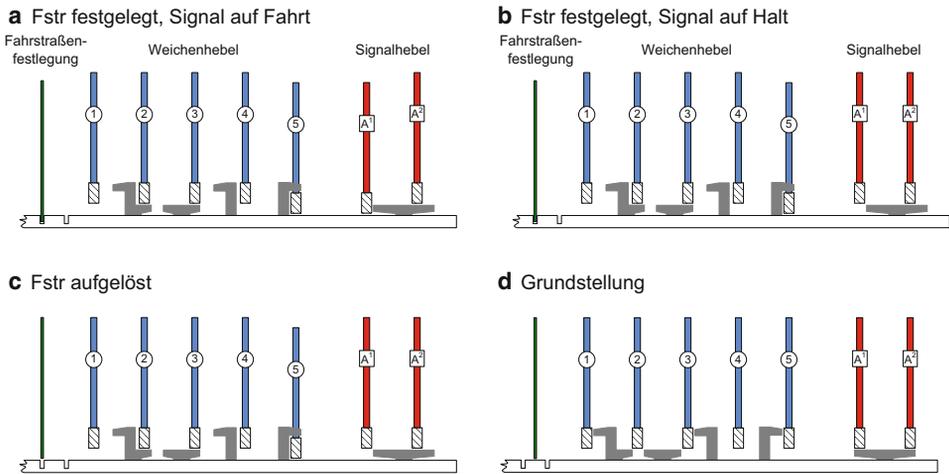


Abb. 6.20a–d Wirkungsweise der Festlegung

Fahrstraßenfestlegung

Zur Erfüllung der Forderung 3) der Bahnhofsblockung dient die Fahrstraßenfestlegung. Sie wird durch das Fahrstraßenfestlegefeld realisiert. Die Riegelstange hält die Fahrstraßenschubstange mechanisch fest, so dass der Verschluss nicht zurückgenommen werden kann (Abb. 6.20a und b).

Bei Fahrstraßenauflösung (Abb. 6.20c) durch ein korrespondierendes Fahrstraßenauflösefeld wird die Festlegung durch ein Wechselstromblockfeld vorgenommen; bei Auflösung durch Zueinwirkung oder Taste wird ein Gleichstromblockfeld genutzt.

Wirkungsweise der Bahnhofsblockung

In Tab. 6.4 ist der Fahrstraßenaufbau für eine Einfahrt vom Fahrdienstleiter in den Bereich des Wärters dargestellt. Tabelle 6.5 zeigt die Abläufe der Bahnhofsblockung für den Fahrstraßenabbau.

6.3.4.3 Streckenblockung

Im mechanischen Stellwerk wird ausschließlich der nichtselbsttätige dezentrale Block (siehe auch Abschn. 5.3.2.5) angewandt. Die Elemente der Streckenblockung befinden sich ebenfalls im Blockauf- und -untersatz. Die Funktionsweise des Felderblocks ist in Abschn. 6.7.1 beschrieben.

Tab. 6.4 Fahrstraßenaufbau für Einfahrt beim Fahrdienstleiter

Fahrdienstleiter		Wärter
Auftrag an Wärter	→	Weichen und Flankenschutzeinrichtungen stellen
Weichen und Flankenschutzeinrichtungen stellen		Fahrstraßenhebel umlegen <i>Weichen und Flankenschutzeinrichtungen verschlossen</i>
Ze wird entblockt <i>Fahrstraßenhebel umlegbar</i>	←	Za blocken <i>Fahrstraßenhebel verschlossen</i>
Fahrstraßenhebel umlegen <i>Weichen und Flankenschutzeinrichtungen verschlossen</i>		
Fahrstraßenfestlegefeld blocken <i>Fahrstraßenhebel festgelegt</i>		
Fahrweg prüfen		
Signalhebel bedienen		

Tab. 6.5 Fahrstraßenabbau für Einfahrt beim Fahrdienstleiter

Fahrdienstleiter		Wärter
Signalhebel zurücklegen		
Fahrstraßenfestlegefeld wird entblockt <i>Fahrstraßenhebel rücklegbar</i>	←	Fahrstraßenauflösung bedienen
Fahrstraßenhebel zurücklegen <i>Weichen und Flankenschutzeinrichtungen unverschlossen</i>		
Zustimmungsempfangsfeld blocken <i>Fahrstraßenhebel in Grundstellung gesperrt</i>	→	Zustimmungsabgabefeld wird entblockt <i>Fahrstraßenhebel rücklegbar</i>
		Fahrstraßenhebel zurücklegen <i>Weichen und Flankenschutzeinrichtungen unverschlossen</i>

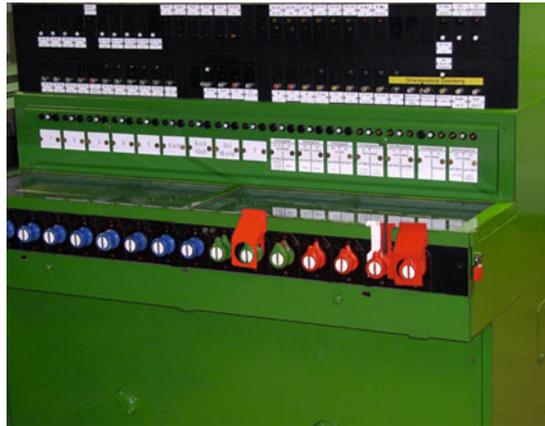
6.4 Elektromechanisches Stellwerk

6.4.1 Grundlagen

6.4.1.1 Historische Entwicklung

Mechanische Stellwerke benötigen aufgrund der Tatsache, dass die Energie zum Umstellen der Elemente vom Bediener aufgebracht werden muss, einen relativ großen Zeit- und Kraftaufwand für die Bedienung und damit eine relativ große Fahrstraßenbilde- und -auflösezeit. Für den anwachsenden Eisenbahnverkehr am Ende des 19. Jahrhunderts waren in Eisenbahnknoten mit dichter Zugfolge diese Zeiten nicht mehr akzeptabel, so dass eine Weiterentwicklung stattfinden musste.

Abb. 6.21 Elektromechanisches Einreihenhebelwerk



Diese Forderung traf mit dem technischen Fortschritt zusammen; gerade zu dieser Zeit standen praxistaugliche Elektromotoren zur Verfügung und so wurden Stellwerke entwickelt, die die mechanische Arbeit zum Stellen der Weichen und Signale elektrisch direkt am Element verrichteten. Viele Informationen wurden nun elektrisch verarbeitet, doch einige nach wie vor mechanisch. Der Umstand gab dem elektromechanischen Stellwerk seinen heutigen Namen. Auch diese Stellwerksgeneration ist heute noch in nennenswertem Umfang im Einsatz.

Die am weitesten verbreiteten Bauformen sind die „Bauart 1912“ (auch „E 12“ genannt) und die Weiterentwicklung „E 43“. Neben den Einreihenhebelwerken, bei denen die Hebel (eigentlich Schalterknöpfe) in einer Reihe angeordnet sind (Abb. 6.21), wurden auch Mehrreihenhebelwerke entwickelt, bei denen die Hebel in Zweier- oder Viererreihen angeordnet wurden. Solche Mehrreihenhebelwerke waren dort notwendig, wo mit einem Stellwerk sehr viele Elemente gesteuert werden sollten.

6.4.1.2 Allgemeine Eigenschaften

Elektromechanische Stellwerke unterscheiden sich von mechanischen Stellwerken dadurch, dass der Antrieb und die Überwachung der Elemente sowie die Realisierung eines großen Teiles der Abhängigkeiten elektrisch geschehen. Damit steigt zwar die realisierbare Stellentfernung, die Bereiche der Stellwerke müssen sich dennoch an der Übersicht orientieren, da auch hier regulär noch keine technische Gleisfreimeldung vorgesehen ist, was ebenso wie bei den mechanischen Stellwerken ein Sicherheitsmanko ist. Dennoch haben elektromechanische Stellwerke einen kleinen sicherheitstechnischen Vorteil gegenüber mechanischen Stellwerken, worauf in Abschn. 6.4.3 noch eingegangen wird.

Während im mechanischen Stellwerk hauptsächlich die Strategie Fehlerausschluss angewandt wird, kommt im elektromechanischen Stellwerk – bedingt durch den Einsatz elektrischer Schaltungen mit Relais (früher „Magnetschalter“ genannt) – vielfach die Strategie des Gefährdungsausschlusses zur Anwendung.

Elektromechanische Stellwerke sind kleiner und leichter als mechanische Stellwerke, aber wegen eines höheren Anteils an Feinmechanik und Buntmetall in der Anschaffung pro Stelleinheit teurer. Durch ihre leichtere Bedienbarkeit können jedoch bei größeren Anlagen Bediener eingespart werden; hinzu kommt die kürzere Bedienungszeit.

6.4.1.3 Grundsätzlicher Aufbau

Grundsätzlich kann das Stellwerk in die Bestandteile:

- Hebelwerk,
- Relaischaltung,
- Elemente der Außenanlage,
- Energieversorgung.

sowie die Verbindung zwischen den Bestandteilen mit Kabel und Leitungen unterschieden werden.

Im Hebelwerk befinden sich alle Einrichtungen, die zum Stellen der Elemente sowie zur Gewährleistung der Abhängigkeiten erforderlich sind. Werden die elektrischen Abhängigkeiten umfangreich, so kann die dafür benötigte Schaltung einschließlich der Relais in einem separaten Relaischrank oder -raum untergebracht werden.

Die Stromversorgung geschieht ausschließlich mit Gleichstrom, der aus netzgepufferten Akkumulatoren entnommen wird. Als Stellspannung kommt 136 V, als Überwachungsspannung 34 V zur Anwendung.

Die Hebel selbst sind – wie im mechanischen Stellwerk – durch unterschiedliche Farbanstriche gekennzeichnet. So ist ein Weichenhebel am blauen Anstrich erkennbar. Ein großer Unterschied und gleichzeitig Vorteil ist die Zusammenfassung der Tätigkeiten Fahrstraßenverschluss, Fahrstraßenfestlegung und Signalfahrtstellung im Fahrstraßensignalhebel (rot). Befehle und Zustimmungen werden wie im mechanischen Stellwerk gegeben, jedoch nicht mit Blockfeldern, sondern mit Befehls- und Zustimmungshebeln (grün).

Direkt über den Hebelachsen befindet sich das mechanische Verschlussregister, was mit Fahrstraßenschiebern, analog zur Fahrstraßenschubstange im mechanischen Stellwerk, einen Teil der Signalabhängigkeit herstellt.

Zur Anzeige des Betriebszustands kommen in älteren Bauformen Farbscheiben zum Einsatz, die von Elektromagneten bewegt werden. In neueren Bauformen werden Lampen verwendet. Über dem Hebelwerk mit den Farbscheiben bzw. Lampen befindet sich der so genannte Hebelwerksaufbau, der Tasten für weitere Bedienungen enthält (Abb. 6.21).

6.4.2 Stellung der Elemente

6.4.2.1 Weiche

Im elektromechanischen Stellwerk kommen elektrische Weichenantriebe mit Vierdraht-Weichenschaltung zur Anwendung. In einigen Details unterscheidet sie sich zu den in

Gleisbildstellwerken angewandten, da Gleichstrom und nicht Dreiphasenwechselstrom verwendet wird. Dennoch sind die Sicherheitsanforderungen gleich und die Wirkungsweise ähnlich.

Wie in der heutigen Weichenschaltung fließt außerhalb des Umstellens ein Überwachungsstrom durch alle vier Adern, der im Stellwerk ein Relais („Überwachungsmagnet“) zum Anzug bringt. Die Schaltung ist so gestaltet, dass der Stromfluss nur zustande kommt, wenn Soll- und Iststellung der Weiche übereinstimmen. Bei abgefallenem Überwachungsrelais ist somit die korrekte Endlage der Weiche nicht gewährleistet.

Dieses Prinzip ist ein typisches Beispiel für die Nutzung der Vorzugsausfallrichtung von Steuerungen, die den energieärmeren Zustand (kein Stromfluss bzw. Relais abgefallen) für den potenziell sicheren Zustand nutzen, der hier darin besteht, dass keine Signalfahrtstellung möglich ist. Demgegenüber wird der energiereichere Zustand (Stromfluss, Relais angezogen) für den potenziell kritischeren Fall herangezogen, der darin besteht, dass eine Voraussetzung für die Signalfahrtstellung geschaffen wird.

6.4.2.2 Signal

Während später im elektromechanischen Stellwerk auch Lichtsignale angewandt wurden, kamen ursprünglich Formsignale zum Einsatz. Wie die Weichen, werden die Signalflügel über einen elektromechanischen Antrieb bewegt.

Zusätzlich wird jedoch eine Einrichtung verwendet, die eine erhöhte Sicherheit bietet: der Kuppelmagnet. Der Signalantrieb ist so konstruiert, dass die Signalflügel durch Wirkung der Schwerkraft dem Haltfall – und damit dem sicheren Zustand – zustreben. Bei erregtem Kuppelmagneten wird der Haltfall über eine Mechanik verhindert, wodurch nur dann die Fahrtstellung möglich ist. Bricht der Stromfluss durch den Magneten ab, fällt das Signal selbsttätig in die Haltstellung.

6.4.3 Gewährleistung der Signalabhängigkeit

Die Signalabhängigkeit wird durch eine Kombination aus Mechanik und Elektrik hergestellt. Im mechanischen Verschlussregister wird die Sollage der Elementhebel geprüft. Zur Prüfung, ob alle Elemente der Sollage gefolgt sind, dient der Kuppelstromkreis (Abb. 6.22).

Er wird für jede Fahrstraße separat verdrahtet und prüft alle in ihr enthaltenen Elemente auf ihre Überwachung in Form des angezogenen Überwachungsrelais. Da das Überwachungsrelais nur bei Übereinstimmung von Soll- und Istlage anzieht und über das Verschlussregister die richtige Sollstellung der Weiche geprüft wird, kann dann von der richtigen Stellung der Weiche ausgegangen werden. Der Verbraucher im Kuppelstromkreis ist der Kuppelmagnet am Signalantrieb, der bei Stromfluss die Fahrtstellung des Signals ermöglicht.

Sobald eine Weiche die Überwachung verliert, fällt ihr Überwachungsrelais ab, womit der Stromfluss im Kuppelstromkreis unterbrochen wird. Dadurch wird der Kuppelmagnet stromlos und das Signal fällt selbsttätig auf Halt. Auch dies ist ein gutes Beispiel dafür, wie

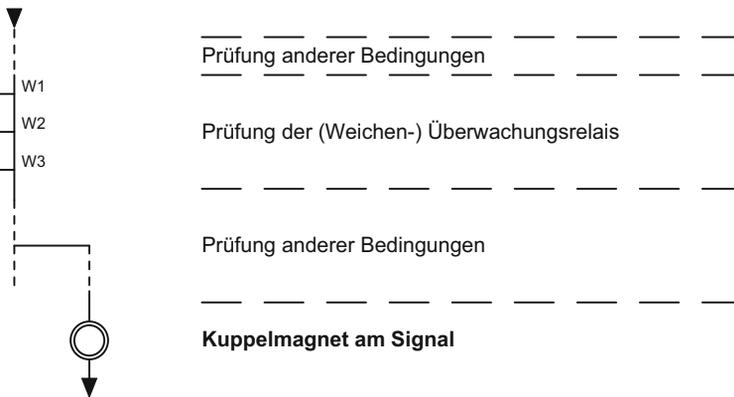


Abb. 6.22 Kuppelstromkreis (Auszug)

durch Nutzung der Vorzugsausfallrichtung monostabiler Elemente die Sicherheit erhöht wird. Im mechanischen Stellwerk war dies aufgrund der bistabilen Zustände der Hebel nicht möglich.

6.5 Relaisstellwerk

6.5.1 Grundlagen

6.5.1.1 Historische Entwicklung

Die Idee, ausschließlich Relais zur Informationsverarbeitung zu nutzen, stammt bereits aus den 30er- und 40er-Jahren des 20. Jahrhunderts. Anwendungsreife Relaisstellwerke existierten in Deutschland jedoch erst mit Beginn der 1950er Jahre.

In der BRD entwickelte zunächst die Firma Siemens & Halske das Stellwerk Dr I, das noch weitgehend an die Logik des mechanischen Stellwerks angelehnt war und einen großen Anteil an nicht standardisierten (freien) Schaltungen aufwies. Später kam das Stellwerk DrS hinzu, das weitere Funktionen beherrschte. Eine vereinfachte Version war das Dr S2. Schließlich ging Siemens an die Entwicklung eines Stellwerks nach topologischem Prinzip (Spurplan). So entstanden zunächst Vorstufen und anschließend das Sp Dr S60, dessen Entwicklung 1962 abgeschlossen war. Eine Weiterentwicklung war das Sp Dr S600, was in den späten 1970er Jahren entwickelt wurde, wegen der Entwicklung von ESTW in den 1980er Jahren aber nicht die Verbreitung wie das Vorgängermodell erreichte.

Die Firma Lorenz, später Standard Elektrik Lorenz (SEL), dann Alcatel und heute zum Thales-Konzern gehörend, begann etwas später als Siemens mit der Entwicklung von Relaisstellwerken und verwendete von Anfang an das topologische Prinzip mit dem Sp Dr L20 und der Weiterentwicklung Sp Dr L30. Etwa zeitgleich mit der Entwicklung des Sp Dr S60 entwickelte SEL die Bauform Sp Dr L60. In der Folgezeit waren diese bei-

Tab. 6.6 Zusammenstellung der wichtigsten, bei deutschen Eisenbahnen angewandten Relaisstellwerksbauformen

Hersteller	Prinzip der Fahrstraßenbildung	
	Tabellarisch (Verschlussplan)	Topologisch (Spurplan)
Siemens	Dr I (Dr 1) Dr S Dr S2 Dr S3(2)	Sp Dr S57 Sp Dr S59 Sp Dr S60 Sp Dr S600
Lorenz (SEL, Alcatel, Thales)		Sp Dr L20 Sp Dr L30 Sp Dr L60 MC L84 MC L84 N
WSSB	GS I DR GS II DR	GS II Sp 64 b GS III Sp 68 GS III 8030

den Stellwerksbauformen dominierend. In den 1980er Jahren entwickelte Alcatel noch das MC L84 (Modulares Kompaktstellwerk) für Betriebsstellen mit weniger anspruchsvollem Betriebsprogramm.

Der Bedienung nach wurden die Relaisstellwerke in der BRD „Drucktastenstellwerk“ (Dr) genannt, während in der DDR die Relaisstellwerke „Gleisbildstellwerk“ (GS) nach der Art der Anordnung der Bedienelemente in einem Gleisbild genannt wurden. Beide Bezeichnungen sind nicht ganz korrekt, da die Bezeichnung einer Stellwerksgeneration üblicherweise der technischen Art der Informationsverarbeitung entlehnt ist, was hier die Relaisstechnik ist.

GS-Stellwerke arbeiten in der Regel mit Signalen nach dem HI-System zusammen, während es bei Dr-Stellwerken Lichtsignale nach dem H/V-System sind.

In der DDR begann das Werk für Signal- und Sicherungstechnik Berlin (WSSB) 1955 mit der Herstellung von Relaisstellwerken. Auch hier kam zunächst das tabellarische Prinzip zur Anwendung; 1969 wurde das erste Relaisstellwerk nach topologischem Prinzip in Betrieb genommen. Die Bezeichnung der Stellwerksbauform richtet sich u. a. nach der Verwendung der Relais, deren drei Generationen mit römischen Zahlen bezeichnet werden. Eine Übersicht der wichtigsten deutschen Relaisstellwerke gibt Tab. 6.6

Große Relaisstellwerke wurden bis ca. 1990 neu gebaut. Bis heute gibt es jedoch noch viele Umbauten und Erweiterungen sowie in sehr geringem Umfang auch Neubauten. Trotz erheblicher Investitionen in elektronische Stellwerke sichern Relaisstellwerke momentan noch etwa die Hälfte aller Stelleinheiten deutscher Eisenbahninfrastruktur.

6.5.1.2 Allgemeine Eigenschaften

In Relaisstellwerken werden alle Abhängigkeiten elektrisch über Relais hergestellt. Zur Gewährleistung der Sicherheit sind besondere Relais, die Signalrelais, in Verbindung mit einer speziellen Schaltungsgestaltung notwendig (siehe auch Abschn. 3.6).

Durch die Trennung von Bedienung und Informationsverarbeitung muss sich die Anordnung der Bedienelemente (hier: Tasten) nicht mehr wie in den bisherigen Stellwerksgenerationen nach der dahinter stehenden Technik richten. Somit werden die Bedienelemente in einer für den Bediener leicht erfassbaren Anordnung verwendet, die der Topologie des Gleisnetzes entspricht (Abb. 6.2).

Technische Gleisfreimeldung ist Standard im Relaisstellwerk, was ein entscheidender Sicherheitsgewinn gegenüber den AltbaufORMen ist. Aufgrund der selbsttätigen Freimeldung ist eine Übersicht über die Gleise nicht mehr notwendig. Deshalb und weil die Stellentfernung durch die elektrische Ansteuerung mehrere Kilometer (typisch: 6,5 km) beträgt, wurde auch in großen Bahnhöfen in der Regel nur ein Stellwerk errichtet. Damit war gegenüber den Hebelstellwerken eine bedeutende Personaleinsparung möglich. Außerdem eröffnet sich die Möglichkeit der Fernsteuerung, so dass Stellwerke unbesetzt bleiben und von einer übergeordneten Zentrale ferngesteuert werden können.

6.5.2 Bauelemente und Schaltungsgestaltung

In Abschn. 3.6 wurden die Grundlagen zur Gestaltung sicherer Systeme der Relais-technik bereits vorgestellt. Kernstück ist dabei das Signalrelais, was besondere sicherheitsrelevante Eigenschaften besitzt. Relaisschaltungen sind fail-safe gestaltet; vorwiegend kommt der Gefährdungsausschluss zur Anwendung. Ausfälle werden durch eine entsprechende Schaltungsgestaltung erkannt, wie z. B. die Nutzung der Vorzugsausfallrichtung oder das Prüfen von Relais auf Abfall (nur Typ C) und Anzug.

Da die Prüfergebnisse in der Schaltung immer erst beim nächsten Schritt erkannt werden, reicht dies in bestimmten Situationen nicht aus; die Offenbarungszeit wäre hierbei zu groß. Außerdem kann es bestimmte Fehler geben, die schaltungstechnisch nicht erkannt werden können. Dann werden die Folgen durch den Einsatz redundanter Elemente ausgeschlossen. Sie sorgen dafür, dass die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten der Gefährdung so gering ist, dass nicht damit gerechnet werden muss und stellen damit ebenfalls einen Gefährdungsausschluss dar.

6.5.3 Modellschaltung einer Fahrstraße

Nachfolgend wird eine Modellschaltung für den Aufbau einer Beispielfahrstraße erläutert (Abb. 6.23). Sie entspricht keiner realen Stellwerksbauform sondern dient lediglich zur Verdeutlichung des Prinzips von Relaisstellwerksschaltungen nach dem tabellarischen Prinzip.

Es soll die Fahrstraße $a/2$ vom Signal A nach Gleis 2 mit dem Durchrutschweg zum Gleisabschluss eingestellt werden. Der Fahrstraßenaufbau beginnt mit Betätigung der Start- und Zieltaste T_A und T_{N2} . Im Stromkreis des Fahrstraßeneinstellers FE wird bei (1) geprüft, ob die (feindlichen) Gegenfahrten $p2$ und $f/2$ eingestellt sind. Ist das nicht der Fall, schaltet der FE (bistabiles Relais) um. Im Stromkreis des Ansteuerers für den

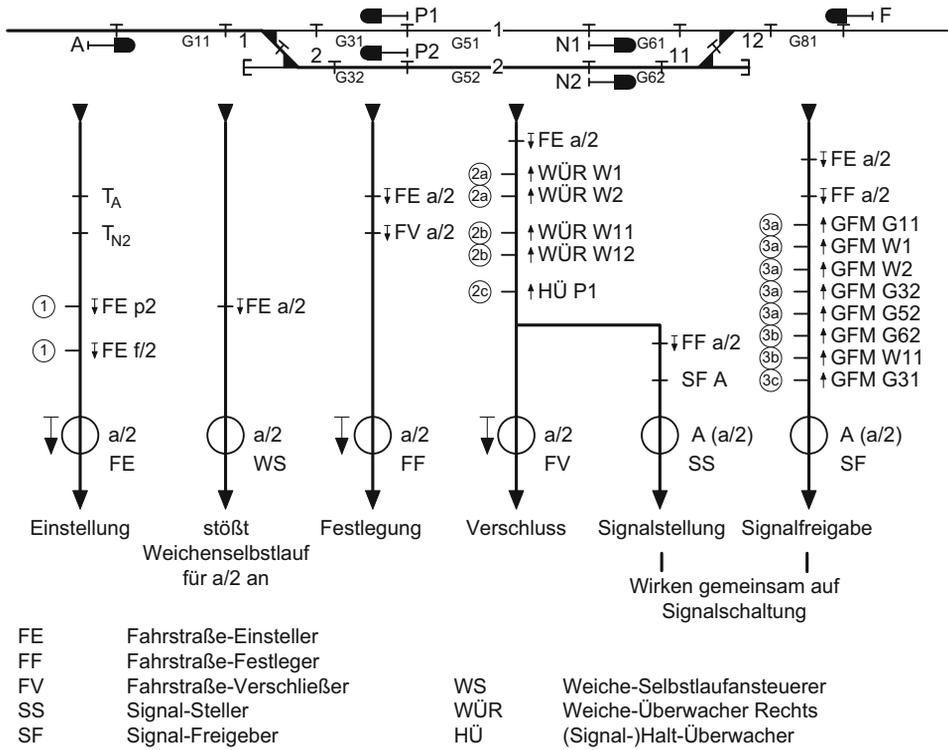


Abb. 6.23 Modellschaltung zur Einstellung einer Fahrstraße

Weichenselbstlauf (WS) wird daraufhin das Einlaufen des Fahrwegs durch Umlaufen der Weichen angestoßen. (Die Ansteuerung der Weichen ist nicht dargestellt.) Da der FE umgesteuert hat, sind nun auch die feindlichen Fahrstraßen nicht mehr einstellbar.

Der Verschlussstromkreis wird durch Umschalten des FE angeschaltet. Bei (2a) werden die Weichen 1 und 2 im befahrenen Teil, bei (2b) die Weichen 11 und 12 im Durchrutschweg auf Einnahme der richtigen Lage geprüft. Für die Fahrstraße müssen alle Weichen in Rechtslage überwacht sein. Das Signal P1 muss Flankenschutz gewährleisten, weshalb es auf Haltstellung überwacht wird (2c). Sind die Überwachungen vorhanden, schaltet der Fahrstraßenverschleißer FV um. Er sorgt dafür, dass die Weichen und Flankenschieber der Fahrstraße nicht mehr umgestellt werden können.

Der FV lässt im Stromkreis der Festlegung den bistabilen Fahrstraßenfestleger FF umschalten. Damit ist die Fahrstraße nun auch festgelegt und wird regulär erst nach Verlassen der Fahrstraßenzugschlussstelle aufgelöst.

Nachdem die Fahrstraßenfestlegung erfolgt ist, werden im Stromkreis der Signalfreigabe die Gleisfreimeldeabschnitte auf Freisein geprüft. Das betrifft die Abschnitte G11, W1, W2, G32 und G52 im befahrenen Teil (3a), G62 und W11 im Durchrutschweg (3b) und G31 im Flankenschutzraum (3c). Sind alle Gleisfreimeldeabschnitte frei, zieht der

Signalfreigeber SF an. Daraufhin zieht der Signalsteller SS an und am Signal A wird der zur Fahrstraße gehörige Fahrtbegriff angeschaltet.

SF und SS sind monostabile Relais. Während im Stromkreis des SS alle Weichen und Flankenschutzeinrichtungen überwacht werden, sind es im Stromkreis des SF alle Freimeldeabschnitte. Sobald eine der überwachten Bedingungen ausfällt, fällt eines der beiden Relais ab und bringt damit das Startsignal der Fahrstraße in Haltstellung. Auch hieran wird wieder deutlich, wie durch den energieärmeren Zustand (Stromunterbrechung, Relais abgefallen) die Sperrung des Verkehrs (Signal auf Halt) erfolgt (siehe auch Abschn. 3.4.1).

6.6 Elektronisches Stellwerk

6.6.1 Grundlagen

6.6.1.1 Historische Entwicklung

Von kleineren elektronischen Schaltungen in der Relais-technik abgesehen, zog die elektronische Informationsverarbeitung in der Sicherungstechnik später ein als in anderen Industriezweigen. Gründe hierfür sind die hohen Anforderungen an die Sicherheit bei geringer Komplexität der Logik (siehe auch Abschn. 6.1.1.2), was mit der bisher verwendeten Technik ebenfalls realisiert werden konnte. Seit den 1980er Jahren wurden in Deutschland elektronische Stellwerke (ESTW) entwickelt. Stellwerksneubauten werden heute fast ausschließlich mit ESTW realisiert.

Während die Entwicklung der anderen Stellwerksgenerationen weitgehend abgeschlossen ist, hält der Entwicklungsprozess elektronischer Stellwerke an. Deshalb ist es an manchen Stellen schwierig, hierzu allgemeingültige Aussagen zu treffen.

6.6.1.2 Allgemeine Eigenschaften

Elektronische Stellwerke arbeiten auf Basis von Microcomputern, wobei die Sicherungslogik größtenteils in der Software liegt. Die Programmierung der Stellwerkslogik nimmt daher den größten Teil des Aufwandes in der Stellwerksherstellung in Anspruch. Teilweise erfolgt die Ansteuerung der Außenanlagen in Relais-technik, in neueren ESTW aber ebenfalls durch Elektronik.

Durch die starke Zentralisierung bei ESTW werden hohe Anforderungen an die Verfügbarkeit gestellt. Außerdem stellen Inbetriebnahmen und Umbauten erhebliche Eingriffe in den Bahnverkehr dar, da hierbei immer größere Bereiche betroffen sind, die während eines Softwarewechsels nicht verfügbar sind.

Die Innovationen im Bereich der elektronischen Stellwerke finden aufgrund der schnellen Entwicklung im IT-Bereich schneller statt als in den älteren Stellwerksgenerationen, jedoch nicht so schnell, wie es die übrige Automatisierungstechnik vermuten lässt. Das kann mit den hohen Sicherheitsanforderungen und den damit einhergehenden hohen Entwicklungskosten sowie den vergleichsweise geringen Stückzahlen erklärt werden. Ein großes Problem ist die lange Lebensdauer von Stellwerken, die in Jahrzehnten gemes-

sen wird. Demgegenüber steht die IT-Branche mit wesentlich kürzeren Lebenszyklen von Komponenten und Systemen.

6.6.1.3 Anforderungen an elektronische Stellwerke

Hinsichtlich der sicheren Abwicklung des Eisenbahnbetriebes gelten die gleichen Anforderungen wie für andere Stellwerke auch. Der Funktionsumfang heutiger ESTW umfasst im Wesentlichen dem der letzten Relaisstellwerke; nur kleinere Funktionserweiterungen wurden und werden hinzuentwickelt.

In der Anwendung können jedoch bei einfachen Verhältnissen geringere Anforderungen gelten, die vereinfachte Stellwerkstechniken ermöglichen. Bei den Eisenbahnen des Bundes haben sich drei Marktsegmente herausgebildet (Tab. 6.7). Darüber hinaus gibt es bei nicht bundeseigenen Eisenbahnen (NE-Bahnen), Werk- und Straßenbahnen weitere, noch stärker vereinfachte Bauformen.

Das am häufigsten angewandte ESTW mit allen Funktionalitäten hat keinen besonderen Namen; zur Unterscheidung wird auch der Begriff **Voll-ESTW** verwendet. Da es für Strecken mit Geschwindigkeiten über 160 km/h eingesetzt werden soll, ist die Möglichkeit des Anschlusses einer kontinuierlichen Zugbeeinflussung (LZB, ETCS Level 2, siehe auch Abschn. 7.4 und Abschn. 7.5) obligatorisch. Auch sind nur Stellwerke dieses Segments fähig, in eine Betriebszentrale (BZ, siehe auch Abschn. 9.3) integriert zu werden.

Beim **ESTW-R** steht das „R“ für „Regional“. Hauptsächlich Anwendungsbereich sind Hauptbahnen mit regionaler Bedeutung. Dementsprechend ist eine Einbindung in Betriebszentralen nicht vorgesehen; gleichwohl können aber Bedienplätze mehrerer ESTW-R in einer regionalen Bedienzentrale zusammengefasst werden. Im Gegensatz zu BZ bleiben die Bedienplätze hierbei den ESTW fest zugeordnet. Da nur Geschwindigkeiten bis 160 km/h beherrscht werden sollen, ist die Anbindung kontinuierlicher Zugbeeinflussung

Tab. 6.7 ESTW-Marktsegmente der Eisenbahnen des Bundes

	(Voll-) ESTW	ESTW-R	ESZB (nicht mehr neu)
Betriebsverfahren	Zugmeldebetrieb (Ril 408)	Zugmeldebetrieb (Ril 408)	SZB-E (Ril 437)
v_{\max} [km/h]	300	160	100
Bedienplatz	Sicher	Sicher	Nicht sicher
Besondere Einweisung Tf	Nein	Nein	Ja
Grundfunktionen, z. B.: Rangierstraßen, Befahrbarkeitssperren, Zuglenkung	Ja	Ja	Ja
Erweiterte Funktionen, z. B.: Mittelweichen, Zughilfsstraßen, signalisierte Gegengleisfahrten, LZB	Ja	Nein	Nein
BZ-Anbindung möglich	Ja	Nein	Nein

sungssysteme entbehrlich. Erweiterte Funktionen wie Mittelweichen und Zughilfsstraßen sind nicht vorgesehen. Ebenfalls nicht vorgesehen sind signalisierte Gegengleisfahrten, da die Bahnen meist eingleisig sind. Einige der genannten Funktionen können im Ausnahmefall aber dennoch implementiert werden.

Das Elektronische Stellwerk für den signalisierten Zugleitbetrieb (**ESZB**) ist für Strecken mit schwachem Betrieb vorgesehen, deren Aufkommen aber dennoch eine Sicherung durch Stellwerke verlangt. Die maximale Geschwindigkeit von 100 km/h zeigt, dass vorrangig Nebenbahnen und untergeordnete Hauptbahnen das Ziel dieses Marktsegments sind. Der Funktionsumfang ist ähnlich dem ESTW-R, auch ist eine Zusammenfassung von Bedienplätzen in regionalen Bedienzentralen möglich. Jedoch besitzt das Stellwerk keinen Bedienplatz mit sicherer Bedienung und Anzeige (siehe auch Abschn. 6.6.4.3). Deshalb sind in der Rückfallebene andere Verfahren notwendig, um den Weiterbetrieb bei Ausfall von Komponenten (z. B. Gleisfreimeldeabschnitt) weiterzuführen. Hierzu wird eine örtliche Bedieneinheit (öBE) verwendet, die durch den einzigen vor Ort befindlichen Mitarbeiter bedient werden kann: den Triebfahrzeugführer, der hierfür eine besondere Einweisung benötigt. Die besonderen Verfahren der Rückfallebene waren auch der Grund, den Einsatz dieser Stellwerke an ein besonderes Betriebsverfahren (Signalisierter Zugleitbetrieb mit elektronischem Stellwerk, SZB-E) zu koppeln. Wegen der genannten Besonderheiten, insbesondere der Mitwirkung des Triebfahrzeugführers, bewährte sich diese Technik in der Praxis nicht, so dass seit ca. 2007 auf derartigen Strecken das ESTW-R eingesetzt wird.

6.6.2 Systemaufbau elektronischer Stellwerke

6.6.2.1 Grundstruktur

Die Abgrenzung des Begriffs „Stellwerk“ ist bei elektronischen Stellwerken schwieriger als bei anderen Stellwerksbauformen. Nach der im Relaisstellwerk vollzogenen Trennung der Bedienungseinheit von der Informationsverarbeitung (siehe auch Abschn. 6.5.1.2) gab es dort immer noch eine feste Zuordnung der beiden Teilsysteme. Beim elektronischen Stellwerk hingegen sind diese Funktionen häufig nicht nur sehr viel weiter räumlich verteilt, was durch die Tendenz zur Zusammenfassung der Bedienung in Betriebszentralen verstärkt wird; es kann nunmehr ein Bedienplatz auch auf mehrere Stellwerke (elektronisch/Relais) einwirken und umgekehrt ein Stellwerk von verschiedenen Bedienplätzen gesteuert werden. Daher werden die Bedienplätze heute nicht mehr als integraler Bestandteil eines ESTW angesehen.

Die im ESTW realisierten Funktionen lassen sich in drei Ebenen einteilen (Abb. 6.24):

- Die **Schnittstellenebene** stellt die Schnittstellen zu allen Techniken her, die auf das Stellwerk einwirken. Hauptsächlich sind das die bei der Leittechnik angesiedelten Bedienplätze sowie die Zuglenkung (ZL, siehe auch Abschn. 9.2.2). Aber auch nur In-

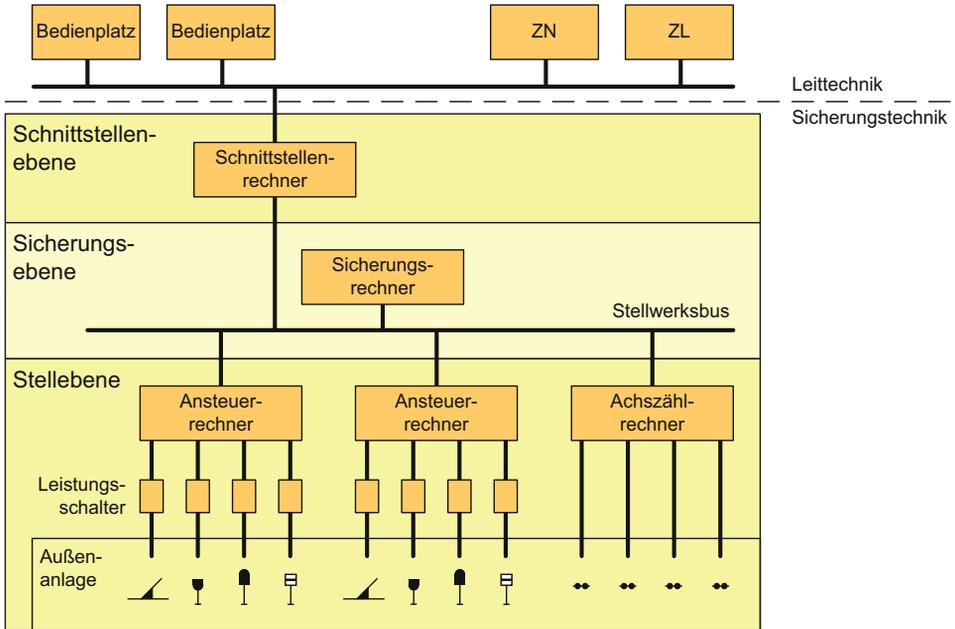


Abb. 6.24 Grundstruktur eines ESTW

formationen lesende Techniken wie die Zugnummernmeldung (ZN, siehe auch Abschn. 9.2.1) greifen hierüber auf Stellwerksinformationen zu.

- Die **Sicherungsebene** stellt die sicherungstechnischen Abhängigkeiten (z. B. Logik der Fahrstraße) her.
- Die **Stellebene** empfängt Zustandswerte der Außenanlage und steuert die Elemente der Außenanlagen (z. B. Weichen) an.

Nicht zuletzt durch die Leistungssteigerung von Rechnern verwischen heute die Grenzen zwischen den Ebenen im Hardwareaufbau von ESTW. Funktional – zumindest in der Software – sind die Ebenen aber weiterhin vorhanden. So können bei kleineren Stellwerken Zentral- und Ansteuerrechner miteinander verschmelzen. Auch gibt es Bauformen mit Zentralrechner, bei denen in den Ansteuerrechnern Teile der Stellwerkslogik abgearbeitet werden. Die Möglichkeiten der technischen Umsetzung sind vielfältig.

Den Ansteuerrechnern nachgelagert sind schließlich die Leistungsschalter, die die elektrische Schnittstelle zu den Außenanlagen herstellen. So wird hier z. B. der Drehstrom für die Weichenantriebe angeschaltet. Die typische Stellentfernung beträgt – wie im Relaisstellwerk – 6,5 km. Bei serieller Ansteuerung von Signalen (siehe auch Abschn. 4.3.3.4) kann diese auch erheblich größer sein.

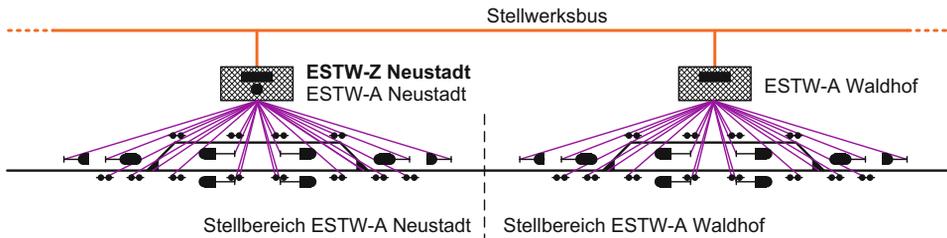


Abb. 6.25 Herkömmliche Anlagenstruktur eines ESTW am Beispiel ESTW-Z

6.6.2.2 Herkömmliche Anlagenstruktur

In Abb. 6.25 ist der typische territoriale Aufbau eines heutigen ESTW dargestellt. Das ESTW-A (abgesetztes/ausgelagertes ESTW) umfasst die Stellebene und Teile der Sicherungsebene; die ESTW-Zentraleinheit die Schnittstellen- und Teile der Sicherungsebene. Nur beide zusammen bilden das Stellwerk. Die ESTW-Zentraleinheit kann allein aufgestellt sein; in den meisten Fällen befindet sie sich jedoch gemeinsam mit einem von ihr abhängigen ESTW-A in einer Unterbringung.

Sind der ESTW-Zentraleinheit ein oder mehrere vollwertige Bedienplätze fest zugeordnet, so spricht man vom ESTW-Z (Zentrale). Diese Bedienplätze können sich am Ort der Zentraleinheit befinden; sie können aber auch ausgelagert sein und z. B. in regionalen Bedienzentralen mit Bedienplätzen anderer ESTW gemeinsam aufgestellt sein.

Bei Einbindung der ESTW-Zentraleinheit in eine Betriebszentrale wird daraus die ESTW-UZ (Unterzentrale) mit entsprechend angepassten Funktionen. In einer UZ befindet sich kein vollwertiger Bedienplatz sondern nur ein Notbedienplatz. Dieser dient der Stellwerksbedienung bei Kommunikationsausfall mit der Betriebszentrale oder für Inbetriebnahme und Instandhaltung.

Um die Beschränkung der Stellentfernung zu überwinden, werden entlang der Strecke mehrere ESTW-A aufgestellt, typischerweise in jeder Zugmeldestelle. Bei großen Bahnhöfen können auch mehrere ESTW-A innerhalb eines Bahnhofs vorgesehen werden. Die Verbindung der ESTW-A untereinander und mit der ESTW-Zentraleinheit geschieht mit einem Datenbus (Stellwerksbus). In jeder Unterbringung einer ESTW-Zentraleinheit bzw. eines ESTW-A befindet sich eine Energieversorgung.

Bis auf wenige Ausnahmen erfolgt die Übertragung von Daten und Energie vom ESTW-A zum Element immer gemeinsam über Kupferkabel, da die Anschaltung der Elemente im ESTW-A erfolgt. Diese sternförmige Struktur mit paralleler Ansteuerung der Elemente hat einen hohen Verkabelungsaufwand zur Folge.

6.6.2.3 Zukünftige Anlagenstruktur

In zukünftigen Anlagen sind die Leistungsschalter näher an den Elementen angeordnet, unter Aufgabe des Strukturelements „ESTW-A“. Hieraus ergibt sich für die Elementansteuerung und -überwachung eine stärkere Dezentralisierung. Ansteuerrechner und Leis-

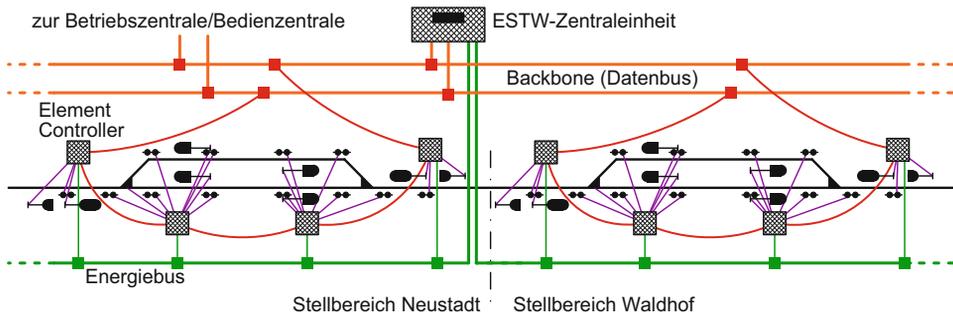


Abb. 6.26 Zukünftige Anlagenstruktur eines ESTW

tungsschalter werden nicht mehr zentral je Zugmeldestelle angeordnet, sondern dezentral entlang der Gleise in Form von Element Controllern. Dadurch verkürzt sich die Länge der Elementansteuerkabel, die Daten und Energie gemeinsam übertragen, während in der Fläche eine Versorgungsstruktur mit Daten und Energie aufgebaut werden muss (Abb. 6.26). Insgesamt jedoch sinkt der Bedarf an Kupfer für Leitungen erheblich, zumal die Datenversorgung auch mit Lichtwellenleitern durchgeführt werden kann. Durch dieses Konzept ist zwischen der Bearbeitung der Stellwerkslogik und dem Element eine strikte Trennung zwischen der Übertragung von Daten und Energie auf einem Großteil der Strecke gegeben.

Die ESTW-Zentraleinheit ist an einen hoch verfügbaren, redundanten Datenbus (Backbone) angeschlossen, der die Betriebsstellen entlang der Strecke erschließt. Außerdem wird über ihn die Verbindung zur betriebsleitenden Stelle hergestellt. In den Betriebsstellen erschließen weitere Bussysteme die Fläche, z. B. in einer die Verfügbarkeit erhöhenden ringförmigen Topologie.

Daneben muss eine Versorgung mit Energie sichergestellt werden. Hierzu dient ein Energiebus, der mit einer einheitlichen Spannung alle Element Controller versorgt und von verschiedenen Technikstandorten (z. B. ESTW-Zentraleinheit) gespeist werden kann. Zur Erhöhung der Verfügbarkeit ist auch eine zweiseitige, redundante Speisung möglich.

Die Bearbeitung der Stellwerkslogik erfährt eine höhere Zentralisierung und findet nun ausschließlich in der ESTW-Zentraleinheit statt, da das ESTW-A der herkömmlichen Anlagenstruktur entfällt. Die Stellbereiche ergeben sich nicht mehr wie in der herkömmlichen Anlagenstruktur über das jeweils übergeordnete ESTW-A. Vielmehr müssen sie nun nach örtlichen Gesichtspunkten festgelegt werden; das Ergebnis wird sich aber nur wenig von den heutigen Zuschnitten (in der Regel eine Zugmeldestelle) unterscheiden.

6.6.2.4 Sicherheits- und Verfügbarkeitskonzepte

Je nach Sicherheits- und Verfügbarkeitsanforderungen werden die in Abschn. 3.7 beschriebenen Konfigurationen angewandt. Für Fernbahn-ESTW wurde in der Anfangszeit eher das 2(2v2)-System eingesetzt, das modernere Konzept ist jedoch das 2v3-System,

was sich mehr und mehr durchsetzt. Bei Bahnen mit geringerer Verfügbarkeitsanforderung kann auch gänzlich auf eine Verfügbarkeitsreserve verzichtet werden.

6.6.3 Software im ESTW

6.6.3.1 Softwarestruktur

Die Software eines elektronischen Stellwerks lässt sich in drei Teile gliedern, die herstellerabhängig unterschiedlich genannt werden können:

- Die **Grundsoftware** realisiert das Betriebssystem und lässt die Hardware zusammenarbeiten.
- Die **Stellwerkssoftware** umfasst die zum Betrieb eines Stellwerks notwendigen sicherungstechnischen Funktionen. Hier ist die Stellwerkslogik des Infrastrukturbetreibers abgelegt.
- Die **Anlagensoftware** beinhaltet die spezifischen Eigenschaften der Anlage, die mit dem Stellwerk gesteuert werden soll. Dazu gehören u. a. die einzelnen Fahrstraßenbedingungen und Signalbegriffe.

Bei der Projektierung eines Stellwerks ist nur die Anlagensoftware zu erstellen. Änderungen im Regelwerk des jeweiligen Betreibers erfordern dagegen Änderungen in der Stellwerkssoftware.

6.6.3.2 Prinzipien der Fahrstraßenbildung

Wie beim Relaisstellwerk, kann zur Fahrstraßenbildung im ESTW das tabellarische oder das topologische Prinzip angewandt werden (siehe auch Abschn. 5.2.2.2). Die beim Relaisstellwerk noch deutlichen Unterschiede kommen beim ESTW nicht mehr zum Tragen. In heutigen ESTW wird sowohl das eine als auch das andere Prinzip verwendet. Die Anwendung ist damit nur noch ein Charakteristikum des jeweiligen Herstellers. Beim tabellarischen Prinzip in ESTW ist es jedoch im Unterschied zur Relaisstechnik üblich, dass jeder Gleisfreimeldeabschnitt eine Teilfahrstraße bildet, was somit Bestandteil der Stellwerkslogik ist und nicht separat geplant werden muss.

6.6.4 Bedieneinrichtungen für ESTW

6.6.4.1 Zentralisierung in der Bedienung

Elektronischen Stellwerken regionaler Bedeutung ist in der Regel ein Bedienplatz fest zugeordnet. Diese Bindung galt in der Anfangszeit für alle ESTW; heute können bestimmte ESTW-Bauformen verschiedenen Bedienplätzen zugeordnet werden, was in Betriebszentralen Anwendung findet.

Abb. 6.27 Bedienplatz eines ESTW



6.6.4.2 Ein- und Ausgabegeräte

Zur Informationsausgabe werden heute meist mehrere Farbmonitore für einen Bedienplatz genutzt (Abb. 6.27). Die Eingabe erfolgt mit der Maus, nur für wenige Bedienungen ist die Tastatur erforderlich.

6.6.4.3 Sichere und nicht sichere Bedienoberfläche

Die Bedien- und Anzeigegeräte können sicher oder nicht sicher sein. Für Regelbedienungen ist die Unterscheidung nicht relevant, da die Sicherheit durch das Stellwerk hergestellt wird. Eine Fehlbedienung oder die Verfälschung einer Bedieneingabe wären allenfalls betrieblich nachteilig (z. B. bei einer Fehlleitung).

Bedienungen jedoch, bei denen der Bediener unmittelbar Sicherheitsverantwortung übernimmt, gestalten sich bei sicheren und nicht sicheren Bedienplätzen unterschiedlich. Solche Bedienungen können im Störfall z. B. eine Ersatzsignalbedienung sein oder im Regelbetrieb beispielsweise die Bestätigung der visuellen Freiprüfung des Gefahrenraums von Bahnübergängen. Eine verfälschte Anzeige oder Bedienung könnte sich gefährlich auswirken, so dass spezielle Maßnahmen dagegen ergriffen werden müssen, die sich bei sicheren und nicht sicheren Bedienoberflächen unterscheiden.

Sichere Bedienoberfläche

Die sichere Bedienoberfläche ist für deutsche Stellwerke der Regelfall. Dabei werden unterschiedliche Informationskanäle des Stellwerks genutzt, um eine sichere Anzeige zu erzeugen (Sicherheitsverdopplung). Die Übertragung sicherheitsrelevanter Befehle geschieht ebenfalls mit einem speziellen Verfahren. Nach Eingabe erfolgt eine Eingabespiegelung, indem der Befehl auf den Bedienplatz zurück gelesen und dort auf einer sicheren Anzeige dargestellt wird. Die zweite Eingabe erfolgt danach in Form einer Bestätigung (Kommandofreigabe). Spezielle Funktionsanzeigen dienen der Überprüfung des ordnungsgemäßen Wirkens und sind bei sicherheitsrelevanten Bedienungen stets zu prüfen.

Die Realisierung der sicheren Anzeige und Bedienung erfordert erheblichen technischen Mehraufwand. Vorteilhaft ist, dass im Störfall durch den Eingriff des Bedieners der Betrieb – ggf. mit Einschränkungen – sofort weitergeführt werden kann, was sich positiv auf die Verfügbarkeit des Fahrwegs auswirkt. Nachteilig ist jedoch, dass, bedingt durch die vergleichsweise hohe Fehlerrate des Menschen (siehe auch Abschn. 3.5) nun ein potenziell geringeres Sicherheitsniveau herrscht, da sich eine Fehlhandlung des Bedieners unmittelbar gefährlich auswirken kann.

Die Versagenswahrscheinlichkeit auch nicht sicherer Technik kann mit mehreren Zehnerpotenzen geringer angenommen werden, als die Fehlerwahrscheinlichkeit des Menschen. Deshalb hat die Gestaltung sicherer Bedienplätze eher juristischen Charakter, da hierdurch bei einer Unregelmäßigkeit ausgeschlossen wird, dass der Fehler bei der Technik liegt [PA10].

Nicht sichere Bedienoberfläche

Bei einer nicht sicheren Bedienoberfläche dürfen darüber keine unmittelbar sicherheitsrelevanten Handlungen ausgeführt werden. Um eine sicherheitsrelevante Bedienung wirksam werden zu lassen, sind weitere Bedingungen zu erfüllen, wie z. B. das Mitwirken vor Ort befindlichen Personals.

Stellwerke mit nicht sicherer Bedienoberfläche werden im EBO-Bereich nur auf Bahnen untergeordneter Bedeutung sowie im Bereich der BOStrab angewandt. Die Mehrheit der Bahnen im Ausland arbeitet ebenfalls mit nicht sicheren Bedienoberflächen.

