

Inhalt

Abbildungen.....	V
Tabellen.....	XI
Abkürzungen.....	XIII
Formeln.....	XVII
1 Einleitung.....	1
2 Betriebskonzept für bedarfsgesteuerte, schienengebundene Shuttle-Einheiten.....	5
2.1 Logistische Einordnung und Dekomposition eines schienengebundenen Shuttle-Systems.....	6
2.2 Systemtechnische Einordnung eines spurgeführten Systems und Datenmanagement in verteilten Systemen.....	12
2.3 Prozess-Analyse von Betriebskonzepten und Baukastensysteme zur Simulation.....	16
2.4 Fazit.....	26
3 Stand der Technik.....	29
3.1 Modularer Aufbau existierender Transportsysteme.....	29
3.1.1 Heutige Schienenverkehrssysteme.....	29
3.1.2 Module automatischer U-Bahnen, People Mover und CargoMover.....	34
3.1.3 Module eigenständig navigierender Systeme.....	37
3.1.4 Autonomes Fahren im Strassenverkehr.....	40
3.1.5 Zusätzliche Funktionsmodule zur Unterstützung einer vollautomatischen Fahrt.....	41
3.2 Datenverwaltung in Transportsystemen.....	43
3.2.1 Zentrale Verkehrsleitung durch Stellwerke.....	43
3.2.2 Dezentrale Auftragsverwaltung in Transportsystemen.....	56
3.2.3 Streckenmodellierung.....	57
3.2.4 Infrastruktur zur Kommunikation.....	59
3.2.5 Daten der Lagerverwaltung.....	62
3.3 Prozesse zur Durchführung des Transports.....	63
3.3.1 Steuerung und Zustandsüberwachung von Fahrzeugen.....	63
3.3.2 Navigation und Zielsteuerung.....	65
3.3.3 Zielsteuerung und Sicherung der Fahrt.....	72
3.3.4 Konvoibildung und -auflösung.....	75

3.3.5	Fahrgastwechsel an Stationen	81
3.3.6	Lagern nicht benötigter Fahrzeuge in Depots	82
3.3.7	Simulatoren für den Schienenverkehr	85
3.3.8	Störfallmanagement	86
3.4	Fazit	89
4	Konzeption des Betriebskonzepts	93
4.1	Elemente des Shuttle-Systems	93
4.1.1	Fahrzeuge	94
4.1.2	Streckenelemente	96
4.1.3	Stationen.....	97
4.1.4	Depots.....	99
4.1.5	Kommunikation.....	100
4.2	Datenmodelle der Systemkomponenten.....	101
4.2.1	Fahrzeug.....	101
4.2.2	Gleisbereichs- und Streckenabbildung.....	107
4.2.3	Stationen.....	111
4.2.4	Depots.....	115
4.2.5	Erforderliche Kommunikationsbeziehungen.....	116
4.3	Funktionale Beschreibung der Systemkomponenten.....	120
4.3.1	Prozesse der Fahrzeugsteuerung	120
4.3.2	Aktive Streckenelemente.....	139
4.3.3	Stationssteuerung und Koordination von Fahrzeugen in Stationen.....	143
4.3.4	Verhalten in Depots.....	154
4.3.5	Störfallmanagement	161
5	Prototypische Realisierung und Simulation ausgewählter Elemente	171
5.1	Baukastenmodule und Informationsflüsse in der Simulationsumgebung.....	171
5.1.1	Fahrzeug.....	172
5.1.2	Gleisbereichs- und Streckenmodellierung	174
5.1.3	Bahnhof.....	177
5.1.4	Kommunikationsmodul.....	179
5.2	Modellierung und Simulation der Prozesse	182

5.2.1	Fahrt vorbereiten.....	182
5.2.2	Fahren und Konvoibildung.....	184
5.2.3	Bahnhof.....	194
5.2.4	Störfallmanagement	196
6	Zusammenfassung und Ausblick	199
	Literatur	201
	Anhang A: Prozesse im Störfallmanagement	213
	Anhang B: Entscheidungen zur Konvoibildung.....	241
	Anhang C: Depotverwaltung.....	245
	Anhang D: Notationen in Statecharts.....	253
	Anhang E: Auszüge aus der Simulation.....	255

