

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> .....	<b>V</b>
<b>Symbolverzeichnis</b> .....	<b>XIII</b>
<b>Kapitel 1: Einführung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Begriff des Operations Research .....	1
1.2 Modelle im Operations Research .....	3
1.2.1 Charakterisierung verschiedener Modelltypen. ....	3
1.2.2 Optimierungsmodelle. ....	4
1.2.2.1 Formulierung eines allgemeinen Optimierungsmodells .....	4
1.2.2.2 Beispiele für Optimierungsmodelle .....	5
1.2.2.3 Klassifikation von Optimierungsmodellen .....	6
1.2.3 Bedeutung einer effizienten Modellierung. ....	7
1.3 Teilgebiete des Operations Research. ....	7
1.4 Arten der Planung und Anwendungsmöglichkeiten des OR .....	10
1.5 Anhang. ....	12
<b>Kapitel 2: Lineare Optimierung</b> .....	<b>13</b>
2.1 Definitionen .....	13
2.2 Graphische Lösung von linearen Optimierungsproblemen. ....	14
2.3 Formen und Eigenschaften von LPs .....	16
2.3.1 Optimierungsprobleme mit Ungleichungen als Nebenbedingungen .....	16
2.3.2 Die Normalform eines linearen Optimierungsproblems .....	17
2.3.3 Eigenschaften von linearen Optimierungsproblemen .....	18
2.4 Der Simplex-Algorithmus .....	21
2.4.1 Der Simplex-Algorithmus bei bekannter zulässiger Basislösung .....	22
2.4.1.1 Darstellung des Lösungsprinzips anhand eines Beispiels .....	22
2.4.1.2 Der primale Simplex-Algorithmus .....	23
2.4.2 Verfahren zur Bestimmung einer zulässigen Basislösung .....	25
2.4.2.1 Der duale Simplex-Algorithmus .....	25
2.4.2.2 Die M-Methode .....	28
2.5 Dualität und Analyse von LP-Lösungen .....	31
2.5.1 Dualität .....	31
2.5.2 Sonderfälle von LPs und ihre Identifikation .....	35
2.5.3 Reduzierte Kosten, Schattenpreise, Opportunitätskosten .....	37

2.5.4	Sensitivitätsanalyse .....	42
2.5.4.1	Änderung von Zielfunktionskoeffizienten .....	43
2.5.4.2	Änderung von Ressourcenbeschränkungen .....	45
2.5.4.3	Zusätzliche Alternativen .....	46
2.6	Modifikationen des Simplex-Algorithmus .....	48
2.6.1	Untere und obere Schranken für Variablen .....	48
2.6.2	Der revidierte Simplex-Algorithmus .....	51
2.7	Optimierung bei mehrfacher Zielsetzung .....	55
2.7.1	Lexikographische Ordnung von Zielen .....	56
2.7.2	Zieldominanz .....	56
2.7.3	Zielgewichtung .....	57
2.7.4	Berücksichtigung von Abstandsfunktionen .....	57
2.8	Spieltheorie und lineare Optimierung .....	59
	Softwarehinweise und weiterführende Literatur zu Kapitel 2 .....	63
<b>Kapitel 3: Graphentheorie .....</b>		<b>65</b>
3.1	Grundlagen .....	65
3.1.1	Begriffe der Graphentheorie .....	65
3.1.2	Speicherung von Knotenmengen und Graphen .....	69
3.2	Kürzeste Wege in Graphen .....	71
3.2.1	Baumalgorithmen .....	72
3.2.2	Der Tripel-Algorithmus .....	76
3.3	Minimale spannende Bäume und minimale 1-Bäume .....	77
3.3.1	Bestimmung eines minimalen spannenden Baumes .....	78
3.3.2	Bestimmung eines minimalen 1-Baumes .....	79
3.4	Software, Animationen, Literatur .....	80
<b>Kapitel 4: LP mit spezieller Struktur .....</b>		<b>81</b>
4.1	Das klassische Transportproblem .....	81
4.1.1	Problemstellung und Verfahrenüberblick .....	81
4.1.2	Eröffnungsverfahren .....	83
4.1.3	Die MODI-Methode .....	87
4.1.4	Transportprobleme bei ganzzahligen Angebots- und Nachfragemengen .....	92
4.2	Das lineare Zuordnungsproblem .....	93
4.3	Umladeprobleme .....	94
	Softwarehinweise und weiterführende Literatur zu Kapitel 4 .....	95

