

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Umlaufplanung im öffentlichen Personennahverkehr</b>	<b>5</b>
2.1	Fahrzeugeinsatzplanung im Planungsprozess des ÖPNV . . . . .	5
2.2	Anwendungsfälle der Umlaufplanung . . . . .	9
2.2.1	Operative Planung . . . . .	10
2.2.2	Taktische Planung . . . . .	12
2.2.3	Strategische Planung . . . . .	13
2.2.4	Integrierte Planung . . . . .	13
2.3	Problemstellungen . . . . .	14
2.3.1	Fahrzeugumlaufplanung . . . . .	14
2.3.2	Fahrzeugumlaufplanung mit einem Depot . . . . .	16
2.3.3	Umlaufplanung mit mehreren Depots und Fahrzeugtypen .	17
2.3.4	Umlaufplanung mit Fahrzeugtypen . . . . .	18
2.3.5	Umlaufplanung mit Zeitfenstern . . . . .	20
2.3.6	Umlaufplanung mit Routenrestriktionen . . . . .	21
2.3.7	Weitere praxisrelevante Anforderungen . . . . .	22
<b>3</b>	<b>Grundlegende Optimierungstechniken</b>	<b>23</b>
3.1	Mathematische Optimierung . . . . .	23
3.2	Column Generation . . . . .	28
3.3	Lagrange Relaxation . . . . .	31
3.4	Meta-Heuristiken . . . . .	33
3.4.1	Lokale Suchverfahren . . . . .	34
3.4.2	Evolutionäre Algorithmen . . . . .	37
<b>4</b>	<b>Umlaufplanungsprobleme: Stand der Forschung</b>	<b>39</b>
4.1	Busumlaufplanung mit einem Depot . . . . .	40
4.2	Busumlaufplanung mit mehreren Depots . . . . .	47
4.2.1	Einfache Flussmodelle . . . . .	47
4.2.2	Mehrgüter Modelle . . . . .	51
4.2.3	Set Partitioning Modelle . . . . .	54

4.2.4	Modellunabhängige Ansätze . . . . .	56
4.2.5	Eigenschaften gelöster Instanzen . . . . .	57
4.3	Busumlaufplanung mit mehreren Depots und Fahrzeugtypgruppen	62
4.4	Busumlaufplanung mit Zeitfenstern . . . . .	67
4.5	Busumlaufplanung mit Routenrestriktionen . . . . .	71
4.6	Planungssysteme mit Komponenten zur Busumlaufoptimierung . .	74
4.7	Veröffentlichungen mit Übersichten und Klassifizierungen . . . . .	77
<b>5</b>	<b>Handlungsbedarf und Zielsetzung</b>	<b>79</b>
<b>6</b>	<b>Probleminstanzen und Eigenschaften</b>	<b>83</b>
6.1	Ursprung der Instanzen . . . . .	84
6.1.1	Reale Instanzen . . . . .	84
6.1.2	Künstliche Instanzen . . . . .	87
6.2	Modelleigenschaften und Kennzahlen . . . . .	87
6.2.1	Qualität der LP-Relaxation . . . . .	88
6.2.2	Kennzahl zur Modellauswahl . . . . .	89
6.2.3	Eigenschaften der Mehrgüter Flussmodelle . . . . .	102
6.2.4	Abschätzung der Komplexität . . . . .	105
<b>7</b>	<b>Lösungsmethodik für Busumlaufplanungsprobleme</b>	<b>111</b>
7.1	Heuristischer Lösungsansatz . . . . .	113
7.2	Bestimmung unterer Schranken . . . . .	119
7.2.1	Untere Schranken durch Modellaggregation . . . . .	120
7.2.2	Untere Schranken durch Langrange Relaxationen . . . . .	121
7.2.3	Warmstart der Simplexmethoden . . . . .	127
7.3	Lösungen durch Kantengenerierung . . . . .	129
7.3.1	Initialisierung . . . . .	133
7.3.2	Master Problem . . . . .	135
7.3.3	Pricing Problem . . . . .	136
7.3.4	Ganzzahlige Lösungen . . . . .	139
7.4	Systemintegration und Preprocessing . . . . .	141
7.5	Numerische Ergebnisse . . . . .	145
7.5.1	Optimierung mit Standardoptimierungssoftware . . . . .	146
7.5.2	Initialisierungsphase . . . . .	150
7.5.3	Verbesserungsphase . . . . .	152
7.5.4	Zusammenfassung und Bewertung . . . . .	161
<b>8</b>	<b>Optimierungsmethoden für die Umlaufplanung mit Zeitfenstern</b>	<b>165</b>
8.1	Operative Umlaufplanung mit Zeitfenstern . . . . .	165

8.1.1	Organisatorische Aspekte und Anforderungen . . . . .	165
8.1.2	Modellierung . . . . .	167
8.1.3	Lösungsmethoden . . . . .	168
8.1.4	Numerische Ergebnisse . . . . .	172
8.2	Taktische Fahrplananalyse mit Zeitfenstern . . . . .	175
8.2.1	Sortierheuristiken . . . . .	175
8.2.2	Fix&Optimize Verfahren . . . . .	178
8.2.3	Adaption von VRP-Methoden . . . . .	180
8.2.4	Numerische Ergebnisse . . . . .	183
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>187</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>194</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>195</b>
	<b>Algorithmenverzeichnis</b>	<b>197</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>199</b>