

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>XIII</b>
<b>I Grundlagen</b>	<b>1</b>
<b>1 Die Rolle von Algorithmen in der elektronischen Datenverarbeitung</b>	<b>5</b>
1.1 Algorithmen .....	5
1.2 Algorithmen als Technologie .....	11
<b>2 Ein einführendes Beispiel</b>	<b>17</b>
2.1 Sortieren durch Einfügen .....	17
2.2 Analyse von Algorithmen .....	24
2.3 Entwurf von Algorithmen .....	30
<b>3 Wachstum von Funktionen</b>	<b>45</b>
3.1 Asymptotische Notation .....	45
3.2 Standardnotationen und Standardfunktionen .....	55
<b>4 Teile-und-Beherrsche</b>	<b>67</b>
4.1 Das Max-Teilfeld-Problem .....	70
4.2 Strassens Algorithmus zur Matrizenmultiplikation .....	77
4.3 Die Substitutionsmethode zum Lösen von Rekursionsgleichungen .....	85
4.4 Die Rekursionsbaum-Methode zum Lösen von Rekursionsgleichungen ..	89
4.5 Die Mastermethode zum Lösen von Rekursionsgleichungen .....	95
4.6 *Beweis des Mastertheorems .....	99
<b>5 Probabilistische Analyse und randomisierte Algorithmen</b>	<b>115</b>
5.1 Das Bewerberproblem .....	115
5.2 Indikatorfunktionen .....	118

5.3	Randomisierte Algorithmen .....	123
5.4	* Probabilistische Analyse und mehr zur Verwendung der Indikatorfunktion .....	130
<b>II</b>	<b>Sortieren und Ranggrößen</b>	<b>147</b>
<b>6</b>	<b>Heapsort</b>	<b>153</b>
6.1	Heaps .....	153
6.2	Die Heap-Eigenschaft aufrechterhalten .....	156
6.3	Einen Heap bauen .....	158
6.4	Der Heapsort-Algorithmus .....	161
6.5	Prioritätswarteschlangen .....	162
<b>7</b>	<b>Quicksort</b>	<b>171</b>
7.1	Beschreibung von Quicksort .....	171
7.2	Die Performanz von Quicksort .....	175
7.3	Eine randomisierte Version von Quicksort .....	179
7.4	Analyse von Quicksort .....	181
<b>8</b>	<b>Sortieren in linearer Zeit</b>	<b>191</b>
8.1	Untere Schranken für das Sortieren .....	191
8.2	Countingsort .....	194
8.3	Radixsort .....	197
8.4	Bucketsort .....	200
<b>9</b>	<b>Mediane und Ranggrößen</b>	<b>213</b>
9.1	Minimum und Maximum .....	213
9.2	Auswahl in linearer erwarteter Zeit .....	215
9.3	Auswahl in linearer Zeit im schlechtesten Fall .....	219
<b>III</b>	<b>Datenstrukturen</b>	<b>227</b>
<b>10</b>	<b>Elementare Datenstrukturen</b>	<b>233</b>
10.1	Stapel und Warteschlangen .....	233
10.2	Verkettete Listen .....	237

---

10.3 Implementierung von Zeigern und Objekten .....	242
10.4 Darstellung von gerichteten Bäumen .....	246
<b>11 Hashtabellen</b>	<b>255</b>
11.1 Adresstabellen mit direktem Zugriff .....	256
11.2 Hashtabellen .....	258
11.3 Hashfunktionen .....	264
11.4 Offene Adressierung .....	272
11.5 * Perfektes Hashing .....	280
<b>12 Binäre Suchbäume</b>	<b>289</b>
12.1 Was ist ein binärer Suchbaum? .....	289
12.2 Abfragen in einem binären Suchbaum .....	292
12.3 Einfügen und Löschen .....	296
12.4 * Zufällig erzeugte binäre Suchbäume .....	302
<b>13 Rot-Schwarz-Bäume</b>	<b>311</b>
13.1 Eigenschaften von Rot-Schwarz-Bäumen .....	311
13.2 Rotationen .....	315
13.3 Einfügen eines Knotens .....	317
13.4 Löschen eines Knotens .....	325
<b>14 Erweitern von Datenstrukturen</b>	<b>341</b>
14.1 Dynamische Ranggröße .....	341
14.2 Wie man eine Datenstruktur erweitert .....	347
14.3 Intervallbäume .....	350
<b>IV Fortgeschrittene Entwurfs- und Analysetechniken</b>	<b>359</b>
<b>15 Dynamische Programmierung</b>	<b>363</b>
15.1 Schneiden von Eisenstangen .....	364
15.2 Matrizen-Kettenmultiplikation .....	374
15.3 Elemente dynamischer Programmierung .....	381
15.4 Längste gemeinsame Teilsequenz .....	393
15.5 Optimale binäre Suchbäume .....	399

