

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|----------|
| Abbildungsverzeichnis | ix |
| Tabellenverzeichnis | xv |
| Abkürzungsverzeichnis | xix |
| Symbolverzeichnis | xxiii |
| Notationsverzeichnis | xxix |
| 1 Motivation | 1 |
| 1.1 Problemstellung und Zielsetzung | 2 |
| 1.2 Aufbau der Arbeit | 4 |
| 2 Einordnung des Untersuchungsgegenstandes | 7 |
| 2.1 Unternehmensnetzwerke - Ein Überblick | 7 |
| 2.1.1 Wettbewerbssituation und externe Einflüsse | 7 |
| 2.1.2 Kooperationen als Wettbewerbsvorteil | 13 |
| 2.1.3 Virtuelle Unternehmen und Unternehmensnetzwerke | 16 |
| 2.1.3.1 Zum Begriff Virtualität | 16 |
| 2.1.3.2 Virtuelle Unternehmen | 19 |
| 2.1.3.3 Unternehmensnetzwerke | 23 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 2.2 | Ein Ansatz zur Vernetzung autonomer Leistungseinheiten . . . | 31 |
| 2.2.1 | Ausgangspunkt: Das Denkmodell eines hierarchielosen regionalen Produktionsnetzwerkes | 32 |
| 2.2.2 | Extended Value Chain Management | 35 |
| 2.3 | Ableitung der Problemstellung | 43 |
| 3 | Theoretische Grundlagen | 49 |
| 3.1 | Aspekte der Entscheidungstheorie | 49 |
| 3.1.1 | Gegenstand und Klassifizierung der Entscheidungstheorie | 49 |
| 3.1.2 | Entscheidungsprozess | 51 |
| 3.1.3 | Das Grundmodell der präskriptiven und normativen Entscheidungstheorie | 54 |
| 3.1.3.1 | Entscheidungsfeld | 54 |
| 3.1.3.2 | Zielsystem | 56 |
| 3.1.4 | Messbarkeit von Kriterien | 58 |
| 3.1.5 | Klassifikation von Entscheidungsmodellen | 60 |
| 3.2 | Mehrkriterielle Optimierung | 61 |
| 3.2.1 | Formale Definition | 62 |
| 3.2.2 | Zielbeziehungen | 63 |
| 3.2.3 | Zielgewichte | 65 |
| 3.2.4 | Pareto-Optimalität und weitere Lösungsbegriffe | 67 |
| 3.2.4.1 | Pareto-Dominanz | 67 |
| 3.2.4.2 | Pareto-Menge | 68 |
| 3.2.4.3 | Pareto-Front | 68 |
| 3.2.4.4 | Idealpunkt | 69 |
| 3.2.4.5 | Nadirpunkt | 70 |
| 3.2.4.6 | Konvexe Menge | 71 |
| 3.2.4.7 | Normierung | 72 |
| 3.2.5 | Klassifikation mehrkriterieller Entscheidungsmodelle . . | 73 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 3.2.5.1 | Multi Attribute Decision Making | 74 |
| 3.2.5.2 | Multi Objektive Decision Making | 76 |
| 3.2.6 | Ausgewählte Modelle | 77 |
| 3.2.6.1 | Dominanzstrategie | 78 |
| 3.2.6.2 | Maximin-Strategie | 79 |
| 3.2.6.3 | Lexikographische Ordnung | 79 |
| 3.2.6.4 | Gewichtete Summe und gewichtetes Produkt . | 80 |
| 3.2.6.5 | Fuzzy Decision Making | 82 |
| 3.2.6.6 | Analytic Hierarchy Process | 84 |
| 3.2.6.7 | Goal Programming | 86 |
| 3.2.6.8 | Interaktive Verfahren | 87 |
| 3.3 | Graphentheorie | 89 |
| 3.3.1 | Grundbegriffe | 90 |
| 3.3.2 | Zusammenhang, Bäume und Wälder | 92 |
| 3.4 | Komplexitätstheorie | 92 |
| 3.4.1 | Komplexitätsmaße | 94 |
| 3.4.2 | Komplexitätsklassen | 95 |
| 3.5 | Kombinatorische Optimierung | 98 |
| 3.5.1 | Einordnung und Definition | 98 |
