

Operations Research

Quantitative Methoden zur
Entscheidungsvorbereitung

Von
Universitätsprofessor

Dr.-Ing. Werner Zimmermann

und
Universitätsprofessor

Dr.-Ing. Dipl.-Oec. Ulrich Stache

10., überarbeitete Auflage

R. Oldenbourg Verlag München Wien

Inhaltsverzeichnis

Einführung	1
1. Netzplantechnik	6
1.1. Vorbemerkungen	6
1.2. Ablaufplanung – Strukturanalyse und Netzplandarstellung	9
1.3. Zeitplanung – Berechnung von Netzplänen	17
<i>1.3.1 Zeitenberechnung bei Vorgangpfeilnetzplänen</i>	18
<i>1.3.2 Zeitenberechnung bei Vorgangknotennetzplänen</i>	22
<i>1.3.3 Verkürzung und Überwachung eines Projektes</i>	26
1.4. Kostenplanung	27
1.5. Kapazitätsplanung	29
<i>1.5.1 Kapazitätsbelastung</i>	30
<i>1.5.2 Kapazitätsausgleich</i>	30
1.6. Einsatz von EDV-Anlagen	36
1.7. Schlußbemerkungen	37
1.8. Aufgaben zur Netzplantechnik	38
<i>1.8.1 Ablaufplanung und Aufstellung von Netzplänen</i>	38
<i>1.8.2 Zeitplanung und Berechnung von Netzplänen</i>	41
<i>1.8.3 Kosten- und Kapazitätsplanung</i>	45
1.9. Empfohlene Literatur zur Netzplantechnik	47
2. Lineare Optimierung	48
2.1. Vorbemerkung	48
2.2. Die Simplex-Methode	48
<i>2.2.1 Graphische Lösung</i>	48
<i>2.2.2 Rechnerische Lösung</i>	50
2.3. Sonderfälle der Simplex-Methode	56
<i>2.3.1 Entartung</i>	56
<i>2.3.2 Unzulässige Ausgangslösung</i>	56
<i>2.3.3 Gleichungen als Restriktionen</i>	58
<i>2.3.4 Fehlende Nicht-Negativitäts-Bedingung</i>	59
<i>2.3.5 Minimierung der Zielfunktion</i>	60
<i>2.3.6 Untergrenzen einzelner Variablen</i>	61
<i>2.3.7 Allgemeiner Simplex-Algorithmus</i>	63
2.4. Praktische Anwendungsfälle der Simplex-Methode	65
<i>2.4.1 Bestimmung des optimalen Produktionsprogrammes</i>	65
<i>2.4.2 Mischungsoptimierung</i>	77
<i>2.4.3 Verschnittminimierung</i>	79

2.5.	Aufgaben zur Linearen Optimierung	83
2.6.	Empfohlene Literatur zur Linearen Optimierung	89
3.	Transport- und Zuordnungsoptimierung	90
3.1.	Transportprobleme	90
3.1.1.	<i>Charakterisierung von Transportproblemen</i>	90
3.1.2.	<i>Lösung von Transportproblemen mit der Distributionsmethode</i>	93
3.1.3.	<i>Sonderfälle</i>	104
3.1.4.	<i>Praktische Anwendungen</i>	105
3.2.	Zuordnungsprobleme	111
3.2.1.	<i>Charakterisierung von Zuordnungsproblemen</i>	111
3.2.2.	<i>Lösung von Zuordnungsproblemen mit der Ungarischen Methode</i>	113
3.3.	Aufgaben zur Transport- und Zuordnungsoptimierung	116
3.4.	Empfohlene Literatur zur Transport- und Zuordnungsoptimierung	123
4.	Ganzzahlige Optimierung	125
4.1.	Vorbemerkungen	125
4.2.	Verfahren der Ganzzahligen Optimierung	125
4.2.1.	<i>Graphisches Verfahren</i>	125
4.2.2.	<i>Schnittebenen-Verfahren</i>	127
4.2.3.	<i>Entscheidungsbaum-Verfahren</i>	131
4.2.4.	<i>Heuristische Verfahren</i>	139
4.3.	Aufgaben zur Ganzzahligen Optimierung	143
4.4.	Empfohlene Literatur zur Ganzzahligen Optimierung	146
5.	Kombinatorische Optimierung – Optimale Reihenfolge	147
5.1.	Vorbemerkungen	147
5.2.	Rundreiseplanung	148
5.2.1.	<i>Vollständige Enumeration</i>	148
5.2.2.	<i>Heuristische Verfahren</i>	150
5.2.2.1.	Verfahren des besten Nachfolgers	151
5.2.2.2.	Verfahren der sukzessiven Einbeziehung von Stationen	151
5.2.3.	<i>Entscheidungsbaum-Verfahren</i>	153
5.2.3.1.	Begrenzte Enumeration	154
5.2.3.2.	Branching and Bounding	156
5.3.	Fertigungs-Ablaufplanung	161
5.3.1.	<i>Vorbemerkungen</i>	161
5.3.2.	<i>Maschinenbelegung bei Reihenfertigung</i>	162
5.3.2.1.	Johnson-Verfahren für das Zwei-Maschinen-Problem	162
5.3.2.2.	Heuristische Verfahren zur Lösung von Mehr-Maschinen-Problemen	166
5.3.3.	<i>Maschinenbelegung bei Werkstattfertigung</i>	178
5.3.3.1.	Analytische Verfahren	178
5.3.3.2.	Heuristische Verfahren	179

