

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>1 Optimierungssysteme als Bestandteil von OR/MS</b> .....	<b>5</b>
1.1 Operations Research, Management Science und Decision Support ..	5
1.2 Modellbildung im Operations Research .....	6
1.3 Methoden des Operations Research .....	8
1.3.1 Lineare Optimierung .....	8
1.3.2 Gemischt-ganzzahlige Optimierung .....	9
1.3.3 Netzwerkoptimierung .....	10
1.3.4 Nichtlineare Programmierung .....	12
1.3.5 Heuristiken und Metaheuristiken .....	13
1.3.6 Simulation .....	13
1.3.7 Entscheidungstheorie .....	15
1.3.8 Prognoseverfahren .....	15
1.3.9 Weitere datenbasierte Verfahren .....	16
1.3.10 Weitere Techniken des Operations Research .....	17
1.4 Optimierungssysteme .....	17
1.5 Mathematische Programmierung .....	19
1.6 Anwendungen in der Betriebswirtschaft .....	20
1.7 Praxisbeispiele .....	25
1.7.1 Monte-Carlo-Simulation bei Multiprofil .....	25
1.7.2 Call-Center-Simulation bei einer Direktbank .....	25
1.7.3 SCM-Planungstechniken bei Fischer-Ski .....	26
1.7.4 Zeitschriften-Allokation bei Time Inc. ....	28
1.7.5 Weitere Praxisbeispiele .....	29
1.8 Was sollte ich gelernt haben? .....	29

<b>2</b>	<b>Lineare Optimierungsmodelle</b> .....	<b>31</b>
2.1	Aufbau von linearen Modellen .....	31
2.2	Grafische Lösung eines 2-dimensionalen LP-Modells .....	33
2.3	Eigenschaften des zulässigen Bereichs .....	36
2.4	LP-Modelle mit spezieller Struktur .....	38
2.5	Lösungsverfahren für lineare Optimierungsmodelle .....	42
2.6	Das Simplex-Verfahren zur Lösung von LP-Modellen .....	44
2.6.1	Grundidee und Standardformat .....	44
2.6.2	Schritte des Simplex-Verfahrens .....	47
2.6.3	Bestimmung einer zulässigen Anfangslösung .....	52
2.7	Grafische Veranschaulichung – Vertiefung .....	57
2.7.1	Grafische Veranschaulichung der Grundidee des Simplex-Verfahrens .....	57
2.7.2	Basis vs. Ecke .....	59
2.7.3	Was ist ein „Simplex“? .....	59
2.8	Ökonomische Interpretation und Auswertung einer LP-Lösung ....	61
2.8.1	Interpretation der reduzierten Kosten und der Schattenpreise	64
2.8.2	Duales Modell und seine Interpretation .....	67
2.9	Praxisbeispiele .....	70
2.9.1	Produktionsplanung bei Bottle Caps .....	70
2.9.2	Optimierung der Südzucker Rübenlogistik .....	71
2.10	Übungsaufgaben .....	72
2.11	Was sollte ich gelernt haben? .....	74
<b>3</b>	<b>Software zur Lösung und Modellierung</b> .....	<b>77</b>
3.1	Merkmale von LP-Optimierungssoftware .....	77
3.2	Spezielle Implementierungstechniken – Vertiefung .....	80
3.3	Rechenaufwand bei der Lösung von LP-Modellen .....	81
3.4	Ein- und Ausgabe von linearen Optimierungsmodellen .....	82
3.4.1	Interaktive Ein- und Ausgabe .....	83
3.4.2	Ein- und Ausgabe im MPS-Format .....	83
3.4.3	Ein- und Ausgabe in internen Datenstrukturen .....	85
3.4.4	Ein- und Ausgabe über eine DLL-Schnittstelle .....	86
3.4.5	Spezielle Modellierungssprachen .....	86
3.5	Einbettung von Optimierungssoftware in Decision-Support-Systeme	89
3.6	Übungsaufgaben .....	91
3.7	Was sollte ich gelernt haben? .....	93

