

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	xiii
Tabellenverzeichnis	xv
Abkürzungsverzeichnis	xix
Symbolverzeichnis	xxi
1 Einleitung	1
1.1 Motivation - mehrperiodige Hub-Location-Probleme	1
1.2 Ziele der Arbeit	3
1.3 Aufbau der Arbeit	4
2 Grundlagen des Hub-Location-Problems	7
2.1 Einordnung von Hubnetzwerken in die Klasse der Transportnetzwerke . .	7
2.2 Anwendungsgebiete für (mehrperiodige) Hub-Location-Probleme	11
2.3 Literaturüberblick	16
2.3.1 Standortplanung	16
2.3.2 Hub-Location-Probleme	21
2.3.3 Einordnung dieser Arbeit in die Theorie der Hub-Location-Probleme	23
2.4 Modellierungen des Hub-Location-Problems	28
2.4.1 Hub-Location-Problem mit Einfachzuordnung	28
2.4.2 Kapazitiertes Hub-Location-Problem mit Einfachzuordnung	31

2.4.3	Hub-Location-Problem mit Einfachzuordnung und mehrstufigen Kapazitäten	31
2.5	Lösungsverfahren des Hub-Location-Problems	33
2.5.1	Exakte Lösungsverfahren versus heuristische Lösungsverfahren . . .	33
2.5.2	Exakte Lösungsverfahren	35
2.5.2.1	Branch-and-Bound-Verfahren	35
2.5.2.2	Benders-Dekomposition	38
2.5.3	Heuristiken	39
2.5.3.1	Eröffnungsheuristiken	40
2.5.3.2	Verbesserungsheuristiken	41
2.5.3.3	Lagrange-Heuristik (LG)	42
2.5.4	Metaheuristiken	46
2.5.4.1	Variable Neighbourhood Descent (VND)	48
2.5.4.2	Variable Neighbourhood Search (VNS)	49
2.5.4.3	Adaptive Large Neighbourhood Search (ALNS)	50
2.5.4.4	Tabu Suche (TS)	51
2.5.4.5	Simulated Annealing (SA)	52
3	Modellierung des mehrperiodigen Hub-Location-Problems	57
3.1	Quadratische gemischt-ganzzahlige Modellierung	58
3.1.1	Flussbasierte Modellierung	58
3.1.2	Wegbasierte Modellierung	66
3.2	Linearisierung des mehrperiodigen Hub-Location-Problems	68
4	Heuristische Lösungsverfahren für das mehrperiodige Hub-Location-Problem	71
4.1	Heuristiken	71
4.1.1	Eröffnungsheuristiken	71
4.1.1.1	ADD-Heuristik	72
4.1.1.2	DROP-Heuristik	80

4.1.1.3	LP-Relaxations-Eröffnungsheuristik	82
4.1.2	Lagrange-Heuristik	88
4.1.2.1	Lagrange-Relaxation	88
4.1.2.2	Lösung des Teilproblems LR_{xz}	91
4.1.2.3	Lösung des Teilproblems LR_y	95
4.1.2.4	Subgradientenverfahren	96
4.1.2.5	Zulässige Lösungen für das mehrperiodige Hub-Location- Problem	98
4.2	Metaheuristiken	101
4.2.1	Tabu Suche	101
4.2.1.1	Grundstrategie	102
4.2.1.2	Lokale Suche	102
4.2.1.3	Nachbarschaftsoperatoren und Suchraum	103
4.2.1.4	Tabulistenmanagement	105
4.2.1.5	Abbruchkriterien	109
4.2.1.6	Intensivierung	110
4.2.1.7	Diversifizierung	110
4.2.1.8	Kandidatenliste	114
4.2.2	Simulated Annealing	115
4.2.2.1	Algorithmus	115
4.2.2.2	Eröffnungsverfahren	116
4.2.2.3	Abkühlschema	117
4.2.2.4	Nachbarschaftsoperatoren	120
4.3	Zusammenfassung	122
5	Rechenergebnisse	125
5.1	Ziele und Vorgehen	125
5.2	Beschreibung der Testinstanzen	126
5.3	Numerischer Vergleich der Modellierungen	129

5.3.1	Zusammenfassung über Nachfrageverläufe	129
5.3.2	Steigende Nachfrage	132
5.3.3	Sinkende Nachfrage	139
5.3.4	Schwankende Nachfrage	144
5.4	Numerischer Vergleich der Eröffnungsheuristiken	149
5.4.1	Numerischer Vergleich der ADD-Heuristiken	150
5.4.2	Numerischer Vergleich der LP-Relaxations-Heuristiken	154
5.4.3	Numerischer Vergleich der ADD-, DROP- und LP-Relaxations-Heuristiken	156
5.5	Numerische Evaluation der Lösungsverfahren	160
5.5.1	Rechenergebnisse der Lagrange-Heuristik	160
5.5.1.1	Konfiguration der Lagrange-Heuristik	160
5.5.1.2	Numerische Evaluation der Lagrange-Heuristik	161
5.5.2	Rechenergebnisse der Tabu Suche	164
5.5.2.1	Konfiguration der Tabu Suche	164
5.5.2.2	Numerische Evaluation der Tabu Suche	165
5.5.3	Rechenergebnisse Simulated Annealing	168
5.5.3.1	Konfigurationen des Simulated Annealing	168
5.5.3.2	Numerische Evaluation des Simulated Annealing	169
5.5.4	Vergleich der Lösungsverfahren	172
5.5.4.1	Vergleich der Lösungsverfahren untereinander	172
5.5.4.2	Vergleich der Lösungsverfahren mit CPLEX	173
5.5.4.3	Numerische Ergebnisse für große Probleminstanzen	176
5.6	Fazit der numerischen Ergebnisse	179
6	Zusammenfassung, Fazit und Ausblick	183
6.1	Zusammenfassung und Fazit	183
6.2	Ausblick	184

A Appendix	187
A.1 Lösung des Lagrange-dualen Problems mittels Subgradientenverfahren . .	187
A.2 Linearisierung der quadratischen Zielfunktion	192
A.3 Bestimmung des Anpassungsfaktors der Kapazitäten	195
A.4 Ergebnistabellen für Szenarien zum Vergleich der Modellierungen für steigende Nachfrage	196
A.5 Ergebnistabellen für Szenarien zum Vergleich der Modellierungen für sinkende Nachfrage	202
A.6 Ergebnistabellen für Szenarien zum Vergleich der Modellierungen für schwankende Nachfrage	208
A.7 Ergebnistabellen für Eröffnungsverfahren für sinkende Nachfrage (SZ1) . .	214
A.8 Ergebnistabellen für Eröffnungsverfahren für schwankende Nachfrage (SZ1)	218
A.9 Ergebnisse des Lagrange-Verfahrens für steigende Nachfrage (SZ1)	222
A.10 Ergebnistabellen des Lagrange-Verfahrens für sinkende und schwankende Nachfrage (SZ1)	224
A.11 Ergebnisse der Tabu Suche für steigende Nachfrage (SZ1)	227
A.12 Ergebnisse des Simulated Annealing für steigende Nachfrage (SZ1)	241
A.13 Ergebnistabellen für große Instanzen für steigende Nachfrage (SZ1)	256
Literaturverzeichnis	259