Um in der Rückfallebene dennoch Sicherheit zu gewährleisten, werden verschiedene Verfahrensweisen angewandt, u. a.:

- **Mitwirkung vor Ort befindlichen Personals:** Da durch die Zentralisierung der Stellwerksbedienung der Triebfahrzeugführer das einzige vor Ort befindliche Betriebspersonal ist, muss meist dieser mitwirken. Im Wesentlichen geschieht die Mitarbeit durch das Fahren auf Sicht.
- **Zeitverzögertes Ausführen von Hilfsaktionen**, z. B. Fahrstraßenhilfsauflösung: Zunächst muss für die entsprechende Fahrstraße das Startsignal in die Haltstellung gebracht werden. Die Hilfsauflösung wird erst nach einer projektierbaren Zeitverzögerung wirksam, da dann davon ausgegangen werden kann, dass ein eventuell in die Fahrstraße eingefahrener Zug mit hoher Wahrscheinlichkeit die Fahrt beendet hat.

Die Leistungsfähigkeit der Verfahren der Rückfallebene ist hier geringer als bei sicheren Bedienoberflächen; dadurch, dass eine fehlerhafte Handlung eines Menschen nicht unmittelbar gefährlich wirken kann, jedoch tendenziell etwas sicherer.

6.6.4.4 Bedienplatz

In ESTW mit sicherer Bedienoberfläche werden die sicherheitsrelevanten Anzeigen mit dem Lupenbild dargestellt. Es zeigt den Zustand des Stellwerks in einer hohen Detailtiefe und entspricht damit in etwa dem Anzeigebereich von Relaisstellwerken. Neben der Lupe

Abb. 6.28 Ausschnitt aus dem Bild einer Berü

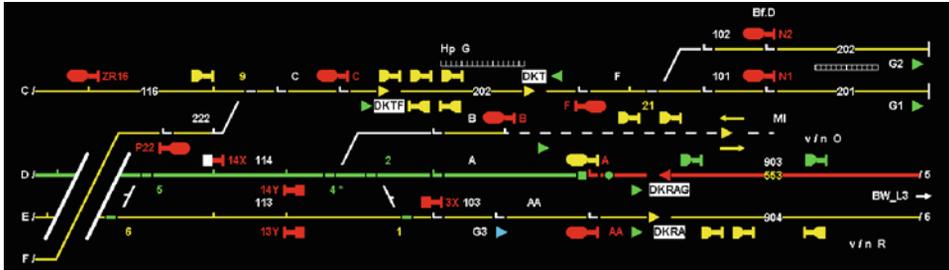
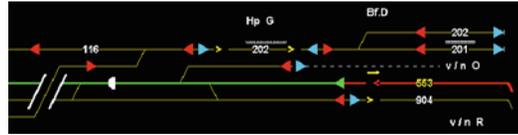


Abb. 6.29 Identische Infrastruktur aus Abb. 6.28 in einem Lupenbild

existiert die Bereichsübersicht (Berü), die als nicht sicher gilt, weniger Details zeigt und damit auf einem Monitor einen größeren Bereich anzeigen kann (Abb. 6.28). Regelbedienungen werden mit der Berü vorgenommen. Nur für die Bedienung von Einzelelementen und bei sicherheitsrelevanten Bedienungen muss die Lupe (Abb. 6.29) verwendet werden.

Bei dem Bedienplatz in Abb. 6.27 sind rechts sowie in der Mitte unten Lupenbilder aufgeschaltet. Der obere Monitor in der Mitte zeigt ein Berü-Bild (siehe auch Abschn. 6.6.4.3). Der linke Bildschirm ist die Kommunikationsanzeige, mit dem textbasierte Meldungen des Stellwerks ausgegeben sowie Verwaltungsaufgaben (z. B. Aufschalten verschiedener Monitorbilder) durchgeführt werden können.

6.6.5 Fahrstraßenlogik

Im Folgenden werden die Stufen des Fahrstraßenaufbaus einer Zugstraße mit den wesentlichen Eigenschaften in einem ESTW vorgestellt. Durch die Möglichkeiten, komplexere Informationen zu verarbeiten – im Gegensatz zu Hebelstellwerken – sind bei ESTW (und teilweise auch bei Relaisstellwerken) die Inhalte der Stufen differenzierter. Beispielsweise werden in einem Hebelstellwerk in der ersten Sicherungsstufe des Fahrstraßenaufbaus (Fahrstraßenverschluss) alle zur Fahrstraße gehörenden Fahrwegelemente verschlossen; bei ESTW sind es in der ersten Stufe (FÜMbli, siehe Abschn. 6.6.5.2) nur die im befahrenen Teil der Fahrstraße liegenden. Insofern werden hier die in Abschn. 5.2 getroffenen, allgemeinen Aussagen zu Fahrstraßen in der Anwendung mit ESTW präzisiert.

In dem Zusammenhang wird auf die Visualisierung auf dem Lupenbild eingegangen. Dabei gilt grundsätzlich: belegte oder gestörte Gleisabschnitte mit Gleisfreimeldeanlage werden rot dargestellt, unabhängig von ihrem sonstigen Zustand. Abbildung 6.30 zeigt

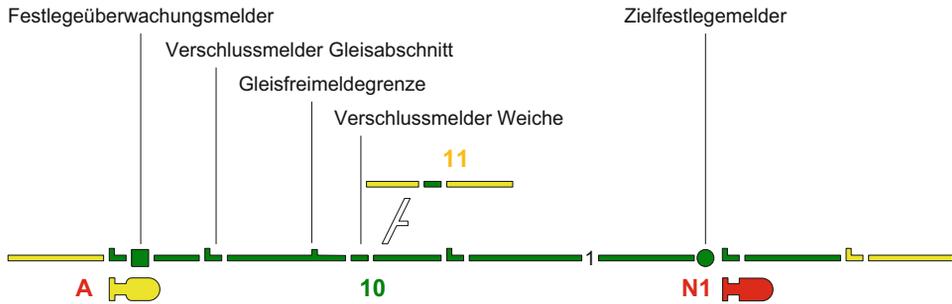


Abb. 6.30 Elemente einer eingestellten Zugstraße auf dem Lupenbild, alle Gleisabschnitte sind frei

beispielhaft eine Zugstraße vom Einfahrtsignal A zum Ausfahrtsignal N1 mit der befahrenen Weiche 10 und der Flankenschutzweiche 11.

6.6.5.1 Fahrstraßenzulassungsprüfung

Bei positiver Zulassungsprüfung (siehe auch Abschn. 5.2.2.1) erscheint das „grüne Band“ auf dem Lupenbild. Mit dem „grünen Band“ werden die zur Zugstraße gehörenden Gleise und Weichen grün dargestellt. Die wesentlichen Bedingungen für eine positive Fahrstraßenzulassungsprüfung sind:

- kein Verschluss durch andere Fahrstraßen,
- keine Befahrbarkeitssperren,
- keine Sperrung von Fahrwegelementen in der Nicht-Solllage,
- Vorliegen der Erlaubnis bei Ausfahrten.

Während des Umstellens einer Weiche blinkt der Stellungsmelder der Solllage. Liegt die Weiche im Bereich des befahrenen Teils oder des Durchrutschweges einer Zugstraße, für die die Zulassungsprüfung positiv war, blinkt der Stellungsmelder grün.

6.6.5.2 Festlegeüberwachungsmelder blinkend (FÜMBli)

Die nächste Stufe im Fahrstraßenaufbau ist „Festlegeüberwachungsmelder blinkend (FÜMBli)“. Der Zustand wird auch „Sicherung auf Rangierstraßenniveau“ genannt, da die hiermit erfüllten Bedingungen für eine Rangierstraße ausreichen. Damit das Stadium FÜMBli erreicht werden kann, müssen

- alle Weichen, Kreuzungen und Schlüsselsperren im befahrenen Teil der Fahrstraße verschlossen und überwacht

sein, was am Verschlussmelder der betreffenden Elemente erkennbar ist. Damit entspricht es dem Verschluss beim Fahrstraßenaufbau. Da noch kein Hauptsignal auf Fahrt gestanden haben kann, ist die Auflösung ohne zählpflichtige Handlung möglich.

6.6.5.3 Festlegeüberwachungsmelder Ruhelicht (FÜMR)

Der Zustand „Festlegeüberwachungsmelder Ruhelicht (FÜMR)“ entspricht der Festlegung einer Fahrstraße. Neben dem Festlegeüberwachungsmelder erscheint am Fahrstraßenziel der Zielfestlegemelder (ZFM). Eine Rücknahme ist jetzt nur noch mit registrierpflichtiger Bedienung möglich. Dafür müssen im Wesentlichen folgende Bedingungen dauerhaft erfüllt sein:

- Alle Gleisfreimeldeabschnitte im befahrenen Teil und im Durchrutschweg sind freigemeldet.
- Alle Fahrwegelemente im befahrenen Teil und im Durchrutschweg sind festgelegt (Ausnahme: auffahrbare, stumpf berutschte Weichen, siehe Abschn. 5.2.3.5). Die Festlegung wird im Lupenbild nicht elementweise gekennzeichnet, sie ist nur am Festlegeüberwachungsmelder und am Zielfestlegemelder erkennbar, die damit eine Art „Sammelmeldung“ über die Festlegung der Elemente abgeben.
- Alle Flankenschutzelemente sind in der Flankenschutz bietenden Lage verschlossen, Schlüsselsperren im Flankenschutzraum sind verschlossen und überwacht, der Flankenschutzraum ist freigemeldet. Der Verschlussmelder Flankenschutz bietender Weichen und Gleissperren leuchtet grün. Flankenschutz bietende Signale werden auf der Lupe nicht besonders gekennzeichnet. Der Bezeichner der Flankenschutz suchenden Weiche leuchtet grün, wenn der Flankenschutz vorhanden ist.
- Ist das Ziel ein Zwischen- oder Ausfahrtsignal, so muss der zuletzt auf dieses Signal gefahrene Zug durch dieses Signal in Haltstellung gedeckt gewesen sein. Außerdem darf das Signal nicht störungsbedingt dunkel sein und keinen Ersatzauftrag zeigen. Letzteres wird nur bei Einstellung der Fahrstraße geprüft, so dass die Fahrstraße bestehen bleibt, wenn nach Einstellung am Zielsignal ein Ersatzauftrag gegeben wird.
- Sperrsignale am Fahrweg zeigen „Fahrverbot aufgehoben“ bzw. „Rangierfahrt erlaubt“.
- Zusatzsignale am Fahrweg zeigen den für diese Fahrstraße projizierten Begriff.
- Ist der Start ein Ausfahrtsignal, müssen die Erlaubnis sowie die Bedingungen des Folgefahrerschutzes bis zur nächsten Zugfolgestelle vorliegen.
- Ein Hp-überwachter Bahnübergang (siehe auch Abschn. 8.3.3.1) im befahrenen Teil und bei Ausfahrten im anschließenden Zugfolgeabschnitt muss gesichert sein.
- Ein Bahnübergang im Sicherheitsabstand innerhalb des Durchrutschweges bekommt einen Einschaltstoß, wird aber nicht überwacht. Allerdings wird die manuelle Ausschaltung durch den Fahrdienstleiter verhindert.

6.6.5.4 Fahrstraßenauflösung

Nach Auflösung der ersten Teilfahrstraße erlischt der FÜM, während der ZFM darüber hinaus aktiv bleibt. Von aufgelösten Teilfahrstraßen erlöschen das „grüne Band“ und die Verschlussmelder der befahrenen und der Flankenschutzelemente.

Mit Erreichen des letzten Freimeldeabschnitts vor dem Zielsignal (meist das Zielgleis) beginnt die zeitgesteuerte Durchrutschwegauflösung, der ZFM blinkt. Nachdem die

projektierte Zeit abgelaufen ist, wird der Durchrutschweg aufgelöst. Das „grüne Band“ und die Verschlussmelder der Elemente im Durchrutschweg erlöschen. Sind vorher alle Teilfahrstraßen korrekt aufgelöst worden, erlischt der ZFM, ansonsten zeigt er wieder Ruhelicht.

6.7 Nichtselbsttätiger, dezentraler Streckenblock

6.7.1 Felderblock

Der Felderblock wird in mechanischen und elektromechanischen Stellwerken eingesetzt und arbeitet mit Wechselstromblockfeldern (siehe auch Abschn. 6.3.4.1). Alternativ kommt in elektromechanischen Stellwerken auch der Magnetschalterblock zur Anwendung, der anstatt mit Blockfeldern mit speziellen Blockrelais („Magnetschalter“) arbeitet und alle Abhängigkeiten elektrisch über Kontakte herstellt.

In der Regel wird der Folge- und Gegenfahrerschutz auf der freien Strecke mit drei Blockfeldern (Abb. 6.31) hergestellt:

- Anfangsfeld für das Sperren der Strecke nach Fahrt eines Zuges auf die Strecke,
- Endfeld für die Freigabe der Strecke nach Ankunft eines Zuges von der Strecke,
- Erlaubnisfeld für die Vereinbarung und Sicherung der Fahrtrichtung auf Streckengleisen, die regulär in beiden Richtungen genutzt werden.

Anfangs- und Endfelder finden sich auf Zugfolgestellen, Erlaubnisfelder nur auf Zugmeldestellen. Sie wirken ausschließlich auf Hauptsignale.

Vorblock

Um einen ausgefahrenen Zug gegen nachfolgende Züge zu sichern, müssen alle auf die Strecke weisenden Signale in der Haltstellung verschlossen werden. Das Anfangsfeld ver-

Abb. 6.31 Streckenblockfelder des Felderblocks



hindert, dass im geblockten Zustand ein zu sperrendes Signal auf Fahrt gestellt werden kann.

Die Streckenwiederholungssperre (siehe auch Abschn. 5.3.2.3) sperrt nach der Haltstellung des Signals alle betreffenden Signalhebel noch bevor vorgeblockt wird. Durch den Rückblock wird die Wiederholungssperre in die Grundstellung (entsperrt) gebracht.

Rückblock

Die wichtigste Funktion beim Rückblock nimmt der Bediener ein, der mit der Kontrolle des Zugschlusses an der Signalzugschlussstelle die Freimeldung von Strecke und Durchschwerg hinter dem Einfahrtsignal übernimmt.

Die Rückblockentsperrung (siehe auch Abschn. 5.3.2.3) wird durch eine Tastensperre über dem Endfeld realisiert, die die Bedienung des Endfeldes erst dann ermöglicht, wenn der Zug den Gefahrenpunkt des Einfahrtsignals passiert hat. Die Ortung des Zuges erfolgt durch eine Isolierte Schiene (siehe auch Abschn. 4.1.6).

Erlaubniswechsel

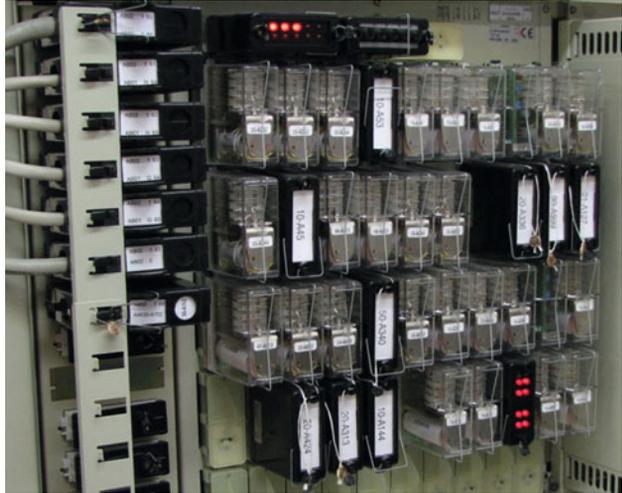
Das Erlaubnisfeld hat keine Grundstellung, da die beiden Fahrrichtungen gleichberechtigt sind. In geblockter Stellung sind – wie beim Anfangsfeld – alle auf die betreffende Strecke weisenden Ausfahrtsignale gesperrt. Die Erlaubnis kann nur abgegeben werden, wenn die entsprechenden Signale in der Haltstellung sind und die Wiederholungssperre nicht eingefallen ist.

6.7.2 Relaisblock und automatisierter Relaisblock

Der Relaisblock wurde ursprünglich für Relaisstellwerke entwickelt und ist zum Felderblock kompatibel (Abb. 6.32). Statt Blockfelder finden Blockrelais (siehe auch Abschn. 3.6.3.3) Verwendung, für die mittlerweile auch eine elektronische Variante zur Verfügung steht. Gewohnheitsmäßig wird dennoch von Blockfeldern gesprochen. Aufgrund seiner Kompatibilität zu Alttechniken wird der Relaisblock auch als Schnittstelle zwischen ESTW und Altstellwerken verwendet.

Der Vorblock wird beim Relaisblock automatisch nach Ausfahrt des Zuges aufgelöst. Ist auf der Strecke keine Gleisfreimeldeanlage installiert, muss der Rückblock durch den Bediener nach Beobachtung des Zugschlusses erfolgen. (Die Haltstellung des deckenden Signals wird technisch geprüft.) Bei Vorhandensein einer Gleisfreimeldeanlage kann der Relaisblock automatisiert und somit auf den Bediener verzichtet werden. Trotz dieser Automatisierung bleibt das System ein nichtselbsttätiger Block, da bei Störung der Gleisfreimeldeanlage ein Bediener ersatzweise die Freiprüfung durch Zugschlussbeobachtung übernehmen kann.

Der Erlaubniswechsel wird in der Regel durch den Bediener initiiert, jedoch ist auch die Einrichtung einer Vorzugslage der Erlaubnis möglich.

Abb. 6.32 Relaisblockgruppe

Zur Rationalisierung erfolgte die Weiterentwicklung zum einfeldrigen Block, der nur noch ein Blockrelais besitzt. Dies wurde durch zwei Maßnahmen erreicht:

- Wegfall des Endfeldes: Da das Endfeld vorrangig der Bedienung und Anzeige dient, wurde seine Funktion durch ein gewöhnliches Signalrelais ersetzt.
- Zusammenfassung von Anfangs- und Erlaubnisfeld: Beide Blockfelder wirken auf die gleichen Signale. Zur Unterscheidung der jeweiligen Funktion (Vorblick/Erlaubniswechsel) wird die Stellung der Streckenwiederholungssperre (bistabiles Relais) ausgewertet.

6.7.3 Trägerfrequenzblock

Der Trägerfrequenzblock ist eine einfache Blockbauform für eingleisige Strecken ohne Blockstellen zwischen den Zugmeldestellen. Er ist nicht mit den oben genannten Blocktechniken kompatibel und wurde eingeführt, um auf Strecken untergeordneter Bedeutung kostengünstig einen Streckenblock nachzurüsten.

Hierzu werden die Blockinformationen über zwei für Sprachkommunikation benutzte Adern des Streckenkabels übertragen. Ein spezielles Verfahren mit einer Trägerfrequenz von 10 kHz für die eine und 14 kHz für die andere Richtung stellt die Übertragung sicher. Durch diese Frequenzen kann der Block parallel zum Fernsprecbetrieb arbeiten. Mit vier Modulationsfrequenzen werden die Informationen Vorblick, Rückblock, Erlaubnis und Fahrtrichtungsmeldung übertragen.

Die Auslösung des Vorblocks geschieht automatisch mit der Ausfahrt durch Befahren eines Gleisschaltmittels. Nach Befahren der Einwirkstelle auf der Gegenblockstelle, Halt-

stellung des Signals und Tastenbedienung nach Beobachtung des Zugschlusses wird der Rückblock ausgelöst.

6.8 Selbsttätiger, dezentraler Streckenblock

Aufgrund der Bedienungszeit sind bei örtlich besetzten Blockstellen Blocklängen von weniger als 2–3 km nicht leistungssteigernd. Um geringere Blocklängen zu erzielen und Personal auf den Blockstellen einzusparen, wurden selbsttätige Streckenblockbauformen entwickelt. Voraussetzung hierfür ist eine Gleisfreimeldeanlage.

Da diese Bauformen zur Zeit der Relaisstellwerke entwickelt wurden, arbeiten sie auch nur mit Relaisstellwerken zusammen; allerdings sind nur bestimmte Stellwerksbauformen mit bestimmten Blockbauformen kompatibel. Mit dem Aufkommen von ESTW wurden für sie ebenfalls Schnittstellen zu diesen Blocktechniken entwickelt.

Da die Übertragung meist über lange Strecken erfolgt und die Übertragung des Rückblocks hochgradig sicherheitsrelevant ist, wird für die Übertragung ein codierter Wechselstrom genutzt. Deutsche Blocksysteme nutzen die Frequenz- und Phasencodierung, ausländische Systeme auch Impulscodierung.

Die Steuerung des Blocks erfolgt im Regelfall ausschließlich durch Einwirkung des Zuges auf die Ortungskomponenten. Hierdurch wird z. B. das Signal am Beginn eines Blockabschnitts auf Halt gestellt, wenn der Zug in diesen einfährt. Verlässt er den Abschnitt, geht das Signal wieder in die Fahrtstellung. Daher zeigen die Blocksignale, bei vorhandener Erlaubnis, in Grundstellung Fahrt. Eine Ausnahme davon bilden Blocksignale, die Bahnübergänge decken (siehe auch Abschn. 8.3.3.1).

Der für den DV-Bereich entwickelte selbsttätige, dezentrale Streckenblock ist der **Automatikblock**, der in verschiedenen Bauformen vom WSSB gefertigt wurde und mit HI-Signalen arbeitet. Die ausgereifteste Entwicklung erreichte dabei der AB 70, der wegen seiner universellen Verwendbarkeit die heute dominierende Bauform unter den Automatikblöcken ist. Die Verbreitung des Automatikblocks geht allerdings zurück, da die Strecken seines Einsatzgebietes mehr und mehr mit ESTW ausgerüstet werden. Zur Übertragung wird die Phasencodierung genutzt. In der empfangenden Blockstelle erfolgt die Auswertung des Blockstroms durch Motorrelais (siehe auch Abschn. 3.6.3.3).

Weit größere Verbreitung besitzt heute noch der nur im DS-Bereich eingesetzte **Selbstblock**, der für H/V-Lichtsignale entwickelt wurde. Dabei ist die verbreitetste Bauform der Sb 60. Der Selbstblock arbeitet in der Übertragung mit frequenzcodiertem Wechselstrom.

6.9 Zentraler Streckenblock

Seit etwa 1980 werden auch Fahrstraßen zur Fahrwegsicherung auf der freien Strecke eingesetzt. Da die Logik zentral angeordnet ist, wurde diesen Techniken der Name „Zentralblock“ gegeben.

Wie bei der Technologie Fahrstraße üblich, erfolgt – im Gegensatz zur Technologie Blockinformation – die Sicherung erst unmittelbar vor der Zugfahrt (siehe auch Abschn. 5.1.1.5). Daher ist die Grundstellung der Zentralblocksignale Halt. Um dennoch vollautomatisch zu arbeiten, bedarf es eines Einstellanstoßes. Die erste Zentralblockfahrstraße wird durch die Ausfahrt aus der Zugmeldestelle angestoßen. Daraufhin werden dominoartig alle weiteren Zentralblockfahrstraßen eingestellt bis zum Einfahr- oder Blocksignal der nächsten Zugmeldestelle.

Eine besondere Funktion von Zentralblockfahrstraßen ist die Erlaubnisabhängigkeit. Da, wie in Abschn. 5.3.3.1 gezeigt wurde, die Vereinbarung über die Richtung nur zwischen Zugmeldestellen sinnvoll ist, müssen alle Fahrstraßen eines Zugmeldeabschnitts die gleiche Erlaubnisrichtung besitzen.

Eine Weiterentwicklung des Zentralblocks ist der LZB-Block. Hierbei ist es im Zusammenhang mit einer Führerraumsignalisierung möglich, teilweise auf ortsfeste Signale zu verzichten. Die verbliebenen ortsfesten Signale stehen im Ganzblock, weitere Unterteilungen ohne Signale bilden Teilblöcke. Nähere Ausführungen dazu enthält Abschn. 7.1.3.

Zur Steigerung der Kapazität wurde der Hochleistungsblock, ebenfalls ein Zentralblock, entwickelt. Ziel war es dabei, die Streckenkapazität durch eine dichtere Zugfolge zu erhöhen. Dies wird durch mehrere Maßnahmen erreicht:

- Kürzere Blockabschnitte, in der Nähe von Bahnhöfen deutlich kürzer, um bei Beschleunigungsvorgängen eine konstante Verweildauer im Teilblockabschnitt zu erzielen,
- Teilblöcke auch im Bahnhof,
- Geschwindigkeitsvorgaben nicht ab Hauptsignal, sondern ab dem geschwindigkeitsbestimmenden Element.

Während die ersten Bauformen des Zentralblocks noch auf Relais-technik basierten, sind moderne Bauformen heute Bestandteil des ESTW. Die Übertragung der Informationen zwischen ESTW erfolgt dabei mittels Bustechnik.

Die Fahrwegsicherung stellt mit einer hohen Sicherheit die richtigen Signalbegriffe bereit. Überließe man deren Beachtung allein dem Triebfahrzeugführer, wäre die Sicherheit hier wesentlich geringer, als an den technisch gesicherten Stellen. Die Überwachung der Reaktion auf die Signalisierung ist Aufgabe der Zugbeeinflussung.

7.1 Allgemeines

7.1.1 Anforderungen

Die Systemeigenschaften von Schienenbahnen, insbesondere die langen Bremswege, erfordern es, dass die Beachtung der Signalbegriffe unbedingt sichergestellt wird. Bei moderner Technik und außerhalb des automatischen Fahrens ist der Mensch als Regler der Geschwindigkeit die entscheidende Schwachstelle im Regelkreis der Betriebssicherheit (siehe auch Abschn. 2.2.2), da menschliche Handlungen einer weitaus höheren Fehlerrate unterliegen als technische. Werden restriktive Begriffe wie Halt oder eine Geschwindigkeitsbeschränkung nicht befolgt, können Gefährdungen oder gar Unfälle durch Kollision bzw. Entgleisung entstehen.

Mit Hilfe der Zugbeeinflussung wird in unterschiedlicher Qualität erreicht, dass der Triebfahrzeugführer die Signale aufnimmt und darauf reagiert. Außerdem können Zugbeeinflussungssysteme zulässige Geschwindigkeiten derart überwachen, dass bei Überschreitung die Fahrt in Form einer Bremsung beeinflusst wird.

Die EBO fordert im § 15 für Hauptbahnen: „Strecken müssen mit Zugbeeinflussung ausgerüstet sein, durch die ein Zug selbsttätig zum Halten gebracht . . . werden kann.“

Für Nebenbahnen ist Zugbeeinflussung nur vorgeschrieben, wenn

- mehr als 80 km/h gefahren wird oder
- mehrere Züge gleichzeitig verkehren und

- Reisezugverkehr stattfindet oder
- mehr als 50 km/h zugelassen sind.

Weiterhin fordert die EBO: „Strecken, auf denen mehr als 160 km/h zugelassen sind, müssen mit Zugbeeinflussung ausgerüstet sein, durch die ein Zug selbsttätig zum Halten gebracht und außerdem geführt werden kann.“ Diese zweite Forderung resultiert daher, dass bei höheren Geschwindigkeiten die Beachtung ortsfester Signale durch den Triebfahrzeugführer nicht mehr sicher gewährleistet werden kann. Außerdem ist der häufigste Regelvorsignalabstand von 1000 m für eine Bremsung aus 160 km/h auf Halt gerade ausreichend. Die Information über die Stellung des Hauptsignals muss demnach bei höheren Geschwindigkeiten noch deutlich vor dem regulären Vorsignalstandort übertragen werden. Das kann nur durch eine Führerraumsignalisierung erreicht werden.

7.1.2 Systematisierung

Die Einrichtungen der Zugbeeinflussung setzen sich aus der Streckeneinrichtung und der Fahrzeugeinrichtung zusammen.

Zugbeeinflussungen können nach mehreren Kriterien unterschieden werden:

- Ausdehnung des Übertragungsortes,
 - diskontinuierlich (punktförmig bzw. teilweise linienförmig),
 - kontinuierlich (linienförmig),
- Ausdehnung der Überwachung,
 - diskontinuierlich (punktförmig bzw. unterbrochen linienförmig),
 - kontinuierlich,
- Physikalische Art der Informationsübertragung zwischen Strecke und Fahrzeug,
 - mechanisch,
 - optisch,
 - galvanisch,
 - induktiv (nieder- und hochfrequent).

7.1.2.1 Ausdehnung des Übertragungsortes

Die Ausdehnung des Übertragungsortes wird nach diskontinuierlich (meist punktförmig) und kontinuierlich unterschieden. Ein wesentlicher Vorteil der kontinuierlichen Übertragung gegenüber der punktförmigen ist, dass Sollwertänderungen wie z. B. das Aufwerten eines Signalbegriffes oder die Haltstellung in einer Notsituation sofort an das Fahrzeug übertragen werden können. Allerdings verursacht die kontinuierliche Übertragung einen höheren Aufwand. Ein Kompromiss ist die teilweise kontinuierliche Übertragung an solchen Stellen, wo die sofortige Übertragung besonders effektiv ist, wie z. B. vor Hauptsignalen.

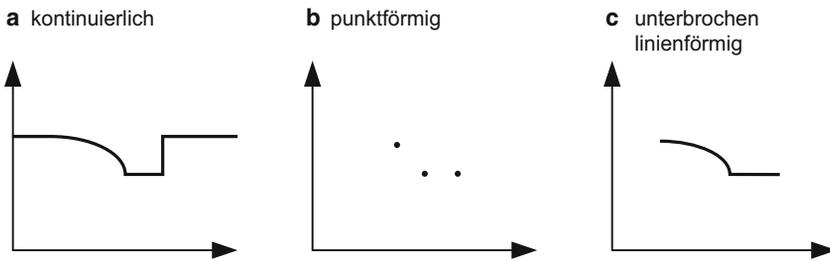


Abb. 7.1a–c Mögliche Arten der Ausdehnung der Überwachung

Durch eine kontinuierliche Übertragung kann die Leistungsfähigkeit von Strecken erhöht werden. Außerdem schafft sie die Voraussetzungen für eine Führerraumsignalisierung (siehe auch Abschn. 7.1.3). Weiterhin ist die kontinuierliche Übertragung eine Voraussetzung für das automatische Fahren.

7.1.2.2 Ausdehnung der Überwachung

Die Überwachung kann ebenfalls nach diskontinuierlich und kontinuierlich (Abb. 7.1a) unterschieden werden, wobei die diskontinuierliche Überwachung wiederum nach punktförmig (Abb. 7.1b) und unterbrochen linienförmig (Abb. 7.1c) unterschieden werden kann.

Unter Sicherheitsaspekten ist eine kontinuierliche Überwachung der diskontinuierlichen vorzuziehen. Bei der punktförmigen Überwachung besteht der Nachteil, dass die Geschwindigkeit zwischen zwei Prüfpunkten so weit erhöht werden kann, dass die Geschwindigkeit am zweiten Prüfpunkt einen zu langen Bremsweg für eine gefahrlose Bremsung hervorruft. Einen Kompromiss, der bei punktförmiger Übertragung zur Anwendung kommen kann, ist die teilweise kontinuierliche Überwachung nach einem Beeinflussungspunkt.

Eine Zugbeeinflussung mit kontinuierlicher Übertragung und Überwachung ermöglicht das Fahren mit höheren Geschwindigkeiten und ist damit ein wichtiger Bestandteil von Hochgeschwindigkeitssystemen.

7.1.2.3 Physikalische Wirkprinzipien der Übertragung

Physikalisch kommt heute fast ausschließlich die elektromagnetische Informationsübertragung zur Anwendung, da hierbei die Information berührungslos übertragen wird. Nur vereinzelt finden sich noch Systeme mit mechanischer und im Ausland auch mit galvanischer Informationsübertragung.

Bei der elektromagnetischen Informationsübertragung werden die Informationen durch elektromagnetische Induktion übertragen. Die Übertragung kann örtlich punktförmig oder linienförmig erfolgen. Prinzipiell bestehen zwei Möglichkeiten für den übertragenen Informationsumfang:

- Einzelinformation (1 Bit): Induktion durch Bewegung eines Leiters im elektrischen Feld.
- Mehrfachinformation (> 1 Bit): Durch auf eine hochfrequente Wechselspannung aufmodulierte Signale können komplexe Datentelegramme übertragen werden. Anwendung findet das z. B. bei Systemen mit Balisen oder bei Übertragung durch Mobilfunk.

Zur kontinuierlichen Informationsübertragung kamen bisher Kabellinienleiter, im Ausland auch Schienenlinienleiter [TV09] zur Anwendung; moderne Systeme nutzen Mobilfunk.

7.1.3 Führerraumsignalisierung

Bei der Führerraumsignalisierung werden die Führungsgrößen im Führerraum angezeigt. Im Wesentlichen sind das die Zielentfernung und die Zielgeschwindigkeit, bei im Ausland angewandten Systemen kann es auch nur der Signalbegriff des nächsten Signals sein. Bei hohen Geschwindigkeiten ist die Führerraumsignalisierung unumgänglich, da die Sichtzeit auf ortsfeste Signale zu kurz ist und der Vorsignalabstand für eine Bremsung auf Halt nicht ausreicht.

Gegenüber der ortsfesten Signalisierung entstehen folgende Vorteile:

- Die Signalinformation ist kontinuierlich sichtbar.
- Die Sichtbarkeit ist unabhängig von Witterung und örtlichen Sichtverhältnissen.
- Bei kontinuierlicher Übertragung hat der Triebfahrzeugführer die Möglichkeit, auf eintretende Signaländerungen sofort zu reagieren, was der Betriebsflüssigkeit dient bzw. die Möglichkeiten zur Gefahrenabwehr verbessert.
- Der Vorschaubereich ist größer, so dass der Triebfahrzeugführer seine Fahrweise auf die betriebliche Situation einstellen kann.

In Abhängigkeit von der Zielentfernung, der Zielgeschwindigkeit und den Bremseigenschaften des Zuges wird auf dem Fahrzeuggerät die Sollgeschwindigkeit berechnet, deren Einhaltung überwacht wird. Bei der infrastrukturabhängigen Zielgeschwindigkeit spricht man auch vom **statischen Geschwindigkeitsprofil**, während die von den Fahrzeugeigenschaften (z. B. Zuglänge, Bremseigenschaften) abhängige Sollgeschwindigkeit **dynamisches Geschwindigkeitsprofil** genannt wird (Abb. 7.2).

Ist eine Strecke mit einem Zugbeeinflussungssystem, das eine kontinuierliche Führerraumsignalisierung erlaubt, ausgerüstet, kann auf ortsfeste Signale verzichtet werden. Dann allerdings benötigen alle dort verkehrenden Züge die entsprechende Fahrzeugausrüstung. Um einen Mischverkehr mit nicht ausgerüsteten Zügen zu ermöglichen, werden meist dennoch ortsfeste Signale aufgestellt. Dabei ist es möglich, mittels der kontinuierlichen Zugbeeinflussung kleinere Blockabstände zu verwenden („Teilblock“) als mit der

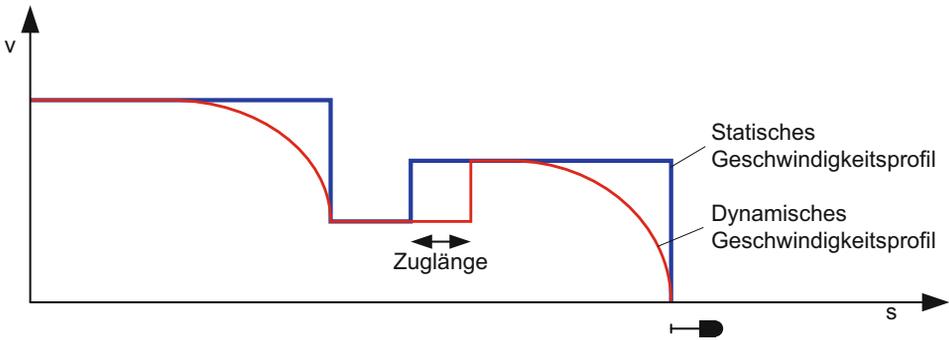


Abb. 7.2 Beispielhaftes statisches und dynamisches Geschwindigkeitsprofil

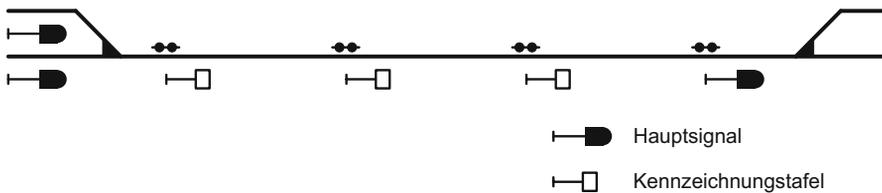


Abb. 7.3 Prinzip der Überlagerung von ortsfester und Führerraumsignalisierung (nur eine Fahrtrichtung dargestellt)

ortsfesten Signalisierung („Ganzblock“). Häufig sind nur vor Zugmeldestellen Hauptsignale aufgestellt, während die Teilblöcke nur mit einer Tafel gekennzeichnet sind. Allerdings muss für jeden Teilblock eine eigene Ortung vorhanden sein, was in der Regel durch eine Gleisfreimeldeanlage geschieht (Abb. 7.3).

Züge ohne Führerraumsignalisierung können nur im Abstand der Hauptsignale folgen. Das Fahren im Teilblockabstand – und damit die höhere betriebliche Leistungsfähigkeit – kommt nur dann zur Anwendung, wenn ein Zug mit Führerraumsignalisierung einem beliebigen anderen Zug, der durch die Gleisfreimeldung geortet wird, folgt. Dabei kann es zu widersprüchlichen Informationen kommen: Ist der nächste Teilblock frei, der Ganzblock aber noch belegt, kann die Führerraumsignalisierung die Fahrt zulassen, während das ortsfeste Signal, was den Ganzblock deckt, noch Halt zeigen muss. Obwohl die Führerraumsignalisierung Vorrang genießt, soll der Widerspruch dennoch nicht sichtbar werden. Deshalb wird in solchen Fällen das ortsfeste Signal dunkel geschaltet (siehe auch Abschn. 4.3.8).

7.1.4 Funktionen

Die Funktionen der Zugbeeinflussungssysteme können in drei Gruppen systematisiert werden: Dynamische Geschwindigkeit, statische Geschwindigkeit und Sonstiges.

Überwachung der Beachtung dynamischer Geschwindigkeitsvorgaben

Dynamische Geschwindigkeitsvorgaben betreffen Haupt- und Vorsignale sowie Bahnübergangsüberwachungssignale, also solche, die in Abhängigkeit von bestimmten Bedingungen restriktive Fahrweisen vorschreiben. Da die Signale verschiedene Zustände annehmen können, muss auch die Zugbeeinflussung in Abhängigkeit vom Signalbild schaltbar sein.

Überwachte Sachverhalte können sein:

- Aufmerksamkeitsprüfung am restriktiven Vorsignal/BÜ-Überwachungssignal,
- Verminderung der Geschwindigkeit nach restriktivem Vorsignal/BÜ-Überwachungssignal,
- Geschwindigkeit am Hauptsignal mit geschwindigkeitseinschränkendem Signalbegriff,
- Halt an Halt zeigenden Hauptsignalen.

Überwachung der Beachtung statischer Geschwindigkeitsvorgaben

Um statische Geschwindigkeitsbeschränkungen an vorübergehenden oder ständigen Langsamfahrstellen zu überwachen, bedarf es in der Regel keiner Schaltbarkeit. Die Zugbeeinflussung ist fahrwegseitig ständig aktiv.

Sonstige Funktionen

Die sonstigen Funktionen werden hauptsächlich im Fahrzeuggerät realisiert. Dazu gehören u. a.:

- Überwachung einer Höchstgeschwindigkeit in Abhängigkeit von
 - dem Bremsvermögen des Zuges,
 - der Höchstgeschwindigkeit des Fahrzeugs,
 - der störungsfreien Funktion der Fahrzeugeinrichtungen,
 - der störungsfreien Funktion der fahrwegseitigen Einrichtungen,
- Aufnahme in und Entlassung aus der Überwachung am Anfang und Ende des ausgerüsteten Bereiches,
- Bereitstellen von zusätzlichen Informationen für den Triebfahrzeugführer.

7.1.5 Kontinuierliche Überwachung bei punktförmiger Übertragung

Um eine vollständig kontinuierliche Überwachung zu gewährleisten, bedarf es der Übertragung eines größeren Informationsumfangs. Eine solche Übertragung können Balisen leisten. Balisen sind im Gleis verlegte Einrichtungen, die an darüber fahrende Fahrzeuge mit entsprechenden Antennen Datentelegramme übertragen können. Obwohl die Information nur punktförmig übertragen wird, kann durch den größeren Umfang der Daten eine

kontinuierliche Überwachung für eine gewisse Distanz hinter dem Datenpunkt gewährleistet werden. Reicht diese Distanz bis zum nächsten Datenpunkt, ist eine lückenlose Überwachung gegeben.

Mit den Daten wird in der Regel auch der Abstand zum nächsten Datenpunkt übertragen. Da das Fahrzeug eine Wegmessenrichtung besitzt, wird im entsprechenden Abstand die nächste Balise erwartet. Wird dort (zuzüglich einer Toleranz) keine Balise gefunden, kann damit der Ausfall einer Balise sicher erkannt werden.

Die Wegmessung basiert in der Regel aus der Zählung der Radumdrehungen. Durch Schleudern, Blockieren und abnehmenden Umfang des Rades mit steigender Laufleistung ergeben sich Messfehler, die sich auch mit weiteren Messeinrichtungen (z. B. Radar) nicht vollständig kompensieren lassen. Daher wird mit steigender Entfernung die Ungenauigkeit größer.

Die Ortung kann an jedem Datenpunkt kalibriert werden, da an jedem Punkt die infrastrukturelle Position übermittelt wird. Je größer nun der Abstand der Datenpunkte zueinander, umso größer ist auch der auftretende Wegmessfehler. Um diesen nicht zu groß werden zu lassen, darf der Abstand der Datenpunkte zueinander ein bestimmtes Maß nicht überschreiten.

Es können schaltbare und nicht schaltbare Balisen unterschieden werden. Für eine statische Geschwindigkeitsüberwachung sind die Balisen fast ausschließlich nicht schaltbar; Schaltbarkeit ist hier nur bei Fahrwegverzweigungen unmittelbar vor einer Langsamfahrstelle notwendig. Angewendet wird es beim System GNT (Geschwindigkeitsüberwachung NeiTech, siehe Abschn. 7.3). Soll die Beachtung von Haupt- und Vorsignalen überwacht werden, müssen die Balisen von den Signalen angeschaltet werden. Das trifft z. B. bei ETCS Level 1 (siehe auch Abschn. 7.5) zu.

Durch die punktförmige Datenübertragung kann die Änderung eines Zustands (z. B. Fahrt statt Halt) nur an den Standorten der Balisen übertragen werden. Zur Verbesserung des Systems kann es deswegen an wichtigen Stellen, wie z. B. vor Signalen, durch Infill-Schleifen ergänzt werden, die eine lokal begrenzte linienförmige Übertragung ermöglichen. Auch die Verlegung von zusätzlichen Balisen (Infill-Balisen) ist möglich, womit der Abstand zur Übertragung der aktualisierten Information verringert wird.

Technische Realisierungen von Balisen sind z. B. folgende Systeme:

- **Gleiskoppelspulen** (Systemen ZUB). Sie werden an der rechten Schiene angeordnet, was eine eindeutige Richtungsanordnung des Datenpunktes ergibt.
- **Eurobalisen** (Abb. 7.4) sind das modernere System. Sie werden in der Gleismitte verlegt, so dass die Übertragung einer Information notwendig wird, für welche Richtung sie gelten. Sie werden zur Informationsübertragung nach den ETCS-Spezifikationen (siehe auch Abschn. 7.5) eingesetzt.

Balisen benötigen keine Energieversorgung. Die Antennen der Fahrzeuge senden permanent Energie in Form eines elektromagnetischen Feldes aus. Diese Energie wird von

Abb. 7.4 Im Gleis montierte Eurobalise



der Balise zur Informationsverarbeitung und Sendung der notwendigen Daten an das Fahrzeug genutzt. Übertragene Daten können z. B. sein:

- Entfernung zum nächsten Geschwindigkeitswechsel,
- zulässige Geschwindigkeit ab diesem Wechsel,
- logischer Signalbegriff,
- Neigungsverhältnisse sowie
- Entfernung zum nächsten Datenpunkt.

7.2 Punktförmige Zugbeeinflussung System PZB 90

7.2.1 Grundlagen

Die PZB 90 ist die aktuelle Variante der unter dem Namen *Indusi* in den dreißiger Jahren des zwanzigsten Jahrhunderts eingeführten Form der induktiven Zugbeeinflussung in Deutschland. Die ursprüngliche Form hatte neben der punktförmigen Übertragung nur eine punktförmige Überwachung. Mit der Einführung von rechnergesteuerten Fahrzeuggeräten wurde die teilweise kontinuierliche Überwachung möglich.

Mit der PZB 90 wird die Beachtung folgender Sachverhalte überwacht:

- Restriktive Begriffe an schaltbaren Signalen:
 - Halt zeigendes Signal,
 - Vorsignal in Warnstellung,
 - Signalisierte Geschwindigkeitseinschränkungen,
 - Überwachungssignal an BÜ,

- Statische Geschwindigkeitsbeschränkungen:
 - Vorübergehende Langsamfahrstellen,
 - Ständige Langsamfahrstellen,
- Sonstige Geschwindigkeitseinschränkungen:
 - Höchstgeschwindigkeit des Zuges in Abhängigkeit von der eingestellten Zugart,
 - Höchstgeschwindigkeit des führenden Fahrzeugs,
 - 50 km/h bei ausgeschalteter oder gestörter PZB-Fahrzeugeinrichtung.

7.2.1.1 Funktion der Informationsübertragung

Die grundsätzliche Funktionsweise zeigt Abb. 7.5. Die Fahrzeugeinrichtung sendet ständig elektromagnetische Wellen mit einer Frequenz von 500, 1000 und 2000 Hz aus. In den Gleismagneten befindet sich ein Schwingkreis, der auf eine der drei Frequenzen abgestimmt ist. Bewegt sich der Fahrzeugmagnet (Abb. 7.6) über den Gleismagneten, so entzieht der Schwingkreis im Gleismagneten dem Fahrzeugmagneten durch induktive Kopplung Energie. Der Energieentzug führt zu einer Stromabsenkung im Fahrzeugschwingkreis, der selektiv nach den drei Frequenzen detektiert wird. Ist keine Beeinflussung notwendig (z. B. bei Fahrtstellung des Signals), wird der Gleismagnet durch Kurzschluss des Schwingkreises unwirksam geschaltet und der Energieentzug unterbleibt.

Abb. 7.5 Elektrische Funktionsweise der PZB

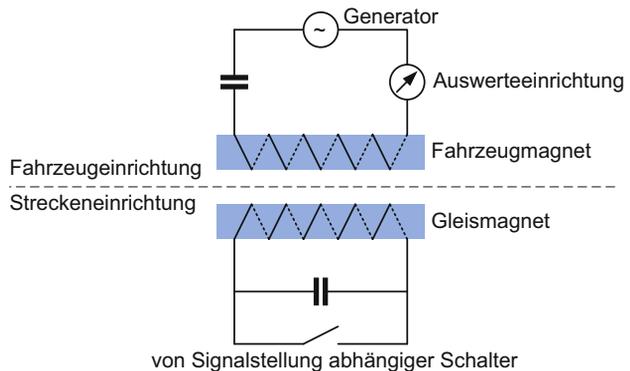


Abb. 7.6 Fahrzeugmagnet an einem Triebfahrzeug



Tab. 7.1 Zugarten der PZB

Zugart	Bremsstellung	Bremsunterstel	Überwachte Höchstgeschwindigkeit [km/h]	Entlassungsgeschwindigkeit [km/h]	
				1000 Hz	500 Hz
O	R oder P	> 110	165	85	45
M	R oder P	66–110	125	70	35
U	R oder P	< 66	105	55	25
	G	Alle			

Mit einer Beeinflussung kann nur eine binäre Information übertragen werden. Durch die drei verschiedenen Frequenzen können drei verschiedene Informationen – aber nur eine je Beeinflussungspunkt – übertragen werden, die zu jeweils unterschiedlichen Reaktionen auf dem Fahrzeug führen.

7.2.1.2 Sicherheitsbetrachtung

Die einzelnen Komponenten des Systems PZB sind so konstruiert, dass möglichst die Vorzugsausfallrichtung genutzt wird und sich Fehler meist zur sicheren Seite auswirken. Fehler wie Kurzschluss und Entfernen eines Gleismagneten wirken sich jedoch derart aus, dass die Überwachungsfunktion der PZB nicht mehr besteht. Solche Ausfälle können teilweise durch den Triebfahrzeugführer erkannt werden, wenn die PZB-Leuchtmelder im Führerraum nicht die erwartete Reaktion zeigen. In jedem Fall jedoch wird bei der nächsten Inspektion, die in regelmäßigen Intervallen vorgeschrieben ist, der Ausfall offenbart. Somit kommt für die Gefährdung „Ausfall des PZB-Gleismagneten“ die Strategie Gefährdungsbegrenzung (siehe auch Abschn. 3.3) zur Anwendung.

Trotzdem die PZB nicht fail-safe arbeitet, trägt sie dennoch zu einer deutlichen Erhöhung der Sicherheit im Eisenbahnbetrieb bei, was nicht zuletzt ihrer ausreichend hohen Verfügbarkeit zuzuschreiben ist. Um die Gefährdung „Zug überfährt Halt zeigendes Signal über einen vorhandenen Sicherheitsweg hinaus“ an einem mit PZB ausgerüsteten Signal entstehen zu lassen, muss einerseits die PZB unerkannt ausgefallen sein und gleichzeitig ein Fehler des Triebfahrzeugführers vorliegen.

7.2.1.3 Zugarten

Das Bremsvermögen und damit der Bremsweg eines jeden Zuges ist unterschiedlich, was bei den Überwachungsfunktionen berücksichtigt werden muss. Deshalb werden die Züge je nach Bremsvermögen in drei Klassen eingeteilt: die Zugarten O, M und U („obere“, „mittlere“ und „untere“). Je nach Zugart werden unterschiedliche Bremskurven und verschiedene Höchstgeschwindigkeiten überwacht. Die Kriterien für die Wahl der Zugart und die dabei jeweils überwachten Höchstgeschwindigkeiten zeigt Tab. 7.1. Beim Aufrüsten des Fahrzeugs werden die Bremseigenschaften vom Triebfahrzeugführer eingegeben und daraufhin die Zugart automatisch eingestellt.

7.2.2 Funktionen

7.2.2.1 Grundsätzliche Überwachung an Haupt- und Vorsignalen

Abbildung 7.7 zeigt die grundsätzliche Anordnung der Gleismagnete vor einem Hauptsignal. Am Vorsignal befindet sich ein 1000 Hz-Gleismagnet, am Hauptsignal ein 2000 Hz-Magnet und 250 m vor dem Hauptsignal ein 500 Hz-Magnet. Im Folgenden sollen die Funktionen bei der Fahrt auf ein Halt zeigendes Hauptsignal erläutert werden.

Gleismagnet 1000 Hz

Der Gleismagnet 1000 Hz ist aktiv, wenn das Vorsignal *Halt erwarten* zeigt oder eine Geschwindigkeitsbeschränkung bis 60 km/h ankündigt. Bei einer solchen Beeinflussung muss der Triebfahrzeugführer die Wahrnehmung des Signals durch Betätigung der Wachsamkeitstaste quittieren, ansonsten erfolgt eine Zwangsbremung. Außerdem wird bei einer 1000 Hz-Beeinflussung die Überwachung einer von der Zugart abhängigen Bremskurve ausgelöst, d. h. es wird geprüft, dass die in der Bremskurve vorgegebene Geschwindigkeit nicht überschritten wird, ansonsten erfolgt die Zwangsbremung. Die Bremskurve ergibt sich aus einer zeitabhängig fallenden Geschwindigkeit (z. B. Zugart O: von 165 auf 85 km/h in 23 s). Ist die Zielgeschwindigkeit der Überwachungskurve erreicht, wird die Geschwindigkeit weiterhin überwacht („Entlassungsgeschwindigkeit“).

Die Überwachungslänge nach einer 1000 Hz-Beeinflussung beträgt 1250 m. Weil der Abstand vom Vorsignal zum Hauptsignal maximal 1500 m betragen darf und der Abstand

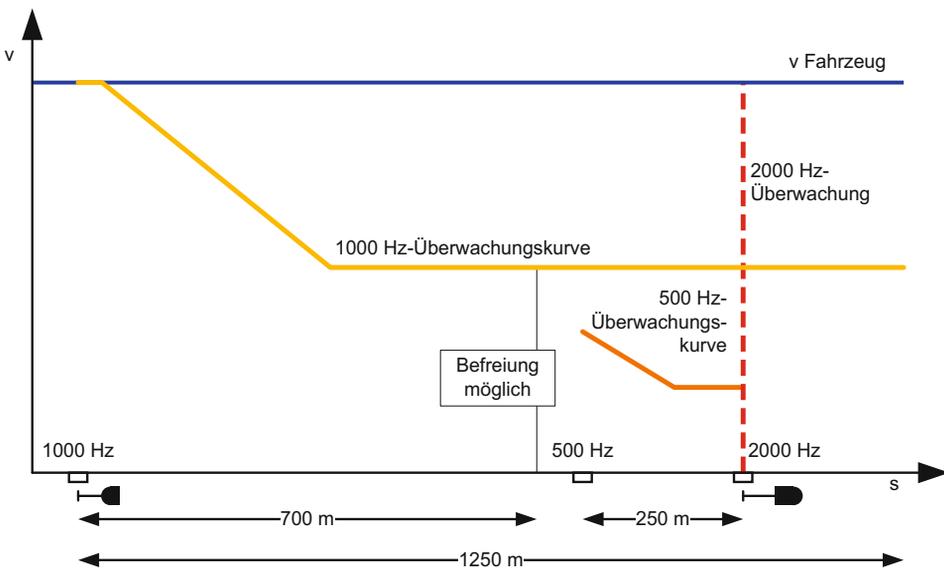


Abb. 7.7 Grundsätzliche Bremskurvenüberwachung an Haupt- und Vorsignalen bei der PZB 90

vom 500 zum 2000 Hz-Magneten üblicherweise 250 m beträgt, ergeben sich dadurch keine nicht überwachten Bereiche.

