Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 1

TEIL I Vom Dispositionsproblem bei Transportbetonunternehmen zum mathematischen Realmodell 5

2 Das Dispositionsproblem bei Transportbetonunternehmen 7
2.1 Wesentliche Merkmale der Auftragsausführung bei Transportbetonunternehmen 8
2.2 Die Auftragsannahme 12
2.3 Die Auftragsdisposition 16
2.4 Das verbale Modell 19

3 Verwandte Problemstellungen 23
3.1 Das TBU-Dispositionsproblem als Tourenplanungsproblem 23
3.2 Das TBU-Dispositionsproblem als Maschinenbelegungsproblem 28

4 Entwurf des Realmodelles für das TBU-Dispositionsproblem 33
4.1 Die Strukturdaten 33
4.2 Die Instanzdaten und die Ableitung der Plandaten 36
4.3 Das Realmodell für das TBU-Dispositionsproblem 41

TEIL II Grundlagen aus der Mathematischen Optimierung 49

5 Grundlegende Optimierungsaufgaben 51
5.1 Diskrete und kombinatorische Optimierungsaufgaben 51
5.2 Algorithmen und Komplexität 56
5.3 Optimierungsaufgaben über Unabhängigkeitssystemen 59
5.4 Lineare Programme 62
5.5 Seitenflächen und Facetten 66
5.6 Ganzzahlige lineare Programme 68
5.7 Ganzzahlige Polyeder und vollständig unimodulare Matrizen 71
5.8 Der Branch-and-Bound-Ansatz zur Lösung ganzzahliger linearer Programme 72

6 Einige Optimierungsaufgaben auf Graphen 79
6.1 Ungerichtete und gerichtete Graphen 79
6.2 Das Zuordnungsproblem 84
6.3 Das Kostenflußproblem 87
6.4 Das verallgemeinerte Kostenflußproblem 94

7 Kettenüberdeckungen halbgeordneter Mengen 103

TEIL III Netzwerkmodelle und -verfahren zur Lösung des TBU-Dispositionsproblems 107

8 Rechenmodelle auf der Basis gewöhnlicher Netzwerke 109
8.1 Das Basismodell für einen homogenen Fuhrpark ohne Berücksichtigung der Schichtdauer bei gleitender Arbeitszeit 110
8.2 Transformation des Basismodells in ein Zuordnungsproblem 115
8.3 Eine Erweiterung des Basismodells zur Berücksichtigung der Überstunden 117
8.4 Eine Erweiterung des Basismodells zur Berücksichtigung des inhomogenen Fuhrparks 124
8.5 Die Äquivalenz zum Realmodell 127

9 Ein Rechenmodell auf der Basis verallgemeinerter Netzwerke 133
9.1 Die graphentheoretische Modellierung 133
9.2 Struktureigenschaften des Modells 139
9.3 Verschiedene Lösungsansätze 143

TEIL IV Suchstrategien zur Lösung des TBU-Dispositionsproblems 149

10 Grundlagen heuristischer Problemlösungsansätze im Operations Research und in der Künstlichen Intelligenz 151
10.1 Das Konzept der lokalen Suche 152
10.2 Das Konzept der Produktionssysteme 160
10.3 Suchgraphen 164
10.4 Definition eines Zustandsraumes für TBU-Konstruktionsverfahren ... 171
10.5 Definition eines Zustandsraumes für TBU-Verbesserungsverfahren ... 174

11 Neuere Suchstrategien 181
11.1 Tabusuche 181
11.2 Simulated Annealing 186
11.3 Das A*-Verfahren 191
11.4 Implementierung eines A*-Verfahrens für das TBU-Dispositionsproblem 196

TEIL V Numerische Beurteilung der vorgeschlagenen Rechenmodelle und Verfahren 199

12 Numerische Untersuchung der Rechenmodelle 201
12.1 Die Datenbasis der numerischen Untersuchung 201
12.2 Der Aufbau der numerischen Untersuchung 205
12.3 Implementierung der Verfahren 213
12.3.1 Die Optimierungsverfahren 213
12.3.2 Lokale Suche 213
12.3.3 Tabusuche 215
12.3.4 Simulated Annealing 218
12.3.5 Das A*-Verfahren 220

12.4 Numerische Untersuchung zu den exakten Rechenmodellen 220
12.4.1 Das exakte Rechenmodell auf der Basis gewöhnlicher Netzwerke (12.8) 221
12.4.2 Das exakte Rechenmodell auf der Basis verallgemeinerter Netzwerke (12.9) 221
12.4.3 Vergleich der exakten Rechenmodelle 222
12.5 Untersuchung der Lösungsqualität der heuristischen Verfahren 226
12.5.1 Das Realmodell 227
12.5.2 Das reduzierte Realmodell (12.5) 228
12.5.3 Das reduzierte Realmodell (12.6) 231
12.5.4 Das reduzierte Realmodell (12.7) 236
12.6 Untersuchung des Laufzeitverhaltens der heuristischen Verfahren ... 238
12.7 Auswahl geeigneter Rechenverfahren für ein TBU-Dispositionsunterstützungssystem 241
12.8 Entwurf eines TBU-Dispositionsunterstützungssystems 243

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1 Zusammenhänge zwischen Problemen, Modellen und Algorithmen 2