Abbildungen

Abbildung 1: Einordnung Transport, Verkehr und Logistik.....	7
Abbildung 2: Externe Einflüsse auf ein Verkehrssystem.....	11
Abbildung 3: Zusammenhang zwischen System und Systemelementen.....	12
Abbildung 4: Einordnung der Verkehrstelematik	16
Abbildung 5: Ebenenmodell der Prozessleittechnik	18
Abbildung 6: Planungsebenen einer Organisation.....	19
Abbildung 7: Strukturierung der Aufgaben im klassischen Bahnverkehr	20
Abbildung 8: Komponenten des FunkFahrBetrieb	32
Abbildung 9: Automatischer Fahrerloser U-Bahn-Betrieb	36
Abbildung 10: Komponenten eines Fahrtzyklus	39
Abbildung 11: Realisierung der starren Weiche beim Autosshuttle-Konzept.....	42
Abbildung 12: Abstandshaltetechniken	44
Abbildung 13: Bedingung für das Fahren im festen Raumabstand	45
Abbildung 14: Prinzip der Vorsignalisierung	46
Abbildung 15: Weg-Zeit-Diagramm	49
Abbildung 16: Eingleisige Strecke mit zweigleisigen Bahnhöfen.....	50
Abbildung 17: Funktionales Abbild eines Offline-Bahnhofs	52
Abbildung 18: Einfacher Offline-Bahnhof.....	52
Abbildung 19: Varianten beim Fahrgastwechsel	54
Abbildung 20: Heutige Kopfbahnhöfe	54
Abbildung 21: Abbildung von Knoten, Kanten und Formpunkten.....	59
Abbildung 22: EURORADIO-Protokollarchitektur	60
Abbildung 23: Differenzial GPS	68
Abbildung 24: Drei Varianten der Konvoibildung	76
Abbildung 25: Zeitliche Betrachtung der Konvoibildung.....	78
Abbildung 26: Stationsprinzip beim Autosshuttle-System.....	79
Abbildung 27: Stationsüberwachung bei automatischen U-Bahnssystemen.....	81
Abbildung 28: Realisierung der Stationsüberwachung bei der U-Bahn Berlin	82
Abbildung 29: Funktionen des Störungsmanagements	87
Abbildung 30: Stufenweise Reduktion des Gesamtrisikos	88

Abbildung 31: Die Vorgehensweise bei der Sicherheitsanalyse.....	89
Abbildung 32: Zustandsüberwachung des Fahrzeugs	95
Abbildung 33: Struktur eines Shuttles	96
Abbildung 34: Struktur der Weichensteuerung.....	96
Abbildung 35: Struktur der Bahnübergangssteuerung.....	97
Abbildung 36: Aufbau der Bahnhofsteuerung.....	99
Abbildung 37: Aufbau eines Depots	100
Abbildung 38: Zweigleisiges Hauptstreckennetz.....	107
Abbildung 39: Verwaltung der Streckenabschnitte	108
Abbildung 40: Funktion eines Sicherheitsabschnitts	109
Abbildung 41: Zustände der Fahrzeugsteuerung	121
Abbildung 42: Fahrprozess	124
Abbildung 43: Stellbefehl an einen Bahnübergang und Antwort.....	125
Abbildung 44: Annäherung eines Fahrzeugs an einen Bahnübergang	125
Abbildung 45: Bahnübergangs-Überwachung im Fahrzeug.....	126
Abbildung 46: Aufteilung der Strecke	127
Abbildung 47: Kommunikation während der Konvoibildung	129
Abbildung 48: Konvoi-Koordination in der Shuttle-Steuerung.....	131
Abbildung 49: Abstandsüberwachung im Shuttle nach einer Konvoibildung.....	132
Abbildung 50: Drei Varianten der Konvoitrennung	133
Abbildung 51: Koordination der Konvoitrennung.....	134
Abbildung 52: Prozess der Konvoitrennung aus Sicht eines der Shuttle	136
Abbildung 53: Fahrzeug an einen Bahnhof annähern.....	137
Abbildung 54: Bearbeitung von speziellen Fahraufträgen.....	138
Abbildung 55: Um- und Auslagerung der Shuttle	138
Abbildung 56: Übergänge aus dem State „Fahren“	139
Abbildung 57: Speichern sich anmeldender Shuttle an einer Weiche	141
Abbildung 58: Koordination der Konvoibildung aus Sicht der Weichensteuerung.....	141
Abbildung 59: Prozess innerhalb eines Bahnübergangs	143
Abbildung 60: Weg-Zeit-Diagramm bei eingleisige Strecke mit zweigleisigen Bahnhöfen.	144
Abbildung 61: Bahnhofslayout mit zwei Gleisen pro Bahnhof.....	144