Da nach der Vorbeifahrt an einem Halt erwarten zeigendem Vorsignal das Hauptsignal mittlerweile in die Fahrtstellung gekommen sein kann, besteht 700 m nach der Beeinflussung die Möglichkeit der Befreiung aus der 1000 Hz-Überwachung. Der Festlegung auf 700 m liegt die Überlegung zugrunde, dass für ein Hauptsignal üblicherweise 300 m Signalsicht gewährleistet ist und der reguläre Vorsignalabstand 1000 m beträgt. Eine Befreiung vor der Sichtbarkeit des Hauptsignals soll damit vermieden werden.

Gleismagnet 500 Hz

Der Gleismagnet 500 Hz wird vom zugehörigen Hauptsignal gesteuert und ist aktiv, wenn das Hauptsignal Halt oder einen sehr restriktiven Fahrtbegriff zeigt. Bei Beeinflussung durch den 500 Hz-Gleismagneten wird eine weitere Geschwindigkeitsüberwachung angestoßen, die restriktiver ist als die 1000 Hz-Überwachung.

Zunächst erfolgt eine Überwachung auf eine wegabhängig fallende Geschwindigkeit (z. B. Zugart O: von 65 auf 45 km/h in 153 m), danach wird die Entlassungsgeschwindigkeit überwacht. Insgesamt beträgt die Überwachungslänge 250 m. Eine Befreiung aus der 500 Hz-Überwachung ist nicht möglich, weshalb sich bei Signalfahrtstellung nach einer 500 Hz-Beeinflussung betriebliche Behinderungen ergeben können.

Gleismagnet 2000 Hz

Der Gleismagnet 2000 Hz ist am Hauptsignal angeordnet und aktiv, wenn es Halt zeigt. Die Beeinflussung durch einen 2000 Hz-Gleismagneten führt zur sofortigen Zwangsbremmung. Genau genommen, besteht die Überwachungskurve nur aus einem Punkt bei 0 km/h am Standort des 2000 Hz-Gleismagneten. Zur besseren Übersicht wurde in Abb. 7.7 eine gestrichelte Linie eingezeichnet.

Durch die Bremskurvenüberwachung nach der 1000 und 500 Hz-Beeinflussung wird sichergestellt, dass der Zug sich nur sehr langsam einem Halt zeigenden Signal nähern kann. Wird der Zug aus einer geringen Geschwindigkeit zwangsgebremst, so ist auch die Länge, mit der das Halt zeigende Signal überfahren wird, kurz.

7.2.2.2 Restriktive Überwachung

Ursprüngliche Aufgabenstellung

„**Bremsfahrt überwachen**“ Die Vorläufer der PZB 90 waren dafür konzipiert, bei Halt zeigendem Signal einen Zug noch rechtzeitig vor dem Ende des Durchrutschweges dann zum Halten zu bringen, wenn der Triebfahrzeugführer

- an einem Halt erwarten zeigenden Vorsignal nicht die Wachsamkeitstaste betätigt oder
- nicht ausreichend bremst, so dass der in der Bremsfahrt befindliche Zug dennoch über das Halt zeigende Signal fährt.

Die Prüfung der Bremsfahrt fand mit der „angehängten Geschwindigkeitsprüfung“ und – wenn vorhanden – am 500-Hz-Gleismagneten statt. Die „angehängte Geschwindigkeitsprüfung“ war eine punktförmige Prüfung am Fußpunkt der heutigen 1000-Hz-Überwachungskurve.

Folglich ging man davon aus, dass ein Triebfahrzeugführer, wenn er eine Vorsignalwarnstellung wahrgenommen und bestätigt hat, derart für die Betriebssituation sensibilisiert ist, dass er auch weiterhin richtig handelt und durch Einleiten einer Bremsfahrt das Halt zeigende Hauptsignal ansteuert [DB01].

Später eingeführte Aufgabenstellungen

Schwere Eisenbahnunfälle nach 1980 zeigten, dass die ursprüngliche Funktionalität der PZB nicht mehr ausreichte, um die Gefahren aus dem im Laufe der Jahre gestiegenen Beschleunigungs- und Bremsvermögen der Züge abzudecken. Es musste auch das Risiko gemindert werden, das darin besteht, dass ein Zug bei Halt zeigendem Hauptsignal

- trotz wahrgenommener und bestätigter Vorsignalwarnstellung weiter- und somit über das Ende eines Durchrutschweges hinausfahren oder
- nach Anfahrt von einem zwischen Vor- und Hauptsignal liegenden Halteplatz eine hinter dem Hauptsignal liegende Gefahrstelle überfahren könnte.

Im Gegensatz zur ursprünglichen Aufgabenstellung galt es nunmehr, zusätzliche Geschwindigkeitsüberwachungsfunktionen zu definieren, um auch ein unerlaubtes Fortführen der Fahrt zu überwachen. Daraufhin wurden zwei weitere Aufgabenstellungen definiert, die gemeinsam mit der ursprünglichen Aufgabenstellung die Funktionalität der PZB 90 bildet [DB01].

„Weiterfahren gegen Halt zeigende Signale überwachen“ Der Triebfahrzeugführer nimmt das Vorsignal in Warnstellung wahr und bestätigt dies mit der Wachsamkeitstaste. Wenn er nun keine Bremsung einleitet oder nach den Beeinflussungspunkten mit der jeweiligen Entlassungsgeschwindigkeit weiterfährt, kann eine am nächsten Prüfpunkt eingeleitete Zwangsbremsung den Zug möglicherweise nicht mehr vor dem Ende des Durchrutschweges zum Halten bringen. Um das zu vermeiden, wurde statt der punktförmigen Überwachung die in Abschn. 7.2.2.1 bereits beschriebene, kontinuierliche Überwachung zwischen Vor- und Hauptsignal eingeführt (Vü 1 in Abb. 7.8) [DB01].

„Anfahren gegen Halt zeigende Signale überwachen“ Bei der Funktion „Bremsfahrt überwachen“ ist die Zugfahrt durch den Durchrutschweg geschützt. Dieser Schutz ist jedoch nur so lange gewährleistet, wie der Durchrutschweg besteht. Ist der Zug zum Halten gekommen, wird für ihn kein Durchrutschweg mehr vorgehalten, weil davon ausgegangen wird, dass vom Zug keine Gefahr mehr ausgeht. Ein in dieser Situation unerlaubt – gegen das weiterhin Halt zeigende Signal – anfahrender Zug kann an jeder Stelle hinter dem Signal eine Gefährdung herbeiführen. Für diese Stelle wurde im Rahmen der PZB 90

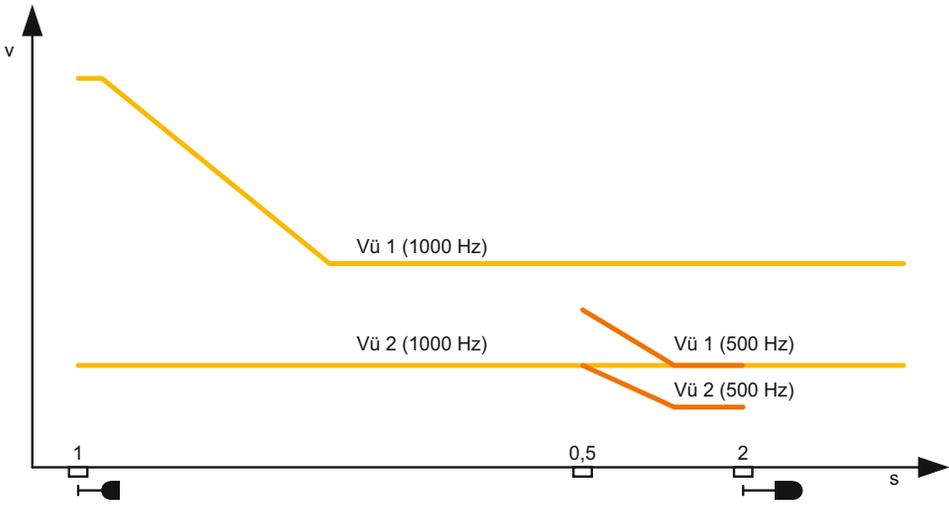


Abb. 7.8 Überwachungskurven der PZB 90 mit restriktiven Überwachungskurven (Vü 2)

ein neuer Begriff geprägt, die **maßgebende Gefahrstelle**, die zusätzlich zu betrachten ist [DB01].

Das forderte eine Funktionalität, die einen kürzeren Zwangsbremsweg hinter dem Hauptsignal – vor der maßgebenden Gefahrstelle – erzielt, wenn der Zug vor dem Signal angehalten hat und der Durchrutschweg nicht mehr besteht. Erreicht wurde das, indem eine Umschaltgeschwindigkeit überwacht wird. Unterschreitet der Zug für eine Zeitdauer von mehr als 15 s diese Umschaltgeschwindigkeit, so werden sowohl für die 1000-Hz- als auch die 500-Hz-Überwachungskurve restriktivere Geschwindigkeiten (Vü 2 in Abb. 7.8) wirksam. Unter ungünstigen Umständen kann das zu noch größeren betrieblichen Behinderungen führen. Mit dem geringen übertragbaren Informationsumfang ist jedoch keine bessere Lösung zu realisieren.

7.2.2.3 Geschwindigkeitsüberwachungseinrichtung (GÜ)

Um mit der PZB örtliche Geschwindigkeitseinschränkungen zu überwachen, kann die Entlassungsgeschwindigkeit eines 1000 oder 500-Hz-Gleismagneten verwendet werden. Nachteilig hierbei ist, dass nur zwei unterschiedliche Beeinflussungen möglich sind und die Entlassungsgeschwindigkeit je nach Zugart variiert (Tab. 7.1).

Es ist jedoch möglich, eine Beeinflussung in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit des Zuges zu geben. Hierzu dient die Geschwindigkeitsüberwachungseinrichtung (GÜ). Dabei wird ein Gleismagnet (Einschaltmagnet) durch einen Fahrzeugmagneten beeinflusst, woraufhin die Anlage aktiviert und eine Zeitverzögerung angestoßen wird. Nach Ablauf der Zeitspanne $t_{\text{prüf}}$ wird der im definierten Abstand $s_{\text{prüf}}$ verlegte Wirkmagnet

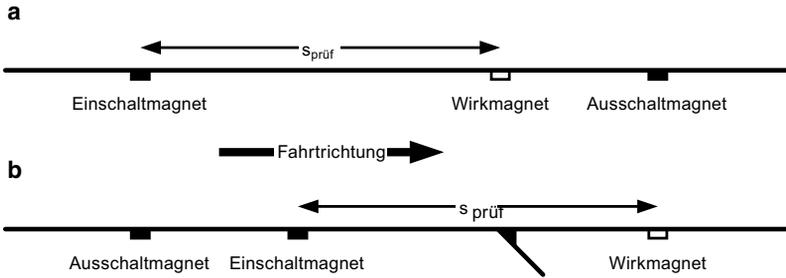


Abb. 7.9a,b Lage der Gleismagneten bei der Geschwindigkeitsüberwachungseinrichtung

inaktiv geschaltet. Die Prüfgeschwindigkeit ergibt sich durch

$$v_{\text{prüf}} = \frac{s_{\text{prüf}}}{t_{\text{prüf}}}$$

Ist der Wirkmagnet nach Ablauf von $t_{\text{prüf}}$ deaktiviert, erhalten die Züge keine Beeinflussung, deren Geschwindigkeit kleiner ist als die Prüfgeschwindigkeit.

Ein Versagen der Einschaltung soll durch einen aktiven Wirkmagneten bemerkt werden, wozu dieser vor der Einschaltung aktiv sein muss. Die hierfür erforderliche Grundstellung wird durch den Ausschaltmagneten hergestellt. In der Regel ist dieser nach der Prüfstrecke angeordnet (Abb. 7.9a). Befindet sich in der Prüfstrecke eine Fahrwegverzweigung, so würde der Ausschaltmagnet nicht unbedingt befahren. In solchen Fällen wird eine Anordnung gewählt, bei der sich der Ausschaltmagnet vor der Prüfstrecke befindet (Abb. 7.9b).

Als Wirkmagnet wird ein 1000 oder 2000 Hz-Gleismagnet verwendet. Beim 2000 Hz-Gleismagneten bekommen alle Züge, die die GÜ zu schnell passieren, eine Zwangsbremmung. Wird ein 1000 Hz-Gleismagnet verwendet, bekommen die Züge mit einer höheren Geschwindigkeit als der Prüfgeschwindigkeit eine 1000 Hz-Beeinflussung. Das kann dazu verwendet werden, um nur schnell fahrende Züge, die üblicherweise in Zugart O fahren, zu beeinflussen. Züge in niedrigeren Zugarten, die ohnehin langsamer fahren, werden nicht beeinflusst, wodurch sich dadurch auch nicht die geringeren Entlassungsgeschwindigkeiten hinderlich auswirken können.

7.3 Geschwindigkeitsüberwachung für Neigetechnik (GNT)

7.3.1 Grundlagen

Um auf vorhandenen Strecken mit engen Bögen (vorrangig im Gebirge) ohne eine Aufweitung der Bögen eine Erhöhung der Geschwindigkeiten im Reiseverkehr durchführen zu können, wurden Fahrzeuge mit Neigetechnik (Geschwindigkeitsabhängige Wagen-

kastensteuerung, GSt) entwickelt. Fahrzeuge mit eingeschalteter GSt dürfen in Bögen schneller fahren als konventionelle Fahrzeuge. Die Geschwindigkeiten der Strecke werden deshalb nach RS- (Regelseiten-) und ES- (erhöhte Seitenbeschleunigung) Profil unterschieden.

Für Fahrten im ES-Profil forderte der Gesetzgeber eine kontinuierliche Überwachung der Geschwindigkeit. Das führte zur Entwicklung der GNT (Geschwindigkeitsüberwachung für Neigetechnik). Bei der GNT werden mittels Balisen das RS- und das ES-Profil auf das Fahrzeug übertragen. Bei eingeschalteter GSt wird das ES- ansonsten das RS-Profil überwacht. Bis 1999 kamen Gleiskoppelpulen, danach Eurobalisen zur Anwendung.

Da nur die Geschwindigkeit der Strecke überwacht wird, gelten die Vor- und Haupt-signale einschließlich ihrer Geschwindigkeitsanzeigen weiterhin. Dies wird auch durch die PZB, die parallel zur GNT aktiv sein muss, überwacht. Die GNT wird daher nur bis 160 km/h eingesetzt.

7.3.2 Funktionen

Die Überwachung erfolgt verdeckt, die jeweils erlaubten Geschwindigkeiten muss der Triebfahrzeugführer seinen Unterlagen im Führerraum entnehmen. Bei einer Überschreitung der erlaubten Geschwindigkeit erfolgt, je nach Höhe der Differenz, zunächst eine Warnmeldung, dann eine Betriebsbremsung und wenn die Geschwindigkeit noch weiter überschritten wird eine Zwangsbremsung bis zur erlaubten Geschwindigkeit. Das ist ein deutlicher Vorteil gegenüber der PZB, die nur die Zwangsbremsung bis zum Stillstand kennt.

Ständige Langsamfahrstellen im RS- und/oder ES-Profil werden mit einem B1-Datenpunkt übertragen, der im berechneten Bremswegabstand 400–2000 m vor Beginn der Langsamfahrstelle angeordnet ist. Dabei wird sowohl die Geschwindigkeit in als auch nach der Langsamfahrstelle übertragen. Mit einem B3-Datenpunkt können bis zu zwei Geschwindigkeitserhöhungen übertragen werden. Er wird am ersten Geschwindigkeitswechsel angeordnet (Abb. 7.10).

Wie in Abschn. 7.2.2.3 beschrieben, kann die PZB für eine Geschwindigkeitsüberwachung an Geschwindigkeitswechseln (außerhalb der Überwachung für Haupt- und Vorsignale) herangezogen werden; für Züge im RS-Profil ist das auch die Regel. Da aktive PZB für Züge im ES-Profil Voraussetzung ist, diese jedoch schneller fahren dürfen, würden sie durch die PZB-Überwachung an Geschwindigkeitswechseln behindert. Deshalb müssen PZB-Beeinflussungen an diesen Stellen unterdrückt werden. Das geschieht durch einen B2-Datenpunkt, der vor dem jeweiligen Gleismagneten angeordnet ist und die PZB-Funktion für ca. 150 m Fahrstrecke unterdrückt (Abb. 7.10).

Durch die Fahrzeuginrichtung wird die Funktion der GNT und der GSt ständig überwacht. Da die Entfernung zum nächsten Datenpunkt immer mit übertragen wird, werden auch ausgefallene Datenpunkte erkannt. Bei Ausfall der PZB überwacht die GNT eine Ge-

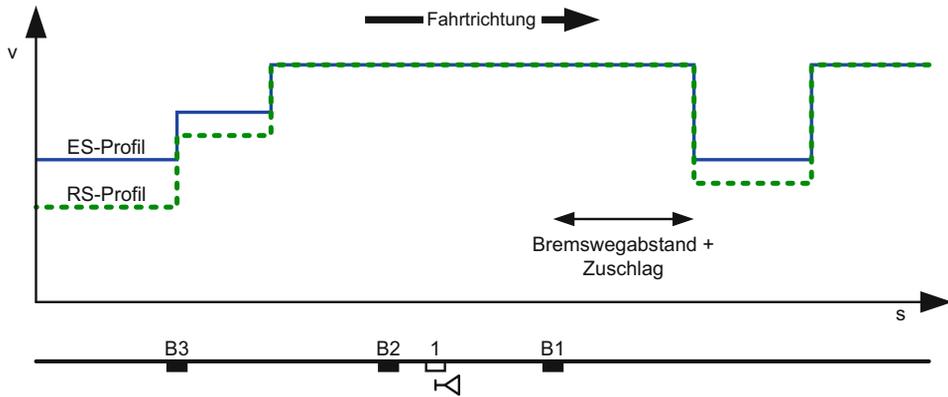


Abb. 7.10 Grundsätzliche Anordnung von Datenpunkten zur Geschwindigkeitsüberwachung

schwindigkeit von 100 km/h. Eine weitere Funktion ist die Aufnahme in bzw. der Ausstieg aus der Überwachung am Beginn bzw. Ende des ausgerüsteten Bereiches.

7.4 Linienzugbeeinflussung (LZB)

7.4.1 Grundlagen

Die LZB (Linienzugbeeinflussung) ist ein System mit kontinuierlicher Datenübertragung und kontinuierlicher Überwachung. Sie wurde um 1970 entwickelt. Durch das kontinuierliche Wirken erfüllt sie die Anforderung der EBO, wonach bei Geschwindigkeiten über 160 km/h ein System wirken muss, „durch die ein Zug selbsttätig zum Halten gebracht und außerdem geführt werden kann.“ Derzeitig ist die LZB noch die Regel auf Strecken, die mit mehr als 160 km/h befahren werden. Es sollen jedoch keine neuen Strecken mehr mit LZB ausgerüstet werden; langfristig wird die LZB vollständig durch ETCS (siehe auch Abschn. 7.5) abgelöst.

7.4.2 Informationsübertragung

Als fahrwegseitige Antenne dient der Kabellinienleiter, der in Schleifen im Gleis verlegt wird (Abb. 7.11). Die Fahrzeugantenne befindet sich über der Gleismitte. Wie in Abschn. 7.1.5 beschrieben, ist die Ortung über Radumdrehungszähler (Odometrie) allein zu ungenau. Da die LZB über eine Antenne entlang des Gleises verfügt, kann das Problem hierüber gelöst werden: Alle 100 m wird der Kabellinienleiter gekreuzt, so dass das elektromagnetische Feld um 180° gedreht wird. Die Drehung wird durch das Fahrzeug erkannt, so dass an jeder Kreuzungsstelle die Ortung kalibriert wird (Grobort). Durch

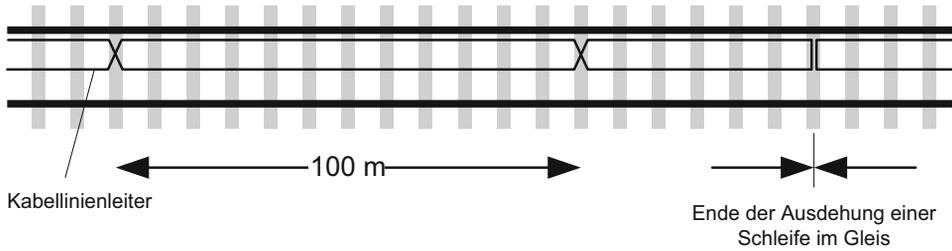


Abb. 7.11 Verlegung des LZB-Kabellinienleiters

die Odometrie wird jeder Grobort in 8 Feinorte unterteilt. Ohne Berücksichtigung der Messfehler in der Odometrie ergibt sich somit eine maximale Ortungsgenauigkeit von 12,5 m.

Während in früheren Versionen der LZB die Langschleifentechnik mit Schleifenlängen von ca. 12 km zur Anwendung kam, wurde später die Kurzschleifentechnik mit 300 m Schleifenlänge eingeführt. Durch die kurze Länge ergibt sich bei Ausfall einer Schleife eine so kurze Überwachungslücke, dass der Ausfall toleriert werden kann, wodurch die Verfügbarkeit steigt.

7.4.3 Funktionen

Die LZB-Zentrale beeinflusst einen Bereich von ca. 50–100 km Strecke. In dem Bereich kommuniziert sie mit allen Stellwerken und allen mit aktiver LZB-Ausrüstung fahrenden Zügen. Ebenso werden Daten mit eventuell vorhandenen benachbarten LZB-Zentralen ausgetauscht.

Die geschwindigkeitsrelevanten Daten der Infrastruktur sind in der LZB-Zentrale gespeichert. Aus diesen Daten und der aktuellen Betriebssituation (Belegung der Abschnitte) ermittelt die LZB-Zentrale die aktuellen Führungsgrößen, die an das jeweilige Fahrzeuggerät übertragen werden. Mit Hilfe dieser Daten und den im LZB-Fahrzeuggerät hinterlegten Daten, wie z. B. Höchstgeschwindigkeit, Bremsvermögen und Länge des Zuges wird die Sollbremskurve berechnet. Dem Triebfahrzeugführer werden Zielentfernung und Zielgeschwindigkeit angezeigt.

Ist das Fahrzeug mit einer „Automatischen Fahr- und Bremssteuerung“ (AFB) ausgerüstet, kann es aus den Werten die notwendige Zug- und Bremskraft für eine automatische Führung des Zuges ermitteln. Bei eingeschalteter AFB findet somit die Regelung der Geschwindigkeit nicht mehr durch den Triebfahrzeugführer statt. Für eine automatische Zielbremsung (z. B. am Bahnsteig) ist die LZB allerdings nicht vorgesehen, da hierfür auch die Ortung nicht genau genug ist.

7.5 European Train Control System (ETCS)

7.5.1 Grundlagen

7.5.1.1 Notwendigkeit

Der durchgehende Eisenbahnverkehr in Europa wird durch eine Vielzahl nationaler Systeme der Bahnstromversorgung, Spurweite, Betriebsverfahren, Signalisierung, Zugbeeinflussung und weiterer Eigenschaften behindert. Während sich das Problem der Spurweite durch umspurbare Fahrzeuge lösen lässt, konnten die anderen Hindernisse bisher nur durch einen Lokwechsel an der Grenze bewältigt werden. Solange es Grenzkontrollen gab, war hierfür auch entsprechende Zeit vorhanden. Doch mit zunehmendem Entfall von Grenzaufhalten ergab sich der Wunsch, das Triebfahrzeug nicht mehr wechseln zu müssen. Außerdem möchten die mit der Liberalisierung des Eisenbahnverkehrs nunmehr grenzüberschreitend operierenden Eisenbahnverkehrsunternehmen behinderungsfrei durch ganz Europa fahren.

Während sich die Überwindung der Bahnstromsystemgrenzen durch moderne Leistungselektronik in den Triebfahrzeugen bewerkstelligen lässt, ist es besonders die Vielzahl von Zugbeeinflussungssystemen, die ein freizügiges Verkehren behindert. Doppel- oder Dreifachausrüstung mit Zugbeeinflussungssystemen auf Triebfahrzeugen ist durchaus möglich, jedoch kann unmöglich die gesamte Vielfalt der nationalen europäischen Zugbeeinflussungen integriert werden. Der Raumbedarf für die entsprechenden Fahrzeugausrüstungen wäre viel zu groß; außerdem verlangt jedes System nach speziellen Anzeigen im Führerraum, die eine unüberschaubare Vielfalt an Instrumenten im Führerraum hervorriefe. Während sich die zwei genannten Probleme durch einen zentralen Zugbeeinflussungsrechner und ein multifunktionales Display lösen ließe, sind es vor allem die Kosten und die fehlenden Anbauräume der vielen unterschiedlichen Antennen am Fahrzeug, die ein solches Vorhaben scheitern lassen.

Ende der 1980er Jahre wurde deshalb vom internationalen Eisenbahnverband UIC eine Initiative gestartet, die eine Vereinheitlichung der europäischen Zugbeeinflussungssysteme zum Ziel hatte: Das European Train Control System (ETCS).

7.5.1.2 Einordnung in das European Rail Traffic Management System (ERTMS)

ETCS steht zwar im Mittelpunkt der Vereinheitlichungsbestrebungen, jedoch gibt es weitere Bestandteile, die den europäischen Eisenbahnverkehr fördern sollen. Dabei dient die Vereinheitlichung nicht nur technischen Zwecken, auch der Beschaffungsmarkt – bisher überwiegend national geprägt – soll größer werden, wodurch mehr Wettbewerb ermöglicht wird.

Unter dem Dach des European Rail Traffic Management Systems (ERTMS) werden vier Hauptprojekte betrieben. Neben ETCS sind das die drei nachfolgend beschriebenen.

Global System for Mobile Communication-Railway (GSM-R)

Das Global System for Mobile Communication-Railway (GSM-R) ist das neben ETCS am weitesten vorgeschrittene Projekt. Es handelt sich dabei um ein Digitalfunksystem auf Grundlage des Mobilfunkstandards GSM. Es wurden lediglich einige bahnspezifische Erweiterungen vorgenommen. Für GSM-R wurde ein eigenes Frequenzband reserviert. Es ist Voraussetzung für einige Ausrüstungsstufen von ETCS. Im Bereich der Eisenbahnen des Bundes ist GSM-R bereits nahezu flächendeckend eingeführt.

European Traffic Management Layer (ETML)

Der European Traffic Management Layer (ETML) betrifft die Ebene der (nicht sicheren) Betriebssteuerung. Es hat die Aufgabe, über Ländergrenzen – und damit EIU-Grenzen – hinweg Zuglaufdaten auszutauschen und den entsprechenden EVU zur Verfügung zu stellen. Operativ werden die Daten entsprechend grafisch oder in Tabellenform visualisiert; im Nachgang ist es möglich, Statistiken zu erstellen um z. B. Qualitätskriterien zu untersuchen.

Integrated European Signalling System (INESS)

Da die Stellwerkstechnik immobil ist, bestand lange Zeit keine Notwendigkeit einer Vereinheitlichung. Lediglich die Schnittstelle zum Fahrzeug (durch GSM-R oder ETCS) muss standardisiert sein. Im Laufe der weiteren Entwicklung von ETCS zeigte sich aber, dass die komplexen Schnittstellen zwischen ETCS und dem Stellwerk ebenfalls eine Standardisierung vorteilhaft erscheinen lassen. Das Integrated European Signalling System (INESS) dient nun zur Vereinheitlichung der Stellwerkstechnik im Zuge der Einführung von ERTMS. Das wesentliche Ziel ist die Entwicklung von Standards für eine neue europäische Stellwerkstechnik, die zu ETCS vollständig kompatibel ist.

Die ortsfeste Signalisierung ist dabei nicht Bestandteil der Vereinheitlichung. Solange die ortsfeste Signalisierung nicht durch Führerraumsignalisierung abgelöst ist, wird es bei den nationalen Signalisierungssystemen bleiben.

7.5.2 Komponenten

7.5.2.1 Eurobalise

Die Eurobalise (Abb. 7.4) ist eine europäisch standardisierte Balise. Es wird nach Festdaten- und Transparentdatenbalise unterschieden. Festdatenbalisen senden immer das gleiche Telegramm, wie z. B. Informationen über ständige Langsamfahrstellen. Transparentdatenbalisen hingegen sind schaltbar und können daher unterschiedliche Telegramme senden. Sie werden z. B. zur Übertragung von Informationen dynamischer, ortsfester Signale verwendet. Dazu benötigen sie eine Kabelverbindung zu einer LEU (siehe auch Abschn. 7.5.2.3).

Die Datenübertragung erfolgt nach dem induktiven Transponder-Verfahren. Dabei sendet die Fahrzeugantenne ständig ein Energiesignal von ca. 27 MHz. Beim Überfahren

einer Eurobalise wird diese dadurch aktiviert; somit benötigt sie keine Energieversorgung. Mithilfe der Energie sendet die Balise ihr Telegramm auf einer Frequenz von ca. 4 MHz.

Die Datentelegramme sind in zwei Versionen standardisiert: Lang- und Kurzversion. Die Langversion beinhaltet 1023 Bits (davon 830 Bit Nutzdaten), die Kurzversion 341 Bits (davon 210 Bit Nutzdaten). Im mechanischen Aufbau gibt es die Balise in zwei Varianten: Standard- und Kompaktbalise. Die Standardbalise kann bei Geschwindigkeiten bis 500 km/h Kurz- und Langtelegramme übertragen. Die Kompaktbalise kann dies nur bis 300 km/h, darüber ist nur noch die Übertragung von Kurztelegrammen möglich.

7.5.2.2 Euroloop

Um insbesondere vor Hauptsignalen eine teilweise kontinuierliche Datenübertragung herzustellen („Infill“), dient Euroloop. Dabei handelt es sich in jedem Fall nur um eine Ergänzung der durch Balisen hergestellten punktförmigen Übertragung. Auf dem Fahrzeug befindet sich eine spezielle Euroloop-Antenne. Ein Euroloop wird durch Balisen angekündigt.

Die technische Realisierung geschieht durch einen am Schienenfuß verlegten Leckwellenleiter von maximal 800 m Länge. Er wird an einem Ende an eine LEU (siehe auch Abschn. 7.5.2.3) angeschlossen und am anderen Ende mit einem Abschlusswiderstand versehen. Er ist somit – wie der Name vermuten ließe – keine Schleife.

7.5.2.3 Lineside Electronic Unit (LEU)

Die Lineside Electronic Unit (LEU) dient der situationsgerechten Versorgung von Transparentdatenbalisen und Euroloops mit Informationen. Dazu werden Informationen aus der Stellwerkstechnik abgegriffen und in entsprechende Datentelegramme gewandelt.

Die Schnittstelle LEU–Stellwerkstechnik ist nicht spezifiziert, da die Stellwerkstechnik eine große Vielfalt bietet. Das Spektrum reicht vom seriellen Datenabgriff aus dem Stellwerk bis hin zur Auswertung von Lampenströmen oder potenzialfreier Kontakte. Dementsprechend kann eine LEU auch im Stellwerk oder in der Außenanlage z. B. in unmittelbarer Nähe eines Signals untergebracht sein.

7.5.2.4 Radio Block Centre (RBC)

In höheren ETCS-Levels wird GSM-R für die Datenübertragung zwischen Infrastruktur und Fahrzeug genutzt. Das Fahrzeug hält dabei ständig Kontakt mit dem Radio Block Centre (RBC). Dort werden die aktuelle Zugposition verwaltet und Informationen aus der Stellwerkstechnik so aufbereitet, dass daraus die Fahrerlaubnis (Movement Authority, MA) erzeugt wird. Außerdem werden Informationen mit dem Nachbar-RBC ausgetauscht. Das ist insbesondere dann erforderlich, wenn ein Zug die RBC-Grenze überschreitet (Handover).

Kern des RBC ist ein sicheres Rechnersystem (Abb. 7.12). Die Schnittstelle zwischen RBC und Stellwerk ist – analog zur LEU – nicht in ETCS spezifiziert und wird herstellerabhängig gestaltet.

Abb. 7.12 2v3-Rechnersystem eines RBC



7.5.2.5 ETCS-Fahrzeugausrüstung

Die Fahrzeugausrüstung besteht aus mehreren Komponenten mit dem European Vital Computer (EVC) als Kern. Die wesentlichen Komponenten sind:

- Odometrie: Mit der Odometrie wird die Geschwindigkeits- und Wegmessung vorgenommen. Primär handelt es sich dabei um Radumdrehungszähler; zur Erhöhung der Ortungsgenauigkeit wird ein Radar eingesetzt.
- Train Interface Unit (TIU): Schnittstelle zu den Antriebs- und Bremskomponenten des Fahrzeugs.
- Balise Transmission Module (BTM): Kommunikation mit Eurobalise.
- Loop Transmission Module (LTM): Kommunikation mit Euroloop.
- Euroradio: Kommunikation über GSM-R.
- Driver Maschine Interface (DMI): Das DMI ist die Schnittstelle zum Triebfahrzeugführer. Hier werden Istgeschwindigkeit, Zielgeschwindigkeit und Zielentfernung sowie weitere Zustände und Hinweise angezeigt. Die Bedienung erfolgt, je nach Hersteller, per Touch-Screen oder mit Soft-Keys.

Außerhalb der ETCS-Spezifikation steht das Specific Transmission Module (STM), mit dem eine Schnittstelle vom EVC zum nationalen Zugbeeinflussungssystem hergestellt werden kann, sodass keine separate informationsverarbeitende Einheit für das nationale System benötigt wird. Für jedes nationale System ist ein eigenes STM mit entsprechender Antenne erforderlich.

7.5.3 Ausrüstungsstufen (Level)

7.5.3.1 Level 0

Ist das Fahrzeug mit ETCS ausgerüstet, die Strecke jedoch nicht und kann auch ein eventuelles nationales System nicht mit den ETCS-Fahrzeugkomponenten beherrscht werden,

kann die ETCS-Fahrzeugausrüstung immer noch im Level 0 betrieben werden. Durch ETCS wird dabei lediglich die Istgeschwindigkeit angezeigt sowie die Geschwindigkeit des Fahrzeugs und die Geschwindigkeit für Strecken ohne Zugbeeinflussung überwacht. Letztere ist ein nationaler Wert (siehe auch Abschn. 7.1.1).

7.5.3.2 Level NTC

Besitzt ein ETCS-Fahrzeug auch das STM des nationalen Systems, mit dem die befahrene Strecke ausgerüstet ist, kann im Level NTC (National Train Control; früher: Level STM) gefahren werden. Über das STM werden die Informationen vom nationalen Zugbeeinflussungssystem empfangen und unter Nutzung ausgewählter ETCS-Fahrzeugkomponenten weiterverarbeitet. Dabei sind nur die Funktionen verfügbar, die das nationale System bietet. Eine Kommunikation mit ETCS-Balisen findet nur insoweit statt, wie sie den Wechsel eines Levels ankündigen bzw. kommandieren.

7.5.3.3 Level 1

Im Level 1 (Modus „Full Supervision“, siehe auch Abschn. 7.5.4.8) besitzt ETCS die volle Funktionalität einer Zugbeeinflussung mit diskontinuierlicher Übertragung und kontinuierlicher Überwachung. Die Informationen werden mit Eurobalisen übertragen und können durch Infill-Elemente ergänzt werden. Es findet nur eine Kommunikation von der Strecke zum Fahrzeug statt.

Die infrastrukturseitige Gleisfreimeldung ist weiterhin erforderlich. Durch die Funktionalität des DMI kann auf ortsfeste Signale verzichtet werden, in den meisten Fällen werden sie jedoch belassen um eine Signalisierung für nicht ausgerüstete Fahrzeuge bzw. in der Rückfallebene zu haben (Abb. 7.13).

Neben den Festdatenbalisen müssen im Level 1 Transparentdatenbalisen verwendet werden, da sie das primäre Medium zur Übertragung der Movement Authority (MA) sind. Sie müssen mindestens an den ggf. virtuellen Standorten von Haupt- und Vorsignal angeordnet sein. Da eine MA nur bei Überfahrt einer Transparentdatenbalise aktualisiert wird, sich die MA zwischenzeitlich aber ändern kann, ist eine häufigere Informationsübertragung wünschenswert. Dies kann auf drei Arten geschehen:

- Infill-Balisen geben zusätzliche Möglichkeiten zur punktförmigen Datenübertragung.
- Mittels Euroloop können auf dessen Wirklänge linienförmig Daten übertragen werden.
- Infill-Radio ist ein örtlich begrenzter Funk, in dessen Einzugsbereich ebenfalls Daten kontinuierlich übertragen werden können.

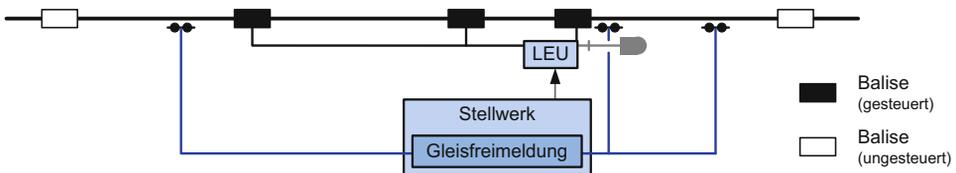


Abb. 7.13 ETCS Level 1

Die in der MA enthaltenen Informationen nutzt der EVC, um daraus die dynamischen Geschwindigkeitsprofile in Abhängigkeit von den Fahrzeugeigenschaften zu berechnen und zu überwachen. Außerdem werden die Führungsgrößen auf dem DMI angezeigt.

Zukünftig wird es eine besondere Ausprägung von ETCS Level 1 geben: Der Betrieb im Modus „Limited Supervision“ (LS). Hierbei wird nur die Zwangsbremsgeschwindigkeit (siehe auch Abschn. 7.5.4.6) überwacht und es stehen nur die Funktionen zur Verfügung, die die Schnittstellen der (nicht angepassten) Stellwerke beherrschen. Aus dem beschränkten Funktionsumfang ergibt sich eine nur teilweise kontinuierliche Überwachung. Die Übertragung erfolgt ausschließlich mit ETCS-Mitteln. Damit benötigen die Fahrzeuge, die diese Strecken befahren, nur die ETCS-Ausrüstung ohne STM bzw. kein zweites Zugbeeinflussungssystem.

Der Vorteil gegenüber Level 1 ergibt sich aus der Tatsache, dass das ansteuernde Stellwerk nicht für ETCS umgebaut werden muss, sondern die bestehenden Schnittstellen zum punktförmig übertragenden nationalen System genutzt werden. Nachteilig ist, dass in den meisten Fällen diese Schnittstellen nicht alle ETCS-Funktionen bedienen können, so dass im Level 1 LS nur die Funktionen umgesetzt werden können, die die Schnittstellen des vorangegangenen Zugbeeinflussungssystems beherrschen. Im Bereich der Deutschen Bahn ist angedacht, außerhalb der mit Level 2 ausgerüsteten Strecken die nahezu flächendeckend vorhandene PZB durch ein System mit ETCS Level 1 LS abzulösen.

7.5.3.4 Level 2

Beim Level 2 handelt es sich um eine Zugbeeinflussung mit kontinuierlicher Übertragung und Überwachung. Die dafür notwendige ständige Kommunikation wird über GSM-R realisiert. Somit wird es möglich, Daten auch vom Fahrzeug zur Infrastruktur zu übertragen. Die Ortung des Fahrzeugs geschieht mittels Festdatenbalisen und Odometrie.

Die zentrale Schnittstelle zwischen Fahrzeug und Stellwerk ist das Radio Block Centre (RBC), dem der Standort jedes ETCS-geführten Zuges bekannt ist. Mangels einer Zugintegritätsprüfung kann daraus jedoch nicht auf die Räumung von Gleisabschnitten geschlossen werden, weshalb eine konventionelle Gleisfreiprüfung nach wie vor benötigt wird. Das Stellwerk ist weiterhin für die Fahrwegsicherung zuständig. Informationen darüber werden dem RBC zur Verfügung gestellt, was seinerseits die MA generiert (Abb. 7.14).

Wie beim Level 1 kann auch hier auf ortsfeste Signale verzichtet werden, allerdings werden häufig für nicht mit ETCS ausgerüstete Züge und als Rückfallebene dennoch Signale aufgestellt. Die Berechnung der dynamischen Geschwindigkeitsprofile sowie die Anzeige auf dem DMI geschehen wie im Level 1.

7.5.3.5 Level 3

Level 3 ist die Weiterentwicklung von Level 2. Der ausschlaggebende Unterschied ist die Tatsache, dass für alle Züge eine Zugintegritätsprüfung erforderlich ist und im Gegenzug auf die ortsfeste Gleisfreimeldung verzichtet wird. Da nun sichergestellt ist, dass ein Zug vollständig ist, kann im Zusammenspiel mit der sicheren Ortung ein Fahren

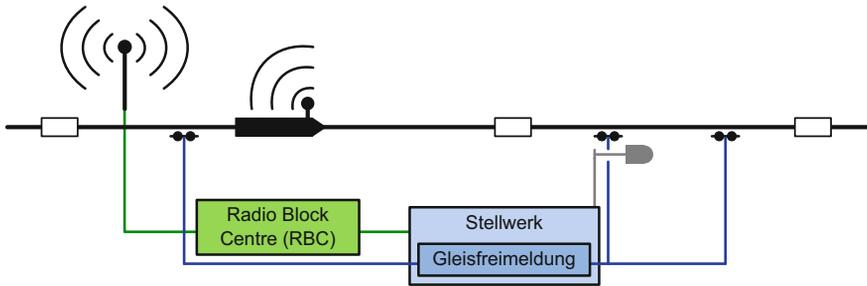


Abb. 7.14 ETCS Level 2

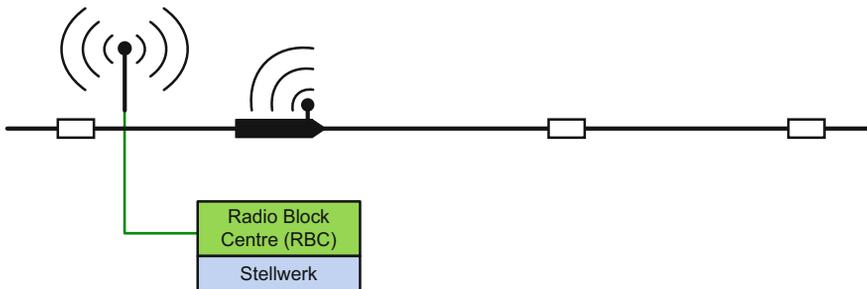


Abb. 7.15 ETCS Level 3

im wandernden Raumabstand („Moving Block“) realisiert werden. Weil es keinen festen Raumabstand mehr gibt, können auch keine ortsfesten Signale aufgestellt werden. Insofern müssen alle Züge mit ETCS und einer Zugintegritätsprüfung ausgerüstet sein (Abb. 7.15).

Da im Level 3 das RBC für die Abstandshaltung zuständig ist, verschieben sich einige Aufgaben vom Stellwerk zum RBC. Zusammen mit dem Verzicht auf ortsfeste Signale und Gleisfreimeldung ergeben sich erhebliche infrastrukturelle Einsparungen. Durch das Fehlen einer Zugintegritätsprüfung vor allem bei Güterzügen liegt jedoch eine Realisierung dieses Levels noch in weiter Ferne.

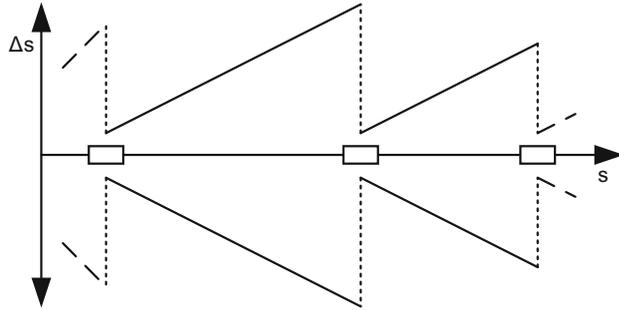
7.5.4 Funktionen

7.5.4.1 Balisengruppe

Balisen werden in Gruppen von 1–8 Balisen angeordnet und bilden damit eine Balisengruppe. Zur Richtungserkennung sind mindestens zwei Balisen notwendig; mehr werden genutzt, wenn eine größere Informationsmenge zu übertragen oder eine besonders hohe Verfügbarkeit gefordert ist, die durch redundante Telegramme erreicht wird.

Jede Balisengruppe besitzt Informationen über Name und Entfernung der nachfolgenden Balisengruppe (Linking). Hierdurch können ausgefallene Balisen erkannt, die

Abb. 7.16 Vertrauensintervall bei Wegmessung



fahrzeugseitige Wegmessung kalibriert und Balisengruppen mit nur einer Balise eine Gültigkeitsrichtung zugeordnet werden. Mit der Verkettungsinformation wird auch die bei Nichtantreffen vorgeschriebene Verhaltensweise mitgegeben, die von keiner Reaktion bis zur Zwangsbremmung reicht.

7.5.4.2 Fahrzeugseitige Ortung

Die fahrzeugseitige Ortung erfolgt mittels Festdatenbalisen, die sehr genau eingemessen werden und den verlegten Ort wiedergeben. Damit fungieren sie als „elektronischer Kilometerstein“. Zwischen diesen Balisen erfolgt die Ortung durch Hochrechnung der gefahrenen Strecke, die mit der Odometrie (primär durch Radumdrehungszählung) gemessen wird. Da sie mit Fehlern behaftet ist, muss das bei der Berechnung des Ortes berücksichtigt werden. Hierzu wird ein Vertrauensintervall gebildet, das mit steigender Entfernung von der letzten Positionsbalise linear größer wird (Abb. 7.16).

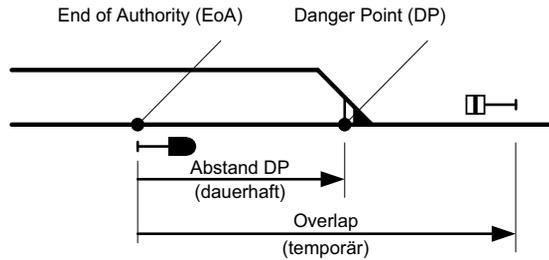
7.5.4.3 Movement Authority (MA)

Die Erlaubnis zum Befahren eines Abschnitts wird durch die **Movement Authority** (MA) übertragen. Diese kann mehrere Teilabschnitte enthalten. Mit der MA werden Informationen zu Länge und Eigenschaften der Teilabschnitte, darunter auch optional ein Verfall der MA nach einer bestimmten Zeit (Timeout) übergeben.

Am Zielpunkt befindet sich die **End of Authority** (EoA). Außerdem wird die **Supervised Location** (SvL) definiert. Die SvL ist der Punkt, bis zu dem ein Gleisabschnitt als gesichert angesehen wird, falls die EoA überfahren wird. Als SvL gilt folgender Ort:

- **Overlap**: Durchrutschweg-Ende, wenn ein Durchrutschweg vorhanden und gesichert ist (entspricht „Bremsfahrt überwachen“ und „Weiterfahren gegen Halt zeigende Signale überwachen“ der PZB 90),
- **Danger Point (DP)**: Maßgebende Gefahrstelle, wenn kein Overlap vorhanden ist (entspricht „Anfahren gegen Halt zeigende Signale überwachen“ der PZB 90),
- **End of Authority (EoA)**: wenn weder Durchrutschweg noch Danger Point vorhanden sind (Abb. 7.17).

Abb. 7.17 End of Authority und Möglichkeiten der Supervised Location



Die maßgebende Gefahrstelle ist der Punkt, an dem sich beim Überfahren der EoA zuerst eine Gefährdung ergibt, wenn kein Durchrutschweg eingestellt ist. Da die maßgebende Gefahrstelle in der Übersetzung von Danger Point auch intuitiv Gefahrpunkt genannt wird, muss darauf geachtet werden, dass der gleichlautende Begriff nicht mit dem Gefahrpunkt hinter Einfahr-, Block- und Deckungssignalen (siehe auch Abschn. 5.3.2.2) verwechselt wird.

Das Fahrzeug erhält die MA in Level 1 über Balisen bzw. Infill-Elemente vom Stellwerk, in Level 2 und 3 über GSM-R vom RBC. Dabei muss bei Funkübertragung die MA mindestens alle 60 s übertragen werden. In jedem Fall ersetzt eine neue MA immer die alte.

7.5.4.4 Statisches Geschwindigkeitsprofil

Infrastrukturelle Eigenschaften, wie

- EoA,
- Geschwindigkeitsprofil der Strecke (Langsamfahrstellen, sonstige Einschränkungen),
- signalisierte Geschwindigkeiten

bilden das statische Geschwindigkeitsprofil (Static Speed Profile, SSP), was per ETCS auf das Fahrzeug übertragen wird. Im ETCS-Fahrzeuggerät wird daraus und aus den fahrzeugseitigen Vorgaben, wie

- zulässige Geschwindigkeit des Fahrzeugs,
- Zuglänge,
- Geschwindigkeitsbeschränkung des Betriebsmodus (siehe auch Abschn. 7.5.4.7)

das individuelle statische Geschwindigkeitsprofil (Most Restrictive Speed Profile, MRSP) berechnet (Abb. 7.18).

7.5.4.5 Dynamisches Geschwindigkeitsprofil

Aus dem individuellen statischen Geschwindigkeitsprofil wird im Fahrzeug das dynamische Geschwindigkeitsprofil berechnet, was die zulässige Geschwindigkeit (Permitted

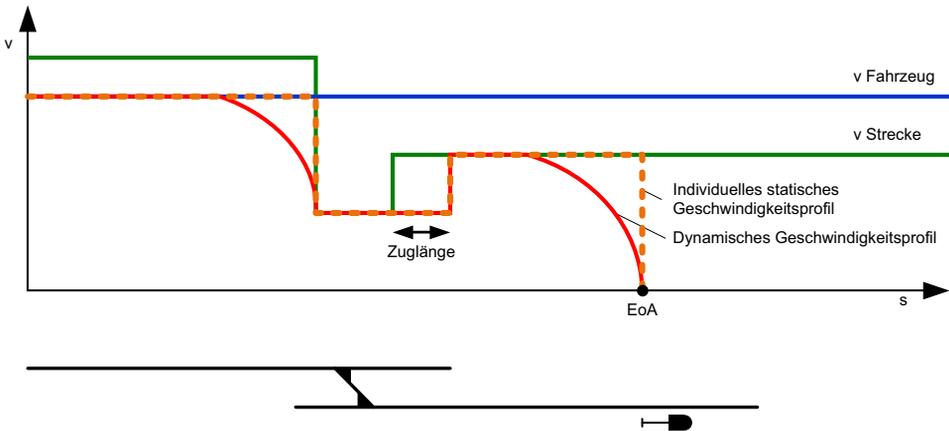


Abb. 7.18 Statisches und dynamisches Geschwindigkeitsprofil

Speed, P) darstellt. Dazu werden Fahrzeug- und Streckendaten benötigt, die das individuelle Bremsverhalten des Fahrzeugs beschreiben. Dazu gehören im Wesentlichen die

- Bremsverzögerung bei Betriebs- und Zwangsbremung und
- Neigung der Strecke.

Die Streckendaten werden mittels ETCS übertragen, während die Fahrzeugdaten entweder vorkonfiguriert (z. B. bei Triebwagen) oder durch die Eingabe der Daten durch den Triebfahrzeugführer bekannt sind.

7.5.4.6 Überwachungskurven

Das dynamische Geschwindigkeitsprofil bildet die zulässige Geschwindigkeit ab. Um bei kleinen Ungenauigkeiten der Geschwindigkeitsregelung nicht gleich eine Zwangsbremung hervorzurufen, wird die Geschwindigkeit in mehreren Stufen mit unterschiedlichen Folgen überwacht. Der Abstand zwischen den nachfolgend beschriebenen Kurven „Zulässige Geschwindigkeit“ und „Zwangsbremseinsatzgeschwindigkeit“ beträgt, abhängig von der aktuellen Geschwindigkeit, 5–15 km/h [TV09].

Die zulässige Geschwindigkeit wird dem Triebfahrzeugführer auf dem DMI angezeigt. Ist eine Geschwindigkeitsreduktion zu erwarten, so wird der Triebfahrzeugführer mit dem Erreichen der Vorwarngeschwindigkeit (Preindication) auf die bevorstehende Bremsung hingewiesen. Bei geringfügiger Überschreitung der zulässigen Geschwindigkeit wird zunächst die Warnkurve (Warning, W) erreicht. Hierbei erfolgt lediglich eine Warnung des Triebfahrzeugführers. Die Warnung bleibt solange bestehen, bis die zulässige Geschwindigkeit wieder erreicht ist.

