

Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	V
Inhaltsverzeichnis	VII
Abbildungsverzeichnis	X
Tabellenverzeichnis.....	XIII
Symbolverzeichnis	XIV
1 Einleitung.....	1
2 Grundlagen der Simulation	7
2.1 Einführung in die Simulation.....	7
2.1.1 Begriff der Simulation	7
2.1.2 Vorteile der Simulation.....	11
2.1.3 Nachteile der Simulation	13
2.1.4 Anwendungsbereiche der Simulation	14
2.2 Stufen einer Simulationsstudie	16
2.2.1 Problem- und Zielabgrenzung	17
2.2.2 Konzeptionelle Modellbildung	18
2.2.3 Datenmodellierung.....	20
2.2.4 Implementierung	26
2.2.5 Verifizierung und Validierung.....	29
2.2.6 Durchführung.....	32
2.2.7 Interpretation und Umsetzung	34
3 Darstellung des Simulationsmodells.....	37
3.1 Anforderungen an das Simulationsmodell.....	37
3.1.1 Aufgabenbereich des Güterwagenmanagements	38
3.1.2 Stellhebel des Güterwagenmanagements.....	40
3.1.3 Kennzahlen des Güterwagenmanagements	43
3.2 Detailgrad des Simulationsmodells.....	49
3.2.1 Abbildungsebene der Güterwagen.....	49
3.2.2 Abbildungsebene der Infrastruktur	51
3.2.3 Abbildungsebene der Traktion.....	53
3.2.4 Abbildungsebene der Prozesse	54

3.3	Beschreibung des Simulationsmodells	56
3.3.1	Beschreibung der Modellblöcke der Simulation	56
3.3.1.1	Allgemeine Zusammenhänge der Modellblöcke	57
3.3.1.2	Zentrale Modellblöcke: Erstellung und Disposition.....	58
3.3.1.3	Lokale Modellblöcke: Knotenbereich	59
3.3.1.4	Verbindender Modellblock: Fernverkehr	63
3.3.2	Beschreibung des Güterwageneinsatzes	63
3.3.2.1	Beschreibung des Güterwageneinsatzes im Allgemeinen .	64
3.3.2.2	Beschreibung des Güterwageneinsatzes im Einzelwagen- verkehr	65
3.3.2.3	Beschreibung des Güterwageneinsatzes im Ganzzug- verkehr	67
3.3.3	Beschreibung der Eingabedaten.....	67
3.3.3.1	Verfahren zur Parameterschätzung.....	68
3.3.3.2	Verfahren zur Datenabgrenzung.....	75
3.3.3.3	Eingabedaten: Überblick	76
3.3.3.4	Eingabedaten: Feste Werte	77
3.3.3.5	Eingabedaten: Wahrscheinlichkeiten.....	80
3.3.3.6	Eingabedaten: Verteilungsfunktionen	82
3.3.4	Beschreibung der Ausgabedaten.....	89
3.4	Ablauf von Simulationsexperimenten.....	90
3.4.1	Anfangszustand.....	91
3.4.2	Durchführungsplanung	91
3.4.3	Validierung	93
4	Simulationsstudien	95
4.1	Konfiguration der Simulation	95
4.1.1	Eingrenzung der Nachfrage	96
4.1.2	Warm-Up-Periodenlänge	100
4.1.3	Lauflänge und Replikationsanzahl.....	103
4.2	Analyse der Flottengröße.....	107
4.2.1	Beschreibung der Studie	108
4.2.2	Ergebnisse der Studie.....	110
4.2.2.1	Einfluss auf die Qualität.....	110
4.2.2.2	Einfluss auf die Zeiten	115
4.2.2.3	Einfluss auf die Kosten	117