<b>4</b>	<b>Modellierungstechniken für Optimierungsaufgaben</b> .....	95
4.1	Bedeutung der richtigen Modellierung .....	95
4.2	Fixkostenprobleme .....	98
4.3	Schwellenwerte .....	100
4.4	Darstellung alternativer Restriktionsgruppen .....	102
4.5	Weitere spezielle Modellierungstechniken .....	103
4.6	Stückweise lineare Funktionen .....	107
4.7	Darstellung logischer Aussagen als Restriktionen .....	110
4.8	Optimierung bei mehrfacher Zielsetzung .....	115
4.8.1	Gewichtungen und Mindestanteile von Zielen .....	116
4.8.2	Goal Programming .....	118
4.9	Fundierung von Modellierungstechniken – Vertiefung .....	119
4.10	Praxisbeispiele .....	121
4.10.1	Sortimentsoptimierung von Büro- und Papierwaren .....	121
4.10.2	Verschnittoptimierung von Rollenstahl .....	122
4.11	Übungsaufgaben .....	124
4.12	Was sollte ich gelernt haben? .....	128
<b>5</b>	<b>Lösung gemischt-ganzzahliger Optimierungsmodelle</b> .....	131
5.1	Schwierigkeitsgrad von Optimierungsmodellen .....	131
5.2	Algorithmen und allgemeine Lösungsprinzipien .....	133
5.2.1	Greedy-Methode .....	134
5.2.2	Divide-and-Conquer .....	135
5.2.3	Eröffnungs- und Verbesserungsverfahren .....	135
5.2.4	Lokale Suche .....	136
5.2.5	Metaheuristiken und naturanaloge Verfahren .....	137
5.2.6	Backtracking und Branch&Bound .....	138
5.3	Backtracking und Branch&Bound-Verfahren .....	139
5.3.1	Backtracking-Verfahren und Hamilton-Kreise .....	139
5.3.2	Das Rucksackproblem und Job Sequencing .....	142
5.3.3	Anwendung von Backtracking mit Bounding .....	143
5.3.4	Branch&Bound-Verfahren für allgemeine MIP-Modelle .....	146
5.3.5	Beispiel zu Branch&Bound .....	149
5.4	Bemerkungen zu MIP-Modellen und deren Formulierung .....	152
5.4.1	Duality Gap .....	153
5.4.2	(Um-)Formulierung ganzzahliger Modelle – total unimodulare Matrizen .....	155
5.5	Spezielle Techniken und Software .....	156
5.6	Was sollte ich gelernt haben? .....	160

<b>6</b>	<b>Netzwerkorientierte Optimierungsmodelle</b>	163
6.1	Typische Optimierungsmodelle in Netzwerken	163
6.2	Grundbegriffe der Graphentheorie	167
6.3	Minimale Spannbäume	170
6.4	Kürzeste-Wege Probleme und Algorithmen	173
6.4.1	Der Dijkstra-Algorithmus	174
6.4.2	LC-Verfahren für kürzeste Wege	178
6.4.3	Kürzeste Wege zwischen allen Paaren von Knoten	181
6.4.4	Ermittlung längster Wege	183
6.5	Das Transportproblem	184
6.5.1	Das einstufige Transportproblem	184
6.5.2	Das mehrstufige Transportproblem	185
6.6	Das Transshipment-Modell	185
6.6.1	Das allgemeine Basismodell	185
6.6.2	Spezialfälle des Transshipment-Modells	188
6.7	Umformung des Transshipment-Modells	192
6.7.1	Transformation der unteren Schranken	192
6.7.2	Transformation in ein s-t-Flussproblem	193
6.7.3	Bestimmung von Zirkulationsflüssen	194
6.7.4	Kapazitätsrestriktionen auf Knoten	194
6.7.5	Ungerichtete und symmetrische Kanten	195
6.7.6	Netzwerke mit negativen Kantenbewertungen	196
6.8	Lösung des Min-Cost-Flow-Modells	197
6.8.1	Standardformat des Min-Cost-Flow-Modells	197
6.8.2	Bestimmung maximaler Flüsse	199
6.8.3	Bestimmung kostenminimaler Flüsse	203
6.8.4	Lösung mit Hilfe von Standard-Optimierungssoftware	206
6.9	Praxisbeispiele	208
6.9.1	Netzwerkflussmodell für Helsinki Wasserwerke	208
6.9.2	Netzausbauplanung im Gasnetz	209
6.9.3	Flugnetzoptimierung bei UPS	209
6.10	Übungsaufgaben	211
6.11	Was sollte ich gelernt haben?	212
<b>7</b>	<b>Fallstudie Transportlogistik im ÖPV: Netzwerkbasierte Modellierung und Optimierung</b>	215
7.1	Motivation	215
7.2	Produktionsplanung und -steuerung (PPS)	216
7.2.1	Hauptschritte eines PPS-Prozesses	217
7.2.2	Produktionsplanung und dispositive Kontrolle im öffentlichen Verkehr	217