Steigt die Geschwindigkeit weiter an, so dass die Schnellbremseinsatzgeschwindigkeit (Service Brake Intervention, SBI) erreicht wird, erfolgt eine Schnellbremsung durch

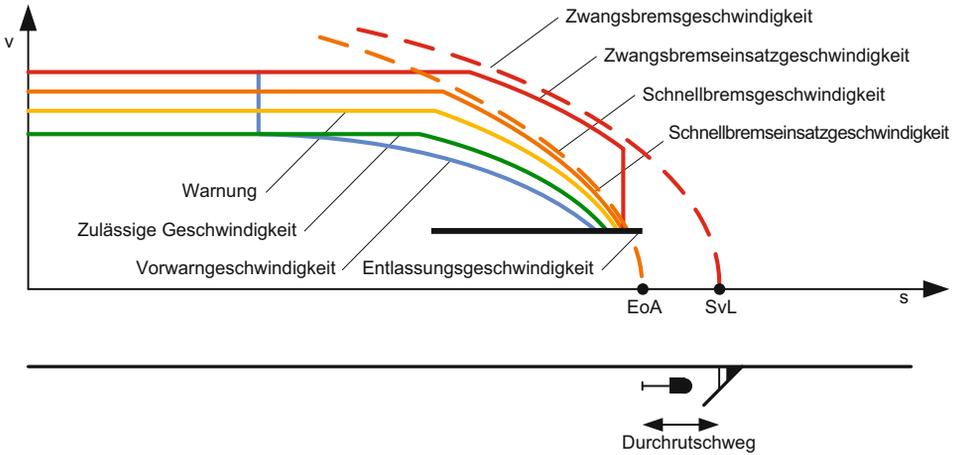


Abb. 7.20 Überwachungskurven bei konstanter Entlassungsgeschwindigkeit

(Vorwarngeschwindigkeit, Warnung und Schnellbremseinsatzgeschwindigkeit) unterhalb der Entlassungsgeschwindigkeit werden unterdrückt.

Die Entlassungsgeschwindigkeit kann auf zwei Wegen ermittelt werden. Zum einen kann es ein konstanter Wert sein (z. B. 30 km/h), der entweder infrastrukturell vorgegeben wird oder aus einem nationalen Wert besteht (Abb. 7.20). Dabei ist es Aufgabe des Infrastrukturbetreibers sicherzustellen, dass eine eventuelle Zwangsbremmung an der EoA aus der Entlassungsgeschwindigkeit nicht zu einem Überfahren der SvL führt.

Die zweite Möglichkeit ist die Berechnung der Entlassungsgeschwindigkeit vom Fahrzeugrechner unter Berücksichtigung der SvL. Die Entlassungsgeschwindigkeit berechnet sich dabei aus der Geschwindigkeit der Zwangsbremseinsatzgeschwindigkeit (EBI) an der EoA. Hierdurch ist sichergestellt, dass eine Zwangsbremmung an der EoA immer zu einem Halt vor der SvL führt.

Mit der Überwachung auf die Entlassungsgeschwindigkeit ist es möglich, die Balise an der EoA zu überfahren und hier eine neue MA aufzunehmen. Liegt bei Überfahrt keine neue MA vor, erfolgt die Zwangsbremmung.

7.5.4.8 Betriebsmodi

Je nach betrieblichem und technischem Zustand sind in ETCS verschiedene Betriebsmodi definiert. Hierbei variieren das Überwachungsniveau und der Grad der Verantwortung des Triebfahrzeugführers. Um eine Anpassung an nationale Gegebenheiten zu erreichen, werden für verschiedene Vorgabewerte (meist Geschwindigkeiten) nationale Werte (national values) definiert.

Full Supervision (FS)

Sofern möglich, wird in den Leveln 1, 2 und 3 der Modus Full Supervision (FS) angestrebt. Hierbei besteht eine vollständige Überwachung durch ETCS.

Limited Supervision (LS)

Im Modus Limited Supervision (LS) sind, wie der Name schon aussagt, nur eingeschränkte Überwachungsfunktionen aktiv. Der Triebfahrzeugführer erhält seine Fahrerlaubnis ausschließlich durch ortsfeste Signale, die Führerraumsignalisierung zeigt keine Führungsgrößen an. Es wird nur die Zwangsbremskurve überwacht.

On Sight (OS)

Der Modus On Sight (OS) wird streckenseitig kommandiert und dient der Fahrt auf Sicht in ein möglicherweise besetztes Gleis. Dabei wird eine Geschwindigkeit nach nationalem Wert (D: 40 km/h) überwacht.

Shunting (SH)

Für Rangierfahrten dient der Modus Shunting (SH). Auch hier wird eine Geschwindigkeit nach nationalem Wert (D: 40 km/h) überwacht. Für den Modus müssen keine Zugdaten eingestellt sein. Der erlaubte Bereich des Rangierens wird durch Balisen überwacht.

Staff Responsible (SR)

Soll ohne eine MA gefahren werden, wie z. B. nach Aufrüsten des Fahrzeugs, Fahrt auf Befehl oder Verlust der Verbindung zum RBC, muss der Modus Staff Responsible (SR) gewählt werden. Hierbei geht die Verantwortung für den Fahrweg auf den Triebfahrzeugführer über. Es erfolgt ebenfalls eine Überwachung auf eine Geschwindigkeit nach nationalem Wert (D: 40 km/h). Eine Begrenzung für eine maximal zurückzulegende Strecke ist möglich.

National System (SN)

In National System (SN) erfolgt die Überwachung durch ein nationales System unter Nutzung von ETCS-Fahrzeugkomponenten, wie z. B. Odometrie oder DMI. Voraussetzung ist die Ausrüstung des Fahrzeugs mit den Antennen des nationalen Systems (siehe auch Abschn. 7.5.3.2).

Reversing (RV)

Reversing (RV) dient dem Rückwärtsfahren zur Evakuierung vor allem aus Tunneln. Wo dieser Modus infrastrukturell zugelassen ist, kann ohne Führerraumwechsel rückwärts mit begrenzter Geschwindigkeit für eine begrenzte Strecke gefahren werden.

Trip (TR)

Bei einer durch ETCS ausgelösten Zwangsbremmung wird automatisch in den Modus Trip (TR) gewechselt. Der Modus bleibt bis zum Stillstand des Fahrzeugs erhalten.

Post Trip (PT)

Nach Halt im Modus Trip und Bestätigung durch den Triebfahrzeugführer kommt nur ein Wechsel in Post Trip (PT) in Frage. In diesem Modus ist nur das Rückwärtsfahren mit einer beschränkten Länge möglich. Anschließend kann in Shunting gewechselt werden oder, um eine neue MA zu erhalten, im Level 1 in den Modus Staff Responsible, bzw. in den Leveln 2 und 3 direkt in Full Supervision nach Erhalt einer MA.

Weitere Modi

- Stand By (SB): Grundzustand nach Einschalten des Fahrzeugs.
- Non Leading (NL): Für nicht vom führenden Fahrzeug aus gesteuerte Triebfahrzeuge.
- Sleeping (SL): Für vom führenden Fahrzeug aus gesteuerte Triebfahrzeuge.
- Unfitted (UN): Zur Befahrung von Strecken im Level 0 (siehe auch Abschn. 7.5.3.1).
- Isolated (IS): Zur Abtrennung des ETCS-Fahrzeuggerätes von den übrigen Einrichtungen des Fahrzeugs bei Fehlfunktionen.
- No Power (NP): Bei Ausfall der Energieversorgung, Einleitung der Zwangsbremmung.
- System Failure (SF): Bei sicherheitsrelevanten Ausfällen, Einleitung der Zwangsbremmung.

Der Bahnübergang ist ein Schnittpunkt zweier Verkehrsträger: Schienen- und Straßenverkehr. Sie besitzen sehr unterschiedliche Eigenschaften, weshalb hier besondere Anforderungen an die Sicherung beider Verkehre zu stellen sind.

8.1 Grundlagen

8.1.1 Benutzung des Bahnübergangs

Ein Bahnübergang (BÜ) ist die Gesamtheit der Anlagen, die zur sicheren Benutzung eines definierten, gemeinsamen Verkehrsraumes von Schienen- und Straßenverkehr dient. Der gemeinsame Verkehrsraum, auch Gefahrenraum genannt, entsteht aus einer höhengleichen Kreuzung von Gleisen mit Straßen und Wegen (Abb. 8.1).

Aufgrund der gemeinsamen Benutzung durch zwei unterschiedliche Verkehrsträger muss eine Regelung über die Benutzung dieses Raumes erfolgen. Wegen der im Vergleich zum Straßenverkehr hohen kinetischen Energie und des langen Bremsweges fahrender

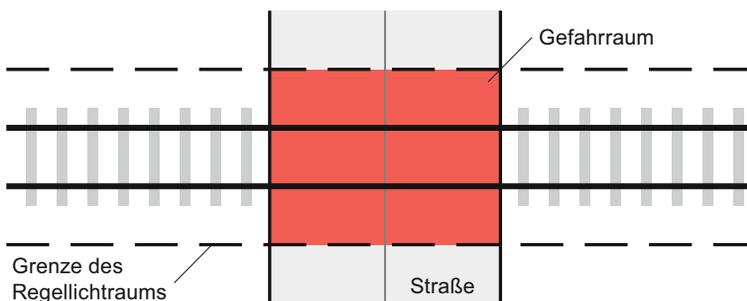


Abb. 8.1 Gefahrenraum

Schienenfahrzeuge (siehe auch Abschn. 2.2.1) ist ein Anhalten zur Gewährung des Vorranges eher dem Straßenverkehr zuzumuten. Aus diesem Grund ist am Bahnübergang in fast jedem Fall der Eisenbahn Vorrang zu gewähren.

Dazu ist den Straßenverkehrsteilnehmern die Annäherung eines Schienenfahrzeugs rechtzeitig anzukündigen. Das Gebot der Vorranggewährung wird dem Straßenverkehr gewöhnlich mit einem Andreaskreuz (auch: Warnkreuz) signalisiert. Diese nichttechnische Art der Sicherung reicht aber in vielen Fällen nicht aus:

- Bei schnell fahrenden Schienenfahrzeugen wäre die Sicht des Straßenverkehrsteilnehmers auf das Schienenfahrzeug für ein gefahrloses Anhalten zu kurz. Eine Verringerung der Geschwindigkeit auf der Schiene ist nicht zumutbar.
- Durch das Abbremsen der Straßenfahrzeuge zur Erlangung der Übersicht ergäbe sich eine starke Behinderung des Straßenverkehrs.
- Bei starkem Straßen- und/oder Schienenverkehr wäre die Begegnungswahrscheinlichkeit so hoch, dass bei einem Fehlverhalten die Wahrscheinlichkeit für einen Zusammenprall zu groß ist.

In solchen Fällen müssen technische Einrichtungen die Regelung über die Benutzung des gemeinsamen Verkehrsraumes übernehmen.

Dementsprechend kann die Information über ein sich näherndes Schienenfahrzeug

- direkt mittels unmittelbarer Sicht auf das Fahrzeug (nichttechnisch) oder
- indirekt mittels technischer Einrichtungen am Bahnübergang

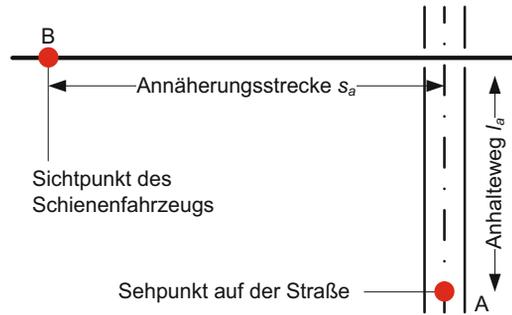
erfolgen.

An technisch gesicherte Bahnübergänge werden sehr hohe Anforderungen an Sicherheit und Verfügbarkeit gestellt, da sich der Straßenverkehrsteilnehmer im Allgemeinen auf die Funktion der Sicherungsanlage verlassen darf. Könnte er dies nicht, so müsste er sich wie bei einem nichttechnisch gesicherten Bahnübergang verhalten, wodurch sich eine starke Behinderung des Straßenverkehrs ergäbe. Bei einem Ausfall der Technik müssen technische oder organisatorische Rückfallebenen geschaffen werden, um den Bahnübergang weiterhin sicher zu betreiben.

8.1.2 Seh- und Sichtpunkt

Der in Abb. 8.2 dargestellte Sehpunkt auf der Straße (A) ist die Stelle, an der das Schienenfahrzeug spätestens direkt oder indirekt wahrgenommen sein muss, damit der Straßenverkehrsteilnehmer noch anhalten kann. Dieser Punkt befindet sich im Abstand des Anhalteweges l_a vor dem BÜ.

Abb. 8.2 Sehpunkt auf der Straße (A) und Sichtpunkt des Schienenfahrzeugs (B)



Kann der Straßenbenutzer das Nähern eines Schienenfahrzeugs nicht mehr rechtzeitig wahrnehmen, muss er den Bahnübergang unter Beibehaltung seiner Geschwindigkeit konfliktfrei passieren können. Der Sichtpunkt des Schienenfahrzeugs (B) ist die Stelle, an der sich das Schienenfahrzeug frühestens befinden darf, wenn es von einem Straßenbenutzer, der sich bereits hinter dem Punkt A befindet, gesehen wird. Somit kann der Straßenbenutzer den Bahnübergang noch gefahrlos räumen. Der Sichtpunkt B befindet sich im Abstand der Annäherungsstrecke s_a vom Bahnübergang. Er entspricht bei technisch gesicherten Bahnübergängen dem theoretischen Einschaltpunkt der Bahnübergangssicherungsanlage, jedoch sind praktisch weitere Zeiten und Wege zu berücksichtigen (siehe auch Abschn. 8.3.3).

8.1.3 Räumung des Gefahrenraums

Damit der Gefahrenraum des Bahnübergangs bei Eintreffen eines Schienenfahrzeugs tatsächlich frei von Straßenverkehrsteilnehmern ist, werden neben der rechtzeitigen Warnung folgende Maßnahmen alternativ getroffen:

- ständige Möglichkeit der Ausfahrt oder
- Freiprüfung
 - visuell durch Bediener (durch direkte Sicht oder indirekt mittels Videotechnik) oder
 - durch technische Sensoren.

Eine technische Gefahrenraumfreimeldung kann z. B. durch Radarscanner (siehe auch Abschn. 4.1.2.3) geschehen. Die Anwendung der Gefahrenraumfreiprüfung ist von den jeweils geltenden Einsatzvorschriften abhängig. So ist im Geltungsbereich der EBO bei Vollabschluss des Bahnübergangs mit Schranken eine Freiprüfung vorgeschrieben.

8.2 Nichttechnische BÜ-Sicherung

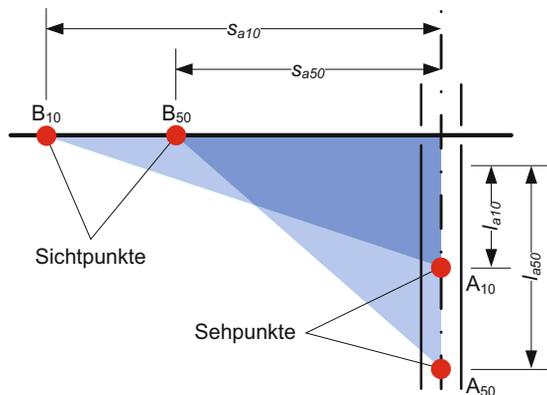
Die nichttechnische Sicherung von Bahnübergängen erfordert ein hohes Maß an Aufmerksamkeit des Straßenverkehrsteilnehmers, da dieser selbst die Sicherung durch Beobachtung übernehmen muss. Die Entscheidung über die gefahrlose Benutzung setzt eine entsprechende Übersicht voraus, die sich aus den Punkten A und B ergibt (Abb. 8.2). Aus den Punkten und dem Kreuzungspunkt des Bahnübergangs entsteht das Sichtdreieck, was von Sichthindernissen frei gehalten werden muss.

Das Sichtdreieck unterscheidet sich jedoch nach der Geschwindigkeit der Straßenfahrzeuge. Langsame Fahrzeuge haben zwar einen kürzeren Anhalteweg l_a , jedoch benötigen sie aufgrund der geringen Geschwindigkeit eine längere Zeit zum Räumen des BÜ. Deshalb müssen sie das Schienenfahrzeug in einer größeren Entfernung wahrnehmen können, weshalb der Sichtpunkt B für die geringe Geschwindigkeit des Straßenfahrzeugs weiter vom Bahnübergang entfernt ist, als der für höhere Geschwindigkeiten. Abbildung 8.3 zeigt die unterschiedlichen Sichtdreiecke für eine Geschwindigkeit von 10 und 50 km/h.

Kann die Sicht im Sichtdreieck nicht hergestellt werden, so sind weitere Maßnahmen erforderlich. Dazu können die Geschwindigkeiten sowohl auf der Straße als auch auf der Schiene verringert werden, wodurch die Sehpunkte näher an den Bahnübergang rücken und die Sichtdreiecke kleiner werden. Außerdem können durch das Schienenfahrzeug gegebene Pfeifsignale zur Erhöhung der Aufmerksamkeit der Straßenverkehrsteilnehmer vorgeschrieben werden.

Zur Herstellung der Übersicht für Fußgänger und Radfahrer werden auch Umlaufsperrn genutzt. Umlaufsperrn verringern einerseits die Geschwindigkeit derart, dass der Sehpunkt A unmittelbar an den Bahnübergang heranrückt. Andererseits sollen sie die Aufmerksamkeit des Benutzers erhöhen.

Abb. 8.3 Sichtdreiecke für 10 und 50 km/h auf der Straße



8.3 Technische BÜ-Sicherung

8.3.1 Sicherungsarten

Die optische Signalgebung an den Straßenverkehr, die die Annäherung eines Schienenfahrzeugs anzeigt, kann auf zwei Arten geschehen:

- Absperrung der Fahrbahn durch Schranken,
- Geben von Lichtzeichen mit Blink- oder Dauerlicht.

Meist wird eine Kombination beider Signalgebungen angewandt. Die Absperrung der Fahrbahn hat den Vorteil, dass ein Eindringen in den Gefahrraum physisch verhindert wird. Hier ist zu unterscheiden zwischen

- Schranken, die nur die auf den Gefahrraum zulaufenden Fahrstreifen sperren (Halbschranken, Abb. 8.4) und
- Schranken, die alle Fahrstreifen sperren und damit einen Vollabschluss herstellen.

Halbschranken haben den Nachteil, dass durch das Umfahren im geschlossenen Zustand Gefährdungen verursacht werden können, während sie aber den Vorteil der ständigen Ausfahrmöglichkeit aus dem Gefahrraum bieten. Zur Unterstützung der Warnung kann die Anlage, vor allem bei starkem Fußgängerverkehr, mit akustischen Signalgebern (Wecker, Gong) ergänzt werden.

Eine besondere Form der Betriebsführung bieten Anrufschraken. Diese werden an Bahnübergängen eingesetzt, bei denen mehr Eisenbahn- als Straßenverkehr stattfindet. Folglich sind sie in Grundstellung geschlossen. Die Öffnung erfolgt auf Anforderung eines Wegbenutzers, wenn sich kein Zug im Annäherungsbereich befindet. Anrufschraken werden heute nur noch an solchen Bahnübergängen eingesetzt, die nicht aufgelassen werden können, weil sie z. B. die einzige Zufahrt zu einem Grundstück darstellen und an denen eine nichttechnische Sicherung aufgrund des starken Eisenbahnverkehrs ausscheidet.

Abb. 8.4 Bahnübergang mit Lichtzeichen und Halbschranken



8.3.2 Einschaltarten

8.3.2.1 Fahrzeugbewirkt

Die fahrzeuggesteuerte Einschaltung ist sehr häufig anzutreffen. Über Sensoren am Gleis wird das sich nähernde Schienenfahrzeug geortet und damit die Einschaltung ausgelöst.

8.3.2.2 Fahrstraßenbewirkt

Befindet sich zwischen dem theoretischen Einschaltpunkt und dem Bahnübergang ein Hauptsignal, so ist eine fahrzeuggesteuerte Einschaltung nicht möglich, da das Signal Halt zeigen kann und damit ein vorher eingeschalteter Bahnübergang unnötigerweise für den Straßenverkehr gesperrt wäre. Ähnlich verhält es sich mit Gleisverzweigungen in diesem Bereich; hier würde nach einer Einschaltung der Bahnübergang nicht unbedingt befahren werden. In solchen Fällen wird die Einschaltung des Bahnübergangs mit Einstellung der Fahrstraße vorgenommen (siehe auch Abschn. 5.2.3.10). Die Funktion derart gesteuerter Bahnübergänge lässt sich in der Regel nur mit der Art Hp (siehe auch Abschn. 8.3.3) überwachen.

Nachteilig bei einer solchen Einschaltung und Überwachung ist die lange Sperrzeit für den Straßenverkehr, da die Fahrtstellung des Hauptsignals erst nach Sicherung des Bahnübergangs erfolgt. Ein durchfahrender Zug benötigt aber für eine behinderungsfreie Fahrt schon am Vorsignal den Begriff „Fahrt erwarten“, weshalb die Sicherung des Bahnübergangs sehr früh erfolgen muss. Um die Sperrzeit zu optimieren, besteht die Möglichkeit, im wohldefinierten Abstand vor dem Sichtpunkt des Vorsignals ein Gleisschaltmittel zuzuordnen; dieses stößt die Einschaltung der Bahnübergangssicherungsanlage an, wodurch die Einschaltung zum spätestmöglichen Zeitpunkt erfolgt, ohne den Zugverkehr zu behindern.

8.3.2.3 Bedienerbewirkt

Die bedienergesteuerte Einschaltung durch örtliches Personal (Schrankenwärter) ist heute nur noch sehr selten anzutreffen. Hingegen ist die bedienergesteuerte Einschaltung durch Zug- oder Rangierpersonal in bestimmten Fällen unerlässlich. Dabei erfolgt die Einschaltung

Abb. 8.5 In der Außenanlage aufgestellte Einschalttaste (ET) für Bahnübergänge



tung durch Betätigung von Bedienelementen in der Nähe des Gleises (Abb. 8.5). Die Einschaltart wird dann angewandt, wenn der theoretische Einschaltpunkt nicht befahren wird, zwischen ihm und dem Bahnübergang ein planmäßiger Aufenthalt für alle Züge erfolgt (z. B. zum Fahrgastwechsel) oder einfache Verhältnisse vorliegen (z. B. in Rangierbereichen).

8.3.3 Überwachung der Funktion

Zur Überwachung der Funktion eines Bahnübergangs kann grundsätzlich zwischen der Überwachung der Einschaltung und der Überwachung der Einschaltbereitschaft unterschieden werden. Der Unterschied liegt in der Voraussetzung für die Zulassung einer Fahrt über den Bahnübergang. Während bei Überwachung der Einschaltung der Bahnübergang eingeschaltet haben muss, ist bei der Überwachung der Einschaltbereitschaft nur die Rückmeldung über die ordnungsgemäße Funktion notwendig. Es wird dazu angenommen, dass der Bahnübergang bei Einschaltanstoß einschalten wird (Fehlerausschluss).

8.3.3.1 Überwachung der Einschaltung

Bei der Überwachung der Einschaltung wird geprüft, ob sich der Bahnübergang in gesichertem Zustand befindet. Ist die Voraussetzung gegeben, muss das der sich nähernden Fahrt mittels Überwachungssignal mitgeteilt oder die Fahrt mittels Haupt- oder Sperr- bzw. Rangierfahrtsignal zugelassen werden.

Was dabei als „gesicherter Zustand“ gilt, ist abhängig von den Richtlinien des Infrastrukturbetreibers. In jedem Fall muss auf jeder Seite des Bahnübergangs mindestens ein Lichtzeichen das rote Blink- oder Standlicht zeigen. Beim Einsatz von Schranken gibt es verschiedene Möglichkeiten, wann ein Bahnübergang als gesichert gilt:

- bei letzter Schließung waren Schranken geschlossen,
- Schranke ist aus der oberen Endlage angelaufen,
- Schranke ist geschlossen.

Überwachung mit Überwachungssignal (ÜS)

Das Überwachungssignal (Abb. 8.6) steht im Bremswegabstand vor dem Bahnübergang und zeigt dem Triebfahrzeugführer unmittelbar an, ob der Bahnübergang gesichert ist. Zeigt das Signalbild, dass der Bahnübergang nicht gesichert ist, muss der Triebfahrzeugführer eine ersatzweise Sicherung durchführen bzw. veranlassen und die Unregelmäßigkeit melden. Die Offenbarung eines Fehlers an der Bahnübergangssicherungsanlage erfolgt somit durch den Triebfahrzeugführer. Als Einschaltarten kommen die fahrzeugbewirkte und die bedienerbewirkte Einschaltung zur Anwendung.

Derartige Anlagen besitzen den Vorteil, dass sie autark arbeiten und keine technische Verbindung zu Stellwerken hergestellt werden muss. Nachteilig ist, dass die Sperrzeit für den Straßenverkehr etwas länger ist als für die Annäherung eigentlich notwendig, da das

Abb. 8.6 Überwachungssignal vor dem Bahnübergang einer Anschlussbahn



Überwachungssignal im Bremswegabstand aufgestellt werden muss und demzufolge die Einschaltung noch davor zu geschehen hat.

Überwachung mit Hauptsignal (Hp)

Die Überwachung der Einschaltung mittels Hauptsignal muss dann erfolgen, wenn zwischen dem theoretischen Einschaltpunkt und dem Bahnübergang ein Hauptsignal angeordnet ist. Hierbei wird die Sicherung des Bahnübergangs in die Kriterien für die Fahrtstellung des Hauptsignals einbezogen.

Bei Störung des Bahnübergangs kommt das Hauptsignal nicht in die Fahrtstellung und der Zugfahrt muss ersatzweise zugestimmt werden. In dem Zusammenhang ist der Bahnübergang anderweitig (z. B. durch Schrittgeschwindigkeit des Schienenfahrzeugs und Geben von Achtungspfeifen) zu sichern. Wie in Abschn. 8.3.2.2 beschrieben, ergibt sich in dieser Überwachungsart die längste Sperrzeit für den Straßenverkehr.

8.3.3.2 Überwachung der Einschaltbereitschaft

Da bei der Überwachung der Einschaltbereitschaft nur geprüft wird, ob der Bahnübergang bei Anforderung einschalten wird, werden an diesen besonders hohe Anforderungen an die Verfügbarkeit gestellt. Die Steuerungen solcher Bahnübergänge sind in der Regel zweikanalig aufgebaut und überwachen sich ständig selbst. Bei Feststellung eines sicherheitsrelevanten Fehlers wird die Einschaltung der Bahnübergangssicherungsanlage technisch erwirkt.

Der größte Vorteil derart überwachter Bahnübergänge ist die kurze Sperrzeit für den Straßenverkehr. Durch die sichere Einschaltung ist kein Überwachungs- oder Hauptsignal notwendig, was über den Zustand des Bahnübergangs informiert. Somit erfolgt die Einschaltung fahrzeugsbewirkt am optimalen Punkt.

Fernüberwachung (Fü)

Bei der reinen Fernüberwachung befinden sich Melde- und Bedienelemente beim zuständigen Fahrdienstleiter, was eine technische Verbindung verlangt, die unter Umständen sehr lang sein kann. Fehler und Störungen werden dort gemeldet und lösen entsprechende Reaktionen des Fahrdienstleiters aus.

Fernüberwachte Bahnübergänge sind bei hoher Zentralisierung der Bedienung nachteilig, da in großen Bedienbereichen viele Fernüberwachungen von einem Fahrdienstleiter zu beachten sind und damit die Arbeitsbelastung steigt.

Optimierte Einschaltung mit Überwachungssignal (\ddot{U}_{OE})

Eine Alternative zur Fernüberwachung ist die optimierte Einschaltung mit Überwachungssignal (\ddot{U}_{OE}). Dabei werden die Vorteile der Überwachungsart Fü mit dem Vorteil der Art ÜS, dass hier der Triebfahrzeugführer und nicht der Fahrdienstleiter für die Überwachung verantwortlich ist, kombiniert.

Bei bestehender Einschaltbereitschaft zeigt das Überwachungssignal die ordnungsgemäße Funktion der Anlage an. Somit ist die Anzeige „Bahnübergang gesichert“ die Grundstellung – im Gegensatz zur klassischen Überwachungsart ÜS, bei der dieses Signalbild nur bei eingeschalteter Bahnübergangssicherungsanlage erscheint.

Optimierte Einschaltung mit Hauptsignal (H_{pOE})

Um dem großen Nachteil der langen Sperrzeiten in der Überwachungsart Hp abzuweichen, wurden Überlegungen zur Überwachungsart H_{pOE} angestellt. Ähnlich wie bei \ddot{U}_{OE} soll dabei für die Fahrtstellung des Hauptsignals nur die Einschaltbereitschaft des Bahnübergangs geprüft werden. Hierfür sind aber noch nicht alle Probleme gelöst, so dass diese Überwachungsart bisher nicht realisiert ist.

8.3.3.3 Vergleich der Überwachungsarten

Die aus den Überwachungsarten resultierenden, unterschiedlichen Sperrzeiten eines Bahnübergangs werden im Folgenden verglichen (Abb. 8.7).

Die **Annäherungszeit** ist die Zeit, die ein Zug minimal vom Einschaltpunkt bis zum Erreichen des Bahnübergangs benötigt. Sie ist proportional zur Einschaltstrecke s_e . Die **Räumzeit** eines Bahnübergangs ist die Zeit, die ein Straßenverkehrsteilnehmer maximal vom Sehpunkt A bis zum vollständigen Verlassen des Gefahrenraums benötigt. Zum gefahrlosen Betrieb muss die Annäherungszeit gleich oder größer sein als die Räumzeit. Zur Vermeidung langer Sperrzeiten soll die Annäherungszeit nicht wesentlich größer sein. Die kürzestmögliche Annäherungszeit ergibt sich, wenn die Einschaltung am optimalen Punkt erfolgt, was bei einigen Überwachungsarten jedoch nicht möglich ist.

In der Überwachungsart ÜS setzt sich die Annäherungsstrecke aus dem Bremswegabstand, der Signalsichtstrecke und der Sicherheitsstrecke zusammen. Die Sichtzeit ist die Zeit, die der Triebfahrzeugführer benötigt, um das Signal sicher wahrzunehmen. Mit der örtlich zulässigen Geschwindigkeit kann die Zeit in die Signalsichtstrecke s_{sicht} umgerechnet werden. Nach dem Einschaltanstoß ist der Bahnübergang noch nicht gesichert.

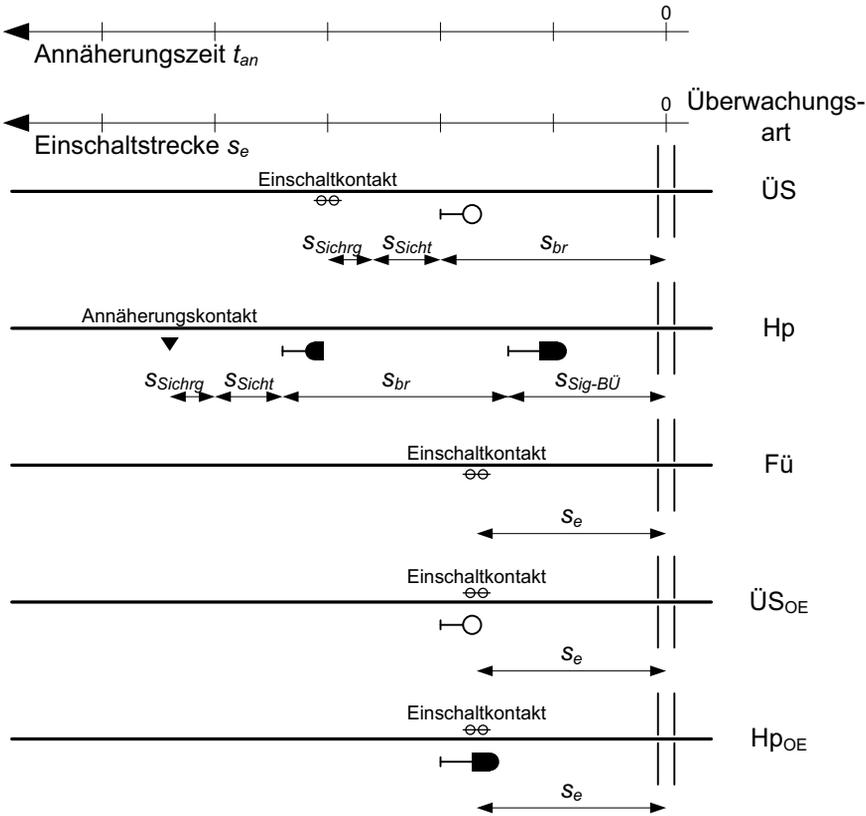


Abb. 8.7 Annäherungsstrecken bzw. -zeiten bei unterschiedlichen Überwachungsarten

Da bei der Überwachung der Einschaltung jedoch das Kriterium „BÜ gesichert“ abgewartet werden muss, vergeht hier ebenfalls eine Zeit (z. B. die Gelbzeit), die über die Geschwindigkeit ebenfalls in einen Weg (Sicherungsstrecke s_{sichrg}) umgerechnet werden kann.

Bei der Überwachungsart Hp verlängert sich die Einschaltstrecke um den Abstand zwischen Hauptsignal und BÜ, der sich aus den infrastrukturellen Bedingungen ergibt. Die hierfür minimale Annäherungszeit wird aber nur erreicht, wenn die Sicherung des Bahnübergangs durch ein Annäherungskriterium vom Zug ausgelöst wird. Bei manuellem Anstoß wird das Signal zum Erreichen einer behinderungsfreien Fahrt meist viel früher in die Fahrtstellung gebracht und damit der Bahnübergang früher gesichert. Hierdurch kann sich die Sperrzeit für den Straßenverkehr um mehrere Minuten verlängern.

In den Fällen Fü, ÜSOE und HpOE kann die Annäherungszeit so minimal gestaltet werden, dass sie nahezu der Räumzeit entspricht. Der Vergleich zeigt, dass die Überwachung der Einschaltbereitschaft aufgrund der geringeren Sperrzeit für den Straßenverkehr vorteilhafter ist.

Die Weiterentwicklung der Technik mit der Möglichkeit, komplexe Informationen zu verarbeiten, führte dazu, dass auch dispositive Tätigkeiten durch technische Einrichtungen übernommen werden konnten. Da solche Tätigkeiten meist nicht sicherheitsrelevant sind, spricht man von Leittechnik im Gegensatz zur Sicherungstechnik (siehe auch Abschn. 6.1.1.2). Weil die Leittechnik aber funktional mit der Sicherungstechnik eng verbunden ist, werden Leit- und Sicherungstechnik häufig im Zusammenhang betrachtet.

9.1 Aufgaben der Leittechnik

Heute wird die Leittechnik nach operativer und dispositiver Leittechnik unterschieden. Ein typischer Anwendungsfall für die operative Leittechnik ist die Bedienung elektronischer Stellwerke. Hierbei bekommt die Leittechnik in ausgewählten Fällen (z. B. bei Hilfsbedienungen) auch Sicherheitsrelevanz.

Im Wesentlichen werden mit der Leittechnik folgende Ziele verfolgt:

- Gewinnung der Übersicht über die Betriebslage in einem Bereich, dessen Größe sich nach der Dispositionsaufgabe richtet,
- Optimierung der Nutzung von Fahrwegressourcen,
- Entlastung des Bedieners von Routinehandlungen.

Tabelle 9.1 zeigt die Ebenen der Prozessautomatisierung angewandt auf die Steuerung von Schienenverkehrsinfrastruktur. In der langfristig (bis 20 Jahre) wirkenden Strategieebene werden mit dem Netzausbau die Möglichkeiten des Fahrplans festgelegt. Mit der bestehenden Infrastruktur erstellt der Fahrplankonstrukteur in der Planungsebene den Jahresfahrplan sowie auch Fahrpläne für kurzfristig bestellte Züge. Aus allen Fahrplandaten wird der jeweils gültige Tagesfahrplan erstellt. Dessen Betriebsprogramm wird in der

Tab. 9.1 Ebenen der Betriebsführung von Bahnen

Ebene	Anwendung	Zeithorizont	Beteiligte	Technik
Strategieebene	Netzausbau, Langfristfahrplan	Langfristig	Infrastrukturplaner	Bürokommunikation
Planungsebene	Fahrplan	Mittelfristig	Fahrplankonstrukteur	
Betriebsleitebene	Disposition	Kurzfristig	Disponent, Zuglenker	Dispositive Leittechnik
Steuerungsebene	Fahrdienstleitung	Kurzfristig	Fahrdienstleiter	Operative Leittechnik
	Stellwerksinnenanlagen	–	–	Sicherungstechnik
Feldebene	Stellwerksaußenanlagen	–	–	

Betriebsleitebene überwacht. Bei Abweichungen z. B. durch Verspätungen muss der Disponent eingreifen, um den planmäßigen Zustand wieder herzustellen.

In der Steuerungsebene agiert der Fahrdienstleiter, der das Stellwerk bedient und eng mit der Betriebsleitebene zusammenarbeitet. Zur Steuerungsebene gehört außerdem das Stellwerk mit seiner Logik (Stellwerksinnenanlagen). Dieses steuert die Elemente wie Weichen und Signale (Stellwerksaußenanlagen) in der Feldebene.

9.2 Komponenten der Leittechnik

9.2.1 Zugnummernmeldung (ZN)

Eine wichtige Voraussetzung zur Disposition ist die Kenntnis der Zugstandorte. Die Zuglaufverfolgung erfolgte früher ausschließlich durch fernmündliche Meldungen des Personals. Heute wird sie in der Regel technisch realisiert, was auf verschiedenen Wegen durchgeführt werden kann:

1. Eingabe der Zugnummer und Weiterschaltung dieser nach Information aus der Sicherungstechnik,
2. Erkennung der Fahrzeuge in der Infrastruktur durch Kennungsgeber (z. B. Transponder),
3. Selbstortung des Fahrzeugs und Übertragung der Information an eine Zentrale.

Bei Eisenbahnen wird hauptsächlich die erste Variante angewendet. Die zweite Variante wenden oft Stadtbahnen an. Hierfür besteht die Notwendigkeit einer einheitlichen Ausrüstung der Fahrzeuge mit einem Kennungsgeber, was bei überschaubaren Fahrzeugflotten durchführbar ist.

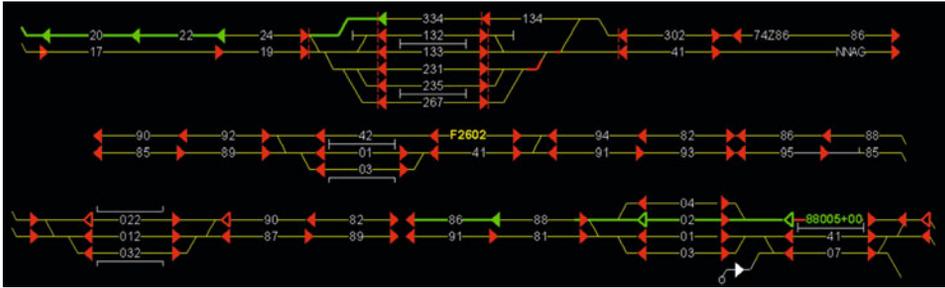


Abb. 9.1 Ausschnitt aus dem Übersichtsbild einer Zuglenkung mit Zugnummern. Die zwei- und dreistelligen Zahlen sind Gleisnummern

Beide Arten sind infrastrukturgestützt und stehen somit dem Betreiber der Infrastruktur zur Verfügung. Durch die Trennung von Eisenbahninfrastruktur- und Eisenbahnverkehrsunternehmen (EIU und EVU) bestehen jedoch oftmals differierende wirtschaftliche Interessen zwischen beiden. Deshalb werden von einigen EVU die auf die erste Art gewonnenen und zur Durchführung des Betriebes ohnehin notwendigen Daten des EIU nicht verwendet, sondern ein davon unabhängiges System nach der dritten Variante gewählt. Solche Systeme befinden sich typischerweise auch bei Straßenbahnen und Linienbussen im Einsatz.

Technisch wird die Zuglaufverfolgung durch Zugnummernmeldeanlagen (ZN-Anlagen) realisiert. Durch sie wird nicht nur das fernmündliche Zugmeldeverfahren ersetzt, sondern auch eine übersichtliche Darstellung der Zugstandorte in einem Gleisbild möglich (Abb. 9.1). Im Folgenden wird nur noch auf das Verfahren nach 1. eingegangen.

Die heute bei Eisenbahnen übliche Art der Zugnummernmeldung besteht in der infrastrukturbasierten Weiterschaltung der Zugnummer. Dazu muss zunächst bei Beginn des Zuges die Zugnummer in das entsprechende ZN-Feld eingetragen werden. Für die Weiterschaltung der Zugnummer bei Fahrt des Zuges wird die Lage der Weichen ausgewertet. Somit kann auch in alten Stellwerksbauformen eine ZN-Anlage installiert werden. Die Fortschaltung der Zugnummer wird in der Regel durch den Signalhaltfall ausgelöst; es sind jedoch auch andere Auslöser möglich. Kommt das Signal vorzeitig in die Haltstellung oder nicht in Fahrtstellung und es wird z. B. auf Befehl gefahren, so können Korrekturen durch den Bediener erfolgen.

9.2.2 Zuglenkung (ZL)

Mit den Gleisbildstellwerken (siehe auch Abschn. 6.1.3.1) war die Automatisierung der Stellwerksbedienung so weit vorangeschritten, dass eine Fahrstraße in der Regel durch nur eine Bedienhandlung eingestellt werden konnte. Für eine weitergehende Automatisierung ist die automatische Einstellung von Fahrstraßen notwendig. Hierzu dient die Zuglen-

kung, die aus der Kenntnis des sich nähernden Zuges die Einstellung von Fahrstraßen automatisch anstößt. Für diese Kenntnis ist die technische Erfassung der Zugstandorte Voraussetzung, was über die ZN geschieht.

Durch die Zuglenkung wird der Bediener von Routinetätigkeiten entlastet und ein zeitgerechtes Einstellen der Fahrstraße – sofern die Voraussetzungen dafür vorliegen – erreicht. Bei Abweichungen vom Fahrplan muss der Bediener jedoch eingreifen. Außerdem dürfen nicht alle Züge zuggelenkt fahren, wie z. B. Züge mit außergewöhnlichen Sendungen. Heutige Zuglenkungen können nach zwei Prinzipien arbeiten: mit Lenkziffer oder mit Lenkplan.

Zuglenkung mit Lenkziffer

Bei der Zuglenkung mit Lenkziffer wird jede Zugnummer in der ZN-Anlage um mindestens eine Lenkziffer ergänzt, die einen Laufweg beschreibt. Damit können aber nur grundsätzliche Entscheidungen an Streckenverzweigungen automatisiert werden. Geeignet ist diese Form vor allem für stark linienorientierte Bahnen mit homogenen Geschwindigkeiten wie U- oder S-Bahnen. Der Aufwand der operativen Programmierung ist gering, da nur der Fahrweg an den Entscheidungspunkten der Laufwege mit der Lenkziffer zu verknüpfen ist.

Zuglenkung mit Lenkplan

Bei weniger stark linienorientierten Bahnen mit inhomogenen Geschwindigkeiten, wie es die Eisenbahn üblicherweise ist, sind Lenkziffern nicht mehr praktikabel. Deshalb wird hier ein Lenkplan erstellt, der für jede Zugnummer das zu benutzende Gleis vorsieht. Der Aufwand der Programmierung für die Lenkdaten ist höher, da für jeden Zug das jeweilige Gleis vorzugeben ist; allerdings existieren hierfür auch schon Systeme, die die Zuglenkung aus den ohnehin elektronisch vorhandenen Fahrplandaten speisen [BOR02].

9.2.3 Fernsteuerung von Stellwerken

Im Hebelstellwerk (siehe auch Abschn. 6.1.3.1) muss sich der Bediener immer am Stellwerk befinden, um Bedienhandlungen ausführen zu können. Das ist der Technik geschuldet und der Tatsache, dass in der Regel keine technische Gleisfreimeldung vorhanden ist. Diese Restriktionen gelten im Gleisbildstellwerk nicht mehr, so dass eine Fernsteuerung möglich ist. Die meisten Bauformen von Gleisbildstellwerken sind technisch in der Lage, ferngesteuert zu werden.

Auf Bedienplätze von ESTW wurde bereits in Abschn. 6.6.4 eingegangen. Hier besteht immer eine serielle Schnittstelle zwischen Bedienplatz und Stellwerk (Abb. 9.2d). Im Relaisstellwerk ist die klassische Schnittstelle zwischen Bedienung (Bedienpult) und Informationsverarbeitung (Relaisschaltung) parallel ausgeführt (Abb. 9.2a). Mittels einer Fernsteueranlage kann diese parallele in eine serielle Schnittstelle gewandelt (Multiplexing) und damit über große Entfernungen übertragen werden (Abb. 9.2b) Die technische

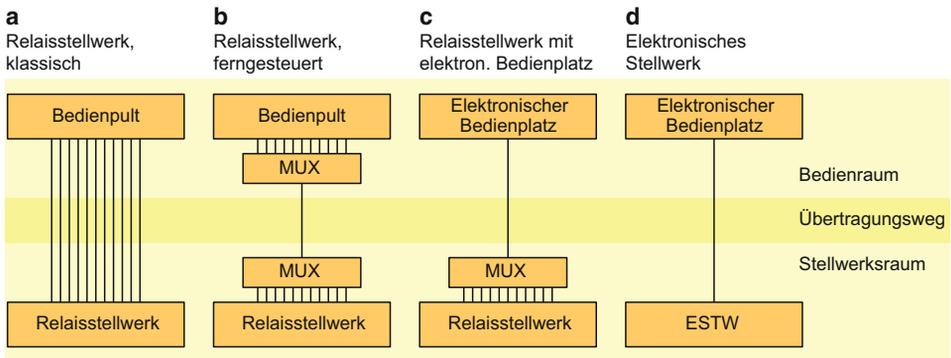


Abb. 9.2a–d Formen der Fernsteuerung von Stellwerken; MUX: Multiplexer

Umsetzung eines solchen Multiplexers zeigt Abb. 9.3. Im elektronischen Stellwerk ist die genannte Schnittstelle ohnehin seriell und unterliegt daher hinsichtlich der Entfernung keinen Restriktionen (Abb. 9.2d). Eine Mischform ergibt sich bei Relaisstellwerken, die nicht mehr mit einem Pult, sondern von einem elektronischen Bedienplatz bedient werden; hier ist nur eine Umsetzung an der Relaisanlage notwendig (Abb. 9.2c).

Handelt es sich um einen sicheren Bedienplatz (siehe auch Abschn. 6.6.4.3), so ist auch die Übertragung der Bedien- und Meldedaten sicherheitsrelevant. Hierzu sind gesonderte Verfahren notwendig, um die Integrität (Richtigkeit) und Authentizität (Echtheit) der übertragenen Daten zu wahren.

Abb. 9.3 Parallel-seriell-Umsetzer (Multiplexer) in einem Relaisstellwerk



9.3 Betriebszentralen (BZ)

9.3.1 Allgemeines

Die Zentralisierung der Betriebsführung findet ihren vorläufigen Höhepunkt im Betriebszentralenkonzept, was die Deutsche Bahn in den 90er-Jahren des 20. Jahrhunderts entwickelte. Dazu wurde an jedem Standort der sieben Regionalbereiche der DB Netz eine Betriebszentrale (BZ) errichtet (Abb. 9.4). Außerdem besitzt die S-Bahn Berlin eine eigene BZ. Mittlerweile ist das Konzept weitgehend umgesetzt; Erweiterungen hinsichtlich der direkt gesteuerten Bereiche aber auch von Funktionen finden laufend statt. Ähnliche Tendenzen in der Zentralisierung der Betriebsführung bestehen im Ausland ebenfalls.

Ziel der Betriebszentralen ist es, sowohl die infrastrukturelle als auch die verkehrliche Betriebsführung zu konzentrieren. Deshalb befinden sich in der BZ nicht nur Arbeitsplätze des EIU DB Netz und tangierender Bereiche (z. B. Energie, Sicherheit), sondern auch Arbeitsplätze von EVU, die von hier aus ihre Dispositionen durchführen können. Aufgrund deutscher wettbewerbsrechtlicher Vorgaben müssen jedoch EIU und EVU räumlich getrennt voneinander arbeiten; im Ausland wird das teilweise anders gehandhabt. Im Folgenden werden nur noch die zur Betriebsführung der Infrastruktur – insbesondere von Stellwerken – notwendigen Sachverhalte betrachtet.

9.3.2 Steuerung von Stellwerken aus Betriebszentralen

Neben der Disposition auf der gesamten Infrastruktur sollen von einer BZ aus auch alle überregional bedeutsamen Strecken gesteuert werden. Das bedeutet, dass die Fahrdienst-

Abb. 9.4 Lage der Betriebszentralen



leiter, die sich früher auf den Stellwerken an den Betriebsstellen befanden, nunmehr von der BZ aus die Stellwerke fernsteuern. Auf Regionalstrecken verbleibt die Steuerung vor Ort. Gleichwohl können auch hier regionale Bedienzentralen gebildet werden, um Stellwerke fernzusteuern; diese gelten jedoch nicht als Betriebszentrale.

Um Stellwerke von einer BZ aus steuern zu können, müssen sie fernsteuerbar sein und einige zusätzliche Eigenschaften besitzen. Diese Bedingungen erfüllen nur heutige elektronische Stellwerke und wenige Relaisstellwerke. Alle anderen Stellwerke an überregional bedeutsamen Strecken bleiben bis zu ihrer Erneuerung örtlich besetzt. Die Fahrdienstleitung befindet sich dann vor Ort, während von der BZ aus disponiert wird. Die enge Zusammenarbeit zwischen Disposition und Fahrdienstleitung erfolgt hierbei per Telekommunikation.

Die Bedienung mehrerer Stellwerke (ESTW-UZ, siehe Abschn. 6.6.2) wird in einem Steuerbezirk zusammengefasst. Hierdurch ist es möglich, ein Stellwerk von verschiedenen Bedienplätzen aus zu bedienen. Durch die flexible Zuschneidung der Zuständigkeitsbereiche eines Fahrdienstleiters (Fdl) können in Schwachlastzeiten (z. B. nachts) entsprechend größere Bereiche gebildet werden. Somit müssen weniger Fahrdienstleiter im Steuerbezirk arbeiten als bei hoher Zugdichte, wo die Bereiche entsprechend kleiner zugeschnitten werden. Die kleinste Zuschneidungseinheit ist das Lupenbild (siehe auch Abschn. 6.6.4).

Zu einem Steuerbezirk gehört ein Disponent bzw. Zuglenker. Dieser nimmt die Aufgaben der Betriebsleitebene wahr (Abb. 9.5). Er hat seinen Arbeitsplatz unmittelbar bei

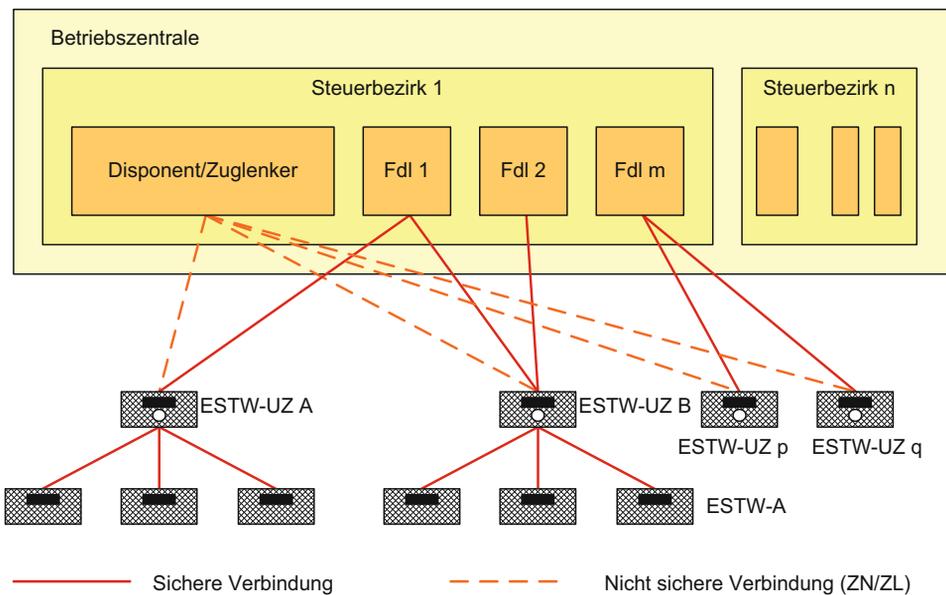


Abb. 9.5 Struktur der Bedienung aus einer Betriebszentrale

den Fahrdienstleitern und kann dadurch seine Dispositionsentscheidungen schnell an sie kommunizieren. In einer weiteren Ausbaustufe der Betriebszentralen ist der „steuernde Durchgriff“ geplant. Hierbei wird der Disponent zum Zuglenker, der den Zuglenkplan operativ bearbeiten kann. Dadurch werden die Dispositionsentscheidungen ohne Mitwirkung des Fahrdienstleiters direkt in Fahrstraßenanträge der Zuglenkung umgesetzt, sofern die Zuglenkung aktiv ist.

Aufgrund des steuernden Durchgriffs und der starken Zentralisierung auch der Fahrdienstleitung verwischen die traditionellen Grenzen zwischen der Disposition und der Fahrdienstleitung zwar nicht technisch, aber bei den Aufgaben der Bediener. Bei ausländischen Bahnen wurden häufig im Zuge der Zentralisierung beide Aufgaben bei einem Bediener zusammengefasst.

9.3.3 Technische Realisierung

Die Datenflüsse einer Betriebszentrale sind in vielerlei Hinsicht sensibel. So ist die Verbindung zu den ESTW-Unterzentralen (UZ) hochgradig sicherheitsrelevant. Aber auch aus wettbewerbsrechtlichen Gründen müssen Daten vertraulich bleiben. So darf z. B. ein EVU nicht die Zuglaufdaten eines anderen EVU erfahren. Um den verschiedenen Sicherheitsanforderungen gerecht zu werden, wurden drei Integritätsbereiche geschaffen, die untereinander nur über definierte Schnittstellen mit entsprechenden Filtern verbunden sind. Eine Übersicht zeigt Abb. 9.6.

Integritätsbereich I

Der Bereich mit den höchsten Ansprüchen an Integrität und Verfügbarkeit ist der Integritätsbereich I (IB I). Gemäß Tab. 9.1 sind das die Steuerungs- und die Feldebene. Hier werden das ESTW und alle direkt damit verbundenen Komponenten eingeordnet. Innerhalb einer Betriebszentrale gehören dazu insbesondere die Bedienplätze der Fdl.

