

## Inhaltsverzeichnis

### Teil 1 DIE GRUNDSTRUKTUR DES FAHRPLANPROBLEMS

(1) Das geographische Teilproblem (Transportaufgabe)	1
(2) Das zeitliche Teilproblem (Zeitliche Struktur)	1
(3) Das Fahrzeug-Teilproblem (Flugzeugeinsatz)	1
(4) Das Realisierbarkeits-Problem	1
(5) Das Problem der Zielfunktion	2
(6) Das Problem der zusammenhängenden Lösung des Gesamtproblems	2

### Teil 2 DAS KLASSISCHE TRANSPORTPROBLEM

I Das einstufige Transportproblem	3
(1) Formulierung	3
(2) Interpretation als ein Fahrplanproblem	3
II Das klassische Transportproblem mit zweistufiger Bestimmung eines Fahrplans	5
(1) Grundgedanke	5
(2) Die Lösung durch Inspektion	5
(3) Die systematische Lösung	6
(4) Die heuristische Lösung (Simulation)	9
(5) Eine Überschlagsrechnung für die Zahl der erforderlichen Fahrzeuge	10
III Das klassische Transportproblem mit Periodisierung	10
IV Das klassische Transportproblem mit Periodisierung und Lagerhaltung	12

### Teil 3 DAS KLASSISCHE ERNENNUNGSPROBLEM

I Formulierung und Interpretation	14
(1) Das Ernennungsproblem	14
(2) Interpretation als Anschlußproblem	14

II Die Bestimmung der Koeffizienten der Zielfunktion	15
(1) Verschiedene zeitliche Strukturen	15
(2) Die Umwandlung nach Hoernke und Zwahlen	18
1. Allgemeines	18
2. Die Definition der Wartezeiten	18
3. Die Anwendung des Koopmans'schen Preistheorems	19
4. Falldiskussion	20
5. Die Umformung	24
6. Beispiele	24
7. Die "direkte" Lösung des Anschlußproblems	27
III Die Bestimmung der Anschlüsse	30
(1) Algorithmen zur Lösung des Anschlußproblems	30
1. Allgemeine Algorithmen	30
2. Die Abzählregel von Wedekind	30
(2) Eine Abzählregel zur Lösung	31
1. Die allgemeine Regel	31
2. Die Anwendung auf die einzelnen Fälle	31
3. Die allgemeine Korrektur vollständiger P-Reihen	34
4. Ein Beispiel zum Versagen der P-Reihen-Bestimmung	35
5. Der Abschluß der Lösung mit dem Ungarischen Algorithmus	36
6. Abschluß der Lösung über eine Fortsetzung der P-Reihenkorrektur	38
1) Verschiebung des Periodenbeginns	38
2) Fortsetzung der P-Reihenkorrektur über die Diagonale	41
7. Ausblockieren von Feldern	43
8. Ergebnis	45
IV Diskussion der bearbeiteten Beispiele	45
(1) Mehrfachlösungen	45
1. Viele Lösungen in den Beispielen	45
2. Eindeutigkeitsbedingungen für einen Fahrplan	46
(2) Blocktriangularität	48
(3) Verbesserung durch Leerfahrten	49
1. Der allgemeine Gedanke	49
2. Beispiel	49

(4) Die Ergänzung des Problems von Larson	51
1. Ergänzung des nichtsymmetrischen Fahrplans über ein Transportproblem	51
2. Der Larson'sche Lösungsvorschlag	55
(5) Die Interpretation der P-Reihenkorrektur	58
(6) Enumeration der Lösungen	59

#### Teil 4 DER FAHRPLAN-GRAPH VON BARTLETT

(1) Allgemeines	61
(2) Die Abzählregel für die Fahrzeugzahl	61
(3) Die Bestimmung der Fahrzeugeinsatzfolgen	63
(4) Diskussion	66

#### Teil 5 VERÄNDERUNGEN IN EINEM BESTEHENDEN FAHRPLAN

I,(1) Die Fragestellung	68
(2) Offensichtliche Verbesserungsmöglichkeiten	69
II Verbesserungsversuch unter Berücksichtigung der Gesamtwartezeiten	71
(1) Sonderfall der Wartezeitminimierung	71
(2) Herabsetzung der Gesamtwartezeiten	71
(3) Ein Folgenkatalog	71
(4) Ein Auswahlkriterium für eine zu ändernde Reise	74
(5) Beispiel	75
(6) Folgerung	80
(7) Die Unbrauchbarkeit der von einer Zuordnung getrennten Kriterien	80
III Der Einfluß einer Reise auf die erforderliche Fahrzeugzahl über die ganze Periode	81
(1) Die Einbettung einer Reise	81
(2) Zwei Beispiele	81

