

# Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der algorithmischen Beschreibungen von Verfahren	xv
Symbolverzeichnis	xviii
<b>Kapitel 0 Einführung</b>	<b>1</b>
0.1 Was ist Operations Research?	1
0.2 Typische OR-Anwendungen	11
<b>Kapitel 1 Lineare Optimierung</b>	<b>35</b>
1.1 Beispiele und Grundbegriffe	36
1.1.1 Beispiele	36
1.1.2 Standardproblem der linearen Optimierung	40
1.1.3 Grundlegende Begriffe und Sätze	43
1.2 Das Simplexverfahren	52
1.2.1 Erläuterung der Simplexmethode an Hand eines Beispiels	53
1.2.2 Austauschschritt	57
1.2.3 Prinzip des Simplexverfahrens	64
1.2.4 Entartete Ecken	67
1.3 Das Simplextableau	69
1.3.1 Durchführung eines Austauschschrittes	69
1.3.2 Aufstellung des Anfangstableaus	71
1.4 Dualität	76
1.4.1 Duale lineare Optimierungsprobleme	76
1.4.2 Anwendungen der Dualität	81
1.4.3 Ökonomische Interpretation der Dualität	84
1.5 Modifikationen des Standardproblems und Sonderformen des Simplexverfahrens	86
1.5.1 Variablen ohne Vorzeichenbeschränkung	86
1.5.2 Untere und obere Grenzen für einzelne Variablen	89
1.5.3 Duale Simplexmethode	96
1.5.4 Dreiphasenmethode	103
1.5.5 Revidierte Simplexmethode	109
1.6 Sensitivitätsanalyse und parametrische Optimierung	118
1.6.1 Erläuterung der Sensitivitätsanalyse an Hand von Beispielen	120
1.6.2 Sensitivitätsanalyse	124

1.6.3	Erläuterung der parametrischen Optimierung an Hand von Beispielen .....	128
1.6.4	Parametrische Optimierung .....	133
1.7	Vektoroptimierung und Goal Programming .....	135
1.7.1	Das Vektorminimum-Problem .....	136
1.7.2	Goal Programming .....	141
1.8	Zwei-Personen-Nullsummenspiele .....	142
1.8.1	Grundbegriffe .....	143
1.8.2	Sattelpunktsspiele .....	144
1.8.3	Gemischte Strategien .....	146
1.8.4	Hauptsatz der Spieltheorie .....	149
1.8.5	Bestimmung optimaler Strategien .....	152
1.8.6	Dominanz von Strategien .....	154
1.8.7	Lösung von $2 \times n$ - und $m \times 2$ -Matrixspielen .....	156
1.9	Ergänzungen .....	160
1.9.1	Rechenaufwand der Simplexmethode .....	160
1.9.2	Die Ellipsoid-Methode .....	161
1.9.3	Die Projektionsmethode von Karmarkar .....	166
1.9.4	Dekompositionsverfahren .....	171
<b>Kapitel 2</b>	<b>Graphen und Netzwerke</b> .....	<b>176</b>
2.1	Grundbegriffe der Graphentheorie .....	177
2.1.1	Grundlegende Definitionen .....	177
2.1.2	Kantenfolgen in Graphen und Pfeilfolgen in Digraphen .....	181
2.1.3	Bäume und bipartite Graphen und Digraphen .....	183
2.1.4	Bewertete Graphen und Digraphen, Netzwerke .....	187
2.2	Graphen und Digraphen auf Rechnern .....	189
2.2.1	Rechenaufwand von Algorithmen .....	189
2.2.2	Elementare Datenstrukturen und Speicherung von Graphen und Digraphen .....	191
2.2.3	Pascal-nahe Beschreibung von Algorithmen .....	197
2.3	Minimalgerüste .....	198
2.3.1	Verfahren von Prim und von Kruskal .....	199
2.3.2	Minimale 1-Gerüste .....	202
2.4	Kürzeste Wege in Netzwerken .....	203
2.4.1	Baumalgorithmen zur Bestimmung kürzester Wege .....	204
2.4.2	Label-Correcting-Verfahren .....	208
2.4.3	Label-Setting-Verfahren .....	212
2.4.4	Kürzeste Wege zwischen allen Knoten .....	219
2.5	Elemente der Netzplantechnik .....	226
2.5.1	Projekte und Netzpläne .....	227