| 3.5.2 | Ausgewählte kombinatorische Optimierungsprobleme . | 99 |
| 4 | Formalisierung des Problems | 105 |
| 4.1 | Problemmodellierung | 105 |
| 4.1.1 | Knotengruppierung | 108 |
| 4.1.2 | Kantengruppierung | 110 |
| 4.1.3 | Problemstellung des Mehrkriteriellen Parallel Pfad Problems | 110 |
| 4.2 | Zielkriterien | 112 |
| 4.2.1 | Angebotspreis | 113 |
| 4.2.2 | Liefertermin und Pufferzeiten | 114 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 2.2 | Ein Ansatz zur Vernetzung autonomer Leistungseinheiten . . . | 31 |
| 2.2.1 | Ausgangspunkt: Das Denkmodell eines hierarchielosen regionalen Produktionsnetzwerkes | 32 |
| 2.2.2 | Extended Value Chain Management | 35 |
| 2.3 | Ableitung der Problemstellung | 43 |
| 3 | Theoretische Grundlagen | 49 |
| 3.1 | Aspekte der Entscheidungstheorie | 49 |
| 3.1.1 | Gegenstand und Klassifizierung der Entscheidungstheorie | 49 |
| 3.1.2 | Entscheidungsprozess | 51 |
| 3.1.3 | Das Grundmodell der präskriptiven und normativen Entscheidungstheorie | 54 |
| 3.1.3.1 | Entscheidungsfeld | 54 |
| 3.1.3.2 | Zielsystem | 56 |
| 3.1.4 | Messbarkeit von Kriterien | 58 |
| 3.1.5 | Klassifikation von Entscheidungsmodellen | 60 |
| 3.2 | Mehrkriterielle Optimierung | 61 |
| 3.2.1 | Formale Definition | 62 |
| 3.2.2 | Zielbeziehungen | 63 |
| 3.2.3 | Zielgewichte | 65 |
| 3.2.4 | Pareto-Optimalität und weitere Lösungsbegriffe | 67 |
| 3.2.4.1 | Pareto-Dominanz | 67 |
| 3.2.4.2 | Pareto-Menge | 68 |
| 3.2.4.3 | Pareto-Front | 68 |
| 3.2.4.4 | Idealpunkt | 69 |
| 3.2.4.5 | Nadirpunkt | 70 |
| 3.2.4.6 | Konvexe Menge | 71 |
| 3.2.4.7 | Normierung | 72 |
| 3.2.5 | Klassifikation mehrkriterieller Entscheidungsmodelle . . | 73 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 3.2.5.1 | Multi Attribute Decision Making | 74 |
| 3.2.5.2 | Multi Objektive Decision Making | 76 |
| 3.2.6 | Ausgewählte Modelle | 77 |
| 3.2.6.1 | Dominanzstrategie | 78 |
| 3.2.6.2 | Maximin-Strategie | 79 |
| 3.2.6.3 | Lexikographische Ordnung | 79 |
| 3.2.6.4 | Gewichtete Summe und gewichtetes Produkt . | 80 |
| 3.2.6.5 | Fuzzy Decision Making | 82 |
| 3.2.6.6 | Analytic Hierarchy Process | 84 |
| 3.2.6.7 | Goal Programming | 86 |
| 3.2.6.8 | Interaktive Verfahren | 87 |
| 3.3 | Graphentheorie | 89 |
| 3.3.1 | Grundbegriffe | 90 |
| 3.3.2 | Zusammenhang, Bäume und Wälder | 92 |
| 3.4 | Komplexitätstheorie | 92 |
| 3.4.1 | Komplexitätsmaße | 94 |
| 3.4.2 | Komplexitätsklassen | 95 |
| 3.5 | Kombinatorische Optimierung | 98 |
| 3.5.1 | Einordnung und Definition | 98 |
| 3.5.2 | Ausgewählte kombinatorische Optimierungsprobleme . | 99 |
| 4 | Formalisierung des Problems | 105 |
| 4.1 | Problemmodellierung | 105 |
| 4.1.1 | Knotengruppierung | 108 |
| 4.1.2 | Kantengruppierung | 110 |
| 4.1.3 | Problemstellung des Mehrkriteriellen Parallel Pfad Problems | 110 |
| 4.2 | Zielkriterien | 112 |
| 4.2.1 | Angebotspreis | 113 |
