

# Bahnsicherungs- technik

Steuern, Sichern und Überwachen von  
Fahrwegen und Fahrgeschwindigkeiten  
im Schienenverkehr

Von

Wolfgang Fenner  
Peter Naumann  
Jochen Trinckauf

Publicis Corporate Publishing

---

# Inhaltsverzeichnis

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

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

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

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

---

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

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