2.5.2	CPM-Netzpläne.....	230
2.5.3	Zeitplanung mit CPM.....	234
2.5.4	MPM-Netzpläne.....	243
2.5.5	Zeitplanung mit MPM.....	252
2.6	Flüsse in Netzwerken.....	256
2.6.1	Flüsse und Schnitte in Netzwerken.....	256
2.6.2	Bestimmung maximaler Flüsse mit dem Algorithmus von Ford und Fulkerson.....	261
2.6.3	Bestimmung maximaler Flüsse mit Hilfe von Schichtennetzwerken.....	269
2.6.4	Ermittlung eines zulässigen Ausgangsflusses.....	273
2.6.5	Kostenminimale Flüsse.....	275
2.6.6	Bestimmung kostenminimaler Flüsse mit dem Algorithmus von Busacker und Gowen.....	282
2.7	Matchings und Zuordnungen.....	290
2.7.1	Matchings.....	290
2.7.2	Das Zuordnungsproblem.....	292
2.7.3	Lösung des Zuordnungsproblems mit dem Glover-Klingman-Algorithmus.....	294
2.8	Umladeproblem und Netzwerk-Simplexmethode.....	301
2.8.1	Das Umladeproblem.....	301
2.8.2	Gerüste und Basen.....	305
2.8.3	Das Umladeproblem als lineares Optimierungsproblem.....	310
2.8.4	Durchführung eines Austauschschrittes der Netzwerk-Simplexmethode.....	312
2.8.5	Algorithmischer Ablauf eines Austauschschrittes.....	319
2.8.6	Bestimmung einer zulässigen Anfangslösung für das Umladeproblem.....	324
2.8.7	Das Transportproblem.....	325
2.8.8	Bestimmung einer zulässigen Anfangslösung für das Transportproblem.....	328
2.8.9	Die MODI-Methode zur Lösung des Transportproblems....	330
2.9	Das Briefträgerproblem.....	337
2.9.1	Das Briefträgerproblem in Graphen.....	338
2.9.2	Das Briefträgerproblem in Digraphen.....	345
2.10	Ergänzungen.....	348
2.10.1	Anwendungsbeispiele.....	349
2.10.2	Bestimmung maximaler Flüsse mit Hilfe von Präflüssen (Verfahren von Goldberg).....	352
2.10.3	Minimierung der Projektkosten.....	357

2.10.4	Stochastische Netzpläne.....	366
2.10.5	Modifizierte Flußprobleme.....	371
<b>Kapitel 3</b>	<b>Ganzzahlige und kombinatorische Optimierung....</b>	<b>380</b>
3.1	Ganzzahlige Optimierung.....	381
3.1.1	Ganzzahlige, kombinatorische und binäre Optimierungsprobleme.....	381
3.1.2	Ganzzahlige Optimierungsprobleme mit total unimodularer Koeffizientenmatrix.....	384
3.1.3	Verfahren von Gomory zur Lösung des rein-ganzzahligen Optimierungsproblems.....	386
3.2	Lösungsmethoden für kombinatorische Optimierungsprobleme....	392
3.2.1	Prinzip der Branch-and-Bound-Verfahren.....	393
3.2.2	Heuristiken.....	402
3.3	Das Rucksackproblem.....	406
3.3.1	Problemstellung.....	406
3.3.2	Greedy-Heuristik und Problemreduktion.....	408
3.3.3	Branch-and-Bound-Algorithmus.....	413
3.3.4	Das ganzzahlige Rucksackproblem.....	421
3.4	Verschnittprobleme.....	423
3.4.1	Eindimensionale Verschnittprobleme.....	425
3.4.2	Zweidimensionale Verschnittprobleme.....	432
3.5	Handlungsreisendenproblem und Tourenplanung.....	438
3.5.1	Handlungsreisendenproblem: Aufgabenstellung.....	438
3.5.2	Formulierung des Handlungsreisendenproblems als binäres Optimierungsproblem.....	442
3.5.3	Heuristische Verfahren für das symmetrische Handlungsreisendenproblem.....	444
3.5.4	Heuristische Verfahren für das asymmetrische Handlungsreisendenproblem.....	454
3.5.5	Branch-and-Bound-Verfahren für das asymmetrische Handlungsreisendenproblem.....	459
3.5.6	Branch-and-Bound-Verfahren für das symmetrische Handlungsreisendenproblem.....	463
3.5.7	Tourenplanung: Problemstellung.....	468
3.5.8	Das Savingsverfahren zur Lösung des Tourenplanungsproblems.....	471
3.6	Maschinenbelegungsplanung.....	474
3.6.1	Grundlegende Begriffe und Resultate.....	475
3.6.2	Ein-Maschinen-Probleme.....	478

