

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Umlaufplanung im öffentlichen Personennahverkehr	5
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
3	Grundlegende Optimierungstechniken	23
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
4	Umlaufplanungsprobleme: Stand der Forschung	39
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
5	Handlungsbedarf und Zielsetzung	79
6	Probleminstanzen und Eigenschaften	83
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
7	Lösungsmethodik für Busumlaufplanungsprobleme	111
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
8	Optimierungsmethoden für die Umlaufplanung mit Zeitfenstern	165
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
9	Zusammenfassung und Ausblick	187
	Abbildungsverzeichnis	194
	Tabellenverzeichnis	195
	Algorithmenverzeichnis	197
	Literaturverzeichnis	199