Zwischen den Bedienplätzen und der ESTW-Unterzentrale können Entfernungen von mehreren hundert Kilometern liegen, die durch Telekommunikation überbrückt werden. Zur Wahrung der Integrität und Authentizität beim Informationsaustausch kommen Security Gateways zum Einsatz, die den Datenstrom verschlüsseln. Außerdem muss die Verbindung BZ–UZ in einem Höchstmaß verfügbar sein, da bei Ausfall der Verbindung die vorgesehenen Rückfallebenen eine drastische Einschränkung der Leistungsfähigkeit mit sich bringen. Um eine hohe Verfügbarkeit zu gewährleisten, werden redundante Telekommunikationsverbindungen über getrennte Kabelwege geführt, von denen in der Regel der als „Erstweg“ bezeichnete genutzt wird. Um die Verfügbarkeit des redundanten „Zweitwegs“ sicherzustellen, wird auch dieser permanent überwacht und die Fähigkeit zur Umschaltung einmal täglich durch eine tatsächliche Umschaltung geprüft.

In der ESTW-UZ befindet sich auch die Zugnummernmeldeanlage, die alle zur Weiter-schaltung der Zugnummern erforderlichen Fahrweginformationen direkt vom ESTW erhält und die dezentrale Komponente des ZN-Systems darstellt. Die Zugnummernmeldung

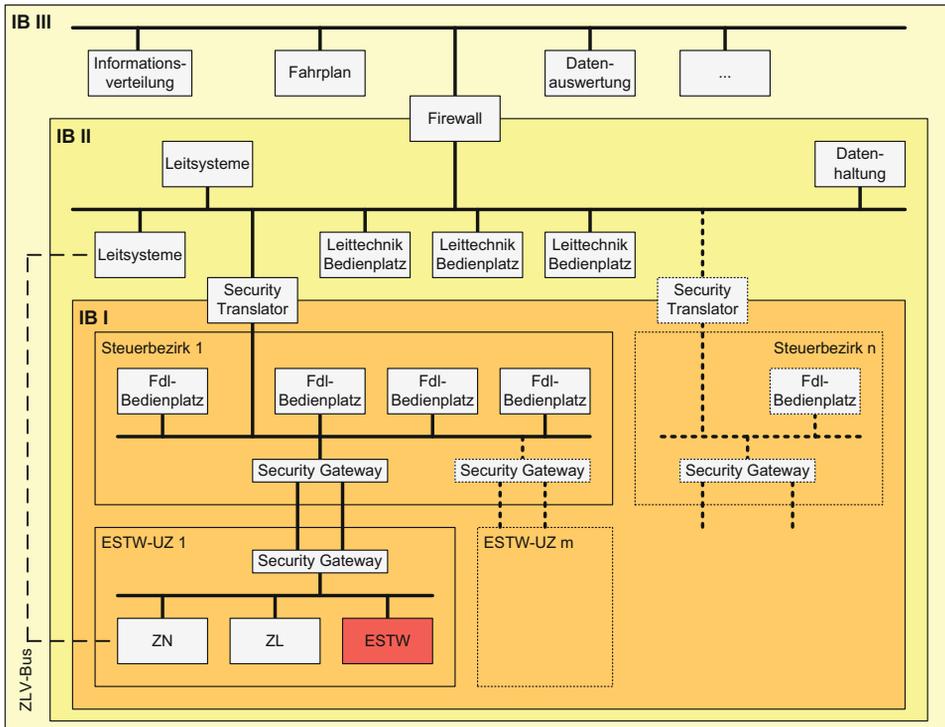


Abb. 9.6 Integritätsbereiche (IB) einer BZ

an die zentralen Komponenten erfolgt – wie auch bei anderen Stellwerkstypen – über den Zuglaufverfolgungsbus (ZLV-Bus), der nicht Bestandteil des IB I ist. Daneben befindet sich in der ESTW-UZ auch die Zuglenkung (ZL), die über die Verbindung BZ–UZ mit Daten gespeist wird und Fahrstraßenanstöße an das ESTW gibt.

Integritätsbereich II

Der Integritätsbereich II (IB II) entspricht der Betriebsleitebene gemäß Tab. 9.1. Hier sind keine sicherheitsrelevanten Funktionen angesiedelt. Er ist mit dem IB I über einen Security Translator verbunden, der nur die zur Betriebsdurchführung notwendigen Daten passieren lässt. Da bei den hier eingesetzten Bedienplatzsystemen sicherheitsrelevante Funktionen ausgeschlossen sind, können sie technisch etwas einfacher gehalten werden.

Im IB II befinden sich die zentralen Komponenten für die ZN und die ZL, die mit den dezentralen Komponenten im IB I zusammenarbeiten. In der zentralen Datenhaltung werden u. a. Infrastruktur- und Fahrplandaten vorgehalten. Auch die Daten des tatsächlichen Betriebsverlaufs werden hier abgespeichert [DI02].

Integritätsbereich III

Nach Tab. 9.1 entspricht der Integritätsbereich III (IB III) der Planungsebene. Er ist über eine Firewall mit dem IB II verbunden, die die Zugriffsberechtigung auf den IB II regelt. Im IB III sind weitere DV-Systeme enthalten, wie z. B. zur Fahrplanerstellung. Außerdem werden von hier aus weitere Beteiligte des EIU (z. B. Fahrdienstleiter auf örtlich besetzten Stellwerken) sowie die EVU mit Informationen versorgt. Weiterhin geschieht von hier die Speisung der Informationssysteme für die Reisenden.

Komponenten und Systeme der Leit- und Sicherungstechnik wie z. B. ein Stellwerk sind immer generische Systeme, die für den konkreten Anwendungsfall erst konfiguriert werden müssen. Hierzu dient die LST-Planung. Dabei muss der Ingenieur seine ganze Kreativität einbringen, um eine sichere, leistungsfähige und wirtschaftliche Anlage zu planen. Vor allem in frühen Planungsphasen besteht noch viel Raum für Kreativität, der mit zunehmendem Planungsfortschritt immer enger wird. In diesem Kapitel soll beispielhaft die Planung eines heutigen elektronischen Stellwerks einer Hauptbahn im Bereich der Deutschen Bahn beschrieben werden. Das Kapitel ersetzt nicht die Konsultation der jeweils gültigen Vorschriften. Anspruch ist, ausgewählte Regelungen zur Planung eines ESTW zu erläutern.

10.1 Organisatorische Grundlagen

10.1.1 Ablauf der Planung

Eine LST-Planung läuft in aufeinander aufbauenden Stufen ab, die sich an der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI) orientiert. Hierin sind neun Leistungsphasen definiert, die in der LST-Planung unterschiedlich große Bedeutung haben. Tabelle 10.1 zeigt die Phasen und ihre Entsprechung in der LST-Planung.

Die Grundlagenermittlung dient der Formulierung der Projektidee. Die auch betriebliche Aufgabenstellung (BAST) genannte Planungsphase wird in der Regel vom Betreiber der Infrastruktur durchgeführt. Hierin werden grundlegende betriebliche Anforderungen formuliert, wie z. B. Topologie der Gleisinfrastruktur, Gleisnutzlängen und Geschwindigkeiten.

In der Vorplanung, auch qualifizierte Aufgabenstellung (QAST) genannt, werden verschiedene Varianten für die Realisierung der in der BAST genannten Ziele vom LST-Planer erarbeitet und bewertet. Dazu gehört auch eine Kostenschätzung. Meist wird vom

Tab. 10.1 HOAI-Leistungsphase und Entsprechung in der LST-Planung

HOAI-Leistungsphase	Bezeichnung nach HOAI	Bezeichnung in der LST-Planung
1	Grundlagenermittlung	Aufgabenstellung/Betriebliche Aufgabenstellung
2	Vorplanung	Vorplanung/Qualifizierte Aufgabenstellung
3	Entwurfsplanung	Entwurfsplanung
4	Genehmigungsplanung	Genehmigungsplanung
5	Ausführungsplanung	Ausführungsplanung PT 1 Ausführungsplanung PT 2
6	Vorbereitung der Vergabe	
7	Mitwirkung bei der Vergabe	
8	Bauüberwachung	Bauüberwachung
9	Dokumentation	Dokumentation

Planer eine Vorzugsvariante vorgeschlagen; die Entscheidung für eine Variante obliegt dem Infrastrukturbetreiber.

In der Entwurfsplanung erfolgt die weitere Ausarbeitung der favorisierten Variante aus der Vorplanung. Unter anderem wird neben dem schematischen Lageplan meist auch ein maßstäblicher Lageplan angefertigt und eine Kostenberechnung erstellt. Die Entwurfsplanung ist eine der bedeutendsten Planungsphasen, da hier die wesentlichen Funktionen der zukünftigen Anlage festgelegt werden.

Die Genehmigungsplanung dient dazu, das Baurecht zu erlangen. Dabei wird die Betroffenheit Dritter durch das Bauvorhaben geprüft. In der LST-Planung sind dafür nur wenige Sachverhalte relevant, wie z. B. die Aufstellung von Signalbrücken oder die Verlegung von Kabeln über Grundstücke Dritter.

Die Ausführungsplanung wird in zwei Teilen durchgeführt: Planteil (PT) 1 und 2. Der PT 1 soll firmenneutral sein und dient als Ausschreibungsunterlage. Hier werden weitere Details auf Grundlage der Entwurfsplanung festgelegt. Die Erstellung des PT 2 kann erst später erfolgen.

Mit dem PT 1 kann in der Leistungsphase 6 das Leistungsverzeichnis als Grundlage der Ausschreibung erarbeitet werden. Nach dem Eingang der Angebote werden diese in der Leistungsphase 7 bewertet und es erfolgt die Beauftragung durch den Infrastrukturbetreiber. Der Hersteller der Anlage kann nun den PT 2 anfertigen.

Eine weitere Ingenieurleistung ist die Bauüberwachung während der Errichtung der Anlage. Hierbei ist zu prüfen, ob der Bau den Planungen entspricht. Lässt sich die Anlage nicht so errichten wie geplant, sind Lösungen zu finden und zu dokumentieren.

Nach der Inbetriebnahme erfolgt die Dokumentation. Hier fließen alle während des Baus eingetretenen Änderungen in die Pläne ein und die Bestandspläne werden erstellt.

Da LST-Anlagen sicherheitsrelevant sind, finden Sicherheitsprüfungen von unabhängiger Seite in Form von Plan- und Abnahmeprüfungen statt. Die Planprüfung bezieht sich

auf den PT 1 und PT 2. Die Abnahmeprüfung erfolgt während der Inbetriebnahme an der Anlage.

Die nachfolgenden Beschreibungen beziehen sich auf ausgewählte Teile sicherungstechnischer Planungen bis zum PT 1.

10.1.2 Planungsrichtlinien

Für die LST-Planung werden sehr spezielle Regelwerke angewendet. Sie sind in den Regelwerken der Eisenbahn (siehe auch Abschn. 2.1.2.2) niedergeschrieben; dabei besitzen die VDV-Schriften nicht einen so hohen Detaillierungsgrad wie die Richtlinien der DB. Im Folgenden sollen letztere herangezogen werden.

Die Richtlinien der Deutschen Bahn werden nach einem bestimmten Schema systematisiert, das hier kurz vorgestellt werden soll. Die Bezeichnung einer Richtlinie (Ril) erfolgt immer mit einer dreistelligen Nummer. Gilt sie konzernweit, so wird sie Konzernrichtlinie (KoRil) genannt. Die für die LST-Planung bedeutendste Richtlinie ist die Ril 819 „LST-Anlagen planen“. Darin sind Modulgruppen enthalten wie: Entwürfe und Pläne, Signale für Zug- und Rangierfahrten, Stellwerksfunktionen, Betriebszentralen, Stromversorgung. Alle im Folgenden dargestellten Planungsregeln – sofern nicht anders angegeben – gehen auf die Ril 819 zurück.

Für ältere Techniken gelten teilweise noch alte Planungsregeln, die nicht in die Ril 819 übernommen werden. Für die Planung von Bahnübergängen ist die Ril 815 „Bahnübergänge entwerfen und instand halten“ von Bedeutung.

10.2 Sicherungstechnisches Planwerk

10.2.1 Bezeichnungssystematik

10.2.1.1 Ältere Bezeichnungssysteme

Die älteren Bezeichnungssysteme sind nicht Bestandteil der Ril 819. Um Planungen älterer Stellwerkstechniken zu verstehen, sollen sie hier kurz vorgestellt werden.

Stellwerk

Regional haben sich verschiedene Systeme zur Bezeichnung von Stellwerken herausgebildet. So gibt es die Durchnummerierung oder die Bezeichnung mit Buchstaben, die sich aus dem Namen der Betriebsstelle, der betrieblichen Bedeutung und ggf. noch aus einem weiteren Unterscheidungsmerkmal zusammensetzt. Die Deutsche Reichsbahn der DDR führte ein weiteres, heute noch oft anzutreffendes Schema ein: Die Stellwerke wurden entsprechend ihrer betrieblichen Bedeutung mit einem Buchstaben (z. B. B: Befehlsstellwerk, W: Wärterstellwerk) und einer je Betriebsstelle fortlaufenden Nummer bezeichnet.

Daneben gab es die Bezeichnung von Zentralstellwerken mit der telegrafischen Abkürzung.

Element

Auch die Bezeichnung der Elemente unterlag regionalen Einflüssen. Außerdem wurden früher keine Anforderungen an eine EDV-gerechte Bezeichnung gestellt.

Weichen wurden meist je Betriebsstelle mit arabischen Zahlen durchnummeriert. Die Bezeichnung der Hauptsignale erfolgte durch Großbuchstaben. War bei großen Bahnhöfen der Wertevorrat der Buchstaben erschöpft, so wurden örtlich zusammenstehende Signale mit dem gleichen Buchstaben und der jeweiligen Gleisnummer – in der Bezeichnung meist hoch oder tief gestellt – gekennzeichnet. In Relaisstellwerken der Deutschen Reichsbahn fanden dreistellige, arabische Zahlen Verwendung.

Gleise wurden meist vom Empfangsgebäude aus beginnend durchnummeriert. Daneben gab es das System, die durchgehenden Hauptgleise in Kilometrierung mit 1 und entgegen mit 2 zu benennen sowie alle Gleise der einen Seite mit geraden, die anderen mit ungeraden Zahlen zu bezeichnen. Die Verlängerung der Gleise nach der anschließenden Weiche erhielt die gleiche Nummer mit Zusatz eines kleinen Buchstabens. Die Bezeichnung von Gleisfreimeldeabschnitten orientierte sich an der Gleisnummer. Existierten mehrere Abschnitte pro Gleis, so wurden oftmals hochgestellte, römische Zahlen zur Unterscheidung benutzt. Da die Bezeichnung von Sperr- und Rangierhaltsignalen meist von den Gleisfreimeldeabschnitten abgeleitet werden, gab es auch dafür hochgestellte, römische Zahlen.

10.2.1.2 Anforderungen an ein modernes Bezeichnungssystem

Die alten Bezeichnungssysteme waren wenig systematisch. So geht z. B. aus der Bezeichnung eines Signals nicht hervor, ob es sich um ein Einfahr-, Zwischen- oder Ausfahrtsignal handelt. Außerdem sind römische Zahlen sowie Hoch- oder Tiefstellung für eine EDV-gerechte Darstellung und Speicherung problematisch. Ebenso muss auf die Anzahl der Stellen geachtet werden, die für die Darstellung einer Bezeichnung z. B. auf einem Bildschirm zur Verfügung stehen.

Der Trend zur Zentralisierung stellt weitere Forderungen. Es ist selbstverständlich, dass innerhalb einer Betriebsstelle jede Bezeichnung nur für ein Element vergeben wird. Solange der Stellbereich eines Stellwerks maximal eine Betriebsstelle umfasst, ist die Bezeichnung auch für das Stellwerk eindeutig. Dehnt sich der Bereich eines Stellwerks auf mehrere Betriebsstellen aus – was bei heutigen ESTW die Regel ist – so muss ein weiteres Unterscheidungsmerkmal gefunden werden. Werden ESTW von einer Betriebszentrale bedient, so weitet sich das Problem aus. Um der Zentralisierung Rechnung zu tragen, ist ein EIU-weit einheitliches und EDV-gerechtes Bezeichnungssystem für alle Elemente erforderlich.

10.2.1.3 Kennzahl

Zur eindeutigen Elementbezeichnung auch über große Bereiche hinweg werden für ESTW-gesteuerte Betriebsstellen eine oder, bei sehr großen Bahnhöfen, mehrere Kennzahlen vergeben. Die Vergabe erfolgt durch die betriebliche Infrastrukturplanung und gehört somit in die Aufgabenstellung für eine ESTW-Planung. Für die Kennzahlen existiert ein Wertebereich von 01 bis 99. Innerhalb des Steuerbezirkes einer Betriebszentrale (siehe auch Abschn. 9.3.2) darf eine Kennzahl nur einmal vergeben werden.

Die Darstellung der Kennzahl an den Elementen im Lageplan ist dann nicht notwendig, wenn sich der Plan nur auf den Bereich einer Kennzahl erstreckt. Dafür ist die einmalige Angabe der Kennzahl auf dem Plan ausreichend.

10.2.1.4 Ortsbezeichner

Zur eindeutigen Bezeichnung aller Betriebsstellen im Netz der Deutschen Bahn wurde ein System von Ortsbezeichnern geschaffen und in der Ril 100 niedergeschrieben. Dazu bekommt jeder zu bezeichnende Ort einen Bezeichner aus mindestens zwei Buchstaben. Der erste Buchstabe markiert die Region, die aus den früheren Direktionen bzw. Regionalbereichen hervorgegangen ist. Die heutigen Niederlassungen sind damit nicht identisch. Alle weiteren Buchstaben werden aus dem Namen des Ortes gebildet.

10.2.1.5 Stellwerk

Die Bezeichnung des Stellwerks richtet sich nach der Betriebsstelle, von der der Ortsbezeichner Verwendung findet. Wird das Stellwerk nach ESTW-A und ESTW-Z bzw. ESTW-UZ unterschieden (siehe auch Abschn. 6.6.2.1), so ergeben sich Bezeichner wie z. B. „ESTW-UZ DH“ oder „ESTW-A LMS“.

10.2.1.6 Element

Um aus der Elementbezeichnung die Art des Elements schlussfolgern zu können, werden für bestimmte Elementgruppen Kennbuchstaben verwendet (Tab. 10.2). Haupt- und Vorsignale sowie LZB-Blockkennzeichen besitzen keine Kennbuchstaben. Im Lageplan selbst wird der Kennbuchstabe nicht verwendet, da aus dem Symbol die Art des Elements bereits hervorgeht. Die Kennzahl ist Bestandteil des Elementnamens. Tritt im Bereich eines Lageplanes nur eine Kennzahl auf, so muss diese auf dem Plan nicht an jedem Element geschrieben stehen; hier reicht es aus, sie einmal auf dem Plan zu vermerken.

Zusammen mit den Kennbuchstaben werden nach bestimmten Bildungsregeln die Bezeichnungen der Elemente generiert. Dabei ist darauf zu achten, dass eine Bezeichnung maximal sechs Zeichen (ohne Kennzahl) enthalten darf. Diese Beschränkung resultiert aus der Auslegung der Software für ESTW und Betriebszentralen, insbesondere bei der Darstellung auf der Bedienoberfläche.

Tab. 10.2 Kennbuchstaben für Elementgruppen

Kennbuchstabe	Elementgruppe
G	Gleis, Gleisabschnitt, Fahrstraßenstart oder -ziel ohne Signal
W	Weiche, Weichenabschnitt, Schlüsselsperre, Gleissperre, Fahrstraßenstart oder -ziel ohne Signal
K	Kreuzung, Kreuzungsabschnitt
L	Rangier-/Lichtsperr-, Zugdeckungssignal
B	Blockabschnitt
U	Bahnübergang
S	Oberleitungsschaltgruppe

Tab. 10.3 Beispiele für Elementbezeichnungen im Kennzahlbereich 18

Beschreibung	Ausführliche Bezeichnung	Verkürzte Bezeichnung im Lageplan
Signal A	18A	A
Vorsignal für A	18Va	Va
Rangiersignal am Gleis 12, in Richtung der Kilometrierung	18L12X	12X
Rangiersignal am Abschnitt W 20, entgegen der Kilometrierung	18LW20Y	W20Y
Freimeldeabschnitt 1 im Gleis 15	18G115	115
Zählpunktbezeichnung	18G115/18G215	G115/G215
Weiche 25CD	18W25CD	25CD
Schlüsselsperre 33	18W33	33
Freimeldeabschnitt der Weiche 25	18W25	–
Bahnübergang km 3,9	18U39	BÜ3,9

Die Bildung der Elementbezeichnung wird in den folgenden Kapiteln bei den einzelnen Elementen erläutert. Für einen ersten Überblick dient Tab. 10.3. Mitunter verlangt ein konkreter Fall der Infrastruktur nach Bezeichnern, die an die Grenzen der beschriebenen Bildungsvorschriften stoßen. Für solche Fälle gibt es spezielle Regelungen. Stoßen auch diese an Grenzen, sind projektspezifische Festlegungen zu treffen.

10.2.2 Symbole

Sicherungstechnische Lagepläne besitzen eine eigene Symbolik. Die Symbole sind in der Ril 819.9002 genormt und werden in diesem Buch teilweise verkleinert und vereinfacht verwendet. Eine Übersicht über die wichtigsten Symbole ist im Symbolverzeichnis enthalten.

Die meisten Symbole sind gleisbezogen, da die repräsentierten Objekte eine unmittelbare Funktion für meist ein Gleis übernehmen (z. B. Signal). Nur wenige Symbole haben zwar einen örtlichen, aber keinen Gleisbezug (z. B. Stellwerksgebäude).

Spezielle Symbole werden in älteren Techniken für Verschlusspläne genutzt, auf die hier nicht näher eingegangen wird. Die grundsätzliche Symbolik von Relaisschaltungen ist in Abschn. 3.6.4 erläutert.

10.2.3 Planunterlagen

Planunterlagen werden nach Ril 819.0102 wie folgt eingeteilt:

- **Maßstäbliche Planunterlagen** sind in erster Linie topografisch orientierte Pläne, wofür an erster Stelle der sicherungstechnische Lageplan mit dem Maßstab 1 : 1000 zu nennen ist.
- **Unmaßstäbliche Planunterlagen** sind topologisch orientierte Pläne, die die Anordnung von Elementen ohne Maßstab wiedergeben, wie z. B. schematische Lagepläne.
- **Übrige Planunterlagen** sind Unterlagen ohne geografischen Bezug. Dazu gehören Berechnungen, Beschreibungen, Listen und Tabellen.

Je nach Planungsphase werden die Planunterlagen umfangreicher und detaillierter. Die wichtigsten Planungsphasen der LST-Planung sind die Vorplanung, die Entwurfsplanung und die Ausführungsplanung. In den folgenden Ausführungen werden die wichtigsten Planungsdaten behandelt, die in einem PT 1 eines ESTW enthalten sind.

10.3 Sicherungstechnischer Lageplan

10.3.1 Allgemeines

Der sicherungstechnische Lageplan ist der wichtigste LST-Plan. Er wird grundsätzlich im Maßstab 1 : 1000 angefertigt. Weitere Planarten – sowohl maßstäbliche als auch unmaßstäbliche – werden davon abgeleitet. Dazu gehören u. a.:

- Streckenplan (1 : 20.000),
- Sicherungstechnischer Übersichtsplan (unmaßstäblich oder in der Länge 1 : 2500 bzw. 1 : 5000),
- Kabellageplan (1 : 1000 oder 1 : 500),
- Kreuzungsplan für Bahnübergang (1 : 200),
- Isolierplan/Schienteilungsplan (1 : 200).

Eisenbahnen sind Linienbauwerke. Aus dieser speziellen Eigenschaft resultiert die abweichende Darstellung in Plänen gegenüber der üblichen Darstellung in Landkarten: Während Landkarten in der Regel immer nach Norden ausgerichtet sind, sind die Pläne

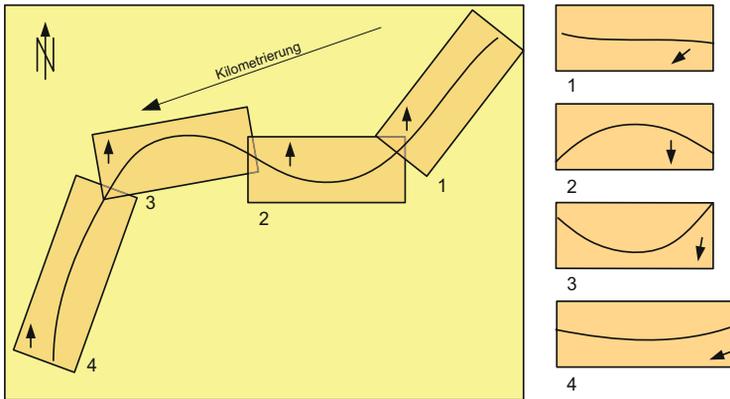


Abb. 10.1 Vergleich Landkarte und Plan eines Linienbauwerks

von Linienbauwerken immer parallel zu deren Achse, bei Eisenbahnen zur Kilometrierungsachse, ausgerichtet (Abb. 10.1). Weiterhin werden in solchen Plänen die Strecken immer von links nach rechts mit steigender Kilometrierung dargestellt. Somit kann ein Nordpfeil auch nach unten zeigen.

Je größer ein Knotenbahnhof ist, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit für das Zusammentreffen von entgegengesetzt kilometrierten Strecken. In solchen Fällen muss für die Orientierung des Plans eine maßgebende Strecke festgelegt werden.

10.3.2 Inhalt des Lageplans

Die Grundlage des sicherungstechnischen Lageplans ist immer ein Vermessungsplan, der die Gleislage topografisch wiedergibt. Bei der Deutschen Bahn werden diese Pläne „IvL-Plan“ genannt („Ingenieur-Vermessung und Liegenschaften“). Bei einer neu geplanten Gleislage ist der Gleisplanentwurf die Grundlage. Wird die Gleisanlage nur teilweise neu gebaut, muss der Gleisplan aus beiden Quellen zusammengesetzt werden.

Aus den Ursrungsplänen werden folgende Inhalte übernommen:

- Gleise, Weichen, Kreuzungen,
- Kilometrierung,
- Himmelsrichtung (Nordpfeil),
- Neigungsverhältnisse (Höhen),
- Bahnübergänge,
- Hoch- und Tiefbauten mit betrieblicher Bedeutung (z. B. Stellwerke, Empfangsgebäude, Bahnsteige, Personentunnel, Güterschuppen, Ladestraßen),
- Straßen und Wege im unmittelbaren Gleisbereich,

- Tunnel und Brücken mit Angabe des Kreuzungspartners (z. B. Name der Straße oder des Gewässers),
- Bauten, die die Signalsicht einschränken (z. B. Dämme, Schallschutzwände, Bahnsteigdächer, Treppeneinhausungen).

In der Regel ist die Unterscheidung nach Haupt- und Nebengleis im Ursprungsplan nicht enthalten. In welchen Gleisen regelmäßig Zugfahrten stattfinden sollen, geht aus der betrieblichen Aufgabenstellung hervor. Die Kennzeichnung nach Haupt- und Nebengleis (siehe auch Abschn. 10.3.3.1) ist durch den LST-Planer vorzunehmen. Weiterhin werden hinzugefügt:

- Gleissperren, Schlüsselsperren,
- Gleisfreimeldeanlagen, Gleisschaltmittel,
- Signale, Fahrtanzeiger, Blockkennzeichen,
- Zugbeeinflussungsanlagen,
- Rangiertechnische Anlagen (z. B. Gleisbremsen),
- BÜ-Anlagen und deren Eigenschaften,
- Grenzen von Stellbereichen und Kennzahlbereichen,
- Nahbedienbereiche,
- Angaben zu Stellwerken,
- Bezeichnungen und weitere Angaben für alle Elemente und Betriebsstellen,
- Angaben über benachbarte Betriebsstellen sowie Ausrüstung und Betriebsform der Streckengleise,
- Sonstige Angaben.

Im sicherungstechnischen Lageplan werden nur die Signale dargestellt, die für die betriebliche Sicherheit relevant sind. Zum einen betrifft das die Signale, mit denen ein befahrbarer Bereich abgegrenzt wird, einschließlich deren Ankündigung (z. B. Vor- und Hauptsignal, Rangierhalttafel); zum anderen sind das Signale, die zur Kennzeichnung der erlaubten Geschwindigkeit dienen (z. B. Geschwindigkeitsanzeiger, Langsamfahrtsignale). Nicht dargestellt werden beispielsweise Kennzeichnungen von Haupt- und Vorsignalen (z. B. Mastschild, Vorsignalbaken).

Eine Besonderheit stellt die Haltetafel (H-Tafel) dar. In Abb. 4.61 ist sie am Hauptsignal angeordnet, meist steht sie aber allein. Ursprünglich war sie nur zur Kennzeichnung des Halteortes eines Zuges vorgesehen, damit der Zug an der für die Reisenden optimalen Stelle des Bahnsteigs hält. Das ist eine kundendienstliche Aufgabe und somit nicht sicherheitsrelevant. Die H-Tafel kann aber in zweierlei Hinsicht sicherheitsrelevante Bedeutung erlangen: Bei einfachen Verhältnissen kann sie als Fahrerlaubnisziel bzw. Ziel einer Fahrstraße verwendet werden. Weiterhin wird heute mit der H-Tafel der sicherheitsoptimierte Halteort eines Zuges für die PZB 90 verwendet (siehe auch Abschn. 10.8.2.5). In solchen Fällen muss die H-Tafel Bestandteil des sicherungstechnischen Lageplans sein.

10.3.3 Gleise

10.3.3.1 Symbole

Bei der Darstellung von Gleisen muss grundsätzlich zwischen Haupt- und Nebengleis unterschieden werden. Die Unterscheidung erfolgt durch verschiedene Strichstärken der Volllinien: Hauptgleise 0,50 mm, Nebengleise 0,25 mm.

Die betriebliche Nutzung der Gleise wird durch Pfeilsymbole dargestellt (Abb. 10.2). Früher wurden dadurch Fahrstraßen gekennzeichnet und der Name der Fahrstraße (ggf. mehrere) hinter den Pfeil geschrieben, was in alten Plänen noch oft zu sehen ist. Die Unterscheidung zwischen Fahrstraße für Reise- und Güterzüge hat ihre Ursache darin, dass in Stellwerken der Altbauformen Fahrstraßen für Reisezüge stärker gesichert sind als für Güterzüge. Dennoch haben die Informationen auch heute noch sicherheitsrelevanten Charakter, da planungsrelevante Entscheidungen wie z. B. Flankenschutzverzicht oder die Vorzugslage einer Zwieschutzweiche davon abhängen können.

Gelegentlich wird die Möglichkeit der Durchfahrt durch ein Gleis mit einem Kreis um das Symbol gekennzeichnet. Dies kann jedoch auch auf eine andere geeignete Weise dargestellt werden, zumal bei moderner Technik ohnehin meist die Durchfahrt durch alle Gleise erlaubt ist (siehe auch Abschn. 5.2.3.1).

10.3.3.2 Bezeichnung

Bahnhofsgleise werden mit arabischen Zahlen bezeichnet, die höchstens dreistellig sein dürfen. Diese sind in die unterbrochene Gleislinie einzutragen.

Bahnsteiggleise und Bahnsteige sollen möglichst gleich lautende Bezeichnungen erhalten. Damit soll die betriebliche Kommunikation zwischen dem örtlichen Personal, was in der Regel die Gleisnummern verwendet und dem Zugpersonal, was meist die Gleisnummern nicht kennt und sich an den Bahnsteigbezeichnungen orientiert, eindeutig gestaltet werden. Um die Orientierung der Reisenden zu erleichtern, ist eine möglichst einfach

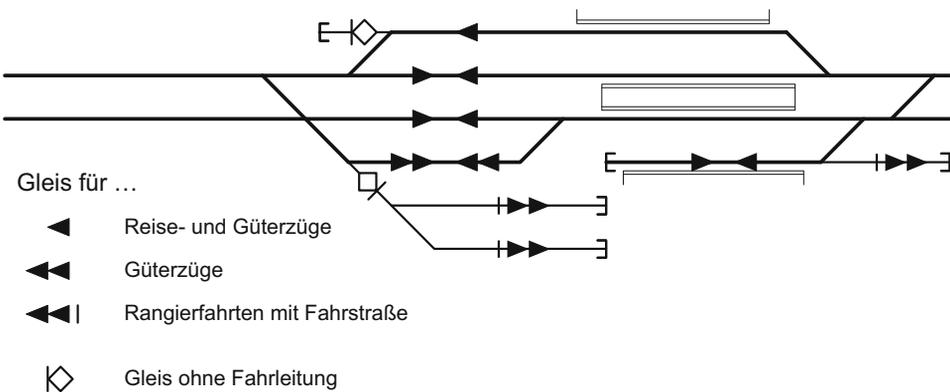


Abb. 10.2 Markierung der Gleise zur Verdeutlichung der betrieblichen Nutzung

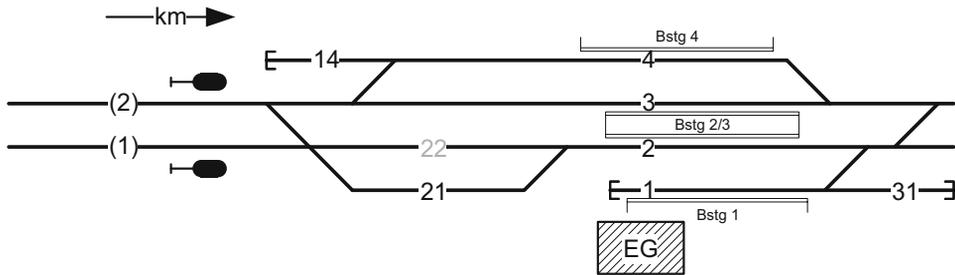


Abb. 10.3 Nummerierung von Bahnhofs- und Streckengleisen

nachzuvollziehende Bahnsteigbezeichnung anzustreben. Deshalb beginnt die Nummerierung der Gleise vom Hauptzugang der Reisenden aus, was in der Regel die Seite des Empfangsgebäudes (EG) ist (Abb. 10.3). Sind keine Bahnsteige vorhanden, wird in Richtung der Kilometrierung von rechts nach links nummeriert.

Jedes Gleis mit einer betrieblichen Bedeutung bekommt eine eigene Nummer. In Abb. 10.3 muss beispielsweise das Gleis 22 nicht unbedingt eine eigene Nummer bekommen, wenn dieses Gleisstück keine eigene betriebliche Bedeutung hat. Dann würde es dem Gleis 2 zugeordnet werden. Die Unterteilung von Gleisen in Längsrichtung wird durch eine vorangestellte Ziffer vorgenommen, die in Richtung der Kilometrierung steigt. Dazu sind die Gleise in sinnvolle Gruppen einzuteilen, die jeweils eine eigene Dekade bilden. In Abb. 10.3 ist dafür 10, 20 und 30 genutzt worden. Das Gleis 14 ist die Verlängerung von Gleis 4. Auch wenn die Gleise keine unmittelbare Verbindung haben, wird dennoch so nummeriert, wie z. B. beim Gleis 21 in Verlängerung des Gleises 1.

Streckengleise werden mit eingeklammerten Zahlen bezeichnet. Wie in Abb. 10.3 dargestellt, erhält das Streckengleis in Richtung der Kilometrierung die (1), das der entgegengesetzten Richtung die (2).

10.3.4 Weichen, Kreuzungen, Gleis- und Schlüsselsperren

10.3.4.1 Anordnung

Während Weichen und Kreuzungen aus dem Ursprungsgleisplan übernommen werden können, müssen Gleissperren und Schlüsselsperren vom LST-Planer hinzugefügt werden. Gleissperren kommen hauptsächlich für Flankenschutzaufgaben zum Einsatz und sind nur in Nebengleisen zulässig. In seltenen Fällen werden Gleissperren auch zur Abgrenzung gegenüber anderen Infrastrukturbetreibern (z. B. bei Anschlüssen) eingesetzt, was jedoch meist mit der Gewährleistung des Flankenschutzes einhergeht.

Elektrische Schlüsselsperren kommen zur Anwendung, wenn ortsbediente Weichen und Gleissperren in die Signalabhängigkeit einbezogen werden sollen. Sie sind in der

Nähe des Handschlusses aufzustellen, was mit dem Schlüssel der Schlüsselsperre korrespondiert.

10.3.4.2 Bezeichnung

Weichen, Kreuzungen sowie Gleis- und Schlüsselsperren werden fortlaufend mit einer arabischen, höchstens dreistelligen Nummer bezeichnet. Die Nummerierung erfolgt mit 1 beginnend in Richtung der Kilometrierung. Es ist ratsam, dabei Lücken für eventuelle Erweiterungen zu lassen und für zusammenhängende Bereiche jeweils eine neue Dekade zu beginnen. Somit kann anhand der Dekade schon der Bereich lokalisiert werden, in dem die Weiche zu finden ist.

Da Kreuzungsweichen nur eine Weichenummer bekommen, jedoch zwei Antriebe benötigen, erfolgt die Unterscheidung über die Bezeichnung der Zungenpaare. Die Bezeichnung der Zungenpaare mit A und B (EKW) bzw. AB und CD (DKW) wird im Lageplan direkt an der Kreuzungsweiche angegeben. Bei Kreuzungen, die doppelte Herzstücke mit beweglichen Spitzen (A und B) besitzen, wird ebenso verfahren.

10.3.4.3 Besondere Angaben für Weichen und Gleissperren

Besondere Eigenschaften einer Weiche (siehe auch Abschn. 4.2.2) sind am Weichensymbol anzutragen. Das kann z. B. die Ausrüstung mit Handschloss oder als elektrisch ortsgestellte Weiche (EOW) sein (Tab. 10.4).

Eine Besonderheit stellt die Ausrüstung fernbedienter Weichen mit Zungenprüfern dar: Analog zur Kennzahl, die auch nur einmal auf dem Lageplan angegeben werden muss, wenn sie für den gesamten Plan gilt, kann auch beim Zungenprüfer auf die Angabe an jeder Weiche verzichtet werden, wenn alle fernbedienten Weichen damit ausgerüstet sind. Das ist in der Regel gegeben. Auf dem Lageplan ist dann der Hinweis „Alle fernbedienten Weichen mit Zungenprüfer“ anzubringen.

Zungenprüfkontakte (siehe auch Abschn. 4.2.2.6) werden ininigem Abstand vom Antrieb angebracht und dienen der Kontrolle, ob sich die Zungen nicht nur am Antrieb bewegen. Sie sind nur bei Weichen mit solchen Zungen notwendig, die einen hohen me-

Tab. 10.4 Zusatzangaben an Weichen und Gleissperren (WA: Weichenanfang, WM: Weichenmitte)

Bezeichnung	Zeichen	Platzierung
Zungenprüfer (Angabe ggf. pauschal)	Pr	WA
Zungenprüfkontakt	Zprk	WM
Riegelschloss, einfach	RH	WA
Riegelschloss, für beide Endlagen	RHH	WA
Handverschluss (Weichen- oder Gleissperrenschloss)	H	WA
Handverschluss für beide Endlagen	HH	WA
Elektrisch ortsgestellte Weiche	EOW	WM
Rückfallweiche	Rf	WM

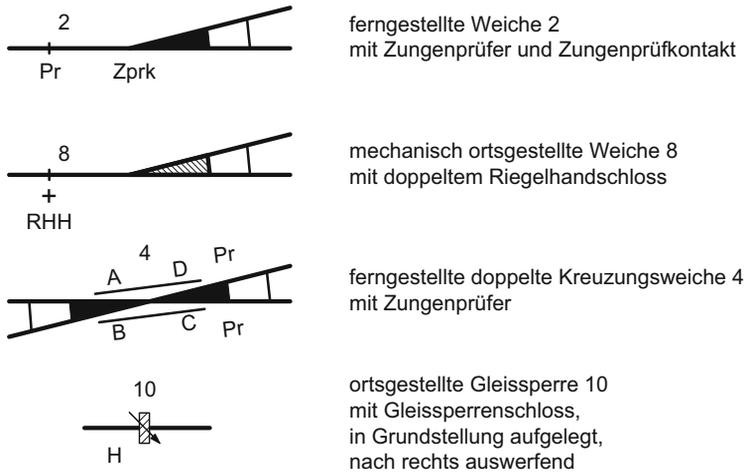


Abb. 10.4 Beispiele für die Bezeichnung und Ausrüstung von Weichen und Gleissperren

chanischen Widerstand beim Umstellen leisten, was bei langen Zungen und schweren Schienenprofilen zutrifft. Zungenprüfkontakte sind bei Weichen mit einem Schienenprofil von 54 oder 60 kg/m ab einem Radius von 500 m sowie bei allen Weichen ab einem Radius von 760 m erforderlich.

Um ortsbediente Gleissperren in eine Abhängigkeit einzubeziehen, werden an ihnen auch Handverschlüsse (Gleissperrenschloss) verwendet, deren Notwendigkeit ebenfalls am Symbol anzutragen ist. Beispiele für Bezeichnung und Ausrüstung zeigt Abb. 10.4.

10.3.5 Strecken

Üblicherweise wird auf einem Plan bzw. Plansatz eine komplette Betriebsstelle dargestellt. Die freie Strecke wird in der Regel nur auszugsweise an LST-relevanten Stellen abgebildet. Um den Bezug zum übrigen Netz herzustellen, aber auch um die sicherungstechnischen Eigenschaften der Strecke zu benennen, werden diese Angaben auf dem Plan dargestellt (Tab. 10.5).

Richtungsangabe

Die erste Angabe benennt die benachbarte Zugmeldestelle. Um dem nicht ortskundigen Betrachter die Orientierung zu erleichtern, wird in Klammern dahinter der nächste Knotenbahnhof angegeben, außer wenn die benachbarte Zugmeldestelle der nächste Knotenbahnhof ist.

Tab. 10.5 Angaben zur Strecke auf dem sicherungstechnischen Lageplan

Eigenschaft	Angabe	Beispiel
Richtungsangabe	v. u. n. [nächste Zugmeldestelle] ([nächster Knotenbahnhof])	v. u. n. Adorf (Waldhof)
Streckencharakter und Geschwindigkeit	Hauptbahn/Nebenbahn, v_{max} = [Geschwindigkeit der Strecke]	Hauptbahn, v_{max} = 120 km/h
Regelbremswegabstand	Bremstafel [400/700/1000] m	Bremstafel 1000 m
Traktionsart	[Elektrifiziert/nicht elektrifiziert/ zur Elektrifizierung vorgesehen], [Spannung], [Frequenz]	Elektrifiziert, 15 kV, 16,7 Hz
Zugbeeinflussung	[Zugbeeinflussungssystem(e)]	PZB und GNT
Streckenblock	[Bauform des Streckenblocks/ Besonderes Betriebsverfahren]	Zentralblock
Benutzung des Gegengleises	[Betriebsart beim Befahren des Gegengleises]	Fahren auf dem Gegengleis mit Hauptsignal und Signal Zs 6 ständig eingerichtet

Streckencharakter und Geschwindigkeit

Für bestimmte Ausrüstungen ist es entscheidend, ob es sich um eine Hauptbahn oder eine Nebenbahn handelt. Ebenso spielt die Geschwindigkeit der Strecke, die die höchste infrastrukturell zulässige Geschwindigkeit darstellt, eine Rolle.

Regelbremswegabstand

Insbesondere für den Vorsignalabstand ist der Regelbremswegabstand wichtig. Dieser wird für jede Strecke mit einer Bremstafel, die 400, 700 oder 1000 m zulässt, festgelegt.

Traktionsart

Da die sicherungstechnischen Anlagen durch Bahnstromanlagen elektrisch beeinflusst werden können, muss das Bahnstromsystem – sofern die Strecke elektrifiziert ist – angegeben werden. Auch eine zukünftig vorgesehene Elektrifizierung ist anzugeben, damit die sicherungstechnischen Anlagen daraufhin ausgelegt werden. Außerdem wird bei elektrischer Traktion eine höhere Traktionsleistung unterstellt, die ebenfalls Einfluss auf die LST-Planung haben kann.

Zugbeeinflussung

Das bzw. die verwendeten Zugbeeinflussungssysteme sind anzugeben.

Streckenblock

Beim Streckenblock wird die jeweils verwendete Blockbauform angegeben. Ebenso wird vermerkt, wenn kein Block vorhanden oder ein besonderes Betriebsverfahren (z. B. Zugleitbetrieb) eingerichtet ist.

Benutzung des Gegengleises

Bei zweigleisigen Strecken wird die Art der Benutzung des Gegengleises angegeben (siehe auch Abschn. 10.4.5.5), da dies unmittelbar Auswirkungen auf die Signalisierung hat.

10.3.6 Nahbedienbereiche

Nahbedienbereiche (siehe auch Abschn. 5.2.6) werden mit den Buchstaben „Nb“ und einer arabischen Zahl bezeichnet (z. B. Nb1). Zur Abgrenzung von Nahbedienbereichen werden Grenzlinien als Strich-Punkt-Punkt-Linie verwendet (Abb. 5.30). In einem Bahnhof können mehrere Nahbedienbereiche eingerichtet sein, die auch aneinander grenzen oder ineinander verschachtelt sein können.

10.4 Planung von Haupt-, Vor- und Sperrsignalen

Die Planung von Signalen, insbesondere von Hauptsignalen, stellt den Kern einer sicherungstechnischen Planung dar. Viele weitere Entscheidungen, auch die anderer Gewerke, hängen von den Signalstandorten ab.

10.4.1 Bezeichnung

In Abschn. 4.3.9.1 wurden bereits die Grundzüge zur Bezeichnung von Hauptsignalen erläutert. Einen vollständigen Überblick gibt Tab. 10.6.

Neben den Buchstaben N und P für Ausfahrtsignale existieren noch die Buchstaben O und Q für weitere Ausfahrtrichtungen, die bei Dreiecks-, Keil- oder Turmbahnhöfen entste-

Tab. 10.6 Bezeichnungen von Haupt-, Vor- und Sperrsignalen

Art	In km-Richtung	Entgegen km-Richtung
Einfahrtsignal	A, B, C, D, E	F, G, H, J, K
Ausfahrtsignal	N + Gleisnr.	P + Gleisnr.
Ausfahrtsignal	O, Q + Gleisnr. (weitere Ausfahrtrichtungen)	
Zwischensignal	ZR, ZS, ZT + Gleisnr.	ZU, ZV, ZW + Gleisnr.
Blocksignal	Ungerade Zahl	Gerade Zahl
Vorsignal	V + Buchstabe des Hauptsignals (klein)	
Vorsignalwiederholer	VW + Buchstabe des Hauptsignals (klein)	
Rangiersignal bei einem Signal pro Gleis	Gleisnr. + X	Gleisnr. + Y
Rangiersignal bei mehreren Signalen pro Gleis	Gfm-Abschnittsnr. + X	Gfm-Abschnittsnr. + Y
Zugdeckungssignal	Gfm-Abschnittsnr. + X	Gfm-Abschnittsnr. + Y

hen können. Die Buchstaben bilden zusammen mit der Gleisnummer die Bezeichnung des Hauptsignals. Blocksignale werden in Kilometrierungsrichtung mit ungeraden, entgegen der Kilometrierungsrichtung mit geraden Zahlen bezeichnet.

Analog zu Vorsignalen, die ein „V“ und den Namen des zugehörigen Hauptsignals (mit Kleinbuchstaben) bekommen, werden Vorsignalwiederholer mit „VW“ und der Bezeichnung des zugehörigen Hauptsignals (mit Kleinbuchstaben) bezeichnet. Bei mehreren Vorsignalwiederholern werden sie durchnummeriert (z. B. VW1n1, VW2n1). Insbesondere bei Wiederholern von Zwischensignalen und mehrstelligen Gleisnummern können dabei Bezeichner von mehr als sechs Zeichen entstehen, die entsprechend gekürzt werden müssen (siehe auch Abschn. 10.2.1.6).

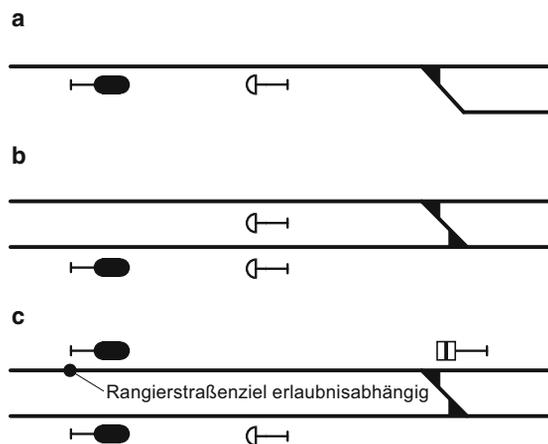
Allein stehende Rangiersignale werden mit dem Namen des zugehörigen Gleises sowie einem „X“ in Kilometrierungsrichtung bzw. einem „Y“ entgegen der Kilometrierungsrichtung bezeichnet. Stehen an einem Gleis mehrere Rangiersignale, so wird der Name des Gleisfreimeldeabschnitts zur Benennung herangezogen.

10.4.2 Rangierhalttafel

Ein wichtiges Rangiersignal ist die Rangierhalttafel, die die Rangiergrenze des Bahnhofs markiert, wenn nicht ein anderer Punkt, z. B. die Spitze der Einfahrweiche, als Rangiergrenze festgelegt ist. Somit wird die Rangierhalttafel nur aufgestellt, wenn sie betrieblich erforderlich ist. Sie steht in der Regel links vom Gleis (Abb. 10.5), in älteren Anlagen ist sie auch rechts vom Gleis anzutreffen.

In einem speziellen Fall wird die Rangierhalttafel auch dann nicht aufgestellt, wenn das Rangieren vorgesehen ist: Wenn auf einer zweigleisigen Strecke die Gleise für das Befahren in beiden Richtungen ausgerüstet sind, wird auf dem Ausfahr Gleis (Regelgleis, das in Fahrtrichtung rechte Gleis) auf die Rangierhalttafel verzichtet (Abb. 10.5c). Grund hier-

Abb. 10.5a–c Standorte der Rangierhalttafel



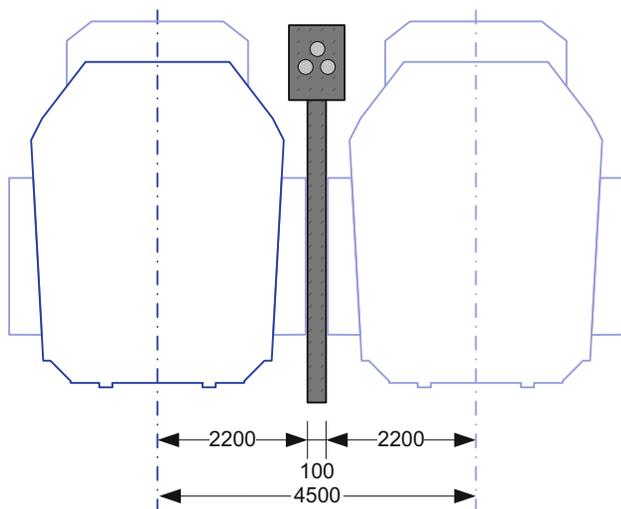
für ist, dass in moderner Stellwerkstechnik nur auf Rangierstraßen rangiert wird; deren Ziel wird gesperrt, wenn auf dem Regelgleis die Erlaubnis (ausnahmsweise) für Fahrten entgegen der gewöhnlichen Fahrtrichtung steht. Dann ist ein Rangieren in Richtung des Einfahrsignals des Gegengleises nicht möglich. Da normalerweise aber die Erlaubnis für die Fahrt auf dem Regelgleis steht, ist das Rangieren bis zum Einfahrsignal des Gegengleises und sogar darüber hinaus möglich. Somit muss in dem speziellen Fall der Gefahrpunktabstand nicht unbedingt ständig frei gehalten werden. Diese Vorgehensweise ist jedoch nur bei modernen Blockbauformen möglich.

10.4.3 Festlegung der Signalstandorte quer zum Gleis

Alle Bestandteile von Signalen müssen sich außerhalb des Regellichtraumes (siehe auch Abschn. 2.2.1.1), abzüglich der für solche Einbauten zugelassenen Räume, befinden. Außerdem müssen die Signale für den Triebfahrzeugführer eindeutig seinem Gleis zuzuordnen sein. Standorte, die auf dem Lageplan optimal erscheinen, können sich aus der Perspektive des Triebfahrzeugführers als ungeeignet erweisen. Die Eindeutigkeit der Zuordnung zu einem Gleis ist besonders wichtig und muss deshalb sorgfältig geprüft werden.

In der Regel werden Signale rechts vom Gleis aufgestellt. Zur Aufstellung von Vor- und Hauptsignalen zwischen Gleisen ist jedoch ein ausreichender Gleisabstand (mindestens 4,50 m zwischen Gleisen ohne Überhöhung) notwendig (Abb. 10.6). Ist der Mindestabstand nicht herstellbar, müssen Signalbrücken oder -ausleger (Abb. 4.48) eingesetzt werden, die aber aus Aufwandsgründen möglichst zu vermeiden sind. Wenn möglich, sollten solche Stellen gleich mit einem passenden Gleisabstand geplant werden.