Abb. 2.1 Eine Fahrzeugroute 9
Abb. 2.2 Bestandteile der Umlaufzeit 11
Abb. 2.3 Beispiel für die Notwendigkeit vorausschauender Planung 14

Abb. 5.1 Zulässiger Bereich eines linearen Programms 65
Abb. 5.2 Zulässiger Bereich eines ganzzahligen linearen Programms 69
Abb. 5.3 Erste Schritte eines Branch-and-Bound-Verfahrens 78

Abb. 6.1 Ungerichtete Graphen 80
Abb. 6.2 Ein bipartiter Graph 80
Abb. 6.3 Ein gerichteter Graph 82
Abb. 6.4 Eine kostenminimale Zuordnung 85
Abb. 6.5 Ein Netzwerk und ein kostenminimaler Fluß 89
Abb. 6.6 Zerlegung in primitive Pseudoflüsse 91
Abb. 6.7 Ein verallgemeinertes Netzwerk und ein kostenminimaler verallgemeinerter Fluß 96
Abb. 6.8 Verallgemeinertes Netzwerk ohne zulässigen verallgemeinerten Fluß 97
Abb. 6.9 Zerlegung in zwei primitive verallgemeinerte Pseudoflüsse 100

Abb. 7.1 Darstellung einer Kettenüberdeckung im Hasse-Diagramm 104
Abb. 7.2 Darstellung einer Pfadüberdeckung im Verträglichkeitsgraph 105

Abb. 8.1 Auftragsbezogene Bestandteile des Basismodells und deren schematische Darstellung 114
Abb. 8.2 Ein Basismodell 114
Abb. 8.3 Das zum Basismodell äquivalente Zuordnungsproblem 116
Abb. 8.4 Ein Überstundenmodell 121
Abb. 8.5 Ein reduziertes Überstundenmodell 123
Abb. 8.6 Ein Gesamtmodell 127

Abb. 9.1 Auftragsbezogene Bestandteile 134
Abb. 9.2 Ein nichtganzzahliger verallgemeinerter Fluß auf N_V 137
Abb. 9.3 Schematische Darstellung der auftragsbezogenen Bestandteile 138
Abb. 9.4 Ein Überstundennetzwerk 138
Abb. 9.5 Eine nichtganzzahlige Lösung 139
Abb. 9.6 Verschiedene Segmente 145
Abb. 9.7 Eine Anfangslösung 146
Abb. 9.8 Die erweiterte Lösung 147
Abb. 9.9 Erweiterung durch primitive verallgemeinerte Pseudoflüsse im Residuumsnetzwerk 147

Abb. 10.1 Zwei bezüglich N_2 benachbarte Rundreisen. 153
Abb. 10.2 Start- und Zielzustand beim 8-Puzzle 162
Abb. 10.3 Ein Suchgraph 165
Abb. 10.4 Suchgraph eines Konstruktionssuchraumes 173
Abb. 10.5 Zwei Routen 175
Abb. 10.6 Routen nach dem Austausch eines Auftrags 176
Abb. 10.7 Routen nach dem Austausch von Teilrouten 176
Abb. 10.8 Austauschoperation, bei der eine neue Route entsteht 177

Abb. 11.1 Kreisen bei unkontrollierter Berücksichtigung von Verschlechterungsschritten 182
Abb. 11.2 Veranschaulichung der Funktionen g^* und h^* 192

Abb. 12.1 Verteilung der Liefertermine 202
Abb. 12.2 Verteilung der Liefermengen bei Praxisdaten 203
Abb. 12.3 Dreiecksverteilung der Liefermengen 204
Abb. 12.4 Abweichung der Konstruktionslösungen vom Optimalwert 228
Abb. 12.5 Abweichung der von Simulated Annealing verbesserten Lösungen vom Optimalwert 229
Abb. 12.6 Abweichung der von Tabusuche verbesserten Lösungen vom Optimalwert 230
Abb. 12.7 Vergleich der für das reduzierte Realmodell (12.5) am besten geeigneten Verbesserungsverfahren 230

Abb. 12.8 Abweichung der Konstruktionslösungen von der minimalen Fahrzeuganzahl 232
Abb. 12.9 Abweichung der durch Lokale Suche verbesserten Lösungen von der minimalen Fahrzeuganzahl 233
Abb. 12.10 Abweichung der durch Simulated Annealing verbesserten Lösungen von der minimalen Fahrzeuganzahl 234
Abb. 12.11 Abweichung der durch Tabusuche verbesserten Lösungen von der minimalen Fahrzeuganzahl 235
Abb. 12.12 Vergleich der für das reduzierte Realmodell (12.6) am besten geeigneten Verbesserungsverfahren 236
Abb. 12.13 Laufzeiten der Konstruktionsverfahren 238
Abb. 12.14 Laufzeiten der lokalen Suchverfahren 239
Abb. 12.15 Laufzeiten der Simulated-Annealing-Verfahren 239
Abb. 12.16 Laufzeiten der Tabusuchverfahren 240
Abb. 12.17 Transportplan mit neu einzuplanendem Auftrag 244
Abb. 12.18 Der entsprechend reduzierte Transportplan 245
Abb. 12.19 Der erweiterte Transportplan 245