

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Motivation und Hintergrund</b> .....	1
1.1 Entwicklung urbaner Mobilität .....	2
1.2 Vorteile automatisierter Schienenverkehrssysteme .....	5
Literatur .....	9
<b>2 Systemkomponenten und Umsysteme automatischer Zugbeeinflussungssysteme</b> .....	11
2.1 Systemkomponenten automatischer Zugbeeinflussungssysteme .....	12
2.1.1 Streckenseitige Ausrüstung (ATP Wayside) .....	13
2.1.2 Fahrzeugseitige Ausrüstung (ATP onboard und ATO onboard) .....	17
2.1.3 Datenkommunikationssystem .....	18
2.1.4 Zugleitsystem (Automatic train Supervision, ATS) .....	23
2.2 Umsysteme automatischer Zugbeeinflussungssysteme .....	27
Literatur .....	35
<b>3 Automatisierungsgrade automatischer Zugbeeinflussungssysteme</b> .....	37
3.1 Grade of Automation 0: Zugbetrieb auf Sicht .....	40
3.2 Grade of Automation 1: Nicht automatisierter Zugbetrieb .....	40
3.3 Grade of Automation 2: Halbautomatischer Zugbetrieb .....	41
3.4 Grade of Automation 3: Begleiteter fahrerloser Zugbetrieb .....	41
3.5 Grade of Automation 4: Unbegleiteter fahrerloser Zugbetrieb .....	42
Literatur .....	42
<b>4 Betriebsarten und Betriebsartenübergänge im automatisierten Betrieb</b> .....	43
4.1 Betriebsarten im Überblick .....	44
4.1.1 Betriebsarten für den Regelbetrieb .....	45
4.1.2 Betriebsarten für Gefahren- und Störzustände .....	46
4.1.3 Betriebsarten für Ausschaltzustände .....	48
4.1.4 Betriebsarten für Fahrten auf nicht mit CBTC ausgerüsteten Bestandsstrecken .....	49

---

4.2	Betriebsartenübergänge in halbautomatischen betriebenen Systemen . . . . .	50
4.2.1	Wechsel zwischen Restricted Mode und Supervised Manual Mode . . . . .	50
4.2.2	Wechsel zwischen Supervised Manual Mode und Automatic Mode . . . . .	52
4.2.3	Wechsel zwischen Automatic Mode und Full Automatic Mode bei Kehrfahrten . . . . .	53
4.2.4	Wechsel zwischen Automatic Mode und Full Automatic Mode im Betriebshof . . . . .	55
4.2.5	Wechsel zwischen Automatic Mode und Restricted Mode bei Störungen . . . . .	56
4.3	Betriebsartenübergänge in unbegleitet fahrerlos betriebenen Systemen . . . . .	58
4.3.1	Wechsel zwischen Ausschaltzuständen und unbegleitetem fahrerlosen Betrieb . . . . .	58
4.3.2	Wechsel zwischen Gefahr- und Störzuständen und unbegleitetem fahrerlosen Betrieb . . . . .	59
	Literatur. . . . .	59
<b>5</b>	<b>Hauptfunktionen automatischer Zugbeeinflussungssysteme . . . . .</b>	<b>61</b>
5.1	Hauptfunktion Sichern der Zugbewegung . . . . .	62
5.1.1	Oberfunktion Sichern des Fahrwegs . . . . .	62
5.1.2	Oberfunktion Sichern der Abstandshaltung . . . . .	65
5.1.3	Oberfunktion Sichern der Geschwindigkeit und Richtung . . . . .	66
5.2	Hauptfunktion Fahren des Fahrzeugs . . . . .	76
5.2.1	Oberfunktion Bestimmen des Fahrprofils . . . . .	76
5.2.2	Oberfunktion Steuern der Züge in Abhängigkeit des Fahrprofils . . . . .	79
5.3	Hauptfunktion Überwachen der Profilfreiheit . . . . .	85
5.3.1	Oberfunktion Verhinderung der Kollision mit Objekten . . . . .	85
5.3.2	Oberfunktion Verhinderung der Kollision mit Personen im Gleis . . . . .	86
5.4	Hauptfunktion Überwachen des Fahrgastwechsels . . . . .	89
5.4.1	Oberfunktion Steuern und Überwachen der Türfreigabe . . . . .	89
5.4.2	Oberfunktion Verhindern der Verletzung von Personen zwischen Fahrzeugen . . . . .	90
5.4.3	Oberfunktion Sichern der Bahnsteigkante . . . . .	90
5.4.4	Oberfunktion Sicherstellen der Abfertigungsbedingungen . . . . .	98
5.5	Hauptfunktion Automatischer Zugbetrieb . . . . .	100
5.5.1	Oberfunktion Einsetzen und Aussetzen von Fahrzeugen . . . . .	100
5.5.2	Oberfunktion Betreiben eines Fahrzeugs zwischen betrieblichen Halten . . . . .	101
5.5.3	Oberfunktion Überwachung des Fahrzeugzustands . . . . .	103