Abb. 10.6 Für Signalaufstellung erforderlicher Gleisabstand [mm] (bei nicht überhöhten Gleisen)



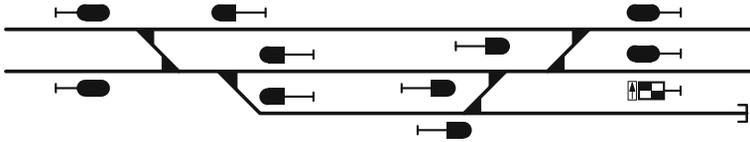


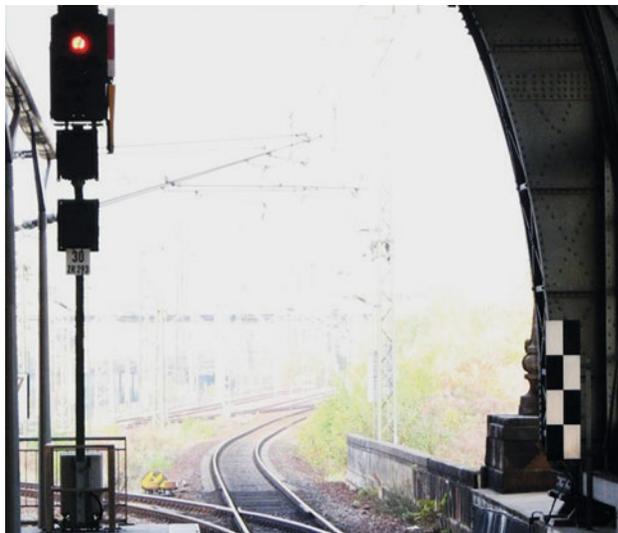
Abb. 10.7 Beispielhafte Aufstellung von Hauptsignalen

Auf zweigleisigen Strecken, außerhalb der Bahnhöfe bis einschließlich zum Einfahrtsignal, sind am Gegengleis die Signale links vom Gleis aufzustellen. Somit wird auf zweigleisigen Strecken eine Aufstellung von Signalen zwischen den Gleisen vermieden. Zum einen kann dadurch ein geringerer Gleisabstand (z. B. 4,0 m) und somit ein kostengünstiger Oberbauquerschnitt gewählt werden, zum anderen gestaltet sich die Instandhaltung einfacher: Oberbaugroßgeräte müssen nicht auf zwischen den Gleisen aufgestellte Signale Rücksicht nehmen und die Instandhaltung der Signale muss nicht zwischen den Gleisen erfolgen.

Aufgrund örtlicher Besonderheiten kann von den Regeln abgewichen werden; wichtig ist in jedem Fall, dass die Zuordnung von Gleis und Signal eindeutig ist. Bei einer abweichenden Aufstellung von Hauptsignalen wird eine Schachbretttafel dort aufgestellt, wo der reguläre Standort des Hauptsignals wäre.

Wenn sich z. B. links neben einem links aufgestellten Einfahrtsignal noch ein Gleis befindet, wie im rechten Bahnhofskopf von Abb. 10.7 dargestellt, könnte der Triebfahrzeugführer eines Zuges vom Gegengleis ein links von seinem Gleis aufgestelltes Hauptsignal als nicht für ihn gültig anerkennen, da das Signal auch rechts von einem (anderen) Gleis steht. Deshalb wird in diesem Fall das Einfahrtsignal des Gegengleises abweichend

Abb. 10.8 Aus baulichen Gründen links vom Gleis aufgestelltes Hauptsignal, Schachbretttafel am regulären Standort



von oben genannter Regel rechts vom Gleis aufgestellt. Zur eindeutigen Gleiszuordnung bekommt die Schachbrettafel hier einen Zuordnungspfeil. Weiterhin kann der Fall eintreten, dass ein Signal aus baulichen Gründen nicht an seinem regulären Standort aufgestellt werden kann (Abb. 10.8).

10.4.4 Festlegung der Signalstandorte längs zum Gleis

10.4.4.1 Durchrutschweg und Gefahrpunktabstand

Neben anderen, im Folgenden noch zu beschreibenden Kriterien, ist der Durchrutschweg (siehe auch Abschn. 5.2.3.5) bzw. Gefahrpunktabstand (siehe auch Abschn. 5.3.2.2) das wichtigste Kriterium zur Festlegung des Signalstandortes längs zum Gleis.

Bemessung des Durchrutschweges

In der Praxis kommt die Regellänge von 200 m meist nur in den durchgehenden Hauptgleisen zur Anwendung. In vielen Fällen wird die zulässige Verkürzung in Anspruch genommen. Beim Durchrutschweg ergibt sich vielfach auch die Notwendigkeit einer Verkürzung, da über den Standort des Ausfahr- bzw. Zwischensignals die Parameter Gleisnutzlänge und Fahrstraßenausschlüsse zueinander in Konkurrenz stehen. Diese Konkurrenz lässt sich zwar durch eine entsprechende bauliche Länge der Bahnhofsgleise beseitigen, jedoch ist diese Lösung zum einen wenig wirtschaftlich, zum anderen stehen auch nicht überall die hierfür benötigten Flächen zur Verfügung.

Auf mindestens 100 m darf verkürzt werden, wenn die Geschwindigkeit, mit der auf das Signal zugefahren wird

- höchstens 100 km/h beträgt, wenn der Gefahrpunkt der Anfang einer spitz beruhten Weiche ist oder
- höchstens 60 km/h beträgt, bei allen übrigen Gefahrpunkten.

Auf mindestens 50 m darf verkürzt werden, wenn die Geschwindigkeit, mit der auf das Signal zugefahren wird, höchstens 40 km/h beträgt.

Die Tatsache, dass zwischen 60 und 100 km/h eine Verkürzung erfolgen darf, wenn der Gefahrpunkt der Anfang einer spitz beruhten Weiche ist, soll mittels einer Risikobetrachtung näher beleuchtet werden. Das Potenzial eines Unfalls, der aus einer Entgleisung an einer unverschlossenen, spitz beruhten Weiche resultiert, ist gering. Zum einen geschieht das Beruhten bei geringer Geschwindigkeit während des Bremsens bis zum Stillstand (geringes Schadensausmaß). Zum anderen darf die spitz beruhten Weiche dabei keine Endlage haben (geringe Häufigkeit des Ereignisses). Dies kann durch eine Weichenstörung (seltener) oder durch ein Umstellen der Weiche (häufiger) gegeben sein. Das Umstellen der Weiche bei Besetzung wird bei Gleisbildstellwerken in der Regel durch die Gleisfreimeldeanlage verhindert. Jedoch ist eine zuverlässige Verhinderung

von Entgleisungen durch auf die Weiche zulaufende Fahrzeugbewegungen nur dann gegeben, wenn eine Freimeldung in genügend großem Abstand vor der Weiche erfolgt. Da das nicht immer gegeben ist, besteht als Restrisiko die Gefahr, in eine umlaufende Weiche zu fahren, wenn der Umlauf kurz vor Erreichen des Freimeldeabschnitts der Weiche beginnt. Das sich aus dem geringen Schadensausmaß und der geringen Häufigkeit ergebende Restrisiko wird akzeptiert.

In bestimmten Fällen stehen infrastrukturseitig nur weniger als 50 m oder sogar gar kein Durchrutschweg zur Verfügung. Dies ist u. a. der Fall bei Einfahrt auf ein Halt zeigendes Zugdeckungssignal oder in ein Stumpfgleis. In diesen Fällen ist der Triebfahrzeugführer durch bestimmte Signalisierungen (siehe auch Abschn. 4.3.6.4) oder Eintragungen in seinen Fahrplanunterlagen darauf hinzuweisen.

Bemessung des Gefahrpunktabstandes

Im Gegensatz zum Durchrutschweg können in der Regel im Gefahrpunktabstand keine nutzbaren Elemente liegen (z. B. Gleisabschnitt, Weiche), da der Gefahrpunktabstand nach dem Rückblock frei zu halten ist. Deshalb ist der erste Gefahrpunkt nach dem Signal, was einen Gefahrpunktabstand erfordert, bereits der maßgebende. Das gilt auch dann, wenn die Sicherung der Strecke nicht mit Blockinformation sondern mit Fahrstraßen (Zentralblock) erfolgt, da für den Zentralblock an der Schnittstelle zum Bahnhof die gleichen Funktionen wie bei der vorherigen Blocktechnik definiert wurden.

Auch beim Gefahrpunktabstand sind mindestens 200 m Länge der Standardwert. Er kann – ähnlich wie beim Durchrutschweg – auf 100 m verkürzt werden, wenn nicht schneller als mit 100 km/h darauf zugefahren wird und der Gefahrpunkt Anfang einer spitz beruhten Weiche ist. Weitere, geschwindigkeitsabhängige Verkürzungen sind nicht vorgesehen.

Bei Blocksignalen, die ausschließlich der Regelung der Zugfolge dienen, bildet der Zugschluss eines am nächsten Signal zum Halten gekommenen Zuges den Gefahrpunkt, sofern die zwischen den Signalen liegende Blocklänge mindestens 950 m beträgt. Von diesem Gefahrpunktabstand müssen aber nur 50 m freigemeldet werden. Hintergrund ist die Annahme, dass ein Zug, der im Blockabschnitt hält, immer bis zum Ende des Abschnitts (bis kurz vor das nächste Hauptsignal) fährt. Da nach aktuellen Regeln ein Zug maximal 740 m lang sein kann, bleibt ein Abstand von mindestens 200 m zwischen dem Zugschluss und dem rückliegenden Signal (Abb. 10.9a). Eine Vergrößerung der maximalen Zuglänge bedarf daher einer Überprüfung der Infrastruktur.

Kann sich z. B. durch einen kürzeren Blockabstand oder einen Bahnsteig der Schluss eines haltenden Zuges innerhalb der Mindestlänge von 200 m nach dem Blocksignal befinden, muss die gesamte Länge freigemeldet werden (Abb. 10.9b). Im Fall des Bahnsteigs würde aber versucht werden, das Blocksignal 200 m davor anzuordnen.

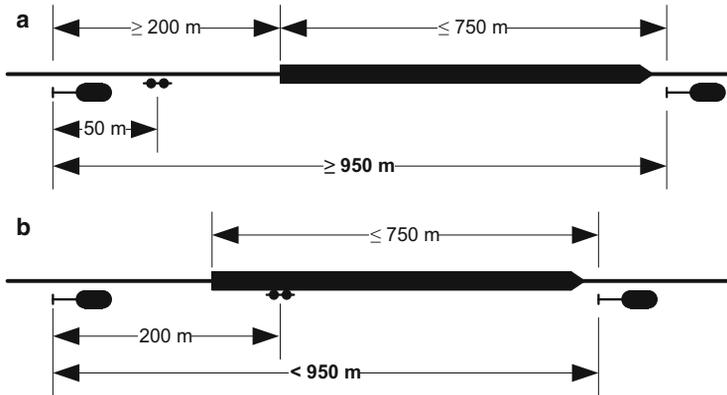


Abb. 10.9a, b Freimeldung von Gefahrenpunktabständen bei Blocksignalen

Verlängerung in Abhängigkeit von der Neigung

Gefälle und Steigung wirken positiv bzw. negativ beschleunigend. Dies schlägt sich auch in der Bemessung von Durchrutschwegen und Gefahrenpunktabständen nieder, die entsprechend verlängert werden müssen oder verkürzt werden können.

Dazu ist zunächst die maßgebende Neigung zu ermitteln. Sie ergibt sich aus der Durchschnittsneigung 2 km vor dem Signal oder im Bremswegabstand vor dem Signal. Die stärkere Neigung ist maßgebend.

Bei Gefälle ist der Weg um 10 % des Grundwertes je Promille zu verlängern, aus Gründen der Neigung jedoch maximal auf 300 m. Bei Steigung darf der Weg um 5 % je Promille verkürzt werden, muss jedoch noch mindestens 100 m (bei elektrifizierten Strecken) bzw. 50 m (sonst) betragen.

Die dargestellten Regeln zur Bemessung von Durchrutschweg bzw. Gefahrenpunktabstand geben die Richtlinien der Deutschen Bahn wieder. In vielen Fällen kann jedoch festgestellt werden, dass diese historisch gewachsenen Vorschriften für die heutigen Anforderungen nicht optimal sind.

Durchrutschwegauflösung

In Gleisbildstellwerken wird in der Regel die zeitgesteuerte Durchrutschwegauflösung verwendet (siehe auch Abschn. 5.2.5.1). Hierzu ist eine Zeitvorgabe notwendig, die sich aus der Einfahrgeschwindigkeit und der Länge des Zielgleises ergibt. Die Zielgleislänge bemisst sich dabei nach dem Abstand zwischen dem Zielsignal und der letzten Gleisfreimeldegrenze vor dem Signal. Mit Besetzung dieses Abschnitts beginnt die Verzögerungszeit. Tabelle 10.7 zeigt die Zeitvorgabe für Geschwindigkeiten ab 40 km/h [DB818].

Tab. 10.7 Verzögerungszeiten der Durchrutschwegauflösung in Abhängigkeit von der Gleislänge bei einer Geschwindigkeit ≥ 40 km/h

Zielgleislänge [m]	300	400	500	600	700	800
Verzögerung [s]	32	41	50	58	68	78

Durchrutschwegtabelle

In der Durchrutschwegtabelle werden alle Angaben zum Durchrutschweg zusammengefasst (Abb. 10.10). Zunächst erfolgt die Festlegung des Durchrutschweges selbst durch Angabe von Start- und Zielpunkt. Dabei ist der Startpunkt immer das Zielsignal der zugehörigen Fahrstraße; der Endpunkt ist der markante Punkt, der für diesen Durchrutschweg gewählt wurde.

Sind Wahldurchrutschwege eingerichtet, so werden diese in der Regel mit „D“ und einer fortlaufenden arabischen Zahl bezeichnet. Wenn Wahldurchrutschwege eingerichtet sind, so sind es meist zwei, gelegentlich auch mehr. Von der verwendeten Stellwerksbauform hängt ab, wie viele Wahldurchrutschwege eingerichtet werden können. Moderne Stellwerke können z. B. bis zu neun Wahldurchrutschwege verwalten.

Die Einfahrtgeschwindigkeit bezeichnet die Geschwindigkeit, mit der auf das Zielsignal zugefahren wird und die demzufolge maßgebend für die Bemessung des Durchrutschweges ist. Neben der sich daraus ergebenden Solllänge wird die Istlänge des Durchrutschweges eingetragen. Sind Soll- und Istlänge identisch, so kann in den meisten Fällen daraus geschlossen werden, dass der Signalstandort nach diesem markanten Punkt gewählt wurde. In Abb. 10.10 ist der Sachverhalt deutlich zu erkennen: Während die Durchrutschweglänge von D2 genau dem Sollwert entspricht, liegt die Länge von D1 137 m über dem Sollwert. Das ist dadurch zu erklären, dass der nächste markante Punkt erst an dieser Stelle liegt.

Durchrutschweg						maßgebende Neigung [‰]	Weichen, Kreuzungen, Gleissperren		technisch freizuprüfende Gleisfreimeldeabschnitte
von Signal	bis	Bezeichnung	vEinfahrt [km/h]	Länge [m]			verschließen	nicht verschließen	
				Soll	Ist				
N1	Gz W7	D1	80	200	337	0,0	3R	4R	W3, W4
N1	Gleisabschl.	D2	60	100	100	0,0	3L		W3

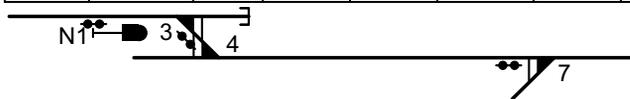


Abb. 10.10 Durchrutschwegtabelle (vereinfacht) mit beispielhaften Eintragungen und zugehörigem Lageplan

Die maßgebende Neigung wird in Promille angegeben und bezeichnet die oben erläuterte Neigung, die zur Verlängerung oder Verkürzung der Solllänge führt.

In den folgenden zwei Spalten werden die Weichen, Kreuzungen und Gleissperren eingetragen, die im Durchrutschweg enthalten sind. Dabei erfolgt eine Unterscheidung zwischen zu verschießenden und nicht zu verschießenden Elementen. In der Regel müssen stumpf berutschte Weichen nicht verschlossen werden (Regelstellungsweiche, siehe Abschn. 5.2.3.5). Allerdings ist die Bedingung nicht in allen Stellwerksbauformen implementierbar, so dass bei solchen alle im Durchrutschweg liegenden Weichen verschlossen werden müssen.

Die technisch freizuprüfenden Gleisfreimeldeabschnitte beinhalten diejenigen Abschnitte, die für den Durchrutschweg freigemeldet werden müssen. In der Regel ist der ganze Durchrutschweg frei zu melden. Allerdings wird auf die Freimeldung der geringen Distanz zwischen Grenzzeichen einer Weiche und Grenze der Gleisfreimeldung verzichtet, so dass als markanter Punkt das Grenzzeichen direkt verwendet werden kann.

Gefahrpunkttable

Die Gefahrpunkttable entspricht einer vereinfachten Durchrutschwegtable. Da keine beweglichen Fahrwegelemente im Gefahrpunktstand liegen dürfen und es dadurch auch keine Wahlmöglichkeiten gibt, sind weniger Angaben zu erfassen. Folgende Daten sind zu planen:

- Signal,
- maßgebender Gefahrpunkt,
- Soll- und Ist-Länge,
- maßgebende Neigung.

10.4.4.2 Gleisnutzlänge

Einen wesentlichen Einfluss auf den Standort der Hauptsignale hat die betrieblich geforderte Gleisnutzlänge. Sie bemisst sich allgemein aus dem Abstand zwischen dem Zielsignal und der Fahrstraßenzugschlussstelle.

Die theoretische Fahrstraßenzugschlussstelle befindet sich nach dem letzten befahrenen beweglichen Fahrwegelement, meist die Spitze oder das Grenzzeichen einer Weiche. Da aber bei Stellwerken mit Gleisfreimeldeanlagen die Freimeldung des Flankenschuttraumes immer gefordert ist, muss an der Fahrstraßenzugschlussstelle ein Flankenschutz bietendes Element für das Nachbargleis vorhanden sein. Ist die theoretische Fahrstraßenzugschlussstelle das Grenzzeichen einer Weiche, so kann sie nicht zur tatsächlichen Fahrstraßenzugschlussstelle werden, da eine Flankenfahrt von der stumpfen Seite einer Weiche nicht abgewehrt werden kann.

Abb. 10.11 verdeutlicht das an einem Beispiel: Fährt ein Zug von A nach Gleis 1 ein, so befindet sich zwar die theoretische Fahrstraßenzugschlussstelle am Grenzzeichen der Weiche 1, dennoch muss der Zugschluss bis hinter P1 fahren, da dieses Signal das Flankenschutz bietende Element für Fahrten von und nach Gleis 2 darstellt. Stünde ein Teil

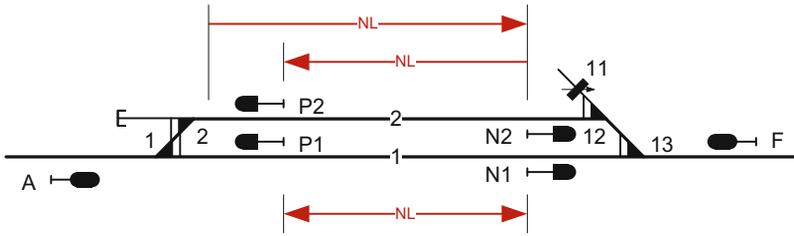


Abb. 10.11 Beispiel für die Bemessung der Gleisnutzlänge

des auf Gleis 1 eingefahrenen Zuges zwischen Weiche 1 und Signal P1, wäre der Flankenschutzraum nicht frei und eine Zugstraße von und nach Gleis 2 nicht einstellbar.

Anders verhält es sich, fährt der Zug von A nach Gleis 2 ein. Hier stellt die theoretische Fahrstraßenzugschlussstelle an der Spitze von Weiche 2 auch die tatsächliche dar. Mit Weiche 2 ist ein Flankenschutz bietendes Element vorhanden, das Fahrten nach Gleis 1 Flankenschutz gibt.

Für die Fahrten von F in die Gleise 1 und 2 verhält es sich so wie im ersten Beispiel; auch hier entspricht die theoretische Fahrstraßenzugschlussstelle nicht der tatsächlichen. Um in solchen Fällen die Gleisnutzlänge zu verlängern, kommen drei Möglichkeiten in Betracht (Abb. 10.12).

1. Verschiebung des Ausfahrsignals

Wird das Ausfahrsignal in Richtung Bahnhofskopf verschoben, so resultieren daraus meist Fahrstraßenausschlüsse, da der Durchrutschweg nun (weiter) in den Bahnhofskopf hinein reicht. Dem kann zwar durch Verkürzung des Durchrutschweges mit gleichzeitiger Verringerung der Einfahrtsgeschwindigkeit entgegengewirkt werden, jedoch bedingen sowohl die Verschiebung als auch die Verkürzung des Durchrutschweges eine Einschränkung der betrieblichen Leistungsfähigkeit.

2. Verzicht auf Flankenschutz und Rangierverbot

In Abb. 10.12 ist der Verzicht auf Flankenschutz und die Erteilung eines Rangierverbots in Gleis 1 dargestellt. Durch den Verzicht auf das Signal P1 kann aber das Gleis 1 nur noch

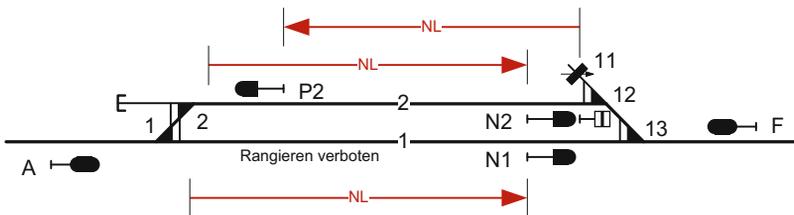


Abb. 10.12 Möglichkeiten der Verlängerung von Gleisnutzlängen

in einer Richtung von Zügen befahren werden. Die Anwendung dieser Maßnahme ist nur dann geeignet, wenn die entfallene Fahrtrichtung auf diesem Gleis nicht benötigt wird und ein Rangierverbot betrieblich tragbar ist. Allerdings wird ein Flankenschutzverzicht heute möglichst vermieden.

3. Aufstellung von Sperrsignalen für den Flankenschutz

Abbildung 10.12 zeigt auf Gleis 2 die zusätzliche Aufstellung eines Sperrsignals. Damit ist nun an der theoretischen Fahrstraßenzugschlussstelle für die Einfahrt von F nach Gleis 2 ein Flankenschutz bietendes Element in Form eines Signals vorhanden. Der Nachteil der Maßnahme besteht darin, dass ein zusätzliches Signal notwendig ist, was für seinen eigentlichen Zweck – der Zulassung von Rangierfahrten – gar nicht benötigt wird.

In der Praxis wird hauptsächlich die 1. Maßnahme angewandt. Gleichwohl kann natürlich auch von vornherein eine größere bauliche Gleislänge vorgesehen werden. Hier gilt es, in frühen Phasen der Planung sehr sorgfältig wirtschaftliche und betriebliche Belange abzuwägen.

10.4.4.3 Lage der Bahnsteige

Hauptsignale an Bahnsteiggleisen müssen so aufgestellt werden, dass Reisezüge mit allen Wagen am Bahnsteig halten können. Bahnsteigkanten werden heute nur noch so lang bemessen, wie die längstmögliche, planmäßig verkehrende Wagenzuglänge beträgt, zuzüglich eines Zuschlags für Zielbremsungenauigkeit (5 m). Weiterhin ist ein Zuschlag für die Sicht vom Führerstand des stehenden Zuges auf das Signal notwendig, wofür ebenfalls 5 m angesetzt werden. Da der Einsatz von Wendezügen heute üblich ist, muss bei der Planung außerdem beachtet werden, dass Lokomotiven sowohl an der Spitze als auch am Schluss des Zuges laufen können. Bei Einsatz von Triebwagen und Triebzügen entfällt zwar die Berücksichtigung der Lokomotive, dennoch schließt das in der Regel die Verwendung von lokbespannten Zügen nicht aus.

Bei einer angenommenen Loklänge von 20 m muss das Hauptsignal also mindestens 25 m vom Bahnsteigende entfernt aufgestellt werden (Abb. 10.13). Wird der Bahnsteig in beiden Richtungen bedient, gilt Gleiches für die Gegenrichtung.

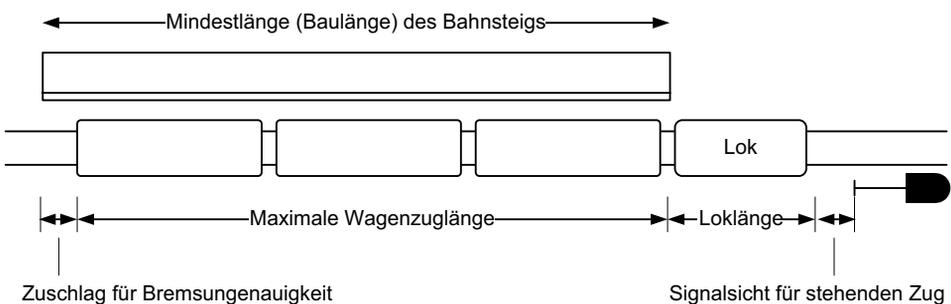
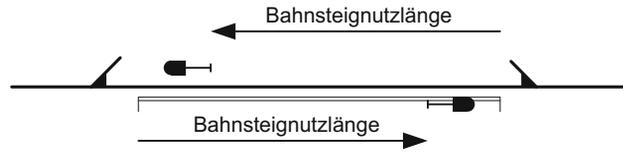


Abb. 10.13 Mindestabstand der Signale vom Bahnsteig

Abb. 10.14 Richtungsabhängige Nutzung eines Bahnsteigs aufgrund beengter Verhältnisse



Die Wechselwirkungen zwischen Bau (Bahnsteig) und Sicherungstechnik (Signalstandorte, Gleisnutzlängen) sind auch hier in einer frühen Planungsphase abzustimmen. Bei komplizierten, beengten oder gegebenen Verhältnissen der baulichen Infrastruktur wird es sich nicht immer vermeiden lassen, Signale auch auf dem Bahnsteig aufzustellen. Abbildung 10.14 zeigt ein solches Beispiel: Aufgrund beengter Verhältnisse und der Anforderungen des Durchrutschweges können die Ausfahrtsignale des betreffenden Bahnsteiggleises nicht genügend weit nach außen geschoben werden. Wegen der je nach Fahrtrichtung unterschiedlichen Nutzung des Bahnsteigs muss dieser länger gebaut werden, als die Länge des Bemessungswagenzuges beträgt.

10.4.4.4 Signalfolgeabstand

Grundsätzlich ist jedes Signal so anzukündigen, dass die stärkste mögliche Geschwindigkeitsreduktion bis zum Erreichen des Signals durchgeführt werden kann.

Der Regelvorsignalabstand ist identisch mit dem Bremswegabstand der Strecke. Der Bremswegabstand wird in Abhängigkeit von den infrastrukturellen Eigenschaften, insbesondere Neigung und zulässige Geschwindigkeit, für jede Strecke festgelegt. Er beträgt in der Regel

- 1000 m auf Hauptbahnen mit $v > 100$ km/h,
- 700 m auf Hauptbahnen mit $v \leq 100$ km/h (in seltenen Fällen auch 120 km/h),
- 400 m auf Nebenbahnen mit $v \leq 80$ km/h.

Die genannten Geschwindigkeitsgrenzen sind Obergrenzen. Es kann auch immer ein längerer von den genannten Bremswegabständen festgelegt werden.

Vorsignale sind, unabhängig von den Neigungsverhältnissen, im Regelvorsignalabstand zum zugehörigen Hauptsignal aufzustellen. Es ist zulässig, diesen Abstand um bis zu 50 % zu verlängern und um bis zu 5 % zu verkürzen. Die mögliche Verkürzung lässt sich damit begründen, dass ein Triebfahrzeugführer in der Regel die Bremsung bereits nach der Sicht auf das Vorsignal und damit vor dem Standort des Vorsignals einleitet. Auf Neu- und Ausbaustrecken mit Signalisierung nach Ks-System soll bei 1000 m Bremswegabstand – unbeschadet des Fensters von 950–1500 m – ein Vorsignalabstand von 1300 m vorgesehen werden.

Weiterhin ist zwischen einem Haupt- und dem folgenden Vorsignal ein Mindestabstand von 300 m einzuhalten, ansonsten ist das Vorsignal am Hauptsignal anzuordnen. Bei Mehrabschnittsignalssystemen wie dem Ks-System würde aber, zur Einsparung separa-

Tab. 10.8 Sicherheitsabstand zu Bahnübergängen

Geschwindigkeit [km/h]	Sicherheitsabstand [m]
$80 < v \leq 160$	50
$40 < v \leq 80$	30
$0 < v \leq 40$	10

rater Vorsignale, ohnehin versucht werden, ein Mehrabschnittssignal aufzustellen, sofern der Vorsignalabstand das zulässt.

10.4.4.5 Lage zu technisch gesicherten Bahnübergängen

Auch wenn es sich nicht immer vermeiden lässt, so sollen Hauptsignale so angeordnet werden, dass sich im Bereich einer Zuglänge vor dem Signal keine Bahnübergänge befinden; sonst kommt es bei einem Halt vor dem Signal zu einer längeren Sperrzeit für den Straßenverkehr.

Aber auch Bahnübergänge im Durchrutschweg sind zu betrachten. In Abschn. 5.2.3.5 wurde bereits ausgeführt, dass die unterschiedlichen Gefährdungen beim Durchrutschen unterschiedliche Risiken bergen, die deshalb auch differenziert zu behandeln sind. So wird die ganze Länge des Durchrutschweges gegen Zusammenstoß gesichert, während für den Zusammenprall nicht die ganze Länge zu sichern ist. Daraus ergibt sich der **Sicherheitsabstand** zu technisch gesicherten Bahnübergängen (Tab. 10.8), der abhängig von der Geschwindigkeit ist, mit der auf das Halt zeigende Signal zugefahren wird.

Bahnübergänge im Sicherheitsabstand sind einzuschalten, wenn der Durchrutschweg gesichert ist. Daraus ergibt sich die Forderung, Hauptsignale möglichst so anzuordnen, dass der Sicherheitsabstand gewahrt bleibt. Liegt ein Bahnübergang im Sicherheitsabstand, so wird er mit Sicherung des Durchrutschweges ein- und mit der Auflösung ausgeschaltet. Da hierbei kein Zug über den Bahnübergang fährt, kann das zu Akzeptanzproblemen bei den Straßenverkehrsteilnehmern führen.

10.4.4.6 Sichtbarkeit

Um den Signalbegriff aufzunehmen, ist dem Triebfahrzeugführer eine ausreichende Zeit, die Signalsichtzeit, einzuräumen. Die Einhaltung dieser Zeit wird durch die Bereitstellung einer Sichtweite realisiert, die sich aus dem Produkt der größten zulässigen Geschwindigkeit und der Signalsichtzeit ergibt. Beide Vorgabearten – Sichtzeit und Sichtweite – sind üblich.

Im Bereich der definierten Sichtbarkeit muss immer der vollständige Signalbegriff sichtbar sein, damit durch partielle Verdeckung (z. B. durch Ingenieurbauwerke oder Bewuchs) kein anderer Signalbegriff vorgetäuscht werden kann.

Bei der Planung der Sichtweiten für Haupt- bzw. Mehrabschnittssignale wird heute nach Soll- und Mindestsichtbarkeit unterschieden. Die Sollsichtbarkeit entspricht der früheren Vorgabe, für die drei Geschwindigkeitsstufen definiert wurden (Tab. 10.9). Können

Tab. 10.9 Sollsichtbarkeit für Haupt- und Mehrabschnittssignale

Geschwindigkeit [km/h]	Sichtweite [m]
$120 < v \leq 160$	500
$100 < v \leq 120$	400
$0 < v \leq 100$	300

Tab. 10.10 Mindestsichtbarkeit für Vorsignale

Geschwindigkeit [km/h]	Sichtweite [m]
$120 < v \leq 160$	300
$100 < v \leq 120$	250
$0 < v \leq 100$	200

die Werte im Bereich über 100 km/h nicht eingehalten werden, so ist es zulässig, die Sichtweite auf 300 m zu verkürzen, sofern eine Signalverwechslung ausgeschlossen ist.

Könnte die Sollsichtbarkeit nur durch Anwendung von Vorsignalwiederholern (siehe auch Abschn. 4.3.4.2) hergestellt werden, so ist zu prüfen, ob die Mindestsichtbarkeit gegeben ist. Bei der Mindestsichtbarkeit wird davon ausgegangen, dass es bei der Signalsicht einzig auf die Zeit ankommt, die ein Triebfahrzeugführer zur Verfügung hat, um das Signal wahrzunehmen. Nach den oben beschriebenen Regeln ergibt sich die kürzest mögliche Zeit bei 160 km/h und 300 m Sichtweite und beträgt damit 6,75 s. Dieses Maß, dessen Anwendung an weitere Bedingungen gebunden ist, bestimmt die Mindestsichtbarkeit, die mindestens – gegebenenfalls auch mit Vorsignalwiederholern – hergestellt werden muss.

Sollte ein Vorsignalwiederholer erforderlich sein, so ist dessen Standort so zu wählen, dass er von dem Punkt aus sichtbar ist, von dem auch das zugehörige Hauptsignal gesehen werden müsste. Bei Bedarf können auch mehrere Vorsignalwiederholer geplant werden.

Für Vorsignale sind ebenfalls Mindestsichtbarkeiten zu realisieren (Tab. 10.10). Im Gegensatz zu Haupt- und Mehrabschnittssignalen, wo die geforderte Sichtbarkeit mittels Vorsignalwiederholern hergestellt werden kann, ist das bei Vorsignalen nicht möglich. Deshalb ist zunächst zu versuchen, durch Verschiebung innerhalb des zulässigen Vorsignalabstands die Sichtbarkeit herzustellen. Nur wenn das nicht zu realisieren ist, können statt der üblichen drei auch bis zu fünf Vorsignalbaken aufgestellt werden.

10.4.4.7 Anordnung mehrerer Signale

Der Standort längs zum Gleis trägt auch zu einer eindeutigen Zuordnung des Signals zum Gleis bei. Vor allem bei Gleisbögen muss darauf geachtet werden, dass sich aus der Perspektive des Triebfahrzeugführers immer die gleiche Anordnung der Signale darstellt. Abbildung 10.15a zeigt eine unzulässige Anordnung. Hier ergibt sich während der Fahrt auf einem Gleis an unterschiedlichen Orten eine unterschiedliche Reihenfolge der Signale. Bei der Anordnung nach Abb. 10.15b hingegen ergibt sich an jedem Punkt des Gleises die gleiche Reihenfolge der Signale. Dabei müssen die Signale nicht immer in einer Linie

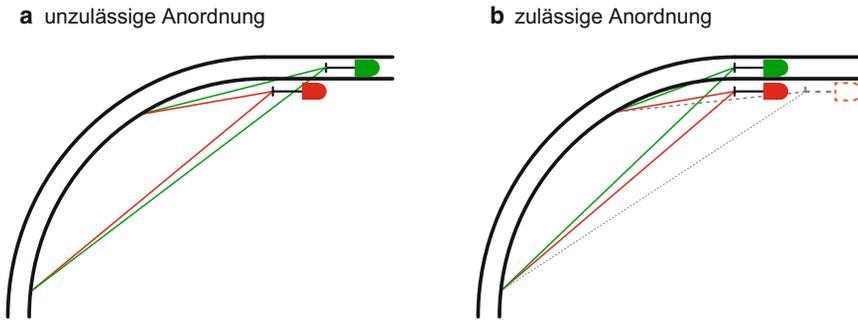


Abb. 10.15 Unzulässige (a) und zulässige (b) Anordnung von Hauptsignalen an Gleisbögen

senkrecht zum Gleis angeordnet sein. Das gestrichelte Symbol in Abb. 10.15b zeigt eine ebenfalls mögliche Anordnung.

Führen die Gleise hingegen so auf die Signale zu, dass Verwechslungen ausgeschlossen sind, hat bei Ausfahr- und Zwischensignalen die Erzielung einer möglichst großen Gleisnutzlänge Priorität (Abb. 10.7). Für eine Aufstellung der Signale in einer Linie senkrecht oder schräg zur Gleisachse gibt es dann keine Begründung.

Einfahrtsignale sollen immer in einer Linie senkrecht zur Gleisachse angeordnet werden, um eine Torwirkung zu erzielen (Abb. 10.7). Hierdurch wird die Grenze des Bahnhofs eindeutig markiert.

10.4.4.8 Einflüsse von Ingenieurbauwerken

Neben den bereits genannten baulichen Randbedingungen ist auch die bauliche Umgebung der Anbringung zu beachten. Die Aufstellung von Signalen z. B. in Tunneln, auf Brücken oder an Stützmauern ist prinzipiell möglich, jedoch immer mit einem höheren Aufwand sowohl bei der Errichtung als auch der Instandhaltung verbunden. Nach Möglichkeit sollten deshalb solche Standorte vermieden werden.

10.4.4.9 Belange der Fahrleitung

Auch zwischen Fahrleitungsanlagen und Signalstandorten bestehen Wechselwirkungen. Zum einen können durch Fahrleitungsmasten erhebliche Sichtbehinderungen vor allem in Bögen entstehen, zum anderen sind die elektrischen Grenzen bei der Standortwahl von Hauptsignalen zu beachten. So muss das Einfahrtsignal eines Bahnhofs vor der elektrischen Bahnhofsgrenze stehen, damit ein elektrisch geförderter Zug noch vor einem eventuell abgeschalteten Bereich zum Stehen gebracht werden kann.

Ein weiteres Kriterium ist die Lage zu offenen Fahrleitungstrennstellen. Vor dem Hauptsignal muss mindestens der Abstand einer maximal zu erwartenden Zuglänge eingehalten werden (Abb. 10.16). Hintergrund dafür ist, dass ein (nach)geschobener Zug vor dem Hauptsignal zum Halten kommen kann. Führe die elektrische Schiebelok im Bereich

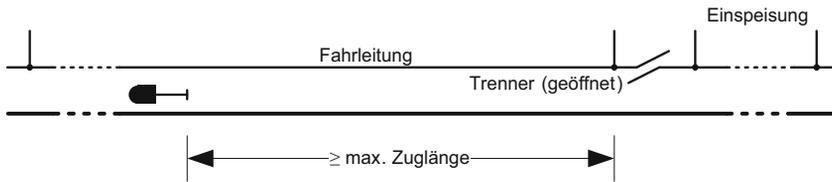


Abb. 10.16 Lage von offenen Fahrleitungstrennstellen zu Hauptsignalen

des Trenners an, ergäbe sich im hier einseitig gespeisten Fahrdrabt eine unzulässig hohe Belastung, die bis zum Fahrleitungsabbrand führen kann.

10.4.5 Planung der Signalbegriffe

10.4.5.1 Abschnittssignalisierung

Wie in Abschn. 4.3.6.3 beschrieben, wird im Ks-System – im Gegensatz zu früheren Systemen – die konsequente Trennung zwischen Abschnitts- und Geschwindigkeitssignalisierung vorgenommen. Bei der Entscheidung, ob ein Haupt- oder ein Mehrabschnittssignal aufgestellt wird, ist der Abstand zum nächsten Hauptsignal entscheidend (siehe auch Abschn. 4.3.4.3). Befindet sich das nächste Hauptsignal innerhalb des Vorsignalabstandes (Regelvorsignalabstand $+50$ bis -5%), so wird die Vorsignalfunktion in das Hauptsignal integriert und damit ein Mehrabschnittssignal geplant. Ist das nächste Hauptsignal weiter entfernt, so wird nur ein Hauptsignal aufgestellt.

10.4.5.2 Geschwindigkeitssignalisierung

Mittels der Geschwindigkeitssignalisierung wird die zulässige Geschwindigkeit im anschließenden Weichenbereich (siehe auch Abschn. 4.3.5.2) signalisiert. Befindet sich vor dem Signal jedoch eine Mittelweiche (siehe auch Abschn. 5.2.3.2), die eine Geschwindigkeitseinschränkung hervorruft, so muss auch deren Geschwindigkeit bei der Geschwindigkeitssignalisierung beachtet werden.

Die Geschwindigkeitssignalisierung erfolgt im Ks-System mittels der Signale Zs 3 (Geschwindigkeitsanzeiger) und Zs 3v (Geschwindigkeitsvoranzeiger). Die durch das Signal Zs 3 angezeigten Geschwindigkeiten werden durch eine Kennzahl von 2 (20 km/h) bis 16 (160 km/h), durch das Signal Zs 3v von 2 (20 km/h) bis 15 (150 km/h) dargestellt.

Beide Signale können als Licht- und als Formsignal verwendet werden. Das kostengünstigere Formsignal wird verwendet, wenn immer nur eine Geschwindigkeit zu signalisieren ist. Die gleichzeitige Verwendung von Zs 3 als Formsignal und Zs 3v als Lichtsignal an einem Mehrabschnittssignal ist allerdings nicht zulässig.

Wird an einem Mehrabschnittssignal ein Zs 3v gezeigt, so blinkt das Signal Ks 1, um den Triebfahrzeugführer auf das Zs 3v und eine damit eventuell verbundene Bremsung

hinzuweisen. Das liegt darin begründet, dass die Optik einer Hauptanzeige eine wesentlich weitere Sichtbarkeit besitzt als ein Zusatzanzeiger.

Verzicht auf die Ankündigung eines Zs 3

An Mehrabschnittssignalen kann auf die Ankündigung des folgenden Signals Zs 3 mittels Zs 3v verzichtet werden, wenn die angekündigte Geschwindigkeit gleich oder größer ist, als die ab dem Signal gezeigte Geschwindigkeit. Dieser Regel liegt die Überlegung zugrunde, dass nur die Information gegeben wird, die eine unmittelbare Handlung erfordert. In dem Fall wäre die erforderliche Handlung das Bremsen, um am nächsten Signal eine geringere Geschwindigkeit zu erreichen. Ist die folgende Geschwindigkeit jedoch gleich oder größer, wäre nach einer Vorsignalisierung keine derartige Handlung notwendig.

Das gilt allerdings nur, wenn sich der anschließende Weichenbereich auch bis zum nächsten Hauptsignal erstreckt, wie es üblicherweise bei Einfahr- und Zwischensignalen der Fall ist. Endet er jedoch hinter der letzten befahrenen Weiche (z. B. bei Ausfahrtsignalen), so gilt ab diesem Punkt die Geschwindigkeit der Strecke, die in den meisten Fällen höher als die Geschwindigkeit im Weichenbereich ist. Würde nun die folgende Geschwindigkeitseinschränkung nicht angekündigt sein, so stieße der Triebfahrzeugführer mit einer zu hohen Geschwindigkeit auf eine nicht angekündigte Geschwindigkeitseinschränkung. Deshalb kann nur bei Einfahr- oder Zwischensignalen auf die Voranzeige einer gleichen oder höheren Geschwindigkeit verzichtet werden.

Ein Beispiel zeigt Abb. 10.17: Das Ausfahrtsignal des Bahnhofs muss bei Ausfahrt Zs 3 mit Kennzahl „6“ zeigen. Die an der Abzweigstelle folgende Geschwindigkeitsbegrenzung beträgt bei Fahrt in das abzweigende Gleis 80 km/h. Eine Ankündigung dieser Geschwindigkeit wäre nicht notwendig, wenn die vorherige Beschränkung auf 60 km/h

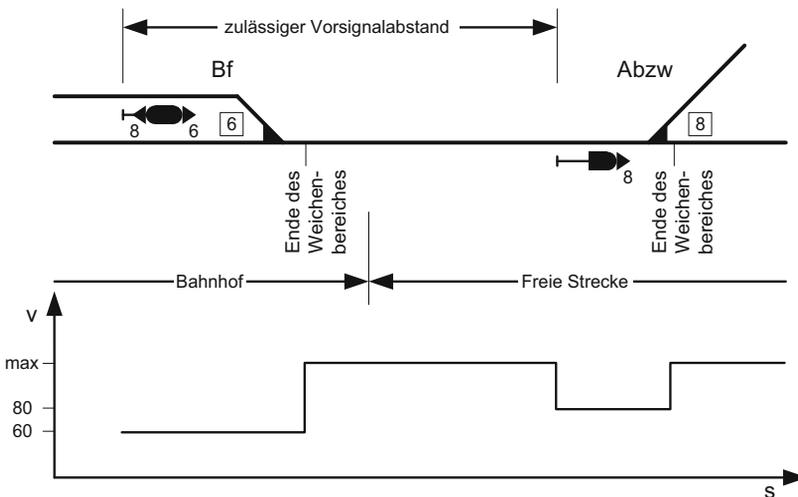
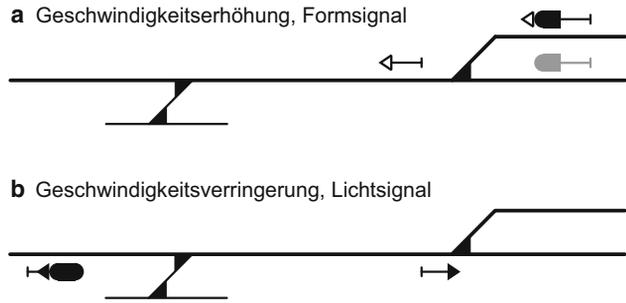


Abb. 10.17 Anordnung, die die Ankündigung einer höheren Geschwindigkeit erfordert

Abb. 10.18a,b Beispiele für gestufte Geschwindigkeitssignalisierungen



bis zum Signal der Abzweigstelle gelte. Da sich aber vorher das Ende eines Weichenbereiches befindet, gilt ab dort die Geschwindigkeit der Strecke. Somit muss die Geschwindigkeitseinschränkung an der Abzweigstelle vorsignalisiert werden, damit sich der Triebfahrzeugführer auf die nächste Geschwindigkeitseinschränkung einstellen kann.

Gestufte Geschwindigkeitssignalisierung

Eine gestufte Geschwindigkeitssignalisierung liegt vor, wenn innerhalb eines anschließenden Weichenbereichs mehrere Geschwindigkeiten mittels eines allein stehenden Signals Zs 3 als Form- oder Lichtsignal signalisiert werden.

Bei einem Geschwindigkeitswechsel nach oben wird nur das Formsignal angewendet, z. B. wenn das Ende des Weichenbereichs noch nicht erreicht ist, bis zum Ende aber keine Weiche mehr abzweigend befahren wird (Abb. 10.18a). Es sind mehrere Stufen nach oben bis zu 160 km/h möglich. Die höchste Geschwindigkeit erklärt, warum das Zs 3 bis zur Kennzahl 16 verwendet wird.

Ein Geschwindigkeitswechsel nach unten (Abb. 10.18b) ist nur einmal innerhalb einer Fahrstraße hinter Einfahr- oder Zwischensignalen zulässig. Die Signalisierung kann mit Form- oder Lichtsignal erfolgen und muss am Hauptsignal mit Zs 3v angekündigt werden. Der Abstand zwischen Geschwindigkeitsankündigung und -ausführung muss mindestens dem tatsächlich erforderlichen Bremsweg entsprechen.

10.4.5.3 Richtungssignalisierung

Wo die Möglichkeit besteht, in verschiedene Strecken oder Bahnhofsteile einzufahren, muss am Hauptsignal erkennbar sein, in welche Richtung die zugehörige Fahrstraße eingestellt ist (siehe auch Abschn. 4.3.6.4). Geht die Fahrtrichtung bereits aus unterschiedlichen, signalisierten Geschwindigkeiten hervor, ist keine separate Richtungssignalisierung erforderlich. So kann am Signal N1 in Abb. 10.19 anhand des Geschwindigkeitsanzeigers erkannt werden, ob die Fahrstraße Richtung Rechts (ohne Zs 3) oder Richtung Oben geht (Zs 3 „10“), was durch die Weiche 12 vorgegeben ist und ein ausreichendes Unterscheidungsmerkmal darstellt.

Nicht erkennbar anhand des Signals Zs 3 ist die Richtung hingegen bei Ausfahrt von N2; hier ist die Weiche 11 maßgebend für die Geschwindigkeit aller Fahrstraßen von

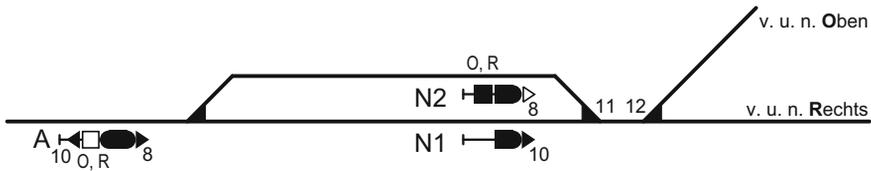


Abb. 10.19 Anwendung des Richtungsanzeigers und -voranzeigers

N2, die mit einem Zs 3-Formsignal signalisiert wird. In solchen Situationen ist bei einer Fahrt in verschiedene Strecken oder Bahnhofsteile eine separate Anzeige der Richtung erforderlich, wozu Richtungsanzeiger (Zs 2) und Richtungsanzeiger (Zs 2v) genutzt werden. Ein am Vorsignal angebrachter Richtungsanzeiger ist nur erforderlich, wenn ab dem mit Richtungsanzeiger ausgerüsteten Hauptsignal mehr als 60 km/h zugelassen sind.

Als Kennbuchstabe wird in der Regel der Anfangsbuchstabe der nächsten größeren Betriebsstelle verwendet (meist nächster Knotenbahnhof), aber auch andere Eigenschaften können namensgebend sein, wie z. B. „P“ für Personenbahnhof oder „S“ für S-Bahnstrecke. Die Kennbuchstaben werden im Einzelfall festgelegt und in den betrieblichen Unterlagen für Triebfahrzeugführer bekannt gegeben.

10.4.5.4 Signalisierung regulärer Fahrten mit besonderer Vorsicht

Unter bestimmten Umständen erfordern Zugfahrten in Bahnhofsgleise auch bei Nutzung einer regulären Fahrstraße eine besondere Vorsicht. Das ist dann der Fall, wenn am Ende der Fahrstraße kein oder nur ein sehr kurzer Durchrutschweg zur Verfügung steht oder der Einfahrweg besonders kurz ist, d. h. früher zu halten ist, als in der Mehrzahl der übrigen Gleise. Anwendung findet dies bei Einfahrten

- in Stumpfgleise,
- auf Zugdeckungssignal (siehe auch Abschn. 4.3.9.3),
- in Gleise mit besonders frühem Halt gegenüber anderer Gleise.

Eine der letzten noch nicht harmonisierten Signalisierungen zwischen dem Gebiet der ehemaligen Deutschen Reichsbahn (DV-Bereich) und dem Gebiet der ehemaligen Deutschen Bundesbahn (DS-Bereich) ist die Einfahrt in derartige Gleise. Es ist zu erwarten, dass der Stumpfgleis- und Frühhaltanzeiger Zs 13 (siehe auch Abschn. 4.3.6.4) zukünftig als harmonisierte Signalisierung angewendet wird; laut Signaltuch [DB301] ist das Signal auch schon im DS-Bereich gültig.

Signalisierung im DV-Bereich

Mit Signal Ks 2 und dem Stumpfgleis- und Frühhaltanzeiger Zs 13 in Verbindung mit einem Zs 3, Kennzahl „4“ werden im DV-Bereich Einfahrten signalisiert

- in Stumpfgleise, wenn vom zulassenden Hauptsignal auch Fahrten in Durchgangsgleise möglich sind,
- in Gleise (auch Stumpfgleise) mit besonders frühem Halt gegenüber anderer Gleise,
- deren Ziel ein Zugdeckungssignal ist.

Sind von einem Hauptsignal aus nur Stumpfgleise erreichbar (typischerweise in Kopfbahnhöfen), so erfolgt mit Ausnahme des besonders frühen Halts keine besondere Signalisierung, da alle Einfahrten Stumpfgleiseinfahrten sind; hierbei wird der Triebfahrzeugführer über die Fahrplanunterlagen informiert.

Signalisierung im DS-Bereich

Mit Signal Ks 2 und einem Zs 3, Kennzahl „2“ werden im DS-Bereich Einfahrten signalisiert

- in Stumpfgleise mit besonders frühem Halt gegenüber anderer Gleise,
- deren Ziel ein Zugdeckungssignal ist.

Mit Signal Ks 2 und einem Zs 3, Kennzahl „3“ werden im DS-Bereich Einfahrten signalisiert

- in alle übrigen Stumpfgleise.

Die Signalisierung mit Zs 3 kann auch durch eine gestufte Geschwindigkeitssignalisierung erfolgen (Abb. 10.20).

Abb. 10.20 Gestufte Geschwindigkeitssignalisierung mittels Zs 3 Formsignal am Bahnsteigdach eines Stumpfgleises



10.4.5.5 Gegengleissignalisierung

Bei einer Fahrt in das Gegengleis (siehe auch Abschn. 4.3.6.4) muss der Triebfahrzeugführer über diese Betriebsweise informiert werden. Gegebenenfalls gelten andere Geschwindigkeiten oder weitere Hinweise, die sich von der Fahrt im Regelgleis unterscheiden. Außerdem sind auf der freien Strecke die Signale links vom Gleis zu beachten. Daher wird zum Hauptsignalbegriff zusätzlich der Gegengleisanzeiger Zs 6 gezeigt. Ist es von einem Ausfahrtsignal nur möglich, auf das Gegengleis auszufahren, kann der Gegengleisanzeiger auch als Formsignal verwendet werden (Abb. 10.21).

Der Gegengleisanzeiger kann auch als allein stehendes Signal im Weichenbereich angewandt werden. Dann erübrigt sich die Ausrüstung jedes Ausfahrtsignals mit diesem Anzeiger.

10.4.5.6 Signale der Rückfallebene

Zusatzsignale können schriftliche Befehle ersetzen und so die ersatzweise Zustimmung zur Fahrt durch ein Signalbild übermitteln. Dabei ist zwischen der Fahrt auf garantiert freiem Fahrweg und der Fahrt auf Sicht sowie bei Ausfahrtsignalen zweigleisiger Strecken zwischen der Fahrt ins Regel- und Gegengleis zu unterscheiden (siehe auch Abschn. 4.3.7.4).