5.4.	Aufgaben zur Rundreise- und Ablaufplanung	180
5.5.	Empfohlene Literatur zur Kombinatorischen Optimierung	183
6.	Dynamische Optimierung	184
6.1.	Vorbemerkungen	184
6.2.	Einführungsbeispiele	185
6.3.	Anwendung in Produktion und Lagerhaltung	189
6.4.	Anwendung auf Ersatz-, Reihenfolge- und Stopp-Probleme	196
6.5.	Aufgaben zur Dynamischen Optimierung	201
6.6.	Empfohlene Literatur zur Dynamischen Optimierung	207
7.	Nichtlineare Optimierung	208
7.1.	Vorbemerkungen	208
7.2.	Analytische Lösungsverfahren für einfache Problemstellungen	211
7.2.1.	<i>Nichtlineare Probleme ohne Restriktionen</i>	211
7.2.2.	<i>Nichtlineare Probleme mit Gleichungen als Restriktionen</i>	212
7.2.3.	<i>Nichtlineare Probleme mit Ungleichheitsrestriktionen und nichtnegativen Variablen</i>	213
7.2.3.1.	<i>Karush-Kuhn-Tucker-Bedingungen</i>	213
7.2.3.2.	<i>Penalty-Methode</i>	216
7.2.3.3.	<i>Barriere-Methode</i>	217
7.3.	Approximation durch Linearisierung der Zielfunktion	218
7.3.1.	<i>Linearisierung der Zielfunktion bei linearen Restriktionen</i>	218
7.3.2.	<i>Linearisierung bei Vorhandensein von Variablenprodukten</i>	221
7.4.	Algorithmische Suchverfahren	224
7.4.1.	<i>Eindimensionales Suchverfahren</i>	224
7.4.2.	<i>Gradientenverfahren</i>	225
7.4.3.	<i>Iterative Straffunktionsverfahren</i>	230
7.4.4.	<i>Gummwand-Verfahren</i>	230
7.4.5.	<i>Complex-Verfahren</i>	233
7.4.6.	<i>Verfahren von Jahn</i>	237
7.4.7.	<i>Kombinations-Verfahren</i>	237
7.5.	Aufgaben zur Nichtlinearen Optimierung	238
7.6.	Empfohlene Literatur zur Nichtlinearen Optimierung	238
8.	Wahrscheinlichkeitstheoretische Grundlagen	239
8.1.	Vorbemerkungen	239
8.2.	Wahrscheinlichkeitssätze	242
8.2.1.	<i>Additionssatz</i>	242
8.2.2.	<i>Bedingte Wahrscheinlichkeit</i>	244
8.2.3.	<i>Multiplikationssatz</i>	245
8.2.4.	<i>Satz von Bayes</i>	246

8.3.	Wahrscheinlichkeitsverteilung	248
8.3.1.	<i>Wahrscheinlichkeits- und Verteilungsfunktion</i>	248
8.3.2.	<i>Binomialverteilung</i>	251
8.3.3.	<i>Normalverteilung</i>	260
8.4.	Aufgaben zur Wahrscheinlichkeitstheorie	266
8.5.	Empfohlene Literatur zur Wahrscheinlichkeitstheorie	269
9.	Entscheidungstheoretische Grundlagen	269
9.1.	Entscheidungsbaum-Analyse	269
9.2.	Entscheidungskriterien auf der Basis der Auszahlungen	276
9.3.	Entscheidungen auf der Basis von Nutzenanalysen	283
9.4.	Entscheidungen auf der Basis von Versuchsergebnissen	287
9.5.	Entscheidungen auf der Basis von Stichprobenergebnissen	291
9.5.1.	<i>Anwendungen der Binomialverteilung bei Zählstichproben</i>	291
9.5.2.	<i>Ermittlung des optimalen Stichprobenumfangs bei Zählstichproben</i>	296
9.5.3.	<i>Verfahren bei ganzzahligen Mittelwerten von Meßstichproben</i>	296
9.5.4.	<i>Anwendung der Normalverteilung bei Meßstichproben</i>	301
9.6.	Aufgaben zur Entscheidungstheorie	306
9.7.	Empfohlene Literatur zur Entscheidungstheorie	312
10.	Theorie der Spiele	313
10.1.	Charakterisierung von strategischen Spielen	313
10.2.	Statische Spiele	315
10.3.	Dynamische Spiele	318
10.3.1.	<i>Dynamische Spiele mit einer (2×2) Auszahlungsmatrix</i>	319
10.3.2.	<i>Dynamische Spiele mit einer ($m \times 2$) Auszahlungsmatrix</i>	322
10.3.3.	<i>Dynamische Spiele mit einer ($m \times n$) Auszahlungsmatrix</i>	323
10.3.4.	<i>Lösung dynamischer Spiele mittels Simulation</i>	328
10.4.	Aufgaben zur Theorie der Spiele	333
10.5.	Empfohlene Literatur zur Theorie der Spiele	335
11.	Simulationstechnik	336
11.1.	Zielsetzung und Verfahren	336
11.1.1.	<i>Arten und Anwendungsgebiete der Simulation</i>	337
11.1.2.	<i>Simulationsprogramme für digitale Simulation</i>	338
11.2.	Stochastische Simulation mit der Monte Carlo-Technik	339
11.2.1.	<i>Zufallszahlen bei manueller Simulation</i>	340
11.2.2.	<i>Zufallszahlen bei digitaler Simulation</i>	340
11.2.3.	<i>Beispiele zur manuellen stochastischen Simulation</i>	342