---

5.6	Hauptfunktion Störfallerkennung und Störfallmanagement . . . . .	105
5.6.1	Oberfunktion Fahrgastalarmmeldungen . . . . .	105
5.6.2	Oberfunktion Brandmeldung . . . . .	108
5.6.3	Oberfunktion Evakuierung . . . . .	111
5.6.4	Oberfunktion Hinderniserkennung . . . . .	114
5.6.5	Oberfunktion Entgleisungserkennung . . . . .	115
Literatur . . . . .		115
<b>6</b>	<b>Verlässlichkeit automatischer Zugbeeinflussungssysteme . . . . .</b>	<b>117</b>
6.1	Sicherheit . . . . .	118
6.1.1	Funktionale Sicherheit (Safety) . . . . .	118
6.1.2	Angriffssicherheit (Security) . . . . .	124
6.2	Verfügbarkeit (Availability) . . . . .	125
6.2.1	Optimierung der Instandhaltbarkeit (Maintainability) zur Steigerung der Verfügbarkeit . . . . .	126
6.2.2	Erhöhung der Zuverlässigkeit (Reliability) zur Steigerung der Verfügbarkeit . . . . .	128
6.2.3	Fehlertolerante Systeme zur Steigerung der Verfügbarkeit . . . . .	129
Literatur . . . . .		130
<b>7</b>	<b>Abwägung von Kosten und Nutzen automatischer Zugbeeinflussungssysteme . . . . .</b>	<b>133</b>
7.1	Ermittlung der Kostenkomponente mittels Lebenszykluskostenrechnung . . . . .	134
7.1.1	Elemente der Lebenszykluskosten . . . . .	134
7.1.2	Berechnung der Lebenszykluskosten . . . . .	136
7.1.3	Ergebnisse der Analyse der Lebenszykluskosten . . . . .	137
7.2	Ermittlung der Nutzenkomponente mit Betriebssimulationen und Verkehrsmodellen . . . . .	138
7.2.1	Simulative Untersuchung der Leistungsfähigkeit signaltechnischer Ausrüstungsvarianten . . . . .	138
7.2.2	Nutzung der höheren Leistungsfähigkeit für Anpassungen im ÖPNV-Angebot . . . . .	142
7.2.3	Bewertung des verkehrlichen Nutzens von Anpassungen im ÖPNV-Angebot . . . . .	143
Literatur . . . . .		144
<b>8</b>	<b>Umbau, Test und Inbetriebnahme automatischer Zugbeeinflussungssysteme . . . . .</b>	<b>147</b>
8.1	Definition der Migrationsstrategie . . . . .	148
8.1.1	Doppelausrüstung der Fahrzeuge . . . . .	150
8.1.2	Doppelausrüstung der Streckeneinrichtungen . . . . .	151

8.2	Anwendungsspezifische Konfiguration automatischer Zugbeeinflussungssysteme . . . . .	153
8.2.1	Kategorien streckenspezifischer Konfigurationsdaten . . . . .	153
8.2.2	Kategorien fahrzeugspezifischer Konfigurationsdaten . . . . .	154
8.2.3	Qualitätsmerkmale von Konfigurationsdaten . . . . .	154
8.2.4	Qualitätssichernde Prozesse für Konfigurationsdaten . . . . .	155
8.2.5	Erfassung streckenspezifischer Konfigurationsdaten . . . . .	156
8.3	Umrüstung der Fahrzeuge mit CBTC-Fahrzeugausrüstung . . . . .	156
8.3.1	Definition betrieblicher Anwendungsfälle . . . . .	157
8.3.2	Definition Mechanische Integration des CBTC-Fahrzeuggeräts . . . . .	157
8.3.3	Elektrische Integration des CBTC-Fahrzeuggeräts . . . . .	159
8.4	Umrüstung der Strecke mit CBTC-Streckenausrüstung . . . . .	160
8.5	Definition der Teststrategie und Testdurchführung . . . . .	162
8.5.1	Umwelttests . . . . .	162
8.5.2	Fabriktests . . . . .	163
8.5.3	Fahrzeugtests . . . . .	164
8.5.4	Testgleis im Betriebshof . . . . .	165
8.5.5	Inbetriebnahmetests der Streckeneinrichtung . . . . .	166
8.6	Anpassung betrieblicher Regelwerke für den automatisierten Betrieb . . . . .	169
8.6.1	Prinzipien der Regelwerksanpassungen in Erneuerungsprojekten . . . . .	169
8.6.2	Ablauf der Regelwerkserstellung im Erneuerungsprojekt . . . . .	171
8.6.3	Rollen und Verantwortlichkeiten der Regelwerkserstellung im Erneuerungsprojekt . . . . .	172
8.7	Schulung des Betriebspersonals . . . . .	174
8.7.1	Schulungen der Fahrer . . . . .	174
8.7.2	Schulungen der Fahrdienstleiter . . . . .	175
8.7.3	Schulungen des Instandhaltungspersonals . . . . .	176
	Literatur . . . . .	177
<b>9</b>	<b>Perspektiven und zukünftige Herausforderungen . . . . .</b>	<b>179</b>
9.1	Entwicklung der installierten Basis . . . . .	180
9.2	Standardisierung von Systemlösungen . . . . .	180
9.3	Integration der Straßenverkehrstechnik in Stadtbahnssystemen . . . . .	181
9.4	Alternative Funktionsaufteilung zwischen Fahrzeug und Strecke . . . . .	183
9.4.1	Zentralisierung sicherheitsrelevanter Anwendungen in Rechenzentren . . . . .	183
9.4.2	Fahrzeugzentrierte Funktionsallokation . . . . .	184
	Literatur . . . . .	185
	<b>Stichwortverzeichnis . . . . .</b>	<b>187</b>