Fahrt ins Regelgleis oder innerhalb von Bahnhöfen

Für Ausfahrten auf das Regelgleis oder für Fahrten innerhalb eines Bahnhofs kommen das Ersatzsignal (Zs 1) und das Vorsichtssignal (Zs 7) zur Anwendung. Ersatzsignal und Vorsichtssignal dürfen nur alternativ an einem Hauptsignal geplant werden. Gängige Praxis ist es bei heutigen ESTW-Planungen, dass Einfahr- und Zwischensignale das Vorsichtssignal bekommen, Ausfahrtsignale hingegen das Ersatzsignal (Abb. 10.21). Grund hierfür ist, dass die Fahrt auf Sicht über die freie Strecke zu viel Zeit in Anspruch nähme und damit eine zu große Einschränkung der Leistungsfähigkeit der Strecke bedeutete.

Fahrt ins Gegengleis

Zur ersatzweisen Zustimmung der Ausfahrt ins Gegengleis bei freiem Fahrweg kam bisher das Gegengleisfahrt-Ersatzsignal (Frühere Bezeichnungen: Falschfahrt-Auftrags-

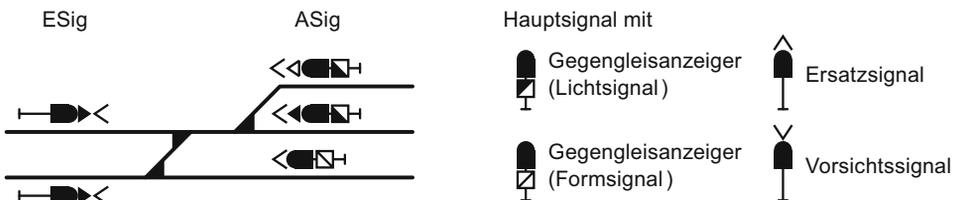


Abb. 10.21 Beispiel für die Ausrüstung eines Bahnhofskopfes mit Gegengleissignalisierung sowie Ersatz- und Vorsichtssignal

signal (DS) bzw. Linksfahrersatzsignal (DV)) zur Anwendung. Sie sollen neu nicht mehr geplant werden.

10.4.5.7 Haltstellung des Signals

In Abschn. 5.2.4.6 wurde bereits auf die Problematik der Haltstellung des Signals eingegangen. Die Haltstellung wird in der Regel durch die Befahrung des Haltfallabschnitts oder das Freifahren des Freimeldeabschnitts vor dem Signal herbeigeführt.

In der ESTW-Planung besteht die Aufgabe, den Haltfallabschnitt festzulegen. Da am Signal unmittelbar ein neuer Gleisfreimeldeabschnitt beginnen soll, dieser aber nicht für die Haltstellung herangezogen werden kann (siehe auch Abschn. 5.2.4.6), wird in der Regel der darauf folgende Abschnitt genutzt. Bisher ist dieser Abschnitt zu planen, woraus sich implizit der Nichthaltfallabschnitt ergibt (der Abschnitt zwischen Startsignal und Haltfallabschnitt). Da aber alle Freimeldeabschnitte mit Ausnahme des Nichthaltfallabschnitts immer die Haltstellung des Signals hervorrufen, ist es sinnvoller, in der Planung den Nichthaltfallabschnitt anzugeben, da nur bei diesem eine besondere Projektierung in der Stellwerkslogik erforderlich ist. In seltenen Fällen kann eine Fahrstraße auch mehrere Nichthaltfallabschnitte besitzen.

Besonderheiten hinter Einfahr- und Blocksignalen

Nach den betrieblichen Regeln ist das Fahren auf Sicht noch 400 m über das folgende Hauptsignal durchzuführen (siehe auch Abschn. 4.3.7.1). Hierbei wird davon ausgegangen, dass die Haltstellung eines Signals nach spätestens 400 m erfolgt. Dieses Maximalmaß ist bei der Planung der Signalhaltstellung zu berücksichtigen.

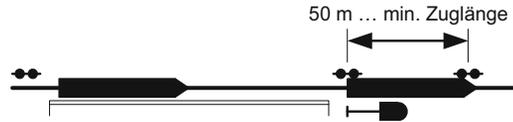
Bei Blocksignalen, die ausschließlich der Regelung der Zugfolge dienen und bei denen sich im Bereich von 200 m hinter dem Signal kein Gefahrpunkt befindet, erfolgt, im Zusammenhang mit der Freimeldung des Gefahrpunktabstandes, die Haltstellung des Signals nach 50 m (siehe auch Abschn. 10.4.4.1).

Besonderheiten bei mehreren Zügen in einem Bahnhofsgleis

Eine nicht erfolgte oder späte Signalhaltstellung führt in der Regel nicht zu einer Gefährdung durch einen folgenden Zug, da eine Folgefahrt in den Abschnitt vor dem Signal nicht vor dessen Haltstellung einfahren kann (siehe auch Abschn. 5.1.1.6). Außerdem wird bei kurzen Einheiten die Haltstellung des Signals durch Verlassen des Freimeldeabschnitts vor dem Signal herbeigeführt.

Eine Ausnahme besteht, wenn in einem Bahnhofsgleis mehrere Züge zur Abfahrt in die gleiche Richtung bereit stehen, wie es beispielsweise bei einer Flügelung der Fall ist. Ist hier der erste Zug kürzer als der Nichthaltfallabschnitt und bleibt darin stehen, so ist das Ausfahrtsignal noch nicht in der Haltstellung, da auch der Freimeldeabschnitt vor dem Signal noch durch den zweiten Zug belegt ist und dadurch nicht zur Haltstellung beitragen kann. Betrachtet jetzt der Triebfahrzeugführer des nachfolgenden Zuges das noch Fahrt zeigende Signal als für ihn gültig, entsteht eine Gefährdung. Deshalb soll in solchen

Abb. 10.22 Situation bei mehreren Zügen in einem Bahnhofsgleis



Situationen der Signalhaltfall nach 50 m erfolgen, spätestens aber nach der kürzestmöglichen Länge des ersten Zuges (Abb. 10.22).

10.4.5.8 Signaltabelle

In der Signaltabelle werden alle für Haupt-, Vor- und Sperrsignale sowie für allein stehende Zusatzsignale relevanten Detailinformationen zusammengefasst. Dabei erfolgt eine Unterscheidung zwischen der Signaltabelle 1 und 2.

Signaltabelle 1

Die Signaltabelle 1 enthält die konstruktiven Details des Signals. Dazu gehören u. a.:

- Signalbezeichnung, Signalart,
- Standort, Kilometer- und Streckenangaben, Anordnung,
- obere Lichtpunkthöhe,
- Mindestsichtbarkeit, Richtpunktentfernung (Punkt der Ausrichtung des optischen Systems),
- Angaben zur Streuscheibe,
- Signalbegriffe, Kenn- und Zusatzlicht,
- Mastschild, Vorsignaltafel und Baken,
- Abstand zur Gleismitte.

Signaltabelle 2

Die Signaltabelle 2 beinhaltet, abhängig von der Stellung des Zielsignals, die anzuzeigenden Signalbegriffe je Signalisierungsabschnitt. Neben den Hauptsignalbegriffen sind hier auch die zusätzlich erforderlichen Signale (Zusatzsignale, Kenn- bzw. Zusatzlicht) zu planen. Dabei wird für jede mögliche Signalisierung einer Fahrstraße eine Zeile verwendet. Nicht immer ist nur der Halt-/Fahrtbegriff des Zielsignals dafür maßgebend, auch Geschwindigkeits- und Richtungsvorsignalisierung können eingehen. Handelt es sich um einen verkürzten Vorsignalabstand (siehe auch Abschn. 5.2.4.2), so kann auch in Abhängigkeit von der am Zielsignal gezeigten Geschwindigkeit die Geschwindigkeit am Startsignal variieren.

Abbildung 10.23 zeigt ein vereinfachtes Beispiel, bei dem auf die Darstellung des Vorsignals Va verzichtet und keine Wahl-Durchrutschwege angenommen werden. Die Zeilen 1 bis 3 beschreiben die Signalisierung vom Signal A zum Signal N1 in Abhängigkeit von der Stellung des Zielsignals. Dabei ergeben sich drei verschiedene Möglichkeiten für N1: Halt, Fahrt nach rechts und Fahrt nach oben. Die unterschiedlichen Ausfahrrichtungen sind durch die signalisierte Geschwindigkeit an N1 erkennbar. Für alle drei Möglichkeiten

Haupt- und Vorsignale		A					N1					N2				
Rangiersignale																
alleinstehende Zusatzsignale																
Signalisierungsabschnitt/ Zugstraße		D-Weg	Geschwindigkeitsanzeiger		Zs	Kenn-/Zusatzlicht	Geschwindigkeitsanzeiger		Zs	Kenn-/Zusatzlicht	Geschwindigkeitsanzeiger		Zs	Kenn-/Zusatzlicht		
			Ks/Hp/Hi/Ra/Sh	Geschwindigkeitsvorsignalgeber			Ks/Hp/Hi/Ra/Sh	Geschwindigkeitsvorsignalgeber			Ks/Hp/Hi/Ra/Sh	Geschwindigkeitsvorsignalgeber				
1	A-(N1)	D1	2					0								
2	A-N1-Re		1					1								
3	A-N1-Ob		1	8			8	1								
4	A-(N2)	D1	6	2							0					
5	A-N2-Re		6	1						6F	1		R			
6	A-N2-Ob		6	1						6F	1		O			



Abb. 10.23 Beispiel für eine Signaltabelle 2

zeigt A unterschiedliche Signalbilder: Ks 2, Ks 1, Ks 1 blinkend (gekennzeichnet durch Unterstreichung) + Zs 3v „8“.

Etwas anders verhält es sich mit den Fahrten von A nach N2 in den Zeilen 4 bis 6. Da alle Ausfahrten von N2 nur mit 60km/h erfolgen dürfen, wird das Zs 3 als Formsignal angewandt. In der Signaltabelle 2 wird das durch ein „F“ gekennzeichnet. Eine Geschwindigkeitsvorsignalisierung an A ist nicht notwendig, da die Einfahrt mit der gleichen Geschwindigkeit erfolgt wie die Ausfahrt. Deshalb ergibt sich für beide möglichen Ausfahrten von N2 die gleiche Signalisierung an A.

Signal N2 benötigt einen Richtungsanzeiger, da die Fahrten in die unterschiedlichen Strecken nicht durch ein Zs 3 unterscheidbar sind. Die dafür jeweils verwendeten Buchstaben werden ebenfalls in der Signaltabelle 2 eingetragen.

10.5 Gleisfreimeldeplanung

10.5.1 Bezeichnung

10.5.1.1 Gleisfreimeldeabschnitt

Die Bezeichnung der Gleisfreimeldeabschnitte erfolgt systematisch derart, dass aus der Bezeichnung bereits eine ungefähre örtliche Zuordnung stattfinden kann.

Abschnitte der freien Strecke erhalten ein „B“ und die Bezeichnung des deckenden Blocksignals (arabische Zahl). Auf zweigleisigen Strecken ist das Blocksignal der gewöhnlichen Fahrtrichtung (des Regelgleises) das namensgebende, bei eingleisigen Strecken wird die Richtung der Kilometrierung gewählt. Gibt es kein deckendes Blocksignal, wird der Gleisfreimeldeabschnitt nach der Nummer des Streckengleises benannt.

Gleisfreimeldeabschnitte von Gleisen im Bahnhof erhalten ein „G“ und die Nummer des Gleises. Da oftmals zu einem Gleis mehrere Gleisfreimeldeabschnitte gehören, müssen sie in der Bezeichnung weiter spezifiziert werden. Das geschieht durch eine fortlaufende arabische Ziffer, die vor die Gleisbezeichnung gestellt wird, mit 1 beginnt und in Richtung der Kilometrierung steigt (Abb. 10.24). Um eine einheitliche Stelligkeit zu erreichen, müssen führende Nullen in der Gleisbezeichnung in die Bezeichnung der Gleisfreimeldeabschnitte eingehen. Gibt es in einem Bahnhof z. B. maximal zweistellige Gleisnummern, so ist die Gleisfreimeldeabschnittsnummer immer dreistellig. So gehört in Abb. 10.24 zum Gleis 4 der Gleisfreimeldeabschnitt G504. Sowohl bei den Abschnitten der freien Strecke (B) als auch im Bahnhof (G) wird bei der Darstellung im sicherungstechnischen Lageplan auf den Buchstaben verzichtet, da die Bedeutung aus dem Kontext hervorgeht.

Abschnitte, die Weichen und Kreuzungen freimelden, werden mit „W“ bzw. „K“ zusammen mit der Nummer der Weiche oder Kreuzung bezeichnet. Oftmals sind mehrere Weichen oder Kreuzungen gemeinsam freigemeldet. In diesem Fall wird die Weiche bzw. Kreuzung mit der niedrigsten Nummer zur namensgebenden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird in der Regel auf die Namensangabe des Gleisfreimeldeabschnitts von Weichen und Kreuzungen im sicherungstechnischen Lageplan verzichtet.



Abb. 10.24 Beispiel für die Bezeichnung von Gleisfreimeldeabschnitten in Bahnhöfen

Abb. 10.25 Bezeichnung von Achszählpunkten



10.5.1.2 Achszählpunkt

Bei Gleisfreimeldung mittels Achszähler findet meistens eine Mehrfachausnutzung statt. Das bedeutet, dass der Zählpunkt für beide angrenzenden Abschnitte verwendet wird. In besonderen Fällen erfolgt sogar eine Dreifachausnutzung.

Die Bezeichnung eines Zählpunktes ergibt sich aus den Namen der jeweils benachbarten Gleisfreimeldeabschnitte, getrennt durch einen Schrägstrich. Abbildung 10.25 zeigt ein Beispiel für verschiedene Konstellationen; darunter auch den dreifach ausgenutzten Zählpunkt B65/G101/G201, auf den später noch näher eingegangen wird. Wird ein Zählpunkt nur einfach ausgenutzt, erhält er zum Namen des Gleisfreimeldeabschnitts noch ein „A“ oder „B“ in Richtung der Kilometrierung. Bei Weichen, an denen die Freimeldung endet, erhält der Zählpunkt ebenfalls den Zusatz „A“. Gibt es mehrere Enden der Freimeldung, wird im Uhrzeigersinn alphabetisch weiter vorgegangen.

10.5.2 Anforderungen an die Aufteilung der Gleisfreimeldung

Die Festlegung der Freimeldegrenzen ist von einer Vielzahl teilweise gegensätzlicher Forderungen geprägt. An erster Stelle steht selbstverständlich die Gewährleistung der Sicherheit. Weiterhin muss die Funktionalität der Anlage gewahrt bleiben. Je mehr Freimeldegrenzen gesetzt werden, desto höher sind die Lebenszykluskosten (LCC) und die Verfügbarkeit der Freimeldeanlage sinkt. Doch nicht zwangsläufig steigen damit auch die betriebliche Leistungsfähigkeit und Flexibilität.

10.5.2.1 Anforderungen der Sicherheit

Grundsätzlich gibt es drei sicherheitsrelevante Anforderungen an Gleisfreimeldeanlagen, die gleichzeitig den Ausrüstungsumfang bestimmen:

Freimeldung aller Fahrstraßenbestandteile

Da für eine Zugfahrt die Gleise frei sein müssen und der Flankenschutz zu gewähren ist, müssen alle topologischen Bestandteile einer Fahrstraße (befahrener Teil, Durchrutschweg, Flankenschutzraum, siehe Abschn. 5.2.1.3) vor Zulassung der Fahrt freigemeldet werden.

Freimeldung der beweglichen Fahrwegelemente

Es ist zu verhindern, dass bewegliche Fahrwegelemente unter Fahrzeugen umgestellt werden. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, alle ferngestellten, beweglichen Fahrwegelemente mit einer Gleisfreimeldeanlage auszurüsten.

Freimeldegrenzen zur Herbeiführung des Signalhaltfalls

In der Regel wird die Haltstellung des Signals durch den Haltfallabschnitt herbeigeführt. In bestimmten Fällen ist die Löschung des Fahrtbegriffs nach einer Höchstlänge hinter dem Signal gefordert (siehe auch Abschn. 10.4.5.7). Das kann eine Anordnung zusätzlicher oder die Verschiebung von aus anderen Gründen gesetzten Freimeldegrenzen bedeuten.

10.5.2.2 Anforderungen der Funktionalität

Aus Sicht der Funktionalität sind zwei wichtige Forderungen zu beachten. Zum einen müssen alle topologischen Bestandteile einer Fahrstraße separat freigemeldet werden; zum anderen sind Teilfahrstraßenknoten separat freizumelden, um gleichzeitige Fahrten in benachbarten Teilfahrstraßenknoten zulassen zu können.

Trennung der Freimeldung von Fahrstraßenbestandteilen

Eine Forderung der Funktionalität ergibt sich aus den Grenzen der topologischen Bestandteile einer Fahrstraße. Zunächst müssen die aufeinander folgenden Fahrstraßen untereinander abgegrenzt werden, da sie den Raum repräsentieren, der für eine Fahrt exklusiv zu Verfügung steht. Deshalb ist am Beginn und Ende der Fahrstraße eine Gleisfreimeldegrenze vorzusehen.

Des Weiteren muss die Fahrstraßenzugschlussstelle berücksichtigt werden, damit beim Verbleib eines Zuges im Zielgleis der befahrene Teil aufgelöst werden kann. Ebenso müssen der Durchrutschweg bis zu seinem Ende sowie die Flankenschutzräume freigemeldet werden.

Trennung der Freimeldung von Teilfahrstraßenknoten

Ein Teilfahrstraßenknoten ist definiert als ein Element eines Fahrstraßenknotens, in dem sich alle darüber führenden Fahrstraßen gegenseitig ausschließen. Somit besteht ein Teilfahrstraßenknoten aus einer oder mehreren Weichen und/oder Kreuzungen und ist dadurch gekennzeichnet, dass über ihn immer nur eine Fahrt zur gleichen Zeit stattfinden kann. Liegt eine Konstellation vor, bei der über diese Weichen bzw. Kreuzungen mehrere Fahrten stattfinden können, so handelt es sich um mehr als einen Teilfahrstraßenknoten.

In Abb. 10.26a ist zu erkennen, dass es sich hier um zwei Teilfahrstraßenknoten handelt, da auf dem oberen und dem unteren Gleis gleichzeitig Fahrten stattfinden können. Nicht ganz so leicht ist zu erkennen, dass auch in Abb. 10.26d zwei Teilfahrstraßenknoten enthalten sind. Alle anderen Konstellationen in Abb. 10.26 zeigen jeweils einen Teilfahrstraßenknoten.

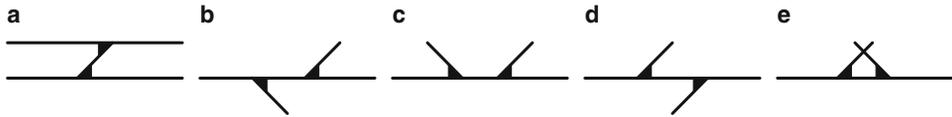


Abb. 10.26a–e Verschiedene Konstellationen von einzelnen und mehreren Teilfahrstraßenknoten

Jeder Teilfahrstraßenknoten muss separat freigemeldet werden, da sonst nach Zulassung beider Fahrten durch die Belegung eines gemeinsamen Freimeldeabschnitts eine Signalhaltstellung der jeweils anderen Fahrt erzwungen wird. Deshalb ist an jeder Grenze eines Teilfahrstraßenknotens immer eine Freimeldegrenze anzuordnen.

Ein Anwendungsbeispiel zeigt Abb. 10.25: Die Weichen 1 und 2 bilden einen Teilfahrstraßenknoten, da über diese Weichen immer nur eine Fahrt zur gleichen Zeit möglich ist. Deshalb können hier beide Weichen gemeinsam freigemeldet werden. Die Weichen 2 und 4 hingegen können gleichzeitig von zwei verschiedenen Fahrten in Anspruch genommen werden (bei Rechtslage der Weichen). Deshalb handelt es sich dabei um verschiedene Teilfahrstraßenknoten, die durch eine Freimeldegrenze voneinander abgetrennt werden müssen.

10.5.2.3 Anforderungen der Leistungsfähigkeit

Nicht verwechselt werden dürfen Teilfahrstraßenknoten und Teilfahrstraße. Teilfahrstraßen entstehen aus Unterteilungen des befahrenen Teils einer Fahrstraße, die nach dem Freifahren separat aufgelöst werden (siehe auch Abschn. 5.2.1.4).

In älteren Stellwerkstechniken, vor allem im Relaisstellwerk nach tabellarischem Prinzip, wurden aufgrund des technischen Aufwands – wenn überhaupt – nur wenige Teilfahrstraßen eingerichtet. Deshalb kann hier eine Teilfahrstraße aus mehreren Teilfahrstraßenknoten und damit auch aus mehreren Gleisfreimeldeabschnitten bestehen.

In neuerer Stellwerkstechnik (Relaisstellwerk nach topologischem Prinzip und ESTW) bildet bereits jeder Gleisfreimeldeabschnitt eine Teilfahrstraße, so dass eine Teilfahrstraße höchstens einen Teilfahrstraßenknoten repräsentieren kann und sich darüber hinaus sogar mehrere Teilfahrstraßen in einem Teilfahrstraßenknoten befinden können (Abb. 10.27).

Neben den bereits gesetzten Freimeldegrenzen an den Grenzen von Teilfahrstraßenknoten können nun durch zusätzliche Freimeldegrenzen die Teilfahrstraßenknoten weiter in Teilfahrstraßen unterteilt werden, um die Leistungsfähigkeit zu erhöhen. Dies ist jedoch nur in wenigen Fällen sinnvoll (z. B. durch den roten Zählpunkt in Abb. 10.27), da die zusätzlichen Kosten für einen Gleisfreimeldeabschnitt die erzielbaren Fahrzeitgewinne für den nachfolgenden Zug meist nicht rechtfertigen.

Nicht alle zusätzlichen Freimeldegrenzen erhöhen tatsächlich die Leistungsfähigkeit. In vielen Fällen ist nach dem Freifahren einer Teilfahrstraße die wartende Anforderung einer feindlichen Fahrstraße noch nicht bedienbar; hierzu muss sich der erste Zug erst hinter einem Flankenschutz bietenden Element befinden, um die Flankenschutzraumprüfung und ggf. den Umlauf des Flankenschutz bietenden Elementes zu gewährleisten.

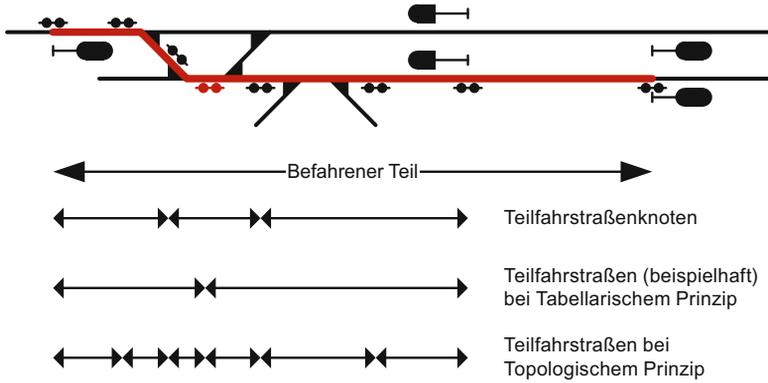


Abb. 10.27 Beispielhafter Zusammenhang zwischen Teilfahrstraßenknoten und Teilfahrstraße

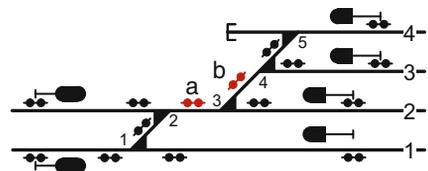
In anderen Fällen ermöglichen zusätzliche Freimeldegrenzen eine frühzeitigere Gewährleistung des Flankenschutzes und wirken damit leistungssteigernd.

Typische Beispiele für zusätzliche Freimeldegrenzen zeigt Abb. 10.28 mit den Zählpunkten a) und b). Die Weichen 2, 3 und 4 bilden einen Teilfahrstraßenknoten. Im Beispiel soll geklärt werden, ob die zusätzlichen Freimeldegrenzen sinnvoll sind.

Der erste Zug fährt nach Gleis 3 ein; der zweite Zug wartet in Gleis 2 auf seine Ausfahrt. Beide Fahrten sind feindlich. Damit die zweite Fahrstraße eingestellt werden kann, wird aus Gleis 3 der Flankenschutz benötigt, so dass der einfahrende Zug sich hinter dem Flankenschutz bietenden Signal befinden muss. Außerdem sind die Weichen 1, 2 und 3 umzustellen. Weiche 1 und 2 sind nicht grenzzeichenfrei freigemeldet, so dass der Freimeldeabschnitt von Weiche 2 frei sein muss, um Weiche 1 umzustellen. Aufgrund des Teilfahrstraßenknotens und der daraus resultierenden gemeinsamen Freimeldung der Weichen 2, 3 und 4 werden die Weichen 1, 2 und 3 erst nach dem Freifahren der Weiche 4 umstellbar. Dies ist aber kein Verlust, da für die Ausfahrt aus Gleis 2 erst der einfahrende Zug hinter dem Flankenschutz bietenden Signal in Gleis 3 sein muss. Innerhalb der Fahrzeit zwischen den Zählpunkten im Gleis 3 können die Weichen umlaufen.

Noch länger dauert es, wenn der Zug nach Gleis 4 einfährt. Hier ist nicht die Räumung des Flankenschutzraums, sondern die Räumung der Flankenschutzweiche 5 das bestimmende Element. Nachdem sich der Zug hinter dem Signal in Gleis 4 befindet, muss noch

Abb. 10.28 Beispiele für zusätzliche Freimeldegrenzen



die Umlaufzeit der Weiche 5 hinzugerechnet werden. In beiden Fällen erbringen die zusätzlichen Freimeldegrenzen a) und b) keinen zeitlichen Nutzen.

Wartet hingegen im Gleis 1 ein Zug auf die Ausfahrt (auf das Gegengleis), so kann die Ausfahrt gestellt werden, sobald die Weichen 1 und 2 umgelaufen sind. Hierfür ist es sinnvoll, den Zählpunkt a) vorzusehen, der die Flankenschutzweiche 2 freimeldet und damit die Umstellung der Weichen 1 und 2 ermöglicht, sobald sich der einfahrende Zug dahinter befindet. Statt a) kann auch b) verwendet werden, allerdings mit geringerem zeitlichem Gewinn.

10.5.2.4 Anforderungen der Verfügbarkeit

Kein technisches System ist immer vollständig verfügbar. Zu den anfälligsten Komponenten in der Sicherungstechnik gehört die Gleisfreimeldung. Ein Ausfall von Achszählern oder Gleisstromkreisen hat vor allem deshalb betriebliche Auswirkungen, da der Freimeldeabschnitt nun auf Sicht durchfahren werden muss. Eine visuelle Freiprüfung („Abschnittsprüfung“) kommt heute mangels örtlichen Personals nur noch selten in Frage; aber auch dann kann nur mit Ersatzsignal und infolgedessen mit verminderter Geschwindigkeit gefahren werden. Hilfsgleisfreimeldungen (siehe auch Abschn. 5.2.3.4), die die Fahrtstellung des Hauptsignals erlauben, werden heute nicht mehr vorgesehen.

Vor diesem Hintergrund sind auch Überlegungen zur Verfügbarkeit bei der Planung der Gleisfreimeldegrenzen anzustellen [MA13]. Hier muss abgewogen werden: Einerseits dämmen optionale Freimeldegrenzen die Größe eines gestörten Bereiches ein und begrenzen somit den potenziellen Schaden durch Verspätungen. Andererseits bringen zusätzliche Freimeldegrenzen Elemente in die Anlage, die nun ihrerseits einen Ausfall der Gleisfreimeldeanlage verursachen können.

Anhand von Abb. 10.28 sollen hierzu Überlegungen angestellt werden: Es ist zu überlegen, ob die Freimeldegrenzen a) und b) aufgrund der betrieblichen Verfügbarkeit sinnvoll sind. Eine grundsätzlich kleinteilige Freimeldung ist nicht sinnvoll.

Zum Planungszeitpunkt liegen meist nur spärliche Informationen über die Intensität der Belastung einzelner Gleise vor; grundsätzlich kann aber davon ausgegangen werden, dass durchgehende Hauptgleise stärker belastet sind als die übrigen Hauptgleise.

Eine Freimeldestörung an den Weichen 2 und/oder 3 wäre betrieblich sehr ungünstig, handelt es sich doch um Abschnitte im durchgehenden Hauptgleis. Eine getrennte Freimeldung durch Grenze a) würde die Verfügbarkeit senken, da die Nutzung der beiden Abschnitte nicht unabhängig erfolgt: Jeder Zug, der Weiche 2 befährt, muss auch Weiche 3 befahren. Deshalb ist die Anordnung einer Freimeldegrenze an dieser Stelle kontraproduktiv.

Anders sieht es bei Betrachtung der Grenze b) aus. Die Weiche 4 wird nicht von jeder Fahrt berührt, die auch über die Weichen 2 und 3 fährt. Außerdem ist das betriebliche Verfahren zur Grundstellung zu beachten: Über jeden Achszählpunkt muss gefahren werden. Im durchgehenden Hauptgleis finden die meisten Fahrten statt, so dass hier die notwendigen Fahrten schnell zustande kommen. In den übrigen Hauptgleisen finden meist weniger Fahrten statt. Um hier auch die notwendigen Fahrten zur Grundstellung durchzu-

führen, bedarf es eines höheren Aufwands wie z. B. das Abweichen von der Fahrordnung (Benutzung anderer als fahrplanmäßig vorgesehener Gleise) oder das Organisieren von Rangierfahrten. Dieser höhere Aufwand benötigt Zeit, die dem raschen Übergang in den Regelbetrieb entgegensteht. Deshalb sollen Freimeldeabschnitte in durchgehenden Hauptgleisen sich möglichst nicht in mehrere weitere Gleise verzweigen. Die Grenze b) zu setzen ist daher aus Verfügbarkeitsgründen sinnvoll.

10.5.2.5 Zusätzliche betriebliche Anforderungen

Aufgrund des beabsichtigten Betriebsprogramms sind zusätzliche Forderungen zur Gleisfreimeldung möglich. So kann z. B. gefordert sein, dass ein Nebengleis, was weder Durchrutschweg noch Flankenschutzraum ist, mit einer Gleisfreimeldeanlage auszurüsten ist. Derartige Anforderungen sind in der betrieblichen Aufgabenstellung zu beschreiben.

10.5.3 Festlegung von Freimeldegrenzen

Für das im Folgenden beschriebene Verfahren werden die Gleisfreimeldegrenzen in funktionale und optionale Grenzen eingeteilt. Dabei sind die funktionalen zur Gewährleistung der Sicherheit und der Funktionalität notwendig. Die optionalen dienen vorrangig der Erhöhung der Leistungsfähigkeit, aber auch der Bedienung von verfügbarkeitsrelevanten sowie zusätzlichen betrieblichen Anforderungen.

10.5.3.1 Funktionale Freimeldegrenzen

Umfang der Freimeldung

Aufgrund der Forderungen der Sicherheit sind alle Hauptgleise und alle fernbedienten Fahrweegelemente mit einer Gleisfreimeldung auszurüsten. Nebengleise werden – bis auf Durchrutschwege und Flankenschutzräume – nicht freigemeldet. Das bedeutet, dass zunächst an den Grenzen zu nicht freigemeldeten Bereichen eine Freimeldegrenze gesetzt werden muss.

Bestandteile der Fahrstraßen

Anschließend sind die Anforderungen der Funktionalität zu bedienen. Um alle topologischen Bestandteile der Fahrstraße freizumelden, müssen Beginn, Ende, Fahrstraßenzugschlussstelle und Durchrutschwegende mit einer Freimeldegrenze ausgestattet werden.

Vielfach endet ein Durchrutschweg am Grenzzeichen oder an der Spitze einer Weiche. Da Weichen aber nicht direkt an deren Enden, sondern im Abstand von wenigen Metern ihre Freimeldegrenze erhalten (siehe auch Abschn. 10.5.3.3), ist in solchen Fällen der Durchrutschweg bzw. Gefahrpunktabstand innerhalb dieses kurzen Abstands nicht freigemeldet. Hier wird auf die Freimeldung verzichtet (Abb. 10.29).

Zur Optimierung der Gleisfreimeldeanlage – insbesondere zur Einsparung von Freimeldeabschnitten – kann die Tatsache genutzt werden, dass für einen Durchrutschweg

Abb. 10.29 Freimeldung eines Durchrutschweges, der am Grenzzeichen einer Weiche endet

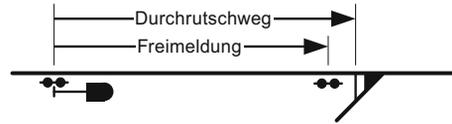
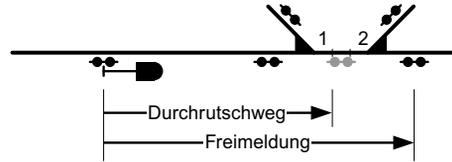


Abb. 10.30 Freimeldung eines Durchrutschweges



durchaus mehr freigemeldet werden kann, als eigentlich erforderlich. Sofern sich daraus keine betrieblichen Behinderungen ergeben, kann auf eine Freimeldegrenze am Durchrutschwegende verzichtet werden und die nächste, ohnehin vorhandene Freimeldegrenze (z. B. Grenze eines Teilfahrstraßenknotens) genutzt werden. Eventuell in der Überlänge liegende Weichen müssen dann für den Durchrutschweg nicht verschlossen, jedoch der Freimeldeabschnitt zwangsläufig freigehalten werden. Ob Letzteres nicht zu betrieblichen Behinderungen führt, ist im Einzelfall zu prüfen.

Ein Beispiel zeigt Abb. 10.30: Die schwarz gezeichneten Achszählpunkte sind gegeben. Der betrachtete Durchrutschweg endet an der Spitze der Weiche 1. Zwischen den Weichen 1 und 2 einen zusätzlichen Zählpunkt anzuordnen, bringt keinen betrieblichen Mehrwert, da – solange der Durchrutschweg gesichert ist – die Weiche 2 betrieblich nicht sinnvoll verwendet werden kann. Bei Verzicht auf die Freimeldegrenze endet der Durchrutschweg dennoch an der Spitze der Weiche 1, die Freimeldung beinhaltet aber auch die Weiche 2.

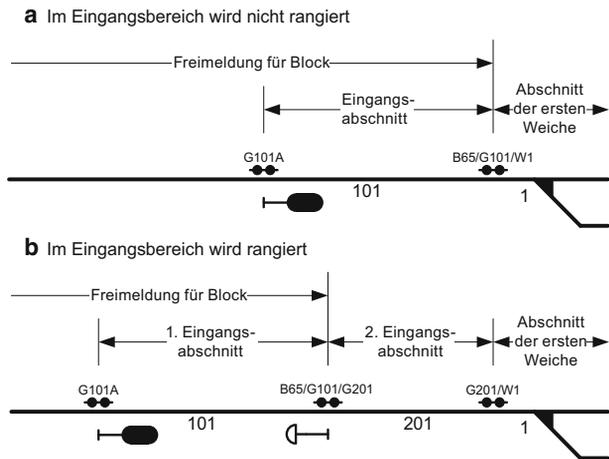
Besonderheit Eingangsbereich

Im Gleisbereich zwischen Einfahrtsignal und Einfahrweiche – dem Eingangsabschnitt – sind zwei Fälle zu unterscheiden, die durch das Betriebsprogramm vorgegeben werden:

- a) Im Eingangsabschnitt wird nicht rangiert.
- b) Im Eingangsabschnitt wird rangiert.

Im Fall a) ist der Gleisfreimeldeabschnitt mit dem Eingangsabschnitt identisch. Im Fall b) wird der Eingangsabschnitt durch eine Rangierhalttafel geteilt. Die Rangierhalttafel ist das Ziel einer Rangierstraße und gleichzeitig Gefahrpunkt für das Einfahrtsignal. Die Freimeldegrenzen ergeben sich gemäß der „Freimeldung der Fahrstraßenbestandteile“.

Eine Besonderheit besteht mit dem Zählpunkt am Gefahrpunkt. Da die Blockstrecke und der Gefahrpunktabstand freigemeldet werden müssen und die zwei Informationen immer gemeinsam verwendet werden, kann für den Blockabschnitt und den Gefahrpunktabstand ein gemeinsamer Gleisfreimeldeabschnitt gebildet werden. Dies ist allerdings nur mit Achszähltechnik möglich, da hier die Informationen der Zählpunkte wahlfrei zu einem

Abb. 10.31a, b Gleisfreimeldung im Eingangsabschnitt

Freimeldeabschnitt zusammengestellt werden können. Daraus folgt eine Dreifachausnutzung des Zählpunktes am Gefahrenpunkt (Abb. 10.31). Begrenzt wird hier

- der Blockabschnitt,
- der (erste) Eingangsabschnitt,
- die Einfahrweiche (Fall a) oder der zweite Eingangsabschnitt (Fall b).

Daraus resultiert auch eine Bezeichnung des Zählpunktes, die aus den drei benachbarten Freimeldeabschnitten besteht. Da der Zählpunkt am Einfahrsignal nur einen, nämlich den (ersten) Eingangsabschnitt begrenzt, bekommt er auch nur dessen Bezeichnung.

Abgrenzung Teilfahrstraßenknoten

Um unabhängige Fahrten auf jedem Teilfahrstraßenknoten zulassen zu können (siehe auch Abschn. 10.5.2.2), sind sie freimeldetechnisch abzugrenzen. Das bedeutet, dass an jeder Grenze eines Teilfahrstraßenknotens auch eine Gleisfreimeldegrenze zu planen ist.

Herbeiführung Signalhaltfall

Wie in Abschn. 10.4.5.7 beschrieben, sind für die Haltstellung des Signals bestimmte Längen von Freimeldeabschnitten hinter einem Hauptsignal zu beachten. In der Regel werden diese Längen durch ohnehin geplante Freimeldegrenzen eingehalten; dennoch ist zu prüfen, ob die Planung den Anforderungen entspricht. Ist das nicht der Fall, kann in den meisten Fällen durch eine Verschiebung der nächsten Freimeldegrenze die Länge eingehalten werden. Nur in Ausnahmefällen besteht die Notwendigkeit einer zusätzlichen Freimeldegrenze. Alternativ kann auch ein Gleisschaltmittel vorgesehen werden.

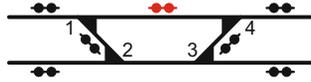


Abb. 10.32 Zusätzliche Gleisfreimeldegrenze zur Gewährleistung der Auflöserreihenfolge

Berücksichtigung technischer Funktionalitäten

Bei der Planung von Freimeldegrenzen kann eine Abstimmung mit den Schaltgruppen der Fahrleitungsanlage erforderlich werden. Zur Vermeidung von betrieblichen Einschränkungen sollten Freimeldegrenzen und Schaltgruppengrenzen deckungsgleich sein.

In wenigen Fällen sind stellwerksspezifische Freimeldegrenzen zu planen. Hier soll nur auf die häufigste Forderung eingegangen werden, die alle modernen Stellwerke betrifft: die kontinuierliche Auflöserreihenfolge. Dazu müssen alle Teilfahrstraßen – gleichbedeutend mit Freimeldeabschnitt – kontinuierlich in der Fahrtrichtung des Zuges besetzt und wieder freigefahren werden (Ausnahme: Zielgleis). Andernfalls lösen sie nicht auf, da eine Störung der Gleisfreimeldeanlage angenommen wird (siehe auch Abschn. 5.2.5.1). Auswirkungen auf die Anordnung der Gleisfreimeldegrenzen hat dies bei doppelten Gleisverbindungen. Würden dabei die in einem Gleis liegenden, stumpf aneinander grenzenden Weichen (nach Abb. 10.32 die Weichen 1 und 4) gemeinsam freigemeldet – sie bilden gemeinsam einen Teilfahrstraßenknoten – so käme es bei einer Umfahrstraße über die Weichen 1–2–3–4 zu einer Auflösestörung.

10.5.3.2 Optionale Freimeldegrenzen

Erhöhung der Leistungsfähigkeit

Wie in Abschn. 10.5.2.3 gezeigt, kann es sinnvoll sein, zusätzliche Freimeldegrenzen vorzusehen. Insgesamt müssen jedoch die Kosten für den zusätzlichen Gleisfreimeldeabschnitt den Fahrzeitgewinnen, die meistens unter 10 s liegen, gegenüber gestellt werden. Hier kommt es auf das beabsichtigte Betriebsprogramm an. Gerade bei Taktfahrplänen mit geringen Pufferzeiten können diese Sekunden zur Stabilisierung des Betriebes beitragen. Bei zeitlich entzerrtem Betriebsprogramm sind die finanziellen Aufwendungen für Anschaffung und Wartung in vielen Fällen nicht zu rechtfertigen. Jede optionale Freimeldegrenze zur Leistungssteigerung ist daher im Einzelfall zu prüfen.

Erhöhung der Verfügbarkeit

In Abschn. 10.5.2.4 wurde das Spannungsfeld zwischen Verminderung der Auswirkungen und Erhöhung der Anzahl von Gleisfreimeldestörungen durch zusätzliche Freimeldegrenzen diskutiert. Im Ergebnis zeigte sich, dass es sinnvoll ist, an allen Abzweigungen von durchgehenden Hauptgleisen eine Freimeldegrenze zur Erhöhung der Verfügbarkeit zu setzen, sofern nicht ohnehin eine Grenze vorhanden ist.

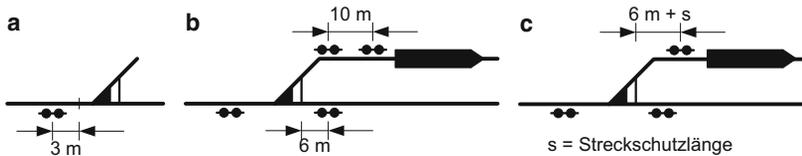


Abb. 10.33a–c Lage der Freimeldegrenzen an Weichen

Zusätzliche betriebliche Forderungen

Bestehen zusätzliche betriebliche Anforderungen an die Gleisfreimeldung, die mit den bisherigen Planungen noch nicht abgedeckt sind, so müssen diese noch erfüllt werden.

10.5.3.3 Lage der Freimeldegrenzen an Weichen

Aufgrund baulicher und sicherungstechnischer Restriktionen werden Freimeldegrenzen mit wenigen Ausnahmen nicht direkt an Weichen angebracht.

Vor der Spitze der Weiche ist ein Abstand von 3 m einzuhalten (Abb. 10.33a). Dieser resultiert in erster Linie daraus, dass bei einer Weichenauswechslung der Zählpunkt nicht abgebaut werden soll.

An der stumpfen Seite von Weichen wird in der Regel die Freimeldegrenze zur Berücksichtigung des Überhangs von Fahrzeugen im Abstand von 6 m zum Grenzzeichen gesetzt (Abb. 10.33b). Wird der Freimeldeabschnitt der Weiche als Streckeschutzabschnitt mitgenutzt (Abb. 10.33c), so beträgt der Abstand vom Grenzzeichen $6\text{ m} + s$, wobei die Länge s als Streckeschutzlänge in Abhängigkeit vom Gefälle definiert ist. Sie beträgt 3 m in der Ebene und steigt bis auf 10 m bei 12 und mehr Promille Gefälle in Richtung der Weiche.

10.5.4 Dokumentation im Planwerk

Neben der Dokumentation der Freimeldegrenzen sowie der Freimeldeabschnittsbezeichnung im sicherungstechnischen Lageplan werden die Informationen in weiteren Plänen gespeichert. Zur Herstellung des örtlichen Bezugs dienen Gleisfreimeldepläne, die grundsätzlich nach Achszählern und Gleisstromkreisen unterschieden werden müssen.

Während der Achszählübersichtsplan ein topologischer Plan ist, in dem alle Zählpunkte und Freimeldeabschnitte übersichtlich dargestellt werden, ist der Gleisfreimeldeplan für Gleisstromkreise ein topografischer Plan im Maßstab 1 : 200, der auch Isolierplan oder Schienenteilungsplan genannt wird. Er besteht aus einer zweiseitigen Darstellung der Gleisanlage und enthält, neben den Isolierstößen, wesentlich mehr Details, die bei einer Gleisfreimeldeanlage mit Gleisstromkreisen notwendig sind (Abb. 10.34). Zu diesen Details gehören unter anderem die Kennzeichnung nach Erd- und isolierter Schiene, Diagonalverbinder, Spannungsdurchschlagssicherungen und Drosselstoßtransformatoren (siehe auch Abschn. 4.1.3.4).

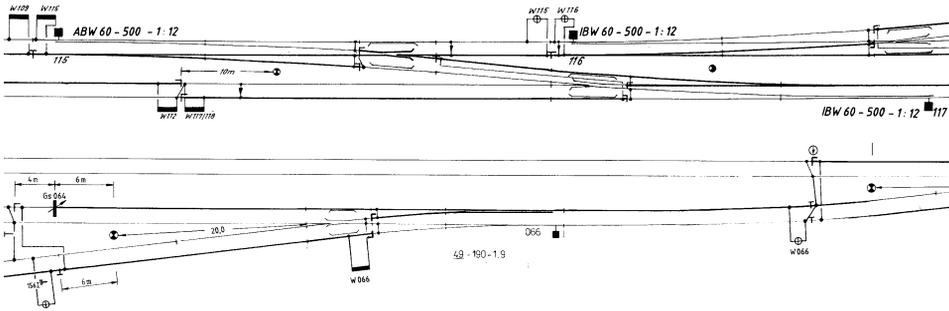


Abb. 10.34 Auszug aus einem Isolierplan

Die Freimeldetabelle wird für alle Arten technischer Gleisfreimeldung gefertigt, jedoch sind auch hierin Unterschiede zwischen den verschiedenen Techniken zu finden.

10.6 Flankenschutzplanung

10.6.1 Umfang

Grundsätzlich ist für Zugstraßen einschließlich des Durchrutschweges Flankenschutz zu gewährleisten, für Rangierstraßen nur im Ausnahmefall (siehe auch Abschn. 5.2.3.3). Die Planung des Flankenschutzes geschieht jedoch nicht in Abhängigkeit von Fahrstraßen, sondern in Abhängigkeit von den Flankenschutz suchenden Elementen: Weichen und Nahbedienbereiche. Wird eine Weiche von einer Flankenschutz benötigenden Fahrstraße beansprucht, so wird die geplante Flankenschutzmaßnahme wirksam. Eine Ausnahme hiervon bilden Regelstellungsweichen im Durchrutschweg (siehe auch Abschn. 5.2.3.5).

10.6.2 Flankenschutzmaßnahmen nach Gefährdung

Schutz vor feindlichen Zugfahrten

In den meisten Fällen ergibt sich der Flankenschutz vor feindlichen Zugfahrten durch einfachen Fahrstraßenausschluss (siehe auch Abschn. 5.2.1.2). Nur in seltenen Fällen sind Weichen gefordert, die einzig dem Flankenschutz dienen und dann auch gegen feindliche Rangierfahrten und sonstige Fahrzeugbewegungen schützen.

Schutz vor feindlichen Rangierfahrten

Wie bei Zugstraßen wirkt auch bei Rangierstraßen der Fahrstraßenausschluss und damit ein Halt zeigendes Signal. Wo jedoch frei, d. h. ohne Fahrstraße rangiert wird oder wo bei einer Rangierstraße auf ein Startsignal verzichtet wird, ist kein indirekt wirkender

Flankenschutz (Signal) vorhanden. In solchen Fällen müssen andere Flankenschutzmaßnahmen gewählt werden.

Unter bestimmten infrastrukturellen Bedingungen (z. B. Geschwindigkeit auf dem zu schützenden Gleis > 60 km/h) wird ein Halt zeigendes Signal als Schutz vor feindlichen Rangierfahrten nicht akzeptiert. Dann ist das Flankenschutzsignal mit einer Zielsperre für Rangierfahrten zu belegen (siehe auch Abschn. 5.2.3.3).

Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass auch in Haltstellung verschlossene, freistellbare Schutz- und Rangierhaltssignale Flankenschutz vor Rangierfahrten gewährleisten können, jedoch haben derartige Signale im ESTW in der Regel keine Bedeutung.

Schutz vor unbeabsichtigt bewegten Fahrzeugen

Der Schutz vor unbeabsichtigt bewegten Fahrzeugen ist überall dort notwendig, wo Fahrzeuge abgestellt werden. Hiergegen helfen nur direkt wirkende Flankenschutzeinrichtungen (Weichen und Gleissperren). Alternativ kann auch ein örtliches Abstellverbot erlassen werden, womit die Gefährdung eliminiert ist.

Auch das Strecken von Zügen (siehe auch Abschn. 5.2.3.3) gehört zu den unbeabsichtigten Bewegungen. Ist keine Flankenschutzweiche vorhanden, hilft die spezielle Ausgestaltung der Gleisfreimeldung (siehe auch Abschn. 10.5.3.3), so dass kein separates Flankenschutzelement erforderlich ist.

10.6.3 Auswahl der Flankenschutzmaßnahmen

Flankenschutzweiche

In der Regel werden die vorhandenen Weichen als Flankenschutzweichen verwendet. Nur bei zwingender Notwendigkeit sind Weichen vorzusehen, die ausschließlich dem Flankenschutz dienen. Eine solche Notwendigkeit liegt vor, wenn auf dem zu schützenden Gleis eine Geschwindigkeit von mehr als 160 km/h gefahren wird. Außerdem können sie notwendig werden, wenn das Betriebsprogramm sowohl auf dem zu schützenden als auch auf dem gefährdenden Gleis einen kritischen Wert übersteigt. Die Bewertung vorzunehmen, obliegt dem Infrastrukturbetreiber; dahingehende Forderungen müssen in der betrieblichen Aufgabenstellung enthalten sein. Abzweig- und Überleitstellen werden nicht mit separaten Flankenschutzweichen ausgerüstet.

Gleissperre

Verglichen mit Weichen stellen Gleissperren eine preiswertere Alternative dar, direkt wirkenden Flankenschutz herzustellen. Aufgrund der heftigen Wirkung – dem Entgleisen – sollen sie im Ereignisfall nur mit geringer Geschwindigkeit überfahren werden und sind deshalb nur in Nebengleisen zulässig. Während die Weichen durch den Gleisplan vorgegeben sind, ist die Gleissperre explizit zu planen.

Halt zeigendes Signal

Halt zeigende Signale schützen nur vor feindlichen Rangierfahrten. Dafür werden die ohnehin vorhandenen Hauptsignale benutzt. Außerdem kommen Sperrsignale zum Einsatz, wenn sie eine Rangierstraße begrenzen. Sperrsignale, die ausschließlich dem Flankenschutz dienen, sollen nicht geplant werden.

Flankenschutzverzicht

Wird Flankenschutzverzicht geplant, so erfolgt nur technisch ein Verzicht auf den Flankenschutz. Dennoch muss Flankenschutz hergestellt werden, was mittelbar durch Rangier- bzw. Abstellverbot geschieht. Die Maßnahme bedarf einer sicherheitlichen Bewertung durch den Infrastrukturbetreiber. Die Planung eines Flankenschutzverzichtes stellt heute eher die Ausnahme dar.

10.6.4 Dokumentation im Planwerk

Die Flankenschutzplanung wird in der Flankenschutz- und der Zwieschutzweichtabelle dokumentiert. Darin ist festgeschrieben, wie für jede Weiche und jeden Nahbedienbereich der Flankenschutz in der Stellwerkslogik zu gewährleisten ist. In vielen Fällen ergibt sich der Flankenschutz eindeutig aus der Infrastruktur. In einigen Fällen jedoch, z. B. bei besonderen betrieblichen Anforderungen oder bei Zwieschutzweichen, sind besondere Überlegungen notwendig.

10.6.4.1 Flankenschutztafel

Zunächst sind in der Flankenschutztafel (Abb. 10.35) alle fernbedienten Weichen sowie die Nahbedienbereiche einzutragen. Durch die Struktur der Tafel wird bereits für jede Weiche nach rechtem und linkem Strang unterschieden.

Direkt anschließender Flankenschutz

In den drei Spalten „direkt anschließender Flankenschutz“ wird – bei eindeutigen Verhältnissen – das Element eingetragen, das an das Flankenschutz suchende Element anschließt und unmittelbaren Flankenschutz gewährleistet. Bei direkt wirkendem Flankenschutz ist die Weiche mit ihrer Lage bzw. die Gleissperre einzutragen, die den Flankenschutz bietet, bei indirekt wirkendem Flankenschutz ist es das Flankenschutz bietende Signal, das für den Flankenschutz in Stellung Hp 0 verschlossen sein muss.

Eine Weiche ist immer dann eine Zwieschutzweiche, wenn die Möglichkeit besteht, dass sie in beiden Stellungen für den Flankenschutz angefordert werden kann. Leicht erkennbar wird das in der vollständig ausgefüllten Spalte „Weiche, Gs“: Sobald hier eine Weiche in Rechts- und Linkslage auftaucht, handelt es sich um eine Zwieschutzweiche. In der Spalte „Zwieschutzweiche“ wird die Tatsache vermerkt. Die weitere Behandlung regelt die Zwieschutzweichtabelle (siehe auch Abschn. 10.6.4.2).

Fahrstraßen über/ Nahbedienbezirk	Nahbediengrenze	Direkt anschließender Flankenschutz			Flankenschutz		Flankenschutz- umkehr/Verzicht	vorsorgliche Umstellung	überwachter Schutzraum
		Weiche, Gs	Zwieschutz- Weiche	Hp 0	Weitergabe über Weiche, Kreuzung	wie Fahrt über deren Strang			
1	L				W3	L u. R			
	R	W2 R							G309
2	L			A					G104
	R	W1 R							G309
3	L			P1					G401
	R				W5	L u. R		W5 R	
4	L	W6 L	x						
	R			P4					G404
5	L						x		
	R	W6 R	x						
6	L	W4 L							
	R	W5 R							

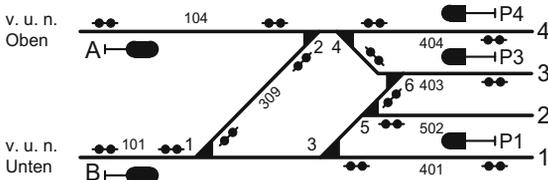


Abb. 10.35 Flankenschutztafel (Auszug) mit zugehörigem Lageplan

Ist das benachbarte Element eine Kreuzung oder die Spitze einer Weiche, kann es keinen Flankenschutz bieten. Dann muss die Flankenschutzanforderung weitergegeben werden, wozu das Element in der Spalte „Weitergabe . . .“ eingetragen wird. In der benachbarten Spalte „wie Fahrt über deren Strang“ wird in der Regel „R u. L“ für „Rechts und Links“ angegeben. Das bedeutet, dass nun beide Stränge der Weiche oder Kreuzung ihrerseits Flankenschutz suchen müssen. Nach Abb. 10.35 tritt das bei Fahrten über W1 links und W3 rechts auf.