4.3	Analyse der Flottenspezialisierung	125
4.3.1	Beschreibung der Studie	125
4.3.2	Ergebnisse der Studie.....	127
4.3.2.1	Flottenspezialisierung von Bestandstyp A und B	127
4.3.2.2	Flottenspezialisierung von Bestandstyp F, G, H und J...130	
4.3.2.3	Fusionierte Bestandstypen I, II und III	133
4.4	Analyse der Flottennachfrage	140
4.4.1	Beschreibung der Studie	140
4.4.2	Ergebnisse der Studie.....	142
4.4.2.1	Einfluss auf die Qualität.....	142
4.4.2.2	Einfluss auf die Zeiten	145
4.4.2.3	Einfluss auf die Kosten	146
4.5	Analyse der Flottenzeiten.....	150
4.5.1	Beschreibung der Studie	151
4.5.2	Ergebnisse der Studie.....	153
4.5.2.1	Einfluss der gesamten Flottenzeit	153
4.5.2.2	Einfluss der Bestandteile der Flottenzeit	157
4.5.2.3	Beeinflussbarkeit der Bestandteile der Flottenzeit	161
4.5.2.4	Einfluss der Varianz der Flottenzeit.....	164
4.6	Analyse der Flottenlagerung	165
4.6.1	Beschreibung der Studie	165
4.6.2	Ergebnisse der Studie.....	168
4.6.2.1	Einfluss der Flottenlagerung auf die Kennzahlen.....	169
4.6.2.2	Ableitung von Potenzialen.....	171
5	Schlussbetrachtungen	175
	Literaturverzeichnis	179

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1:	Güterverkehrsvolumen nach Verkehrsträgern	2
Abb. 2.1:	Abgrenzung von Verifizierung und Validierung	31
Abb. 3.1:	Relevante Stellhebel und Kennzahlen.....	38
Abb. 3.2:	Visualisierung eines Knotenbereichs der Simulation	52
Abb. 3.3:	Visualisierung zweier Knotenbereiche der Simulation.....	53
Abb. 3.4:	Relevante Teilprozesse des Güterwageneinsatzes	55
Abb. 3.5:	Darstellung der Modellblöcke der Simulation	57
Abb. 3.6:	Jahresganglinie der Nachfrage je Monat für vier Bedarfstypen	78
Abb. 3.7:	Wahrscheinlichkeit eines Werkstattaufenthalts für 155 Bestandstypen	81
Abb. 3.8:	Inlands- versus Auslandswiederbelastungen je Bestandstyp.....	82
Abb. 3.9:	Abhängigkeit der Auslandsdauer vom Wochentag für 155 Bestandstypen	83
Abb. 3.10:	Abhängigkeit der Auslandsdauer vom Bestandstyp	84
Abb. 3.11:	Abhängigkeit der Beladungszeit vom Wochentag für 155 Bestandstypen	85
Abb. 3.12:	Abhängigkeit der Instandhaltungsdauern vom Bestandstyp für 155 Bestandstypen	88
Abb. 3.13:	Modellierung der Nachfrage in der Simulation	89
Abb. 4.1:	Wochen- versus Monatsschwankungen der Nachfrage	96
Abb. 4.2:	Drei Möglichkeiten der Nachfragemodellierung	99
Abb. 4.3:	Konfiguration der Warm-Up-Periode der Simulation	101
Abb. 4.4:	Konfidenzintervalle zur Replikationsanzahl versus Lauflänge	105
Abb. 4.5:	Simulationsaufwand versus Lauflänge	106
Abb. 4.6:	Konfidenzintervall für vier Kennzahlen in Abhängigkeit der Replikationsanzahl.....	107
Abb. 4.7:	Bedarfsdeckungsquote zur Flottengröße für Bestandstyp G	111

Abb. 4.8: Bedarfsdeckungsquote zur Flottengröße für weitere Bestandstypen.....	112
Abb. 4.9: Bedarfsdeckungsquote zum Auslastungsgrad für weitere Bestandstypen.....	113
Abb. 4.10: Bedarfsdeckungsquote zur Flottengröße bei optimierter Güterwagenanzahl.....	115
Abb. 4.11: Zeiten des Güterwagenumlaufs zur Flottengröße.....	116
Abb. 4.12: Kilometer und Flottengröße je Transport bei alternativen Flottengrößen.....	118
Abb. 4.13: Abstellzeit und Revisionen je Transport bei alternativen Flottengrößen.....	119
Abb. 4.14: Transport- und Güterwagenkosten bei alternativen Flottengrößen.....	121
Abb. 4.15: Transport- und Güterwagenkosten zur Bedarfsdeckungsquote.....	122
Abb. 4.16: Gesamt-, Straf-, Transport- und Güterwagenkosten bei alternativen Flottengrößen.....	123
Abb. 4.17: Umsatz, Deckungsbeitrag und Gesamtkosten bei alternativen Flottengrößen.....	124
Abb. 4.18: Bedarfsdeckungsquoten der Bestandstypen A und B bei unterschiedlicher Flottenspezialisierung.....	128
Abb. 4.19: Bedarfsdeckungsquoten der Bestandstypen F, G, H und J bei unterschiedlicher Flottenspezialisierung.....	131
Abb. 4.20: Bedarfsdeckungsquoten der Bestandstypen I, II und III bei unterschiedlicher Flottenspezialisierung.....	134
Abb. 4.21: Umlauf- und Abstellzeit der Bestandstypen I, II und III bei unterschiedlicher Flottenspezialisierung.....	135
Abb. 4.22: Güterwagen-, Transport- und Strafkosten der Bestandstypen I, II und III bei unterschiedlicher Flottenspezialisierung.....	136
Abb. 4.23: Deckungsbeitrag der Bestandstypen I, II und III bei unterschiedlicher Flottenspezialisierung.....	137
Abb. 4.24: Bedarfsdeckungsquote zur Flottennachfrage.....	142
Abb. 4.25: Bedarfsdeckungsquote zum Auslastungsgrad.....	144