Abbildung 62: Weg-Zeit-Diagramm bei zweigleisiger Strecke.....	145
Abbildung 63: Drei Gleise im Bahnhofsbereich.....	145
Abbildung 64: Optimales Bahnhofskonzept.....	146
Abbildung 65: Umkonfigurieren von Kopfbahnhof.....	146
Abbildung 66: Buchungsprozess.....	149
Abbildung 67: Einfahrt eines Shuttles in einen Bahnhof.....	150
Abbildung 68: Ankunft eines Shuttles aus Sicht der Station.....	151
Abbildung 69: Festlegen des Bahnsteigs bei der Einfahrt.....	152
Abbildung 70: Shuttle-Ausfahrt aus der Sicht des Bahnhofs.....	153
Abbildung 71: Abfahrt aus einem Bahnhof.....	153
Abbildung 72: Schematische Darstellung der Identifikationspunkte.....	154
Abbildung 73: Zustandsmodell im Depotkonzept.....	155
Abbildung 74: Kommunikationsmodell bei Einlagerung.....	156
Abbildung 75: Ablaufplan einer Einlagerungsanfrage.....	157
Abbildung 76: Einlagerungsfahrt aus Depotsicht.....	158
Abbildung 77: Umlagerungsfahrt aus Depotsicht.....	159
Abbildung 78: Kommunikationsmodell bei Auslagerung.....	160
Abbildung 79: Auslagerungsfahrt aus Depotsicht.....	161
Abbildung 80: Überblick Simulationsumgebung.....	172
Abbildung 81: Module des Shuttles.....	173
Abbildung 82: Modell der Shuttle-Sensoren.....	174
Abbildung 83: Modell des Bahnübergangs.....	177
Abbildung 84: Bahnhofmodell.....	178
Abbildung 85: Modellierung des Kundenverhaltens.....	179
Abbildung 86: Realisierung Kommunikationsmodul.....	180
Abbildung 87: Telegramme versenden.....	181
Abbildung 88: Telegramm empfangen und auspacken.....	181
Abbildung 89: Ablauf zum Laden des Streckenatlases.....	182
Abbildung 90: Panel zur Fahrauftrags-Generierung.....	183
Abbildung 91: Funktionaler Ablauf „Fahrauftrag generieren“.....	184
Abbildung 92: Antriebssteuerung.....	185

Abbildung 93: Zustandsautomat des Odometer	186
Abbildung 94: Prozess der Standard-Fahrt	187
Abbildung 95: Aktualisieren der Streckendaten	187
Abbildung 96: Fahrentscheidung Folgestrecke.....	188
Abbildung 97: Abbremsen auf einen definierten Zielpunkt	189
Abbildung 98: Oberfläche zur Simulation des Fahrzeugverhaltens	190
Abbildung 99: Bahnübergänge ansteuern und überwachen.....	191
Abbildung 100: Antwortpunkte empfangen.....	192
Abbildung 101: Antwortpunkte überwachen.....	193
Abbildung 102: Bahnübergang nicht geschlossen.....	194
Abbildung 103: Simulation eines Buchungsprozesses innerhalb der Bahnhofsverwaltung..	195
Abbildung 104: Simulation des Kundenverhaltens	195
Abbildung 105: Modell der Sensoren	196
Abbildung 106: Auslösen der Sensoren und Zustandsüberwachung.....	197
Abbildung 107: Entgleisungsmanager	197
Abbildung 108: Brand im Shuttle I.....	217
Abbildung 109: Brand im Shuttle II.....	218
Abbildung 110: Entgleisung des Shuttle I.....	219
Abbildung 111: Entgleisung des Shuttle II	220
Abbildung 112: Berührungs- und Abstandserkennung I.....	221
Abbildung 113: Berührungs- und Abstandserkennung II	222
Abbildung 114: Notbremsung I.....	223
Abbildung 115: Notbremsung II.....	224
Abbildung 116: Ausfall der Shuttle-Steuerung I.....	225
Abbildung 117: Ausfall der Shuttle-Steuerung II	226
Abbildung 118: Ausfall der Shuttle-Sicherung I.....	226
Abbildung 119: Ausfall der Shuttle-Sicherung II	227
Abbildung 120: Ausfall der Kommunikation mit Dispositionssystem.....	228
Abbildung 121: Ausfall der Kommunikation zu anderen Shuttle.....	229
Abbildung 122: Ausfall der Weg- und Geschwindigkeitserfassung.....	230
Abbildung 123: Ausfall der Abstandserfassung.....	231