3.6.3	Mehrere parallele Maschinen .....	487
3.6.4	Open-Shop-, Flow-Shop- und Job-Shop-Probleme.....	496
3.6.5	Übersicht über die behandelten Schedulingprobleme und Verfahren.....	505
3.7	Ressourcenplanung bei Projekten.....	506
3.7.1	Nivellierung des Einsatzmittelbedarfs.....	508
3.7.2	Minimierung der Projektdauer bei vorgegebener Einsatzmit- telkapazität .....	515
3.8	Ergänzungen.....	520
3.8.1	Lagrange-Relaxation und Lagrange-Dualität .....	520
3.8.2	Verfahren von Benders.....	527
3.8.3	Starke gültige Ungleichungen und Branch-and-Cut-Verfah- ren .....	529
<b>Kapitel 4</b>	<b>Nichtlineare Optimierung</b> .....	<b>536</b>
4.1	Grundbegriffe.....	537
4.2	Optimalitätsbedingungen.....	541
4.2.1	Optimalitätsbedingungen für lokale Minimalpunkte .....	541
4.2.2	Konvexe Optimierungsprobleme.....	544
4.2.3	Lagrange-Funktion und Karush-Kuhn-Tucker-Bedingungen	548
4.3	Lösungsverfahren für nichtlineare Optimierungsprobleme.....	555
4.3.1	Eindimensionale Minimierung .....	555
4.3.2	Lösungsverfahren für unrestringierte Optimierungsprobleme im $\mathbb{R}^n$ .....	559
4.3.3	Lösungsverfahren für restringierte Optimierungsprobleme im $\mathbb{R}^n$ .....	567
4.4	Quotientenoptimierung.....	575
4.5	Ergänzungen.....	578
4.5.1	Lagrange-Dualität .....	578
4.5.2	Separable Optimierung.....	582
4.5.3	Globale Optimierung.....	584
<b>Kapitel 5</b>	<b>Dynamische und stochastische Modelle und Metho- den</b> .....	<b>592</b>
5.1	Dynamische Optimierung.....	593
5.1.1	Beispiele.....	593
5.1.2	Problemstellung .....	597
5.1.3	Bellmansche Funktionalgleichung und Bellmansches Opti- malitätsprinzip .....	600
5.1.4	Bellmansche Funktionalgleichungsmethode.....	602

5.1.5	Binäres und ganzzahliges Rucksackproblem	608
5.1.6	Umkehrung des Rechenverlaufs	613
5.1.7	Stochastische dynamische Optimierung	615
5.1.8	Markowsche Entscheidungsprozesse	617
5.2	Lagerhaltung	621
5.2.1	Charakterisierung von Lagerhaltungsmodellen	621
5.2.2	Losgrößenmodelle	625
5.2.3	Ein deterministisches dynamisches Modell	634
5.2.4	Ein stochastisches Ein-Perioden-Modell	639
5.2.5	Stochastische stationäre Mehr-Perioden-Modelle	645
5.2.6	Modifikationen der stationären Mehr-Perioden-Modelle	655
5.2.7	Stochastische unendlich-periodige Modelle	657
5.3	Warteschlangen	661
5.3.1	Charakterisierung von Wartesystemen	662
5.3.2	Das Wartesystem $M M 1$	665
5.3.3	Gleichgewichtsfall des Wartesystems $M M 1$	669
5.3.4	Verteilung der Wartezeit	673
5.3.5	Ungeduldige Kunden und endlicher Warteraum	676
5.3.6	Das Wartesystem $M M s$	679
5.3.7	Little's Formel $L = \lambda W$	686
5.3.8	Warteschlangennetze	689
5.3.9	Optimale Auslegung von Wartesystemen	692
5.4	Simulation	697
5.4.1	Zum Begriff der Simulation und Beispiele	697
5.4.2	Erzeugen und Testen von Zufallszahlen	705
5.4.3	Einsatz der Simulation	722
5.5	Entscheidungstheorie	731
5.5.1	Gliederung der Entscheidungstheorie	731
5.5.2	Präferenzrelationen	734
5.5.3	Entscheidungsregeln	736
5.6	Ergänzungen	739
5.6.1	Wartesysteme mit nicht exponentialverteilten Zwischenankunfts- und Bedienungszeiten	739
5.6.2	Stochastische Ein-Maschinen-Schedulingprobleme	742
5.6.3	Verschiedene Warteschlangendisziplinen für Wartesysteme mit einem Schalter	744
	<b>Literaturverzeichnis</b>	749
	<b>Literaturhinweise (Lehrbücher) zu den einzelnen Kapiteln</b>	757
	<b>Namen- und Sachverzeichnis</b>	759