Abb. 4.26: Bedarfsdeckungsquote zum Auslastungsgrad auf Basis der Flotten- nachfrage und -größe.....	145
Abb. 4.27: Zeiten des Güterwagenumlaufs zur Flottennachfrage	146
Abb. 4.28: Abstellzeit und Revisionen je Transport bei alternativen Flotten- nachfragen	148
Abb. 4.29: Gesamt-, Straf-, Transport- und Güterwagenkosten bei alternativen Flottennachfragen.....	149
Abb. 4.30: Deckungsbeitrag gesamt und je Transport bei alternativen Flotten- nachfragen	150
Abb. 4.31: Bedarfsdeckungsquote zu Flottenzeiten.....	154
Abb. 4.32: Umlaufzeit zu Flottenzeiten	155
Abb. 4.33: Kosten zu Flottenzeiten.....	156
Abb. 4.34: Illustration der Wechselwirkungen der Ladevorgänge	158
Abb. 4.35: Auswirkungsquoten der Ladevorgänge	159
Abb. 4.36: Ladezeiten je Ladevorgang zur produktiven Umlaufzeit und Flot- tengröße.....	160
Abb. 4.37: Kosten zur Beladungszeit je Beladungsvorgang.....	161
Abb. 4.38: Maßnahmen zur Reduktion der Ladezeiten	162
Abb. 4.39: Einfluss alternativer Varianzen auf die Kennzahlen.....	164
Abb. 4.40: Bedarfsdeckungsquote zum Vorlaufzeitenindex	172

Tabellenverzeichnis

Tab. 3.1:	Überblick über statistische Anpassungstests.....	70
Tab. 3.2:	Überblick über statistische Schätzmethoden.....	73
Tab. 3.3:	Überblick über die Eingabedaten der Simulation	76
Tab. 3.4:	Quadratische Abweichungen diverser Verteilungen bei der Modellierung der Auslandszeiten.....	84
Tab. 3.5:	Quadratische Abweichungen diverser Verteilungen bei der Modellierung der Beladungszeiten.....	86
Tab. 3.6:	Quadratische Abweichung diverser Verteilungen bei der Modellierung der Ent- und Wiederbeladungszeiten.....	87
Tab. 3.7:	Erfasste Treiber der Simulation mit Bezugspunkten	90
Tab. 4.1:	Auswirkungen der unterschiedlichen Nachfragemodellierung.....	99
Tab. 4.2:	Ergebnisse der Konfiguration der Warm-Up-Periode	102
Tab. 4.3:	Eckdaten der zehn untersuchten Bestandstypen	108
Tab. 4.4:	Kosten-/ Gewinnänderung der Bestandstypen A und B bei unterschiedlicher Flottenspezialisierung und 1.250 Güterwagen	129
Tab. 4.5:	Kosten-/ Gewinnänderung der Bestandstypen F, G, H und J bei unterschiedlicher Flottenspezialisierung und 2.000 Güterwagen	132
Tab. 4.6:	Aggregierte Kennzahlen der Bestandstypen I, II und III bei deckungsbeitragsoptimaler Flottengröße.....	138
Tab. 4.7:	Kosten-/ Gewinnänderung je Transport des Bestandstyps I bei alternativen Konzepten der Flottenlagerung.....	170