<b>Kapitel 5: Netzplantechnik und Projektmanagement</b> .....	<b>97</b>
5.1 Einführung und Definitionen .....	97
5.2 Struktur- und Zeitplanung mit Vorgangsknotennetzplänen .....	100
5.2.1 Strukturplanung .....	100
5.2.1.1 Grundregeln .....	100
5.2.1.2 Transformation von Vorgangsfolgen .....	101
5.2.1.3 Beispiel .....	102
5.2.2 Zeitplanung .....	104
5.2.2.1 Ermittlung frühester und spätester Zeitpunkte .....	104
5.2.2.2 Pufferzeiten, kritische Vorgänge und Wege .....	107
5.2.2.3 Zeitplanung mit linearer Optimierung .....	109
5.2.3 Gantt-Diagramme .....	110
5.3 Struktur- und Zeitplanung mit Vorgangspfeilnetzplänen .....	110
5.3.1 Strukturplanung .....	110
5.3.1.1 Grundregeln .....	111
5.3.1.2 Ein Beispiel .....	113
5.3.2 Zeitplanung .....	113
5.3.2.1 Ermittlung frühester und spätester Zeitpunkte .....	113
5.3.2.2 Pufferzeiten, kritische Vorgänge und Wege .....	114
5.4 Kostenplanung .....	115
5.5 Kapazitätsplanung .....	117
Softwarehinweise und weiterführende Literatur zu Kapitel 5 .....	120
 <b>Kapitel 6: Ganzzahlige und kombinatorische Optimierung</b> .....	 <b>121</b>
6.1 Klassifikation und Beispiele .....	121
6.2 Komplexität und Lösungsprinzipien .....	126
6.2.1 Komplexität von Algorithmen und Optimierungsproblemen .....	126
6.2.2 Lösungsprinzipien .....	127
6.3 Grundprinzipien heuristischer Lösungsverfahren .....	129
6.4 Branch-and-Bound-Verfahren .....	133
6.4.1 Das Prinzip .....	133
6.4.2 Erläuterung anhand eines Beispiels .....	134
6.4.3 Komponenten von B&B-Verfahren .....	135

6.5	Knapsack-Probleme . . . . .	139
6.5.1	Das binäre Knapsack-Problem . . . . .	139
6.5.1.1	Lösung mittels Branch-and-Bound . . . . .	139
6.5.1.2	Lösung mittels Branch-and-Cut . . . . .	140
6.5.2	Das mehrfach restringierte Knapsack-Problem . . . . .	141
6.6	Traveling Salesman - Probleme . . . . .	143
6.6.1	Heuristiken . . . . .	144
6.6.1.1	Deterministische Eröffnungsverfahren . . . . .	145
6.6.1.2	Deterministische Verbesserungsverfahren . . . . .	146
6.6.1.3	Ein stochastisches Verfahren . . . . .	147
6.6.2	Ein Branch-and-Bound-Verfahren für TSPe in ungerichteten Graphen . . . . .	149
6.6.2.1	Die Lagrange-Relaxation und Lösungsmöglichkeiten . . . . .	150
6.6.2.2	Das Branch-and-Bound-Verfahren . . . . .	154
6.7	Software, Animationen, Literatur . . . . .	157
	<b>Kapitel 7: Dynamische Optimierung . . . . .</b>	<b>159</b>
7.1	Mit dynamischer Optimierung lösbare Probleme . . . . .	159
7.1.1	Allgemeine Form von dynamischen Optimierungsproblemen . . . . .	159
7.1.2	Ein Bestellmengenmodell . . . . .	161
7.1.3	Klassifizierung und graphische Darstellung von DO-Modellen . . . . .	162
7.2	Das Lösungsprinzip der dynamischen Optimierung . . . . .	164
7.2.1	Grundlagen und Lösungsprinzip . . . . .	164
7.2.2	Lösung des Bestellmengenmodells . . . . .	166
7.3	Weitere deterministische, diskrete Probleme . . . . .	167
7.3.1	Bestimmung kürzester Wege . . . . .	167
7.3.2	Das Knapsack-Problem . . . . .	168
7.3.3	Ein Problem mit unendlichen Zustands- und Entscheidungsmengen . . . . .	171
7.4	Ein stochastisches, diskretes Problem . . . . .	173
	Weiterführende Literatur zu Kapitel 7 . . . . .	175
	<b>Kapitel 8: Nichtlineare Optimierung . . . . .</b>	<b>176</b>
8.1	Probleme und Modelle der nichtlinearen Optimierung . . . . .	177
8.1.1	Allgemeine Form nichtlinearer Optimierungsprobleme . . . . .	177
8.1.2	Beispiele für nichtlineare Optimierungsprobleme . . . . .	178
8.2	Grundlagen und Definitionen . . . . .	180