| 4.2.2 | Liefertermin und Pufferzeiten | 114 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 4.2.3 | Lieferwahrscheinlichkeit | 119 |
| 4.3 | Eigenschaften der Pareto-Front | 120 |
| 4.4 | Behandlung von mengen-defizitären Angeboten | 123 |
| 4.5 | Problemkomplexität | 126 |
| 5 | Optimierungsverfahren | 131 |
| 5.1 | Verfahrensauswahl | 131 |
| 5.2 | Dynamische Programmierung | 134 |
| 5.2.1 | Einführung | 134 |
| 5.2.2 | Voraussetzungen und Verfahrensablauf | 135 |
| 5.2.3 | Problemspezifische Modellierung | 141 |
| 5.2.3.1 | Optimalitätsprinzip bei Pareto-Optimierung | 141 |
| 5.2.3.2 | Dekomposition und Segmentierung | 142 |
| 5.2.3.3 | Algorithmische Umsetzung | 143 |
| 5.2.4 | Besonderheiten bei Divergenzen | 145 |
| 5.2.4.1 | Zerlegung in abhängige und unabhängige Teilprobleme mittels Restriktionssystem | 146 |
| 5.2.4.2 | Dominanzvergleiche bei Restriktionen | 150 |
| 5.2.5 | Problemreduktion | 151 |
| 5.3 | Ant Colony Optimization | 153 |
| 5.3.1 | Einführung - vom biologischen Vorbild zur künstlichen Ameise | 155 |
| 5.3.1.1 | Naturanalogie und Brückenexperiment | 155 |
| 5.3.1.2 | Ant Colony Optimization Metaheuristik | 157 |
| 5.3.1.3 | Vergleich realer und künstlicher Ameisen | 160 |
| 5.3.2 | Ansätze bei einem Zielkriterium | 162 |
| 5.3.2.1 | Ant System | 162 |
| 5.3.2.2 | Elitist Ant System | 164 |
| 5.3.2.3 | Rank-based Ant System | 165 |
| 5.3.2.4 | MAX-MIN Ant System | 166 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 5.3.2.5 | Ant Colony System | 168 |
| 5.3.2.6 | Population-based Ant Colony Optimization | 171 |
| 5.3.3 | Ansätze bei mehreren Zielkriterien | 173 |
| 5.3.3.1 | Ansätze mit Zielhierarchie | 174 |
| 5.3.3.1.1 | Mehrkriterielles Ant-Q | 174 |
| 5.3.3.1.2 | Mehrkriterielles Ant Colony System für das VPRTW | 174 |
| 5.3.3.1.3 | Pareto-ACO | 175 |
| 5.3.3.2 | Pareto-Ansätze | 176 |
| 5.3.3.2.1 | Bikriterielle ACO mit einer Kolonie | 176 |
| 5.3.3.2.2 | Bikriterielle ACO mit mehreren Ko- lonien | 178 |
| 5.3.3.2.3 | Mehrkriterielle Population-based Ant Colony Optimization | 180 |
| 5.3.4 | Zusammenfassung und Verfahrensauswahl | 183 |
| 5.3.5 | Problemspezifische Modellierung | 184 |
| 5.3.5.1 | Pre-Prozess und Initialisierung | 186 |
| 5.3.5.1.1 | Durchmusterung | 186 |
| 5.3.5.1.2 | Routingtabellen und Tabulisten | 189 |
| 5.3.5.1.3 | Pheromoninitialisierung | 193 |
| 5.3.5.2 | Lösungskonstruktion | 195 |
| 5.3.5.2.1 | Ant-Family-Heuristik | 196 |
| 5.3.5.2.2 | Heuristikinformationen und Look- Ahead-Heuristik | 199 |
| 5.3.5.2.3 | Entscheidungsmethode | 204 |
| 5.3.5.3 | Pheromonaktualisierung | 207 |
| 5.4 | Zielwertverbesserung und Goal Programming | 211 |
| 6 | Evaluierung | 217 |
| 6.1 | Probleminstanzen | 217 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 6.1.1 | Graph-Generator | 218 |
| 6.1.2 | Generierte Problemgraphen | 221 |
