

Abbildungsverzeichnis	x
Tabellenverzeichnis	xv
Abkürzungsverzeichnis	xvii
Symbolverzeichnis	xix
Einleitung	1
Ziele der Arbeit	3
Gliederung der Arbeit	4
1 Einführung in Standortprobleme	7
1.1 Komponenten und Klassifikation von Standortproblemen . .	8
1.1.1 Grundkomponenten	8
1.1.2 Klassifikation	9
1.2 Modelltypen	21
1.2.1 Kontinuierliche Modelle	21
1.2.2 Netzwerkmodelle	22
1.2.3 Diskrete Modelle	25
1.3 Überblick über bekannte Fixed-Charge-Probleme	27
1.3.1 Das Uncapacitated-Facility-Location-Problem (UFLP)	28
1.3.2 Das Capacitated-Facility-Location-Problem (CFLP) .	29
1.3.3 Das Capacitated-Facility-Location-Problem mit Single-Sourcing (CFLPSS)	30
1.3.4 Mehrstufige unkapazitierte Standortprobleme	30
1.3.5 Mehrstufige kapazitierte Standortprobleme	31
1.3.6 Das Multi-Commodity-Facility-Location-Problem (MCFLP)	32
1.3.7 Das Staircase-Costs-Facility-Location-Problem (SCFLP)	33
1.4 Modellierung von Recycling-Netzwerken für Altfahrzeuge . .	35
1.4.1 Beschreibung des Projekts	35
1.4.2 Abbildung in einem Standortmodell	38
1.5 Möglichkeiten und Grenzen bekannter Standortprobleme . .	39

1.6	Literatur zu Standortproblemen	40
2	Lösungsverfahren für diskrete Standortprobleme	43
2.1	Exakte Verfahren	43
2.1.1	Branch-and-Bound-Verfahren	44
2.1.2	Schnittebenen- sowie Branch-and-Cut-Verfahren	47
2.2	Heuristische Verfahren	48
2.2.1	Lagrange-Heuristiken	49
2.2.2	Greedy-Verfahren	52
2.2.3	Lokale Suche	55
2.3	Metaheuristiken	56
2.3.1	Tabu Search	57
2.3.2	Variable Neighborhood Descent (VND)	58
2.3.3	Variable Neighborhood Search (VNS)	59
2.4	Kriterien für die Entwicklung von Lösungsverfahren	61
2.5	Literatur zu Lösungsverfahren für diskrete Standortprobleme	63
3	Das Extended-Facility-Location-Problem	65
3.1	Definition der Modellvarianten	66
3.2	Modellierung von Güterfluss, Standortkosten und Single-Sourcing	69
3.2.1	Mehrstufigkeit und Auflösung der Güterströme	69
3.2.2	Modellierung der Standortkosten	76
3.2.3	Modellierung des Single-Sourcing	81
3.3	Formulierung des EXT-FLP	83
3.4	Eigenschaften des EXT-FLP	85
3.4.1	Eigenschaften der LP-Relaxation	85
3.4.2	Eigenschaften des Allokationsproblems	86
3.4.3	Zulässigkeit einer Lösung	88
3.5	Formulierung des EXT-FLP-SS	90
3.6	Eigenschaften des EXT-FLP-SS	91
3.6.1	Eigenschaften der LP-Relaxation	91
3.6.2	Eigenschaften des Allokationsproblems	91
3.6.3	Zulässigkeit einer Lösung	92
3.7	Erweiterungsmöglichkeiten	93
4	Lösungsverfahren f. d. Ext.-Facility-Location-Problem	95
4.1	Eröffnungsverfahren für das EXT-FLP	96
4.1.1	ADD-Heuristik	96
4.1.2	DROP-Heuristik	99
4.1.3	LP-basierte Eröffnungsverfahren	100
4.1.4	Vergleich der Eröffnungsverfahren	104
4.2	Verbesserungsverfahren für das EXT-FLP	105
4.3	Nachbarschaften des EXT-FLP	108
4.3.1	ADD- und DROP-Nachbarschaften	108

