

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Einführung . . . . .	1
1.2	Anwendungen aus der Praxis . . . . .	7
1.3	Übersicht . . . . .	11
<b>2</b>	<b>Das lineare Netzwerkflußproblem</b>	<b>13</b>
2.1	Mathematische Formulierung und Eigenschaften . . . . .	13
2.1.1	Formulierung . . . . .	13
2.1.2	Äquivalente Formulierungen . . . . .	15
2.1.2.1	Formulierung in Matrixform . . . . .	15
2.1.2.2	Formulierung als $q$ - $s$ -Flußproblem . . . . .	16
2.1.2.3	Formulierung als Zirkulationsflußproblem . . . . .	17
2.1.3	Eigenschaften . . . . .	17
2.1.3.1	Zulässigkeit und Lösbarkeit . . . . .	17
2.1.3.2	Ganzzahligkeit der Extrempunkte des Lösungspolyeders . . . . .	18
2.1.3.3	Rang der Koeffizientenmatrix . . . . .	18
2.1.3.4	Optimalitätsbedingungen . . . . .	19
2.2	Spezialfälle . . . . .	20
2.2.1	Das Transportproblem . . . . .	20
2.2.2	Das Zuordnungsproblem . . . . .	21
2.2.3	Das Kürzeste-Wege-Problem . . . . .	21
2.2.4	Das Maximalflußproblem . . . . .	22
2.3	Mögliche Lösungsverfahren . . . . .	23
2.3.1	Primale Verfahren . . . . .	23
2.3.2	Primal-duale Verfahren . . . . .	24
2.3.3	Out-of-Kilter-Verfahren . . . . .	25
2.3.4	Duale Verfahren . . . . .	25
2.3.5	Inkrementgraphen-Verfahren . . . . .	26
2.3.6	Zusammenfassende Bewertung . . . . .	26
<b>3</b>	<b>Zwei neue primale Verfahren zur Lösung linearer Netzwerkflußprobleme</b>	<b>29</b>
3.1	Das primale Netzwerk-Simplex-Verfahren . . . . .	29
3.1.1	Konzeption des primalen Netzwerk-Simplex-Verfahrens . . . . .	29
3.1.1.1	Das Eröffnungsverfahren . . . . .	32

3.1.1.2	Pricing-Strategien . . . . .	33
3.1.2	Implementation des primalen Netzwerk-Simplex-Verfahrens . . . . .	34
3.1.2.1	Datenstrukturen zur Speicherung der Problemdata . . . . .	34
3.1.2.2	Datenstrukturen zur Speicherung der Basis . . . . .	38
3.1.2.3	Implementationen des primalen Netzwerk-Simplex-Verfahrens . . . . .	40
3.2	Das Lösungsverfahren LPArc-I . . . . .	42
3.2.1	Datenstrukturen und globale Variable . . . . .	44
3.2.2	Der Algorithmus . . . . .	47
3.2.2.1	Die Darstellung im Pseudo-Code . . . . .	47
3.2.2.2	Das Pricing . . . . .	48
3.2.2.3	Die Wahl des die Basis verlassenden Pfeils . . . . .	49
3.2.2.4	Der Basiswechsel . . . . .	52
3.2.2.5	Das Eröffnungsverfahren . . . . .	59
3.2.2.6	Das Programm LPArc-I . . . . .	63
3.2.2.7	Reellwertige Kostenkoeffizienten . . . . .	63
3.3	Das Lösungsverfahren LPArc-II . . . . .	66
3.3.1	Datenstrukturen und globale Variable . . . . .	66
3.3.2	Der Algorithmus . . . . .	66
3.3.2.1	Die Wahl des die Basis verlassenden Pfeils . . . . .	68
3.3.2.2	Der Basiswechsel . . . . .	68
3.3.2.3	Alternative Updates beim Basiswechsel . . . . .	76
3.3.2.4	Das Eröffnungsverfahren . . . . .	78
3.3.2.5	Das Programm LPArc-II . . . . .	79
3.4	Analyse des Laufzeitverhaltens . . . . .	79
3.4.1	Die Durchführung der Laufzeitvergleiche . . . . .	79
3.4.2	Verwendete Testprobleme . . . . .	80
3.4.3	Vergleich der alternativen Updates beim Basiswechsel von LPArc-II . . . . .	81
3.4.4	Neue Standardwerte für den Frequenz-Parameter . . . . .	81
3.4.5	Laufzeitvergleiche . . . . .	82
3.4.6	Zusammenfassende Bewertung . . . . .	86
<b>4</b>	<b>Das Fixkosten-Netzwerkflußproblem</b>	<b>89</b>
4.1	Mathematische Formulierung und Eigenschaften . . . . .	89
4.2	Der Spezialfall des Fixkosten-Transportproblems . . . . .	91
4.3	Mögliche Lösungsverfahren . . . . .	93
4.3.1	Implizite Enumerationsverfahren . . . . .	94
4.3.2	Branch-and-Bound-Verfahren . . . . .	94
4.3.3	Zusammenfassende Bewertung . . . . .	95
4.4	Die lineare Relaxation . . . . .	96
<b>5</b>	<b>Ein neues Branch-and-Bound-Verfahren zur Lösung von Fixkosten-Netzwerkflußproblemen</b>	<b>101</b>
5.1	Die Konzeption von Branch-and-Bound-Verfahren . . . . .	101
5.1.1	Die Verzweigung . . . . .	102