| 6.2 | Evaluierungsmaße | 224 |
| 6.2.1 | Kennzahlen zur Bewertung von Problemkomplexität und Problemgröße | 225 |
| 6.2.1.1 | Eingabelänge | 225 |
| 6.2.1.2 | Angebot-Prozessschritt-Ratio | 226 |
| 6.2.1.3 | Lösungsraumgröße | 227 |
| 6.2.1.4 | Zeit | 227 |
| 6.2.1.5 | Absolute Komplexität | 228 |
| 6.2.1.6 | Relative Komplexität | 228 |
| 6.2.2 | Kennzahlen zur Bewertung der Lösungsgüte der ent- wickelten Heuristiken | 228 |
| 6.2.2.1 | Frontgröße | 228 |
| 6.2.2.2 | Approximation | 229 |
| 6.2.2.3 | Diversität | 230 |
| 6.2.2.4 | Branching-Faktor | 232 |
| 6.3 | Bestimmung exakter Referenzlösungen | 233 |
| 6.4 | Exkurs: Kriterienanzahl als Komplexitätstreiber | 237 |
| 6.5 | Evaluierungsprozess | 238 |
| 6.5.1 | Verhalten spezifischer Ameisenalgorithmen | 240 |
| 6.5.1.1 | Ant System | 241 |
| 6.5.1.2 | Ant Colony System | 244 |
| 6.5.1.3 | Population-based Ant Colony Optimization | 250 |
| 6.5.2 | Evaluierung der entwickelten problemspezifischen Ansätze | 258 |
| 6.5.2.1 | Heuristik und Entscheidungsmethode | 258 |
| 6.5.2.2 | Durchmusterung und Pheromoninitialisierung | 268 |
| 6.5.2.3 | Nadirpunktstrategie | 273 |
| 6.5.2.4 | Routingtabellen und Tabulisten | 274 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 6.5.2.5 | Reduktion | 274 |
| 6.5.2.6 | Iterationsanzahl und Stagnationsverhalten . . | 277 |
| 6.5.2.7 | Vergleich der entwickelten Heuristiken | 281 |
| 6.5.3 | Interaktive implizit-präferenzorientierte Zielwertver- | |
| | besserung und Goal Programming | 286 |
| 7 | Zusammenfassung und Ausblick | 291 |
| A | Testinstanzen | 295 |
| A.1 | Testinstanzen mit 3 Kriterien | 295 |
| A.1.1 | Lineare Testinstanzen | 295 |
| A.1.2 | Konvergente Testinstanzen | 296 |
| A.1.2.1 | Konvergent-tiefe Testinstanzen | 296 |
| A.1.2.2 | Konvergent-breite Testinstanzen | 297 |
| A.1.3 | Divergente Testinstanzen | 298 |
| A.1.3.1 | Divergent-sequentielle Testinstanzen | 298 |
| A.1.3.2 | Divergent-interdependente Testinstanzen . . . | 300 |
| A.2 | Testinstanzen mit 7 Kriterien | 302 |
| B | Konfigurationen | 303 |
| B.1 | AS | 303 |
| B.1.1 | AS1-AS27 | 303 |
| B.1.2 | AS100-AS125 | 304 |
| B.1.3 | AS130-AS153 | 304 |
| B.1.4 | AS160-AS163 | 306 |
| B.1.5 | AS190-AS192 | 306 |
| B.1.6 | AS200 | 306 |
| B.2 | ACS | 306 |
| B.2.1 | ACS1-ACS81 | 306 |
| B.2.2 | ACS100-ACS125 | 308 |

| | | |
|----------|-----------------------------------|------------|
| B.2.3 | ACS130-ACS141 | 309 |
| B.2.4 | ACS160-ACS162 | 309 |
| B.2.5 | ACS190-ACS192 | 310 |
| B.2.6 | ACS200 | 310 |
| B.3 | PACO | 310 |
| B.3.1 | PACO1-PACO27 | 310 |
| B.3.2 | PACO30-PACO93 | 311 |
| B.3.3 | PACO100-PACO125 | 312 |
| B.3.4 | PACO190-PACO192 | 313 |
| B.3.5 | PACO200 | 314 |
| B.4 | ACS/PACO | 314 |
| B.4.1 | ACS/PACO195-ACS/PACO197 | 314 |
| B.4.2 | ACS/PACO200 | 314 |
| C | Ergebnisse | 315 |
| | Literaturverzeichnis | 319 |