4.3.2	SA-Nachbarschaft	110
4.3.3	AD-Nachbarschaft	110
4.3.4	Allgemeine-2-SWAP-Nachbarschaft	111
4.3.5	1-1-SWAP-Nachbarschaft	112
4.3.6	p -*-SWAP-Nachbarschaften	113
4.3.7	SWAP-Nachbarschaften mit mehr als zwei Standorten	114
4.3.8	Durchführung der Allokation	115
4.4	Lokale Suche für das EXT-FLP	116
4.4.1	Pivotisierungsstrategien	117
4.4.2	Bildung von Kandidatenlisten	117
4.4.3	Kennzahlen für die ADD- und DROP-Nachbarschaften	119
4.4.4	Abschätzung der Kostenveränderung in den p -* SWAP-Nachbarschaften	124
4.4.5	Lokale Suche in den p -*SWAP-Nachbarschaften . . .	127
4.4.6	Möglichkeiten zur Nutzung der Suchstrategien	130
4.5	VND und VNS für das EXT-FLP	130
4.5.1	Variable Neighborhood Descent	130
4.5.2	Variable Neighborhood Search	131
4.5.3	Vergleich der Verbesserungsverfahren	135
4.6	Beschleunigung der Verfahren	135
4.6.1	Aufspaltung in Teilnachbarschaften	135
4.6.2	Reduktionstest	136
4.6.3	Verbieten von Shaking-Nachbarn	138
4.6.4	Reduktion der Instanzgröße	138
4.6.5	Dynamisches Einfügen und Entfernen von Spal- ten im Allokationsproblem	140
4.7	Lösungsverfahren für das EXT-FLP-SS	141
4.7.1	Relevante Unterschiede zwischen EXT-FLP und EXT-FLP-SS	141
4.7.2	Eröffnungsverfahren	142
4.7.3	Verbesserungsverfahren	143
4.8	Erweiterungen der Lösungskonzepte für das EXT-FLP(-SS) .	147
5	Rechenergebnisse	149
5.1	Bemerkungen zur Implementierung	150
5.2	Beschreibung der Probleminstanzen	150
5.2.1	Generierung der Zufallsdaten	151
5.2.2	Instanzklassen	152
5.3	Vergleich der Eröffnungsverfahren für das EXT-FLP	154
5.4	Konfiguration der Lokalen Suche für das EXT-FLP	158
5.4.1	Vergleich der Pivotisierungsstrategien	159
5.4.2	Prioritätskennzahlen für die SA-Nachbarschaft mit FI-Pivotisierung	161
5.4.3	Prioritätskennzahlen für die AD-Nachbarschaft mit FI-Pivotisierung	162

5.4.4	Nutzung der Kennzahlen PR-B und PR-C für die Suche in der 1-1-SWAP-Nachbarschaft	164
5.4.5	Untersuchung der p -*-SWAP-Nachbarschaften	165
5.4.6	Zusammenfassung der Rechentests zur Lokalen Suche	167
5.5	Konfiguration des VND-Verfahrens für das EXT-FLP	168
5.5.1	VND mit p -*-SWAP-Nachbarschaften	168
5.5.2	VND mit p -*-SWAP- und SA-Nachbarschaften	170
5.5.3	VND mit p -*-SWAP- und AD-Nachbarschaften	171
5.5.4	Vergleich der VND-Varianten	171
5.5.5	Vergleich von VND mit Lokaler Suche	174
5.6	Konfiguration des VNS-Verfahrens für das EXT-FLP	175
5.6.1	Einbettung der VND-Varianten in einen VNS-Ansatz	175
5.6.2	Bestimmung geeigneter Shaking-Nachbarschaften . .	178
5.6.3	Zusammenfassung der VNS-Rechentests	183
5.7	Beschleunigung der Verfahren	184
5.7.1	Reduktionstest	184
5.7.2	Verboten von Shaking-Nachbarn	185
5.7.3	Verwendung von Nachbarlisten beim Eröffnungsverfahren	186
5.7.4	Dynamisches Einfügen und Entfernen von Spalten im LOC-EXT-FLP	187
5.8	Vergleich des LP-VNS mit CPLEX-Referenzlösungen	188
5.8.1	Einfluss der zufallsbasierten Komponente im VNS . .	189
5.8.2	Vergleich mit CPLEX-Referenzlösungen	189
5.8.3	Verhalten des VNS bei beliebiger Startlösung	194
5.8.4	Einfluss der Rechenzeit auf die Lösungsgüte	195
5.9	Konfiguration des LP-VNS für das EXT-FLP-SS	196
5.9.1	Einfluss der Güte der Startlösung des EXT-FLP auf die Startlösung des EXT-FLP-SS	197
5.9.2	Vergleich mit CPLEX-Referenzlösungen	199
5.10	Zusammenfassung der Ergebnisse	201
6	Übertragung des Lösungskonzepts auf das CFLP	203
6.1	Modifikation des LP-VNS	203
6.1.1	Modifikation des Eröffnungsverfahrens	203
6.1.2	Modifikation des Verbesserungsverfahrens	204
6.2	Rechenergebnisse	206
6.2.1	Testinstanzen von Beasley	206
6.2.2	Referenzlösungen	207
6.2.3	Vergleich der Ergebnisse	208
6.2.4	Einordnung der Ergebnisse	211

A	Detaillierte Rechenergebnisse für das EXT-FLP	217
A.1	Rechenergebnisse Eröffnungsverfahren	217
A.2	Rechenergebnisse VND-Varianten	227
A.3	Rechenergebnisse VND-Varianten in VNS	234
A.4	Vorauswahl Shaking-Nachbarschaft	239
A.5	Rechenergebnisse LP-VNS	241
A.6	Rechenergebnisse CPLEX	247
A.7	Verhalten VNS bei beliebiger Startlösung	253
A.8	Verhalten LP-VNS in Abhängigkeit von der Rechenzeit . . .	254
B	Detaillierte Rechenergebnisse für das EXT-FLP-SS	257
B.1	Rechenergebnisse LP-VNS	257
B.2	Rechenergebnisse CPLEX	263