Abbildung 124: Ausfall der Brandmeldeeinrichtung.....	232
Abbildung 125: Ausfall der Entgleisungsüberwachung.....	233
Abbildung 126: Ausfall der Berührungserkennung	234
Abbildung 127: Feuer in Station.....	235
Abbildung 128: Defekte an Schienen.....	236
Abbildung 129: Ausfall von Bahnübergängen I	237
Abbildung 130: Ausfall von Bahnübergängen II	237
Abbildung 131: Ausfall des globalen Ortungssystems	238
Abbildung 132: Ausfall des Informationsdienstes, Buchungs- oder Dispositionssystems	239
Abbildung 133: Lifo-Modul 1	245
Abbildung 134: Mehrbereichs-Lifo-Modul 2	245
Abbildung 135: Mehrbereichs-Lifo-Modul 3	246
Abbildung 136: Fifo-Modul 1	247
Abbildung 137: Wahlfreies Modul 1	247
Abbildung 138: Wahlfreies Modul 2	247
Abbildung 139: Instandhaltungsmodul 01	249
Abbildung 140: Instandhaltungsmodul 02	250
Abbildung 141: Instandhaltungsmodul 03	250
Abbildung 142: Notation bei Statecharts	253
Abbildung 143: Bahnhofsausfahrt	255
Abbildung 144: Bahnübergang auf Strecke 2 und auf Strecke 5	256
Abbildung 145: Fahrt auf dem letzten Streckenabschnitt	257
Abbildung 146: Einfahrt in den Bahnhof.....	258
Abbildung 147: Bearbeitung von Spezialaufträgen (Bahnhofs-/Depotausfahrt)	259
Abbildung 148: Reaktionen von Bahnübergängen.....	260

Tabellen

Tabelle 1: Einordnung der Komponenten des Shuttle-Systems.....	10
Tabelle 2: Aufbau des vierten Kapitels.....	93
Tabelle 3: Shuttlestammdaten eines Shuttles.....	102
Tabelle 4: Stundenplan eines Shuttles.....	102
Tabelle 5: Durchführungsdaten.....	103
Tabelle 6: Echtzeitdatenhaltung für den Fahrbetrieb des Shuttles.....	104
Tabelle 7: Konvoibildungsdaten.....	104
Tabelle 8: Konvoidaten.....	105
Tabelle 9: Streckendaten für Shuttle.....	105
Tabelle 10: Fahrauftragsdaten eines Shuttles.....	106
Tabelle 11: Belegungsplan für eine Weiche.....	110
Tabelle 12: Belegungsplan für einen Bahnübergang.....	111
Tabelle 13: Kundendaten.....	112
Tabelle 14: Belegungsplan einer Haltebucht eines Bahnhofs.....	113
Tabelle 15: Auftragsverwaltung.....	114
Tabelle 16: Belegung der Bahnsteigplätze.....	114
Tabelle 17: Auftragsdaten im Depot.....	116
Tabelle 18: Datenaustausch zwischen den Elementen.....	117
Tabelle 19: Daten des Telegrammkopfes.....	118
Tabelle 20: Telegrammstruktur der Telegramminhalte.....	120
Tabelle 21: Daten eines Streckenelements im Streckenatlas.....	175
Tabelle 22: Daten eines Referenzpunktes im Streckenatlas.....	175
Tabelle 23: Daten eines Bahnübergangs im Streckenatlas.....	176
Tabelle 24: Daten einer Weiche im Streckenatlas.....	176
Tabelle 25: Technische Störungen im Shuttle.....	213
Tabelle 26: Mögliche Systemausfälle an Shuttle.....	214
Tabelle 27: Automatisch behebbare Störungen.....	215
Tabelle 28: Manuell behebbare Störungen.....	215
Tabelle 29:Zusammenspiel: Nummerierung von Störfällen.....	215
Tabelle 30: Zusammenspiel von Störfällen: Analyseergebnis.....	216

Tabelle 31: Entscheidungstabelle Konvoibildung.....	243
---	-----