

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur vierten amerikanischen Auflage . . . . .	XI
Dank . . . . .	XV
<b>Kapitel 1:</b> <b>Was ist Operations Research?</b> . . . . .	1
1.1 Die Anfänge des Operations Research . . . . .	1
1.2 Was ist Operations Research? . . . . .	2
1.3 Welche Bedeutung hat Operations Research? . . . . .	4
1.4 Wie plant man eine Laufbahn in Operations Research? . . . . .	7
1.5 Überblick über den Inhalt des Buches . . . . .	9
<b>Kapitel 2:</b> <b>Überblick über die Modellierungsgrundsätze des Operations Research</b> . . . . .	14
2.1 Problemformulierung . . . . .	14
2.2 Konstruktion eines mathematischen Modells . . . . .	16
2.3 Ableiten einer Lösung . . . . .	19
2.4 Überprüfen des Modells und der Lösung . . . . .	20
2.5 Errichtung eines Kontrollmechanismus für die Lösung . . . . .	22
2.6 Implementierung . . . . .	22
2.7 Zusammenfassung . . . . .	23
<b>Kapitel 3:</b> <b>Einführung in die lineare Programmierung</b> . . . . .	25
3.1 Einführungsbeispiel . . . . .	25
3.2 Das lineare Programmierungsmodell . . . . .	30
3.3 Grundlegende Annahmen der linearen Programmierung . . . . .	33
3.4 Ergänzende Beispiele . . . . .	35
3.5 Zusammenfassung . . . . .	41
<b>Kapitel 4:</b> <b>Die Lösung linearer Programmierungsprobleme: Das Simplexverfahren</b> . . . . .	46
4.1 Das Grundprinzip des Simplexverfahrens . . . . .	46
4.2 Ausgangsbedingungen des Simplexverfahrens . . . . .	49
4.3 Die Rechenschritte des Simplexverfahrens . . . . .	51
4.4 Das Simplexverfahren in tabellarischer Darstellung . . . . .	58
4.5 Mehrdeutigkeiten beim Simplexverfahren . . . . .	64
4.6 Anpassung anderer Modellformulierungen . . . . .	67
4.7 Postoptimalitätsanalysen . . . . .	79
4.8 Implementierung am Computer . . . . .	84
4.9 Zusammenfassung . . . . .	86

**Kapitel 5:**

<b>Die Theorie des Simplexverfahrens</b> . . . . .	93
5.1 Grundlagen des Simplexverfahrens . . . . .	93
5.2 Das revidierte Simplexverfahren . . . . .	101
5.3 Ein Schlüsselerlebnis für die Theorie des Simplexverfahrens . . . . .	112
5.4 Zusammenfassung . . . . .	116

**Kapitel 6:**

<b>Dualitätstheorie und Sensitivitätsanalyse</b> . . . . .	124
6.1 Die Kernaussage der Dualitätstheorie . . . . .	124
6.2 Ökonomische Interpretation der Dualität . . . . .	130
6.3 Primal-dual-Beziehungen . . . . .	133
6.4 Behandlung nichtstandardmäßiger Primalprobleme . . . . .	139
6.5 Die Rolle der Dualitätstheorie bei der Sensitivitätsanalyse . . . . .	143
6.6 Das Grundprinzip der Sensitivitätsanalyse . . . . .	146
6.7 Anwendung der Sensitivitätsanalyse . . . . .	150
6.8 Zusammenfassung . . . . .	158

**Kapitel 7:**

<b>Spezialfälle linearer Programmierungsprobleme</b> . . . . .	172
7.1 Das Transportproblem . . . . .	173
7.2 Lösung des Transportproblems mit einem verkürzten Simplexverfahren . . . . .	183
7.3 Das Umladeproblem . . . . .	200
7.4 Das Zuordnungsproblem . . . . .	205
7.5 Multidivisionale Probleme . . . . .	207
7.6 Zusammenfassung . . . . .	212

**Kapitel 8:**

<b>Die Formulierung linearer Programmierungsmodelle und Goal-Programming</b> . . . . .	225
8.1 Variablen und Funktionen mit sowohl positiven als auch negativen Komponenten . . . . .	226
8.2 Goal-Programming . . . . .	229
8.3 Maximierung der minimalen Verbesserung aller Ziele . . . . .	235
8.4 Weitere Beispiele zu Problemen der Modellformulierung . . . . .	239
8.5 Eine Fallstudie – Neuplanung von Schuleinzugsgebieten für ein ausgewogenes Verhältnis von schwarzen und weißen Schülern . . . . .	244
8.6 Zusammenfassung . . . . .	250