5.1.2	Die Ermittlung von unteren und oberen Schranken . . . . .	102
5.1.2.1	Untere Schranke für das Problem ( $\mathbf{P}_k$ ) . . . . .	102
5.1.2.2	Obere Schranke für das Problem ( $\mathbf{P}_k$ ) . . . . .	103
5.1.2.3	Obere Schranke für das Ausgangsproblem ( $\mathbf{P}_0$ ) . . . . .	104
5.1.3	Die Streichung und Auslotung . . . . .	104
5.1.3.1	Streichung . . . . .	104
5.1.3.2	Auslotung . . . . .	104
5.1.4	Die Suchstrategie . . . . .	105
5.1.5	Das Verfahren im Überblick . . . . .	106
5.2	Das Lösungsverfahren FixArc . . . . .	106
5.2.1	Die Verzweigung . . . . .	108
5.2.2	Die Ermittlung von unteren und oberen Schranken . . . . .	109
5.2.2.1	Untere Schranke für das Problem ( $\mathbf{FCNFP}_k$ ) . . . . .	109
5.2.2.2	Obere Schranke für das Problem ( $\mathbf{FCNFP}_k$ ) . . . . .	110
5.2.3	Die Suchstrategie . . . . .	111
5.2.4	Die Penalties . . . . .	112
5.2.4.1	Die Lagrange-Relaxation . . . . .	113
5.2.4.2	Penalties für Basisvariable . . . . .	115
5.2.4.3	Penalties für Nichtbasisvariable . . . . .	126
5.2.4.4	Implementation der Penalty-Berechnung . . . . .	128
5.2.5	Separationsregeln . . . . .	137
5.2.6	Verzweigungsregeln . . . . .	139
5.2.7	Weitere Einsatzmöglichkeiten der Penalties . . . . .	140
5.2.7.1	Verschärfung der unteren Schranken für Teilprobleme . . . . .	140
5.2.7.2	Erste untere Schranken für die Teilprobleme . . . . .	140
5.2.7.3	Die optimale Basis von ( $\mathbf{NFR}_{kUF}$ ) . . . . .	141
5.2.8	Das Verfahren im Überblick . . . . .	142
5.2.9	Beispielrechnung . . . . .	144
5.2.10	Approximative Lösung . . . . .	146
5.3	Analyse des Laufzeitverhaltens . . . . .	147
5.3.1	Die Durchführung der Laufzeitvergleiche . . . . .	147
5.3.2	Verwendete Testprobleme . . . . .	147
5.3.3	Ermittlung günstiger Separations- und Verzweigungsregeln . . . . .	149
5.3.4	Vergleich der Penalties . . . . .	153
5.3.5	Laufzeitvergleiche . . . . .	159
5.3.5.1	Vergleiche mit allgemeinen Problemlösern . . . . .	160
5.3.5.2	Vergleiche mit Problemlösern für Fixkosten-Transportprobleme . . . . .	160
5.3.6	Die Lösung großer Probleme . . . . .	161
5.3.7	Zusammenfassende Bewertung . . . . .	164
<b>6</b>	<b>Die Implementation unter Microsoft Windows</b> . . . . .	<b>165</b>
6.1	Microsoft Windows als Zielplattform . . . . .	165
6.2	Die Implementation . . . . .	168
6.2.1	Die Konzeption . . . . .	168

6.2.2	Die Wahl der Entwicklungsumgebung . . . . .	169
6.2.3	Die Benutzeroberfläche . . . . .	170
6.2.3.1	Die Problemgenerierung . . . . .	171
6.2.3.2	Der Editor für große Netzwerke . . . . .	171
6.2.3.3	Die Problemlösung . . . . .	174
6.2.3.4	Kontextsensitive Hilfe . . . . .	177
6.2.4	Einsatz in Client/Server-Modellen . . . . .	177
6.2.4.1	Datenaustausch . . . . .	178
6.2.4.2	Makrosprache . . . . .	180
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>181</b>
<b>A</b>	<b>Spezifikationen der Testprobleme</b>	<b>185</b>
A.1	NETGEN . . . . .	185
A.2	FIXGEN . . . . .	190
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>193</b>
	<b>Symbolverzeichnis</b>	<b>209</b>