7.3	Das Umlaufplanungsproblem .....	220
7.4	Netzwerkbasierte Modellierung des Umlaufplanungsproblems .....	222
7.5	Standard-Flussproblem und Netzwerktransformationen .....	225
7.6	Praxisanwendung – Probleme klassischer Modellierungsansätze ....	227
7.7	Aggregiertes Netzwerkflussmodell .....	229
7.7.1	Netzwerkflussmodell mit Anschlusslinien .....	229
7.7.2	Neue Aggregationsmethode für potentielle Leerfahrten .....	231
7.8	Umsetzung mit Optimierungssoftware in der Praxis .....	233
7.8.1	Realisierung und Rechenergebnisse .....	233
7.8.2	Kombination Heuristik/mathematische Optimierung .....	235
7.9	Was sollte ich gelernt haben? .....	235
<b>8</b>	<b>Touren- und Standortplanung .....</b>	<b>237</b>
8.1	Motivation – Transportlogistik im Güterverkehr .....	237
8.2	Basisprobleme der Tourenplanung .....	238
8.3	Mathematische Modellierung und exakte Verfahren .....	243
8.4	Heuristische Verfahren für Tourenplanung .....	246
8.4.1	Das Savings-Verfahren .....	247
8.4.2	Das Sweep-Verfahren .....	250
8.4.3	Verbesserungsverfahren .....	251
8.5	Dynamische Tourenplanung .....	254
8.6	Warehouse-Location-Probleme .....	255
8.6.1	Unkapazitiertes (einstufiges) WLP .....	256
8.6.2	Kapazitiertes (einstufiges) WLP .....	257
8.6.3	Mehrstufige Warehouse Location Probleme .....	258
8.7	Heuristische Verfahren zur Lösung von Warehouse-Location- Problemen .....	258
8.7.1	Eröffnungsverfahren für Warehouse Location-Probleme ....	259
8.7.2	Verbesserungsverfahren für Warehouse Location-Probleme ..	261
8.8	Zentrenprobleme .....	261
8.9	Praxisbeispiele .....	262
8.9.1	Tourenplanung für den technischen Kundendienst .....	262
8.9.2	Standortplanung bei der Stahlindustrie .....	262
8.10	Übungsaufgaben .....	264
8.11	Was sollte ich gelernt haben? .....	266

XIV Inhaltsverzeichnis

<b>9</b>	<b>Simulation</b> .....	269
9.1	Motivation und Fallstudien .....	269
9.2	Kontinuierliche Modelle .....	272
9.3	Diskrete Modelle: Techniken .....	274
9.3.1	Konzepte in diskreten Simulationsmodellen .....	274
9.3.2	Modellierung der Inputdaten .....	276
9.3.3	Generierung von zufallsbehafteten Inputdaten .....	280
9.3.4	Gestaltung und Auswertung von Simulationsexperimenten ..	282
9.4	Diskrete Modelle: Fallstudien und Software .....	286
9.4.1	Fallstudie „universitärer Druckerpool“ .....	286
9.4.2	Simulationssoftware Arena .....	289
9.5	Simulation und Optimierung .....	291
9.6	Was sollte ich gelernt haben? .....	294
	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	297
	<b>Sachverzeichnis</b> .....	303