IV Die Änderung im Zuge der Bestimmung der Lösung	84
(1) Der Gesamtzusammenhang des Fahrplans	84
(2) Die Einbettung der Reise	84
(3) Eine heuristische Suchregel	85
(4) Bemerkungen zur Suche	86
(5) Ein Beispiel mit Einschränkung der Verschiebung auf die Anschlußbereiche allein	87
V Stochastisch bestimmte Fahrpläne	88
VI Das Kompressionsverfahren	88
VII Die Veränderung eines Fahrplans aus der Bartlett-Anschlußmatrix	89
(1) Die zugrundeliegende Information	89
(2) Eine Vermutung der Verbesserungsmöglichkeit	90
(3) Gegenbeispiel zum Hinreichen der Knotenbedingung	90
(4) Notwendigkeit der Knotenbedingung	92
(5) Die Ergänzung zur vollen Zahl der Knoten	92
(6) Die Mängel des Knotensuchverfahrens	95
 Teil 6 DIE DIREKTE LINEARE PROGRAMMIERUNGS-FORMULIERUNG	
I Ein allgemeines LP-Modell	96
(1) Die Anwendbarkeit des allgemeinen LP-Modells	96
(2) Der Grundansatz	96
(3) Die Berücksichtigung der Transportaufgabe	96
(4) Der Fahrzeuggesichtspunkt	97
(5) Systemgesichtspunkte	97
(6) Fehlende Gesichtspunkte der zeitlichen Struktur und Ganzzahligkeit	97
(7) Empirisches Auftreten nichtganzzahliger Lösungen	98
(8) Nichtzulässigkeit von Pooldaten	98
(9) Die Rechenzeiten im Grundmodell	98

II Die Erweiterung des Grundmodells	99
(1) Appelgrens Modell	99
(2) Die Lösung über zulässige Fahrzeugzyklen	100
1. Die Möglichkeiten der Enumeration von Zyklen	100
2. Die Kanten-Zyklus-Inzidenzmatrix	101
3. Der Charnes-Miller-Ansatz	102
4. Der Ansatz von Appelgrens Modell 2	103
5. Der Dekompositionsansatz von Appelgren	103
6. Der Dekompositionsansatz von Dantzig-Blattner-Rao	105
7. Das "Potential"-Modell von Menzel-Göttner	109
 Teil 7 DAS "VERALLGEMEINERTE" TRANSPORTPROBLEM	
(1) Ansatz	114
(2) Diskussion	114
(3) Die Erweiterung des Modells bei stochastischer Nachfrage	116
(4) Das verallgemeinerte Transportproblem von Krelle	118
(5) Der Vergleich der Ansätze von Dantzig und Krelle	118
 Teil 8 DER ÜBERGANG ZUR GRUPPE DER SYNTHESE-PROBLEME VON HU-GOMORY	
(1) Das Problem von Bartlett und Charnes	120
(2) Das allgemeine Syntheseproblem	121
 Teil 9 MODELLE DER GANZZAHLIGEN PROGRAMMIERUNG	
(1) Die Bedeutung der Ganzzahligkeit	123
(2) Ein Modell vom Typ des "branch and bound"	123
(3) Ein Modell zum Gomory-Algorithmus	125
(4) Das Umsteigeproblem von Krelle	128
(5) Das Sonderproblem des Sternverkehrs	129
(6) Die Formulierung als ein Reihenfolgeproblem	132

## Teil 10 DAS WARTEZEITPROBLEM VON TINGAUD UND JEWELL

(1) Die Bedienungshäufigkeit als Entscheidungsgröße	135
(2) Die gleichmäßige Nachfrageverteilung	135
(3) Der Ansatz	136
(4) Diskussion	136

## Teil 11 DYNAMISCHE PROGRAMMIERUNGSANSÄTZE

(1) Allgemeines	140
(2) Das Dynamische Programm von Bisbee	140
1. Die zugrundeliegende Situation	140
2. Die Wertfunktion	140
3. Beispiel	141
4. Kritik des Ansatzes	142
(3) Das Dynamische Programm von Larson	143
1. Das Ernennungsproblem plus zusätzliche Beschränkungen	143
2. Die Zustände des Dynamischen Programms	144
3. Beispiel	144
4. Formulierung als ein Kontrollproblem	144
(4) Der Dynamische Programmierungs-Ansatz über eine sukzessive Annäherung	145
1. Nichtkonnektivität und Dimension der Ansätze Bisbee und Larson	145
2. Larsons Problem des längsten Pfades	145
3. Die Konstruktion eines Fahrplans nach Hyman	146
(5) Das allgemeine Problem der Flugplanbestimmung über ein Dynamisches Programm für den längsten Pfad	148
1. Der Ansatz der Wertfunktion	148
2. Die Folge periodisierter Ernennungsprobleme	150
3. Die Größe des Problems	150
4. Ausblick	151