11.3.	Digitale Simulation mit GPSS	349
11.3.1.	<i>Systemkomponenten</i>	350
11.3.2.	<i>Simulationsablauf</i>	352
11.4.	Erfahrungen bei der Simulation	358
11.4.1.	<i>Zeitführung</i>	358
11.4.2.	<i>Simulationsumfang und Anfangsbedingungen</i>	358
11.5.	Aufgaben zur Simulationstechnik	359
11.6.	Empfohlene Literatur zur Simulationstechnik	360
12.	Warteschlangensysteme	361
12.1.	Vorbemerkungen	361
12.2.	Charakteristik von Warteschlangensystemen	362
12.2.1.	<i>Zugangs-Charakteristik</i>	363
12.2.2.	<i>Abgangs-Charakteristik</i>	364
12.2.3.	<i>Zahl und Anordnung der Kanäle</i>	365
12.2.4.	<i>Schlangendisziplin</i>	365
12.2.5.	<i>Warteraum-Charakteristik</i>	366
12.2.6.	<i>Klassifizierung von Warteschlangensystemen</i>	366
12.3.	Analyse verschiedener Warteschlangensysteme	366
12.3.1.	<i>Systeme mit exponential-verteilten Ankunftsintervallen und Bedienungszeiten</i>	367
12.3.1.1.	Ein-Kanal-System bei unendlichem Warteraum – M/M/1 : (∞ /FIFO)	367
12.3.1.2.	Mehr-Kanal-System mit parallelen Kanälen bei unendlichem Warteraum – M/M/s : (∞ /FIFO)	370
12.3.1.3.	Ein-Kanal-System bei begrenztem Warteraum – M/M/1 : (m/FIFO)	374
12.3.1.4.	Mehr-Kanal-System bei begrenztem Warteraum – M/M/s : (m/FIFO)	375
12.3.2.	<i>Ein Kanal-System mit exponentiell-verteilten Ankunftsintervallen und Erlang-verteilten Bedienungszeiten – M/E/1</i>	376
12.3.3.	<i>Lösung von Warteschlangenproblemen durch stochastische Simulation</i>	378
12.4.	Aufgaben zu Warteschlangenproblemen	382
12.5.	Empfohlene Literatur zu Warteschlangensystemen	384
13.	Optimale Lagerhaltung	385
13.1.	Vorbemerkungen	385
13.2.	Bedarfsbestimmung	386
13.2.1.	<i>Trendextrapolation</i>	387
13.2.1.1.	Regressionsanalyse	387
13.2.1.2.	Vereinfachte Zeitreihenanalyse	388
13.2.2.	<i>Glättungsverfahren</i>	390
13.3.	Lagerhaltungsstrategien	393
13.3.1.	<i>Bestellpolitik bei deterministischer Nachfrage</i>	394
13.3.1.1.	Statisches Lagerhaltungsmodell	394
13.3.1.2.	Dynamisches Lagerhaltungsmodell	397

13.3.2.	<i>Bestellpolitik bei stochastischer Nachfrage</i>	401
13.3.2.1.	(t, q)-Politik	401
13.3.2.2.	(t, S)-Politik	403
13.3.2.3.	(s, q)-Politik	403
13.3.2.4.	(s, S)-Politik	404
13.3.3.	<i>Ermittlung der optimalen Lager- und Bestellpolitik mittels Simulation</i>	406
13.4.	Aufgaben zur optimalen Lagerhaltung	411
13.5.	Empfohlene Literatur zur optimalen Lagerhaltung	413
Schlußbemerkungen		415
Lösungen zu den Aufgaben		416
Sachwortverzeichnis		434