**Kapitel 9:**

<b>Weitere Algorithmen der linearen Programmierung</b> . . . . .	260
9.1 Die Upper-Bound-Methode . . . . .	260
9.2 Das duale Simplexverfahren . . . . .	263
9.3 Parametrische lineare Programmierung . . . . .	266
9.4 Zusammenfassung . . . . .	272

<b>Kapitel 10:</b>	
<b>Netzwerkanalyse einschließlich PERT-CPM</b> . . . . .	278
10.1 Einführendes Beispiel . . . . .	278
10.2 Die Terminologie der Netzwerke . . . . .	279
10.3 Das Problem des kürzesten Weges . . . . .	281
10.4 Das Problem der minimalen Aufspannung eines Baumes . . . . .	283
10.5 Das Problem des maximalen Flusses . . . . .	287
10.6 Planung und Kontrolle von Projekten mit PERT-CPM . . . . .	293
10.7 Zusammenfassung . . . . .	306
<b>Kapitel 11:</b>	
<b>Dynamische Optimierung</b> . . . . .	316
11.1 Typisches Beispiel . . . . .	316
11.2 Charakteristische Merkmale des dynamischen Optimierungs- problems . . . . .	320
11.3 Deterministische Dynamische Optimierung . . . . .	323
11.4 Stochastische Dynamische Optimierung . . . . .	338
11.5 Zusammenfassung . . . . .	344
<b>Kapitel 12:</b>	
<b>Spieltheorie</b> . . . . .	352
12.1 Einführung . . . . .	352
12.2 Die Lösung einfacher Spiele – Ein typisches Beispiel . . . . .	354
12.3 Spiele mit gemischten Strategien . . . . .	359
12.4 Graphisches Lösungsverfahren . . . . .	361
12.5 Lösung mit Hilfe der linearen Optimierung . . . . .	364
12.6 Erweiterungen . . . . .	368
12.7 Zusammenfassung . . . . .	369
<b>Kapitel 13:</b>	
<b>Ganzzahlige Programmierung</b> . . . . .	376
13.1 Einführungsbeispiel . . . . .	377
13.2 Einige andere Modellierungsmöglichkeiten mit binären Variablen . . . . .	379
13.3 Einige Ausführungen zur Lösung ganzzahliger Programmierungs- probleme . . . . .	384
13.4 Das Branch-and-Bound-Verfahren . . . . .	388
13.5 Ein Branch-and-Bound-Algorithmus zur reinen, binären, ganz- zähligen Programmierung . . . . .	397
13.6 Ein Branch-and-Bound-Algorithmus für die gemischt-ganzzahlige Programmierung . . . . .	402
13.7 Zusammenfassung . . . . .	404
<b>Kapitel 14:</b>	
<b>Nichtlineare Programmierung</b> . . . . .	415
14.1 Anwendungsbeispiele . . . . .	415
14.2 Graphische Darstellung des nichtlinearen Programmierungs- Problems . . . . .	419
14.3 Typen nichtlinearer Programmierungsprobleme . . . . .	423

14.4	Optimierung ohne Nebenbedingungen bei einer Variable . . . . .	428
14.5	Optimierung ohne Nebenbedingungen bei mehreren Variablen . . . . .	431
14.6	Die Karush-Kuhn-Tucker (KKT)-Bedingungen für die Optimierung mit Nebenbedingungen . . . . .	437
14.7	Quadratische Programmierung . . . . .	440
14.8	Programmierung bei zerlegbaren Funktionen . . . . .	444
14.9	Konvexe Programmierung . . . . .	451
14.10	Nichtkonvexe Programmierung . . . . .	456
14.11	Zusammenfassung . . . . .	461

## Kapitel 15:

<b>Stochastische Prozesse</b> . . . . .	478	
15.1	Einleitung . . . . .	478
15.2	Der Stochastische Prozess . . . . .	478
15.3	Markov-Ketten . . . . .	479
15.4	Die Chapman-Kolmogorov-Gleichungen . . . . .	481
15.5	Übergangsdauer . . . . .	484
15.6	Klassifikation der Zustände von Markov-Ketten . . . . .	487
15.7	Langfristige Eigenschaften von Markov-Ketten . . . . .	488
15.8	Absorbierende Zustände . . . . .	494
15.9	Markov-Ketten mit stetigem Zeitparameter . . . . .	495