8.3	Optimierungsprobleme ohne Nebenbedingungen . . . . .	185
8.3.1	Probleme mit einer Variablen . . . . .	185
8.3.2	Probleme mit mehreren Variablen . . . . .	187
8.4	Allgemeine restringierte Optimierungsprobleme. . . . .	190
8.4.1	Charakterisierung von Maximalstellen. . . . .	190
8.4.2	Überblick über Lösungsverfahren . . . . .	194
8.5	Quadratische Optimierung. . . . .	195
8.5.1	Quadratische Form . . . . .	195
8.5.2	Der Algorithmus von Wolfe. . . . .	197
8.6	Konvexe Optimierungsprobleme . . . . .	200
8.6.1	Die Methode der zulässigen Richtungen bzw. des steilsten Anstiegs . . . . .	200
8.6.2	Hilfsfunktionsverfahren . . . . .	205
8.7	Optimierung bei zerlegbaren Funktionen . . . . .	208
8.8	Anhang. . . . .	210
	<b>Kapitel 9: Warteschlangentheorie. . . . .</b>	<b>212</b>
9.1	Einführung . . . . .	212
9.2	Binomial-, Poisson- und Exponentialverteilung . . . . .	213
9.3	Wartemodelle als homogene Markovketten . . . . .	217
9.3.1	Homogene Markovketten . . . . .	217
9.3.2	Der Ankunftsprozess . . . . .	219
9.3.3	Berücksichtigung der Abfertigung . . . . .	220
9.4	Weitere Wartemodelle . . . . .	222
	Softwarehinweise und weiterführende Literatur zu Kapitel 9. . . . .	224
	<b>Kapitel 10: Simulation . . . . .</b>	<b>225</b>
10.1	Grundlegende Arten der Simulation . . . . .	226
10.1.1	Monte Carlo-Simulation . . . . .	226
10.1.2	Diskrete Simulation . . . . .	227
10.1.3	Kontinuierliche Simulation. . . . .	227
10.2	Stochastischer Verlauf von Inputgrößen . . . . .	228
10.2.1	Kontinuierliche Dichtefunktionen . . . . .	228
10.2.2	Diskrete Wahrscheinlichkeitsfunktionen . . . . .	229
10.2.3	Empirische Funktionsverläufe . . . . .	229
10.2.4	Signifikanztests. . . . .	229

---

10.3 Erzeugung von Zufallszahlen . . . . .	230
10.3.1 Grundsätzliche Möglichkeiten . . . . .	230
10.3.2 Standardzufallszahlen . . . . .	231
10.3.3 Diskret verteilte Zufallszahlen . . . . .	232
10.3.4 Kontinuierlich verteilte Zufallszahlen . . . . .	233
10.4 Anwendungen der Simulation . . . . .	235
10.4.1 Numerische Integration . . . . .	235
10.4.2 Auswertung stochastischer Netzpläne . . . . .	236
10.4.3 Analyse eines stochastischen Lagerhaltungsproblems . . . . .	237
10.4.4 Simulation von Warteschlangensystemen . . . . .	239
10.5 Simulationssprachen . . . . .	239
Weiterführende Literatur zu Kapitel 10 . . . . .	241
<b>Kapitel 11: OR und Tabellenkalkulation . . . . .</b>	<b>242</b>
11.1 (Ganzzahlige) Lineare Optimierung . . . . .	242
11.2 Kürzeste Wege in Graphen . . . . .	245
11.3 Simulation eines Warteschlangenproblems . . . . .	247
Weiterführende Literatur zu Kapitel 11 . . . . .	249
<b>Literaturverzeichnis . . . . .</b>	<b>250</b>
<b>Sachverzeichnis . . . . .</b>	<b>265</b>