Flankenschutzumkehr/Verzicht

Die Spalte „Flankenschutzumkehr/Verzicht“ wird ausgewählt, wenn technisch auf den Flankenschutz verzichtet wird. In Abb. 10.35 ist das an Gleis 2 der Fall. Hier gibt es kein Flankenschutz bietendes Element, im Gegensatz zu den anderen drei Bahnhofsgleisen. Deshalb wird der Verzicht geplant, wozu aber besondere betriebliche Regeln für Gleis 2 notwendig sind.

Vorsorgliche Umstellung

Die „vorsorgliche Umstellung“ betrifft insbesondere Flankenschutztransportweichen (siehe auch Abschn. 5.2.3.3), deren Lage für den Flankenschutz der anfordernden Weiche zwar irrelevant ist, jedoch für eine andere Fahrstraße entscheidend sein kann. Sind die anfordernde Weiche und die Flankenschutztransportweiche gemeinsam freigemeldet, so kann die Transportweiche bei Belegung der anfordernden Weiche (durch die reguläre Fahrt) nicht umgestellt werden, wodurch ein Ausschluss mit einer anderen Fahrstraße entstehen kann.

Abbildung 10.35 zeigt ein Beispiel: Ist die Ausfahrt P1 nach Unten eingestellt, so sucht Weiche 3 Flankenschutz, findet aber nur die Spitze der Weiche 5, die damit zur Flankenschutztransportweiche wird. Diese muss nun den Flankenschutz ihrerseits suchen und findet ihn an Weiche 6 und am Flankenschutzverzicht im Gleis 2. Für den Flankenschutz der Weiche 3 ist die Stellung der Weiche 5 irrelevant. Soll nun die Fahrt P3 nach Oben eingestellt werden, so sucht die Weiche 6 Flankenschutz und findet ihn an Weiche 5. Diese ist jedoch nicht umstellbar, wenn Weiche 3 belegt ist, da beide einen Teilfahrstraßenknoten bilden und somit gemeinsam freigemeldet sind. In diesem Fall wird geplant, dass die Weiche 5 bei Anforderung von Weiche 3 vorsorglich in die Rechtslage zu stellen ist.

Die Funktion der vorsorglichen Umstellung ist nicht in allen modernen Stellwerken enthalten. Ersatzweise kann dafür auch die Grundstellung der betreffenden Weiche geplant werden.

Überwachter Schutzraum

Der Flankenschutzraum ist freizumelden (siehe auch Abschn. 5.2.1.2). Sollte der Raum über den Freimeldeabschnitt der Flankenschutz suchenden Weiche hinausgehen, so werden diese Freimeldeabschnitte in der Spalte „überwachter Schutzraum“ eingetragen. Bei Flankenschutzweitergabe werden nur die Gleisfreimeldeabschnitte bis einschließlich der Flankenschutztransportweiche eingetragen. Die darüber hinaus gehenden Abschnitte sind in der Zeile der weitergebenden Weiche enthalten.

Weitere Einträge

In der Flankenschutztafel werden weitere, weichenrelevante Einträge vorgenommen, die nicht direkt zum Flankenschutz gehören. In Abb. 10.35 sind sie nicht dargestellt.

In die Spalte „grenzzeichenfreie Freimeldung“ werden die Bezeichnungen aller Weichen, Kreuzungen und Gleisfreimeldeabschnitte eingetragen, die in den Lichtraum des betrachteten Elements ragen und deshalb eine Umstellsperrung herbeiführen sollen (siehe auch Abschn. 5.2.3.4). Bei Weichen ist die Stellung anzugeben, bei der die nicht grenzzeichenfreie Freimeldung auftritt.

Die Spalte „Vorzugslage“ gibt an, ob eine Weiche eine Vorzugslage bekommt. Dies wird in der Regel für Weichen im durchgehenden Hauptgleis vom Infrastrukturbetreiber bestellt. Grund ist, dass sich im Fall eines Stellwerksausfalls die Weichen für den Betrieb in der Rückfallebene möglichst in der richtigen Stellung befinden sollen. Bei einer zusätzlichen Markierung in der Spalte „automatischer Umlauf“ läuft die Weiche nach Auf-

lösung einer Fahrstraße, in der sie in anderer Stellung verschlossen wurde, selbsttätig in die Vorzugslage. Ansonsten wird der Bediener durch Anzeigen auf seinem Bedienplatz (blinkende Weichenelemente) zum Umstellen aufgefordert.

In der Spalte „zulässige Geschwindigkeit“ ist schließlich die Geschwindigkeit in km/h einzutragen, mit der der jeweilige Weichenschenkel höchstens befahren werden darf. Dafür ist nur die Geschwindigkeit maßgebend, die oberbautechnisch durch die Weiche bestimmt wird.

10.6.4.2 Zwieschutzweichtabelle

Alle Weichen, die in der Flankenschutztablelle als Zwieschutzweichen erkannt wurden, sind in der Zwieschutzweichtabelle näher zu beschreiben, da in der Flankenschutztablelle nichts darüber ausgesagt wird, wie in der Stellwerkslogik mit ihnen umzugehen ist. Zunächst wird die Bezeichnung der Zwieschutzweiche eingetragen. Auch hier ist wieder durch die Struktur der Tabelle bereits vorgegeben, dass für den rechten und linken Strang jeder Weiche separate Eintragungen vorgenommen werden können (Abb. 10.36). Im Gegensatz zur Flankenschutztablelle geht es dabei aber nicht um die Fahrt auf diesem Strang, sondern um eine dort ankommende Flankenschutzanforderung.

Zwieschutzweichencharakter

In der Spalte „Zwieschutzweiche“ wird der Zwieschutzweichencharakter (eigen und/oder echt, siehe auch Abschn. 5.2.3.3) vermerkt. In seltenen Fällen kann eine Zwieschutzweiche auch beide Charaktere annehmen.

Weiche/ Kreuzung in angeforderter Weichenstellung	Zwieschutzweiche		Zwieschutzfall- Maßnahme	Direkt anschließender Flankenschutz			Flankenschutz		Zwieschutzweiche mit ohne Nachlauf- verhinderung	
	Eigen	Echt	Verschluss/ Fernschutz/ Verzicht	Weiche, Gs	Zwieschutzweiche	Hp 0	Weitergabe über Weiche, Kreuzung	wie Fahrt über deren Strang		
11	L	x	Verschluss							
	R		Fernschutz				W10	L u. R	x	
14	L	x	Fernschutz			P12			x	
	R		Verschluss							
23	L	x	Fernschutz			P2				x
	R		Verschluss							

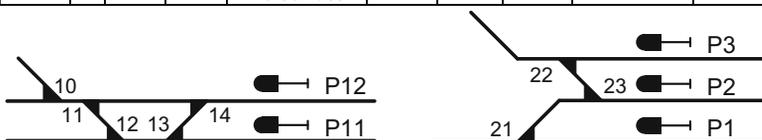


Abb. 10.36 Zwieschutzweichtabelle und zugehöriger Lageplan

Zwieschutzfallmaßnahme

Die Spalte „Zwieschutzfallmaßnahme“ entscheidet über das Verhalten der Zwieschutzweiche bei gleichzeitiger Flankenschutzanforderung beider Stellungen. Zur Auswahl stehen die Maßnahmen Verschluss, Fernschutz und Verzicht.

Bei „Verschluss“ wird die Weiche in der Flankenschutzstellung verschlossen und steht somit für die andere Anforderung nicht zur Verfügung, so dass hier nur noch Fernschutz oder Verzicht in Frage kommen. Bei echten Zwieschutzweichen kann im Ausnahmefall auch für beide Anforderungen der Verschluss geplant werden; dann ist nur jeweils eine der anfordernden Fahrten möglich.

„Fernschutz“ bedeutet, dass ein weiter entferntes Element den Flankenschutz übernimmt. Hierfür ist auch der Begriff „Ersatzschutz“ gebräuchlich. „Verzicht“ bedeutet, dass auf Flankenschutz verzichtet wird und betriebliche Maßnahmen den Flankenschutz übernehmen.

Die Entscheidung, in welcher Stellung der höherwertige Flankenschutz durch Verschluss gegeben werden soll, hängt vom Betriebsprogramm ab. Dafür ist das größere Risiko von Flankenfahrten der beiden Anforderungen bei Verzicht oder Ersatzschutz abzuschätzen. Dort, wo sich das größere Risiko aus höheren gefahrenen Geschwindigkeiten oder mehr beförderten Personen (Schadensausmaß) bzw. häufigeren Fahrten (Häufigkeit) ergibt, wird der Verschluss vorgesehen.

Direkt anschließender Flankenschutz/Flankenschutzweitergabe

Analog zur Flankenschutztafel wird in den folgenden Spalten die Realisierung des Flankenschutzes festgelegt, wenn Fern- bzw. Ersatzschutz geplant ist. Es wird das nächste Element angegeben, was den Flankenschutz bietet bzw. weitergibt.

Nachlaufverhinderung

Mit der „Nachlaufverhinderung“ wird festgelegt, ob eine Zwieschutzweiche nachlaufen soll oder nicht. Nachlaufen bedeutet, dass eine Zwieschutzweiche, deren Anforderung in der verschlossenen Weichenstellung beendet ist, für die andere Stellung, die zunächst nur Ersatzschutz oder Verzicht sein kann, nun in den Verschluss geht und somit „nachläuft“. Das hat den Vorteil, dass nun ein höherwertiger Flankenschutz zur Verfügung steht. Nachteilig ist jedoch, dass sich durch das Umlaufen der Verschleiß erhöht.

Bei Eigenzwieschutzweichen wird in der Regel auf das Nachlaufen verzichtet. Am Beispiel der Weiche 14 in Abb. 10.36 soll das verdeutlicht werden: Findet eine Fahrt aus Gleis 11 über die Weichen 13–12–11–10 statt, so ist die Weiche 14 Eigenzwieschutzweiche. Nach der Regel für Eigenzwieschutzweichen, wonach die Anforderung mit dem kürzeren Flankenschutzraum den Verschluss bekommt, wird Weiche 14 in Rechtsstellung verschlossen. Nachdem die Fahrt die Teilfahrstraße mit der Weiche 13 geräumt hat, endet die Flankenschutzanforderung der Weiche 13, während die Anforderung der Weiche 11 weiterhin besteht. Weiche 14 könnte jetzt nachlaufen und damit in Verschluss für die Anforderung von Weiche 11 gehen. Da aber die Fahrt wenige Sekunden nach dem Verlassen der Weiche 13 auch die Weiche 11 verlässt, ist ein Nachlaufen der Weiche 14 nicht sinnvoll.

10.7 Fahrstraßenplanung

10.7.1 Auswahl

Fahrstraßen ergeben sich aus den topologischen Fahrmöglichkeiten zwischen den Fahrstraßenstarts und -zielen. Diese Begrenzungspunkte sind in der Regel Haupt- und Sperrsignale, aber auch Weichen, Gleise (z. B. bei Stumpfgleiseinfahrten) und Streckenziele (bei Ausfahrten auf die freie Strecke) kommen in Frage. In der Regel werden alle betrieblich sinnvollen Fahrstraßen gemäß der betrieblichen Aufgabenstellung eingerichtet.

10.7.2 Bezeichnung

Die Benennung von Fahrstraßen erfolgt in der Regel nach ihrem Bedienbezeichner, mit dem die Fahrstraßen von der Bedienoberfläche angesprochen werden kann. Dieser setzt sich zunächst aus der Bezeichnung des Starts und des Ziels zusammen, getrennt durch einen Punkt bei Zugstraßen und einen Bindestrich bei Rangierstraßen. Der Bezeichner kann weitere Eigenschaften der Fahrstraße enthalten, wie z. B. den Durchrutschweg bei Wahldurchrutschwegen und den Umfahrpunkt bei Umfahrstraßen. Tabelle 10.11 zeigt einige Beispiele.

10.7.3 Eigenschaften

10.7.3.1 Allgemein

Für jede Fahrstraße sind ihre spezifischen Eigenschaften zu planen. Der Fahrweg ergibt sich aus dem Start und dem Ziel. Existieren dazwischen mehrere Fahrmöglichkeiten, so wird die Entscheidungsweiche angegeben. Werden aufgrund dieser Tatsache zwischen einer Start-Ziel-Kombination mehrere Fahrstraßen geplant, so muss eine davon als Regel-fahrstraße festgelegt werden, während die anderen Umfahrstraßen sind.

Tab. 10.11 Beispiele für Fahrstraßenbezeichnungen

Bezeichnung	Bedeutung				
	Art	Start	Umfahrpunkt	Ziel	DWeg
A.N2	Zugstraße	A		N2	Regel-
A.N2D2	Zugstraße	A		N2	D2
P2.AB	Zugstraße	P2		Strecke AB	
P2.W3 AB	Umfahrzugstraße	P2	Weiche 3	Strecke AB	
L22X-N2	Rangierstraße	22X		N2	
N2-G32	Rangierstraße	N2		Gleis 32	

Tab. 10.12 Zugstraßentabelle (Auszug)

Zugstraße				Ssp in der Fahrstraße verschlossen und überwacht	Signalhaltfall	Zugstraße in nichtüberspannte Bereiche	Wirksamkeitsschaltung mit BÜ	Selbststellbetrieb/Zuglenkung
Start/Ziel	Art	Durchrutschweg	Entscheidungsweichen im befahrenen Teil					

10.7.3.2 Zugstraßen

Jeder Fahrweg bildet mit jedem Durchrutschweg, der am Zielsignal beginnt, eine eigene Fahrstraße. Es müssen jedoch – wiederum abhängig von der Aufgabenstellung – nicht alle Kombinationen eingerichtet werden.

Da Schlüsselsperren nicht explizit mit der Topologie verknüpft sind, müssen die für eine Fahrstraße zu prüfenden Schlüsselsperren explizit geplant werden. Ebenso ist der Haltfallabschnitt (siehe auch Abschn. 10.4.5.7) für jede Zugstraße zu planen.

Als Erinnerung für den Bediener, dass Fahrzeuge mit gehobenem Stromabnehmer nicht in Bereiche ohne Fahrleitung eingelassen werden, dient die F-Bedienung. Hierzu wird der Bedienstring am Beginn durch „F,“ ergänzt. Die Eigenschaft muss für jede Fahrstraße geplant werden.

Weiterhin erfolgt die Angabe der Bahnübergänge, deren Einschaltkriterium im Bereich der Fahrstraße liegt und nur bei eingestellter Fahrstraße wirksam ist. Hierdurch wird verhindert, dass der Bahnübergang z. B. durch eine das Gleisschaltmittel befahrende Rangierfahrt einschaltet.

Des Weiteren muss angegeben werden, ob die Fahrstraße durch Selbststellbetrieb (siehe auch Abschn. 5.2.3.7) oder Zuglenkung (siehe auch Abschn. 9.2.2) angestoßen werden kann (Tab. 10.12).

10.7.3.3 Rangierstraßen

Für Rangierstraßen sind die gleichen Eigenschaften wie für Zugstraßen zu planen, mit Ausnahme des Signalhaltfalls und „Selbststellbetrieb/Zuglenkung“. Hinzu kommen weitere, spezielle Eigenschaften für Rangierstraßen, wie z. B. die ausnahmsweise Forderung nach Gleisfreimeldung.

10.8 PZB-Planung

Die PZB (siehe auch Abschn. 7.2) ist das bei deutschen Eisenbahnen dominierende Zugbeeinflussungssystem, was nahezu flächendeckend vorhanden ist und in der Regel auch bei ESTW-Neubauten eingesetzt wird. Trotzdem nur drei verschiedene Beeinflussungspunkte existieren, sind die Planungen nicht trivial. Mit der Erweiterung des Systems zur PZB 90 wurden die Planungen umfangreicher.

10.8.1 Darstellung im sicherungstechnischen Planwerk

Die Symbole für die Darstellung im Lageplan zeigt Abb. 10.37. Dabei erfolgt die Angabe der Frequenz geteilt durch 1000 am Symbol. Auf die dargestellten Anwendungsbeispiele wird an späterer Stelle eingegangen. Spezielle technische Informationen werden in der Gleismagnettabelle eingetragen, auf die hier nicht weiter eingegangen wird.

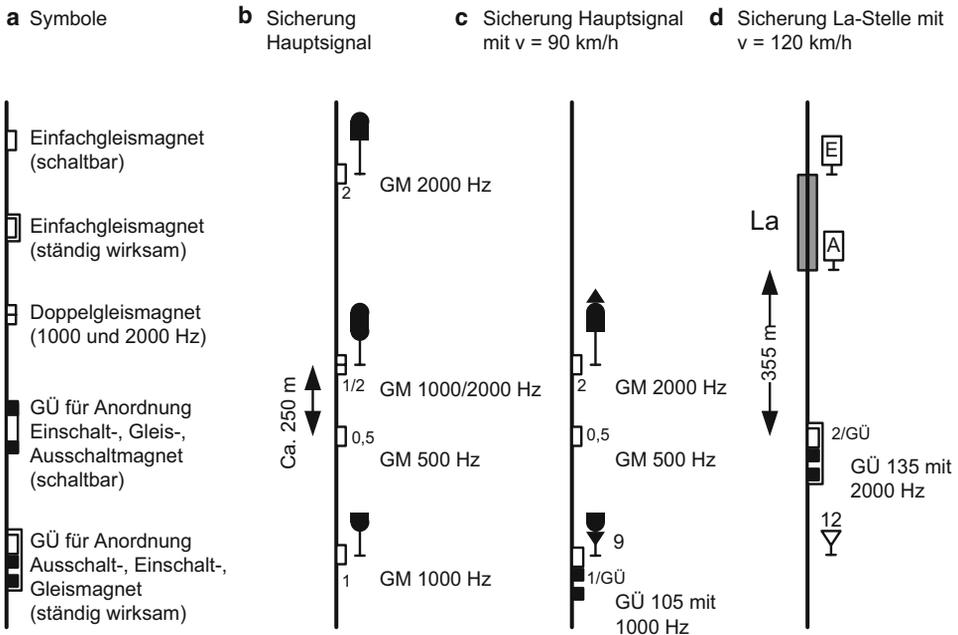


Abb. 10.37a-d Symbole der PZB-Gleismagnete mit Anwendungsbeispielen

10.8.2 Anwendung an Haupt-, Vor- und Sperrsignalen

10.8.2.1 Planungsvorschriften

Die Grundsätze für das Ausrüsten von Strecken mit Induktiver Punktförmiger Zugbeeinflussung (PZB) sind in Ril 819.1310 geregelt. Mit der Anwendung dieser Richtlinie werden die PZB-Aufgaben (siehe auch Abschn. 7.2.2)

- Bremsfahrt überwachen,
- Weiterfahren gegen Halt zeigende Signale überwachen und
- Anfahren gegen Halt zeigende Signale überwachen.

abgedeckt. Bei Komplettausrüstung nach den Anforderungen der vorstehend genannten drei PZB-Aufgaben spricht man vom „PZB 90-Standard“.

Seit Einführung der zwei neuen PZB-Aufgaben ist die Verwendung des 500 Hz-Gleismagneten häufiger geworden. Es müssen nun die verschiedenen PZB-Aufgaben betrachtet werden, um zu entscheiden, ob und wo ein 500 Hz-Gleismagnet angewendet wird. Unter Umständen können auch mehrere solcher Magneten vor einem Hauptsignal notwendig sein.

10.8.2.2 Verwendung des 1000 Hz-Gleismagneten

Grundsätzlich ist an jedem Vorsignal ein 1000 Hz-Gleismagnet anzuordnen (Abb. 10.38). Vorsignalwiederholer bekommen in der Regel keinen Gleismagneten.

10.8.2.3 Verwendung des 2000 Hz-Gleismagneten

Ebenfalls grundsätzlich ist an jedem Hauptsignal ein 2000 Hz-Gleismagnet anzuordnen. Handelt es sich um ein Mehrabschnittsignal, so wird ein kombinierter 1000/2000 Hz-Gleismagnet verwendet. An Sperrsignalen wird nur dann ein 2000 Hz-Gleismagnet verlegt, wenn es Ziel einer Zugstraße ist oder an ihm Zugstraßen beginnen (z. B. bei Gruppenausfahrten).

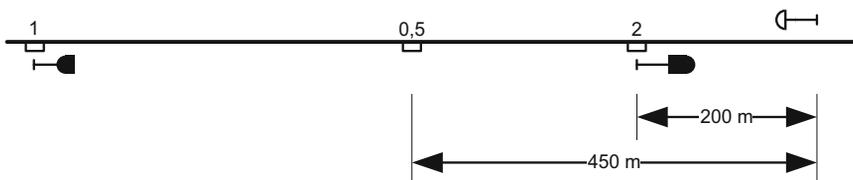
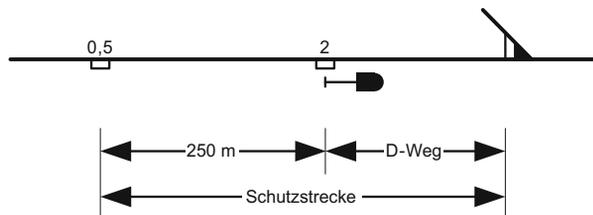
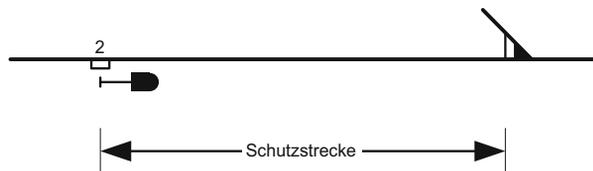


Abb. 10.38 Regelanordnung der PZB-Magnete an Vor- und Hauptsignalen. Die Rangierhalttafel steht exemplarisch für einen Gefahrenpunkt

Tab. 10.13 PZB-Schutzstrecken

Einfahrtsgeschwindigkeit [km/h]	Länge der Schutzstrecke [m]
$60 < v \leq 160$	450
$40 < v \leq 60$	350
$0 < v \leq 40$	210

Abb. 10.39a,b Notwendigkeit eines 500-Hz-Gleismagneten**a** 500-Hz-Gleismagnet erforderlich**b** 500-Hz-Gleismagnet nicht erforderlich

10.8.2.4 Verwendung des 500-Hz-Gleismagneten für „Bremsfahrt und Weiterfahren gegen Halt zeigende Signale überwachen“

Für die Sicherung der Aufgaben „Bremsfahrt überwachen“ und „Weiterfahren gegen Halt zeigende Signale überwachen“ ist hinter dem Signal eine Schutzstrecke für die Zwangsbremmung vorzuhalten (Abb. 10.39). Die Länge der erforderlichen PZB-Schutzstrecke ist abhängig von der letzten vor dem Hauptsignal signalisierten Geschwindigkeit.

Unter Berücksichtigung der 1000-Hz-Überwachungsfunktion sind die in Tab. 10.13 dargestellten PZB-Schutzstrecken erforderlich. Bei Neigung wird der jeweilige Zu- oder Abschlag wie bei der Anpassung von Durchrutschwegen (siehe auch Abschn. 10.4.4.1) auf die PZB-Schutzstrecke angewendet.

Kann die Schutzstrecke nicht als Durchrutschweg bzw. Gefahrpunkt Abstand zur Verfügung gestellt werden, ist grundsätzlich ein Gleismagnet 500 Hz im Regelabstand von 250 m zum Signal vorzusehen. Der Abstand zwischen diesem Gleismagneten 500 Hz und dem Gefahrpunkt bzw. Ende des Durchrutschweges muss mindestens so groß wie die PZB-Schutzstrecke sein.

Die Schutzstrecken mehrerer Signale dürfen sich überschneiden. Die maßgebenden Gefahrpunkte, für die die Schutzstreckenbetrachtung durchgeführt wird, sind die gleichen wie beim Gefahrpunkt Abstand (siehe auch Abschn. 10.4.4.1).

10.8.2.5 Verwendung des 500 Hz-Gleismagneten für die Aufgabe „Anfahren gegen Halt zeigende Signale überwachen“

Anwendungsbereich

Mit der PZB-Aufgabe „Anfahren gegen Halt zeigende Signale überwachen“ soll jenes Risiko minimiert werden, das daraus resultiert, dass ein Zug nach einem Halt am Bahnsteig (auch ein beginnender Zug) gegen ein noch Halt zeigendes Signal anfahren könnte. Deshalb ist diese Funktion nicht für alle Hauptsignale relevant; es betrifft nur diejenigen, die an oder hinter Bahnsteigen stehen, an denen planmäßig oder außerplanmäßig Reisezüge halten, beginnen oder wenden.

Im Gegensatz zu den ersten zwei PZB-Aufgaben ist beim unberechtigten Anfahren gegen ein Halt zeigendes Signal kein Durchrutschweg gesichert. Deshalb muss die maßgebende Gefahrstelle (siehe auch Abschn. 7.2.2.2) betrachtet werden.

INA-Berechnung

Für die Lösung der Aufgabe „Anfahren gegen Halt zeigende Signale überwachen“ sind bei der PZB-Planung im Wesentlichen zwei Aufgaben zu lösen:

- **Regelverfahren:** PC-gestützte Ermittlung des Erfordernisses und (wenn erforderlich) der optimalen Lage eines 500 Hz-Gleismagneten (INA-Berechnung; INA: Induktive Sicherung anfahrender Züge).
- **Abwägungsverfahren:** die an Belangen der Betriebssicherheit und Kundeninteressen ausgerichtete Festlegung der Halteplätze von Zügen.

Zur Vorbereitung der INA-Berechnung sind zunächst die örtlichen Infrastrukturverhältnisse zu erheben. Dazu gehören u. a.:

- Vorsignale und Vorsignalwiederholer,
- bereits vorhandene 500 Hz-Gleismagnete,
- Bahnsteiglage mit Halteplätzen (H-Tafeln),
- maßgebende Gefahrstelle.

Der Standort der H-Tafel geht damit in die PZB 90-Berechnungen ein. Dadurch verliert die H-Tafel ihren bisher hinweisenden Charakter und wird sicherheitsrelevant.

Mit den Ausgangsdaten findet eine EDV-gestützte Berechnung statt, die die Wirkungsbereiche jeder einzelnen Geschwindigkeitsüberwachungsfunktion, ausgehend von allen Startplätzen entlang der Bahnsteigkante, ermittelt. Ist ein 500 Hz-Gleismagnet notwendig, wird dessen optimale Lage berechnet. Sollte für die ersten beiden PZB-Aufgaben kein 500 Hz-Gleismagnet erforderlich sein, wird im ersten Untersuchungsschritt kein Gleismagnet unterstellt; ansonsten wird er angenommen.

Von sicher überwachten Startplätzen bzw. Bahnsteigbereichen werden gegen das Halt zeigende Signal startende Züge in jedem Fall vor der maßgebenden Gefahrstelle zum Halten gebracht. Bei risikobehafteten Startplätzen bzw. Bahnsteigbereichen ist das nicht der

Fall. Allerdings führt die Wirkungsweise der PZB 90 meist dazu, dass ein Zug zumindest mit verminderter Geschwindigkeit die maßgebende Gefahrstelle passiert und dahinter zum Stehen kommt [DB01].

Lage des 500 Hz-Gleismagneten

Falls erforderlich, ist ein 500 Hz-Gleismagnet im Grundsatz 250 m vor dem 2000 Hz-Gleismagneten zu verlegen. Zur Verbesserung der Betriebssicherheit oder Betriebsflüssigkeit kann ein „INA-Spielraum“ genutzt werden, der einen Bereich von 150 bis 300 m vor dem 2000 Hz-Gleismagneten umfasst. Besteht jedoch die Notwendigkeit eines 500 Hz-Gleismagneten für eine andere PZB-Aufgabe, ist die dafür erforderliche Schutzstrecke zu wahren.

Für beginnende Züge können zusätzliche 500 Hz-Gleismagnete zu einem aus anderen Gründen erforderlichen derartigen Magneten verlegt werden; im Bedarfsfall auch in einem Abstand von weniger als 150 m vor dem 2000 Hz-Gleismagneten. Dies betrifft oft Ausfahrten aus Kopfbahnhöfen.

Auswertung der Untersuchung

Konflikte zwischen Sicherheits- und Fahrgastinteressen können eintreten, wenn z. B. die Nutzung sicher überwachter Bahnsteigbereiche unzumutbare Fußwege für die Reisenden zur Folge hätte. Tritt dieser Fall ein oder ergibt sich im Verlauf des Regelverfahrens keine ausreichende Risikominderung, ist das Abwägungsverfahren anzuwenden.

Hierbei wird durch eine nähere Betrachtung der örtlichen Gegebenheiten das Risiko detaillierter bewertet. Ziel ist, dass Startplätze nach Möglichkeit doch noch in sicher überwachten bzw. in am wenigsten risikobehafteten Bereichen festgelegt werden. Hierzu wird z. B. die schützenswertere Gefahrstelle betrachtet: Anstelle der maßgebenden Gefahrstelle erfolgt die Betrachtung der schützenswerteren Gefahrstelle, wenn die maßgebende Gefahrstelle nicht weiter als 50 m hinter dem 2000 Hz-Gleismagneten liegt.

10.8.3 Überwachung der signalisierten Geschwindigkeit

In den bisherigen Ausführungen wurde nur die PZB-Überwachung Halt zeigender Hauptsignale betrachtet. Da das System aber auch die Überwachung von Geschwindigkeiten zulässt, können damit auch signalisierte Geschwindigkeitsreduktionen überwacht werden. Dies kann durch direktes Wirken eines 1000 oder 500 Hz-Gleismagneten geschehen, sofern die Entlassungsgeschwindigkeit in etwa der zu überwachenden Geschwindigkeit entspricht. In den anderen Fällen müssen GÜ (siehe auch Abschn. 7.2.2.3) verwendet werden.

Die PZB-Einrichtungen sind schaltbar, wenn auch weniger restriktive Signalbegriffe angezeigt werden können. Meist ist das der Fall; in seltenen Fällen werden ständig wirksame PZB-Einrichtungen verwendet.

In den PZB-Steuertabellen (Ril 819.1310) ist festgelegt, bei welchen Signalbildern an welchen Stellen welche PZB-Einrichtungen zu verwenden sind. Hier soll nur auf die Steuertabelle der Ks-Signale eingegangen werden.

Abschnittssignalisierung

Tabelle 10.14 zeigt eine vereinfachte Steuertabelle für die Gleismagnete von Kombinationssignalen. Darin ist zu erkennen, dass für den Halt-Begriff immer der 500 Hz-Gleismagnet (sofern vorhanden) und der 2000 Hz-Gleismagnet angeschaltet werden müssen. Beim Signalbild Ks 2 ist immer der 1000 Hz-Gleismagnet aktiv.

Tab. 10.14 Vereinfachte Steuertabelle für Kombinationssignale (nach Ril 819.1310)

Signal- begriff	Kennzahl		Beeinflussungspunkte						
	Zs 3v	Zs 3	Gleismagnete [Hz]			GÜ			
			500	1000	2000	1000 Hz am Signal	2000 Hz vor dem Signal		
						$v_{Prüf}$ [km/h]	$v_{Prüf}$ [km/h]	Abstand [m]	
Hp 0			x		x				
Ks 2				x					
	2 ... 3	x	x						
	4 ... 6		x						
	7 ... 8		x						
	9		x						
	10		x				120 ¹	485	
	11		x				130 ¹	405	
	12		x				135 ¹	355	
	13		x				140 ¹	315	
Ks 1	2	14 ... 15		x					
		2 ... 3	x						
		4 ... 9							
		10						120 ¹	485
		11						130 ¹	405
		12						135 ¹	355
		13						140 ¹	315
		14 ... 15							
		2 ... 6	2		x				
	7			x ¹					
	8						95 ¹		
	9						105 ¹		
	10 ... 15								

¹ Nur bei Geschwindigkeitseinschränkungen $\geq 20\%$.

² Eventuelle PZB-Sicherungen des jeweils anderen Anzeigers gelten zusätzlich.

Geschwindigkeitssignalisierung

Wird am Signal ein Zs 3 mit Kennzahl 2 oder 3 gegeben, so ist der 500 Hz-Gleismagnet aktiv. Bei einer angenommenen Entfernung von 250 m vom Hauptsignal wird an diesem in Zugart O noch auf eine Geschwindigkeit von 45 km/h geprüft.

In ähnlicher Weise erfolgt die Verwendung eines 1000 Hz-Gleismagneten bei der Vorsignalisierung einer Geschwindigkeitsreduktion: Wird ein Zs 3v mit den Kennzahlen 2 bis 7 gezeigt, ist der 1000 Hz-Gleismagnet aktiv (Abb. 10.37b). Damit wird die Bremsfahrt des Zuges bis zur jeweiligen Entlassungsgeschwindigkeit geprüft. Bei der Kennzahl 7 wird der 1000 Hz-Gleismagnet nur dann angeschaltet, wenn eine Geschwindigkeitsreduktion $\geq 20\%$ stattfindet. Dem liegt die Überlegung zugrunde, dass eine Überschreitung der Geschwindigkeit von weniger als 20% noch keine Gefährdung darstellt.

Sowohl für die Verwendung des 500 Hz- als auch des 1000 Hz-Gleismagneten liegt die Entlassungsgeschwindigkeit in der Zugart U teilweise unter der signalisierten Geschwindigkeit. Diese betriebliche Behinderung wird in Kauf genommen.

Bei höheren zu prüfenden Geschwindigkeiten werden Geschwindigkeitsüberwachungen (GÜ) angewandt. Um die Geschwindigkeitsreduktion auf 80 bzw. 90 km/h zu prüfen, werden GÜ 95 bzw. GÜ 105 mit 1000 Hz-Gleismagnet am Vorsignal aktiviert (Abb. 10.37c). Somit erfolgt bei Zügen, die am Vorsignal weniger als 95 bzw. 105 km/h fahren, keine Beeinflussung. Da die in Zugart M und U fahrenden Züge diese Geschwindigkeiten meist nicht erreichen, erfolgt bei denen somit auch keine Behinderung.

Reduzierungen auf Geschwindigkeiten ≥ 100 km/h werden durch GÜ mit 2000 Hz-Gleismagneten abgesichert. Dazu sind die jeweiligen GÜ in einem definierten Abstand vor der Geschwindigkeitseinschränkung (dem Hauptsignal) anzuordnen, womit überprüft wird, ob eine Geschwindigkeitsreduktion des Zuges stattfindet (Abb. 10.37d). Auch der Einsatz von GÜ zur Absicherung von Geschwindigkeiten wird nur dann vorgenommen, wenn es sich um eine Geschwindigkeitsreduktion von $\geq 20\%$ handelt.

Literatur

- [AM06] Anders, E., Maschek, U.: Ein Beitrag zur komplexen Sicherheitsbetrachtung des Bahnsystems (2). *Signal + Draht* **98**(4), (2006)
- [AN08] Anders, E.: Ein Beitrag zur komplexen Sicherheitsbetrachtung des Bahnsystems. Dissertation, Dresden (2008)
- [AR87] Arnold, H.J. (Hrsg.): Eisenbahnsicherungstechnik. Transpress, Berlin (1987)
- [BOR02] Bormet, J.: Funktion der fahrplanbasierten Zuglenkung für Betriebszentralen. *Der Eisenbahningenieur* **6**(53), (2002)
- [DB01] Deutsche Bahn: Punktförmiges Zugbeeinflussungssystem PZB 90 – Systembeschreibung. Frankfurt (M.) (2001)
- [DB301] Deutsche Bahn: Richtlinie 301. Signalbuch (2010)
- [DB408] Deutsche Bahn: Richtlinie 408. Züge fahren und Rangieren (2011)
- [DB818] Deutsche Bahn: Richtlinie 818. Sammlung signaltechnischer Verfügungen.
- [DB819] Deutsche Bahn: Richtlinie 819. LST-Anlagen planen (2012)
- [DI02] Dickgießer, B.M.: Leitsysteme für Betriebszentralen der Deutsche Bahn AG. *Der Eisenbahningenieur* **6**(53), (2002)
- [DIN92] DIN 5037: Lichttechnische Bewertung von Scheinwerfern (1992)
- [FNT03] Fenner, W., Naumann, P., Trinckauf, J.: Bahnsicherungstechnik. Publicis Corporate Publishing, Erlangen (2003)
- [HI93] Hinzen, A.: Der Einfluss des menschlichen Fehlers auf die Sicherheit der Eisenbahn. Veröffentlichungen des Verkehrswissenschaftlichen Institutes der RWTH Aachen **48**, (1993)
- [KI08] Kinze, L.: Gleisfreimeldesysteme der DB AG – Aufgaben und Funktionen. *EisenbahningenieurKalender* (2008)
- [LI04] Liebscher, J., Zimmermann, D.: Lichttechnische Dimensionierung von Lichtsignalen. *Signal + Draht* **96**(12), (2004)
- [LSZ13] Lawnik, C., Schütz, C., Zimmermann, D.: LED-Mehrfarbsignalgeber für Lichtsignale. *Signal + Draht* **105**(9), (2013)
- [LZ08] Lorenz, M.: Stellwerkstechnik. Selbstverlag des Verfassers, Dresden: (2008)
- [MA09] Maschek, U.: Eine generische Sicht auf die Betriebssicherheit im spurgeführten Verkehr. *Der Eisenbahningenieur* **60**(2), (2009)
- [MA13] Maschek, U.: Der Einfluss betrieblicher Verfügbarkeit auf die Planung von Gleisfreimeldegrenzen. *Der Eisenbahningenieur* **64**(2), (2013)

- [ML05] Maschek, U., Lehne, U.: Das mechanische Stellwerk der Bauform „Einheit“. Broschüre zum Film „Das mechanische Stellwerk“, 2. Aufl. Professur für Verkehrssicherungstechnik, Dresden (2005)
- [NP02] Naumann, P., Pachl, J.: Leit- und Sicherungstechnik im Bahnbetrieb: Fachlexikon. Tetzlaff, Hamburg (2002)
- [PA06] Pachl, J.: Betriebsführung der Infrastruktur. In: Fendrich, L. (Hrsg.) Handbuch Eisenbahninfrastruktur. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg (2007)
- [PA10] Pachl, J.: Sicherheitliche Funktionen in der europäischen LST. *Deine Bahn* 6, (2010)
- [PA11] Pachl, J.: Systemtechnik des Schienenverkehrs. Springer Vieweg, Wiesbaden (2011)
- [PO58] Potthoff, G.: Die Grundzüge des Eisenbahnbetriebes. Fachbuchverlag Leipzig, Leipzig (1958)
- [SE86] Stapf, J.: Elektromechanisches Stellwerk. Transpress, Berlin (1986)
- [SM86] Stapf, J.: Mechanisches Stellwerk. Transpress, Berlin (1986)
- [TV09] Theeg, G., Vlasenko, S. (Hrsg.): Railway Signalling and Interlocking – International Compendium. Eurailpress, Hamburg (2009)
- [VST12] TU Dresden, Professur für Verkehrssicherungstechnik: Vorlesungsunterlagen. Dresden (2012) (unveröffentlicht)
- [WI09] Winter, P. (Hrsg.): Compendium on ERTMS: European Rail Traffic Management System. Eurailpress, Hamburg (2009)
- [ZO08] Zoeller, H.J.: Handbuch der ESTW-Funktionen. Eurailpress, Hamburg (2008)

Sachverzeichnis

A

Abnahmeprüfung, 261
Abschnittssignalisierung, 90
 Planung, 288
Achsnebenschlusswiderstand, 48
Achszähler, 53
 Mehrabschnitts-, 54
Achszählgrundstellung, 54
Achszählrechner, 54
Achszählübersichtsplan, 307
Anerkannte Regeln der Technik, 8
Anfangsfeld, 201
Annäherungsschaltung, 138
Annäherungszeit, 247
Anrufschränke, 243
Anschlussstelle, 155
Auffahren, 66
Aufprall, 10
Ausfahrtsignal, 105
Ausführungsplanung, 260
Außenverschluss, 66
Ausweichanschlussstelle, 156
Automatikblock, 204
Automatisierter Relaisblock, 202

B

Bahnblocksperre, 179
Bahnsicherungstechnik, 1
Bahnübergang, 239
 Fahrstraßenabhängigkeit, 138
 nichttechnisch gesichert, 242
 technisch gesichert, 243
Balise, 212
Balisengruppe, 231
Bauüberwachung, 260
Bedienplatz, 197

Befahrer Teil, 118
Bereichsübersicht, 198
Betriebliche Aufgabenstellung, 259
Betriebsmodi (ETCS), 236
Betriebssicherheit, 3
Betriebszentrale, 254
Bettungswiderstand, 48
Bewegliche Brücke, 76
Bewegliches Fahrwegelement, 13, 62
 Umstellbedingungen, 123
Blockfeld, 176
Blockinformation, 111, 148
Blockrelais, 33
Blockschloss, 165

D

Diagonalverbinder, 50
Disponent, 255
Drahtzugleitung, 172
Drehscheibe, 76
Driver Maschine Interface, 228
Drosselstoßtransformator, 51
Durchfahrausschluss, 125
Durchrutschweg, 110, 132
 Auflösung, 145
 Planung, 277
 Überlagerung, 137
Durchrutschwegtabelle, 280

E

Echte Zwieschutzweiche, 128
Eigenzwieschutzweiche, 128
Einfahrtsignal, 105
Elektrische Tastensperre, 178
Elektromechanisches Stellwerk, 182
Elektronisches Stellwerk, 189

- Element Controller, 194
- Emergency Brake Deceleration, 235
- Emergency Brake Intervention, 235
- End of Authority, 232
- Endfeld, 201
- Entgleisung, 10
- Entgleisungsschuh, 76
- Entlassungsgeschwindigkeit
 - bei ETCS, 235
 - bei PZB 90, 217
- Entwurfsplanung, 260
- Ereignisbaum, 21
- Erlaubnisfeld, 201
- Erlaubniswechsel, 154
- Ersatzschutz, 129, 314
- Ersatzsignal, 103
 - Planung, 293
- ESTW, 189
- ETCS-Level, 229
- Eurobalise, 226
- Euroloop, 227
- European Rail Traffic Management System, 225
- European Traffic Management Layer, 226
- European Train Control System, 225
- European Vital Computer, 228

- F**
- Fahren im Raumabstand, 109
- Fahrsignalanlagen, 2
- Fahrstraße, 110, 114
 - feindlich, 116
 - Freimeldung, 131
 - Planung, 315
 - topologische Bestandteile, 118
- Fahrstraßenauflösung, 144
- Fahrstraßenausschluss
 - besonderer, 116, 125
 - einfacher, 116
- Fahrstraßenbildung, 119
 - Prinzipien, 119
- Fahrstraßenfestlegung, 116, 137
- Fahrstraßenhilfsauflösung, 146
- Fahrstraßenschubstange, 174
- Fahrstraßenverschluss, 116, 124
- Fahrstraßenzugschlussstelle, 116
- Fahrstraßenzulassungsprüfung, 119
 - im ESTW, 199
- Fahrtweg, 114

- Fahrzeugmagnet, 215
- Fail-safe, 18
- Fehler
 - systematischer, 18
 - zufälliger, 18
- Fehlerausschluss, 21
- Fehlerbaum, 21
- Fehlerrate
 - menschliche, 27
- Felderblock, 201
- Fernschutz, 131
- Festdatenbalise, 226
- Festlegeüberwachungsmelder, 199
- Flankenschutz, 116, 127
 - direkt wirkend, 117
 - indirekt wirkend, 117
 - mittelbar, 117
 - Planung, 308
 - unmittelbar, 117
- Flankenschutzraum, 117
- Flankenschutztafel, 310
- Flankenschutztransport, 128
- Flankenschutzverzicht, 129
 - Planung, 310
- Folgeabhängigkeit, 166
- Formsignal, 79, 94
- Führerraumsignalisierung, 210
- Full Supervision, 237

- G**
- Gabelmittelverschluss, 68
- Gefährdung, 21
- Gefährdungsausschluss, 21
- Gefährdungsbegrenzung, 21
- Gefahrpunktabstand, 150
 - Planung, 278
- Gefahrraum, 239
- Gegengleisanzeiger, 99
- Gegengleisfahrt-Ersatzsignal, 103, 293
- Gegengleissignalisierung, 98
 - Planung, 293
- Genehmigungsplanung, 260
- Geschwindigkeitssignalisierung, 92
 - Planung, 288
- Geschwindigkeitsüberwachung für
 - Neigetchnik, 222
- Geschwindigkeitsüberwachungseinrichtung, 220
- Gestufte Geschwindigkeitssignalisierung, 290

Gleichstromblockfeld, 178

Gleis

Bezeichnung, 268

Symbol, 268

Gleisbildstellwerk, 160

Gleisfreimeldeabschnitt

Bezeichnung, 297

Gleisfreimeldung, 118

Planung, 298

Gleismagnet, 215

Gleisnutzlänge, 281

Gleissperre, 75

Planung, 269

Gleissperrenschloss, 76, 165

Gleisstromkreis, 46

Gleiten, 133

Global System for Mobile Communication-
Railway, 226

Grenzlinie, 10

Grenzrisiko, 9

Grenzzeichen, 65

Grenzzeichenfreiheit, 131

Grünes Band, 199

Gruppensignal, 105

H

H/V-System, 93

Haftrelais, 32

Halbschranke, 243

Haltetafel, 267

Haltfallabschnitt, 142, 294

Handverschluss, 74

Hazard, 21

Hebelbankschloss, 165

Hebelstellwerk, 160

Herzstück, 63

Hilfsgleisfreimeldung, 131

HI-System, 96

HV 73, 75

I

INA-Berechnung, 320

Indusi, 214

Infill, 213

Innenverschluss, 66

Integrated European Signalling System, 226

Integritätsbereich, 256

Isolierplan, 307

Isolierstoß, 50

Isolierte Schiene, 55

K

Kabellinienleiter, 223

Kennbuchstabe, 263

Kennlicht, 104

Kennzahl, 263

Kipprelais, 31

Klammermittverschluss, 68

Klammerspitzenverschluss, 67

Klinkenverschluss, 68

Kommunikationsanzeige, 198

Kreuzung, 65

Planung, 269

Kreuzungsweiche, 64

Ks-System, 97

Kurzeinfahrt, 142

L

Lampenstromkreis, 85

Langeinfahrt, 142

LED-Optik, 84

Leittechnik, 249

Leit- und Sicherungstechnik, 1

Lenkplan, 252

Lenkziffer, 252

Lichtraum, 10

Lichtraumprofil, 10

Lichtsignal, 79

Limited Supervision, 230

Lineside Electronic Unit, 227

Linienzugbeeinflussung, 223

Löschabschnitt, 142

Lupenbild, 197

M

Maßgebende Gefahrstelle, 220

Mastschild, 100

Mechanisches Stellwerk, 170

Mehrfarbsignalgeber, 84

Mittverschluss, 68

Mittelweiche, 125

Most Restrictive Speed Profile, 233

Motorrelais, 33

Movement Authority, 232

N

Nachlaufverhinderung, 314

Nahbedienbereich, 147

Planung, 273

Neutrale Erlaubnis, 154
 Nichthaltfallschnitt, 143, 294

O

Ortsbezeichner, 263
 Ortungskomponente, 39

P

Permitted Speed, 234
 Pfeilsche Kurzschaltung, 34
 Planprüfung, 260
 Planteil, 260
 Platzierte Erlaubnis, 154
 Preindication, 234
 PZB 90, 214
 Planung, 317
 PZB 90-Standard, 318

Q

Qualifizierte Aufgabenstellung, 259

R

Radarscanner, 44
 Radio Block Centre, 227
 Rangierhalttafel, 274
 Rasmussen, 27
 Räumzeit, 247
 Redundanz, 21
 Regeln der Technik, 8
 Regelstellungsweiche, 135
 Regelvorsignalabstand, 284
 Reihenfolgeprüfung, 145
 Relais, 29
 Relaisblock, 202
 Relaisstellwerk, 185
 Release Speed, 235
 Restriktive Überwachung, 218
 Richtungsanzeiger, 98
 Planung, 291
 Richtungssignalisierung, 98
 Planung, 290
 Riegel, 70
 Riegelhandschloss, 74
 gekuppelt, 167
 Risiko, 7, 9
 Rückblock, 149
 Rückblockentsperrung, 152
 Rückfallweiche, 72
 Ruhestromprinzip, 47

S

Schiebebühne, 76
 Schienenlängswiderstand, 48
 Schienenteilungsplan, 307
 Schlagtaster, 71
 Schlosskombination, 167
 Schlüsselabhängigkeit, 163
 Schlüsselbrett, 168
 Schlüsselsperre, 166
 Planung, 269
 Schlüsselwerk, 167
 Schnellbremseinsatzgeschwindigkeit, 234
 Schnellbremsgeschwindigkeit, 235
 Schnittstellenebene, 191
 Schriftlicher Befehl, 101
 Schutzstrecke, 319
 Schutzwürdige Ziele, 6
 Security Gateway, 256
 Security Translator, 257
 Sehpunkt, 240
 Selbstblock, 204
 Service Brake Deceleration, 235
 Service Brake Intervention, 234
 Sicherheit, 9
 aktive, 7
 passive, 7
 Sicherheitsabstand, 285
 Sicherungsebene, 192
 Sicherungstechnik, 1
 Sicherungstechnischer Lageplan, 265
 Sichtdreieck, 242
 Sichtpunkt, 241
 Signal
 Bezeichnung, 273
 dynamisches, 79
 Fahrzeug-, 78
 Führerraum-, 78
 ortsfestes, 78
 statisches, 79
 Signalabhängigkeit, 115
 Signalausleger, 80
 Signalbegriff
 logischer, 79
 nominaler, 79
 Planung, 288
 Signalbild, 79
 Signalbrücke, 80
 Signalfolgeabstand, 284
 Signalfreigabe, 139

Signalhaltstellung, 142
 Planung, 294
Signalhebelschloss, 165
Signalisierung
 Einabschnitts-, 91
 Mehrabschnitts-, 91
Signalmissachtung, 133
Signaloptik, 82
Signalrelais, 29
Signalsebststellbetrieb, 138
Signalsichtbarkeit, 83
 Planung, 285
Signalstandort
 längs zum Gleis, 277
 quer zum Gleis, 275
Signaltafel, 295
Signaltechnik, 1
Signalverschluss, 149
Spannwerk, 172
Specific Transmission Module, 228
Spitzenverschluss, 67
Spurplanprinzip, 121
Stand der Technik, 8
Stand von Wissenschaft und Technik, 8
Static Speed Profile, 233
Stellebene, 192
Stellentfernung, 192
Strecken von Zügen, 129
Streckschutz, 130
Streuscheibe, 82
Stumpfgleiseinfahrt, 99, 292
Stumpfgleis- und Frühhaltanzeiger, 99
 Planung, 291
Stützrelais, 31
Supervised Location, 232
S-Verbinder, 51

T
Tabellarisches Prinzip, 119
Teilfahrstraße, 118
Teilfahrstraßenknoten, 299
Tonfrequenz-Gleisstromkreis, 52
Topologisches Prinzip, 121
Tor, 77
Torwirkung, 287
Trägerfrequenzblock, 203
Tragweite, 82
Transparentdatenbalise, 226

U
Überwachungssignal, 245
Umlaufsperrung, 242

V
Verbremser, 133
Verfügbarkeits-Sicherheits-Diagramm, 19
Verhalten
 fertigkeitensbasiert, 27
 regelbasiert, 28
 wissensbasiert, 28
Verkürzter Bremswegabstand, 140
Verschlussplan, 119
Verschlussstück, 174
Vierdraht-Weichenschaltung, 73
Vollabschluss, 243
Vorblick, 149
Vorsichtssignal, 103
 Planung, 293
Vorsignalabstand, 90
Vorsignalerholer, 91
 Planung, 286
Vorsorgliche Umstellung, 312
Vorwarngeschwindigkeit, 234
Vorzugsausfallrichtung, 25

W
Wahl-Durchrutschweg, 136
Warning, 234
Wechselstromblockfeld, 176
Wehrkammertor, 77
Weiche, 63
 elektrisch fernbedient, 73
 elektrisch ortsbedient, 70
 mechanisch fernbedient, 72
 mechanisch ortsbedient, 70
 Planung, 269
Weichenbereichsregel, 92
Weichenlagemelder, 70
Weichenlaufkette, 124
Weichenschloss, 75
Weichenselbstlauf, 123
Wiederholungssperre, 151

Z
Zählfehler, 54
Zentralblock, 205
Zielfestlegemelder, 200
Zielgleis, 118

- Zugbeeinflussung, 207
- Zugführerschlüssel, 169
- Zuglaufverfolgung, 251
- Zuglaufverfolgungsbuss, 257
- Zuglenker, 255
- Zuglenkung, 252
- Zugnummernmeldeanlage, 251
- Zugnummernmeldung, 250
- Zugschlussignal, 43
- Zugsicherung, 2
- Zugstraßentabelle, 316
- Zungenprüfer, 68
- Zungenprüfkontakt, 69
 - Planung, 270
- Zungenriegel, 70
- Zungensperre, 75
- Zusammenprall, 10
- Zusammenstoß, 10
- Zusatzanzeiger, 80
- Zusatzlicht, 90
- Zwangsbremseinsatzgeschwindigkeit, 235
- Zwangsbremsgeschwindigkeit, 235
- Zwangsführung, 30
- Zweifadenlampe, 89
- Zwieschutzweiche, 128
 - Planung, 313
- Zwieschutzweichentabelle, 313
- Zwischensignal, 105