## Kapitel 16:

<b>Warteschlangentheorie</b> . . . . .	502	
16.1	Einführungsbeispiel . . . . .	502
16.2	Grundstruktur der Warteschlangenmodelle . . . . .	503
16.3	Beispiele von realen Warteschlangensystemen . . . . .	509
16.4	Die Rolle der Exponentialverteilung . . . . .	511
16.5	Der Geburts- und Sterbeprozess . . . . .	517
16.6	Warteschlangenmodelle, die auf dem Geburts- und Sterbeprozess basieren . . . . .	521
16.7	Warteschlangenmodelle auf Grundlagen von alternativen Wahr- scheinlichkeitsverteilungen . . . . .	540
16.8	Ein Warteschlangenmodell mit Prioritätsregel . . . . .	549
16.9	Warteschlangennetzwerke . . . . .	554
16.10	Zusammenfassung . . . . .	556

## Kapitel 17:

<b>Die Anwendung der Warteschlangentheorie</b> . . . . .	566	
17.1	Beispiele . . . . .	566
17.2	Entscheidungsfindung . . . . .	568
17.3	Formulierung der Wartekostenfunktion . . . . .	573
17.4	Entscheidungsmodelle . . . . .	578
17.5	Ermittlung der Fahrzeit . . . . .	583
17.6	Zusammenfassung . . . . .	590

<b>Kapitel 18:</b>	
<b>Lagerhaltungstheorie</b> . . . . .	601
18.1 Einleitung . . . . .	601
18.2 Bestandteile eines Lagerhaltungsmodells . . . . .	602
18.3 Deterministische Modelle . . . . .	606
18.4 Stochastische Modelle . . . . .	623
18.5 Zusammenfassung . . . . .	649
<b>Kapitel 19:</b>	
<b>Prognoseverfahren</b> . . . . .	656
19.1 Einführung . . . . .	656
19.2 Subjektive Methoden . . . . .	657
19.3 Zeitreihen . . . . .	658
19.4 Prognosemethoden . . . . .	660
19.5 Lineare Regression . . . . .	666
19.6 Zusammenfassung . . . . .	673
<b>Kapitel 20:</b>	
<b>Markov-Entscheidungsprozesse</b> . . . . .	683
20.1 Einleitung . . . . .	683
20.2 Markov-Entscheidungsmodelle . . . . .	685
20.3 Lineare Programmierung zur Ermittlung der optimalen Politik . . . . .	690
20.4 Die Bestimmung einer optimalen Politik mit dem Policy-Improvement-Algorithmus . . . . .	693
20.5 Das Kriterium der diskontierten Kosten . . . . .	699
20.6 Ein Wasserversorgungsmodell . . . . .	707
20.7 Ein Lagerhaltungsmodell . . . . .	712
20.8 Zusammenfassung . . . . .	717
<b>Kapitel 21:</b>	
<b>Reliabilität</b> . . . . .	724
21.1 Einführung . . . . .	724
21.2 Strukturfunktion eines Systems . . . . .	724
21.3 Zuverlässigkeit eines Systems . . . . .	727
21.4 Berechnung der exakten Systemreliabilität . . . . .	729
21.5 Schranken der Systemreliabilität . . . . .	733
21.6 Schranken der Systemreliabilität auf der Basis von Ausfallzeiten . . . . .	734
21.7 Zusammenfassung . . . . .	738
<b>Kapitel 22:</b>	
<b>Entscheidungstheorie</b> . . . . .	742
22.1 Einführung . . . . .	742
22.2 Entscheidungsfindung ohne Experiment . . . . .	743
22.3 Entscheidungsfindung mit Experiment . . . . .	747
22.4 Entscheidungsbäume . . . . .	756
22.5 Nutzenfunktion . . . . .	760

22.6	Das Karneval-Beispiel . . . . .	760
22.7	Zusammenfassung . . . . .	767
<b>Kapitel 23:</b>		
<b>Simulation . . . . .</b>		<b>773</b>
23.1	Illustrationsbeispiele . . . . .	774
23.2	Formulierung und Implementierung eines Simulationsmodells . . . . .	778
23.3	Experimentelle Gestaltung der Simulation . . . . .	788
23.4	Die regenerative Methode der statistischen Analyse . . . . .	796
23.5	Zusammenfassung . . . . .	803
<b>Anhang . . . . .</b>		<b>812</b>
1	Konvexität . . . . .	812
2	Klassische Optimierungsverfahren . . . . .	817
3	Matrizen und Matrixoperationen . . . . .	821
4	Simultane lineare Gleichungen . . . . .	828
5	Tabellen . . . . .	831
<b>Lösungen für ausgewählte Übungsaufgaben . . . . .</b>		<b>840</b>
<b>Sachverzeichnis . . . . .</b>		<b>848</b>