---

<b>16 Greedy-Algorithmen</b>	<b>417</b>
16.1 Ein Aktivitäten-Auswahl-Problem .....	418
16.2 Elemente der Greedy-Strategie .....	425
16.3 Huffman-Codierungen .....	431
16.4 * Matroiden und Greedy-Methoden .....	440
16.5 * Ein Task-Scheduling-Problem als Matroid .....	447
<b>17 Amortisierte Analyse</b>	<b>455</b>
17.1 Aggregat-Analyse .....	456
17.2 Account-Methode .....	460
17.3 Die Potentialmethode .....	462
17.4 Dynamische Tabellen .....	466
<b>V Höhere Datenstrukturen</b>	<b>483</b>
<b>18 B-Bäume</b>	<b>489</b>
18.1 Die Definition von B-Bäumen .....	493
18.2 Grundoperationen auf B-Bäumen .....	496
18.3 Löschen eines Schlüssels aus einem B-Baum .....	504
<b>19 Fibonacci-Heaps</b>	<b>511</b>
19.1 Die Struktur von Fibonacci-Heaps .....	513
19.2 Operationen der fusionierbaren Heaps .....	516
19.3 Verringern eines Schlüssels und Entfernen eines Knotens .....	525
19.4 Beschränkung des maximalen Grades .....	529
<b>20 van-Emde-Boas-Bäume</b>	<b>539</b>
20.1 Vorbereitende Ansätze .....	540
20.2 Eine rekursive Datenstruktur .....	544
20.3 Die van-Emde-Boas-Bäume .....	553
<b>21 Datenstrukturen disjunkter Mengen</b>	<b>569</b>
21.1 Operationen auf disjunkten Mengen .....	569
21.2 Darstellung disjunkter Mengen mithilfe verketteter Listen .....	572

---

21.3	Wälder disjunkter Mengen .....	576
21.4	* Analyse der Vereinigung nach dem Rang mit Pfadverkürzung .....	580
<b>VI</b>	<b>Graphenalgorithmien</b>	<b>595</b>
<b>22</b>	<b>Elementare Graphenalgorithmien</b>	<b>599</b>
22.1	Darstellungen von Graphen .....	599
22.2	Breitensuche .....	603
22.3	Tiefensuche .....	613
22.4	Topologisches Sortieren .....	622
22.5	Starke Zusammenhangskomponenten.....	626
<b>23</b>	<b>Minimale Spannbäume</b>	<b>635</b>
23.1	Aufbau eines minimalen Spannbaums .....	636
23.2	Die Algorithmen von Kruskal und Prim .....	641
<b>24</b>	<b>Kürzeste Pfade von einem Startknoten aus</b>	<b>655</b>
24.1	Der Bellman-Ford-Algorithmus .....	663
24.2	Kürzeste Pfade von einem Startknoten aus in DAGs .....	667
24.3	Dijkstras Algorithmus .....	670
24.4	Differenzbedingungen und kürzeste Pfade .....	677
24.5	Beweise der Eigenschaften kürzester Pfade .....	683
<b>25</b>	<b>Kürzeste Pfade für alle Knotenpaare</b>	<b>697</b>
25.1	Kürzeste Pfade und Matrizenmultiplikation .....	699
25.2	Der Floyd-Warshall-Algorithmus.....	705
25.3	Johnsons Algorithmus für dünn besetzte Graphen .....	713
<b>26</b>	<b>Maximaler Fluss</b>	<b>721</b>
26.1	Flussnetzwerke .....	722
26.2	Die Ford-Fulkerson-Methode.....	727
26.3	Maximales bipartites Matching .....	745
26.4	* Push/Relabel-Algorithmien .....	749
26.5	* Der Relabel-to-Front-Algorithmus .....	762

---

<b>VII</b>	<b>Ausgewählte Themen</b>	<b>781</b>
<b>27</b>	<b>Mehrfädige Algorithmen</b>	<b>785</b>
27.1	Grundlagen von dynamischem Multithreading.....	787
27.2	Mehrfädige Matrizenmultiplikation.....	806
27.3	Mehrfädiges Sortieren durch Mischen.....	811
<b>28</b>	<b>Operationen auf Matrizen</b>	<b>827</b>
28.1	Lösen linearer Gleichungssysteme.....	827
28.2	Matrixinversion.....	841
28.3	Symmetrische positiv definite Matrizen, Summe der quadratischen Fehler	846
<b>29</b>	<b>Lineare Programmierung</b>	<b>857</b>
29.1	Standard- und Schlupfform.....	864
29.2	Darstellung von Problemen als lineare Programme.....	872
29.3	Der Simplexalgorithmus.....	878
29.4	Dualität.....	893
29.5	Die initiale zulässige Basislösung.....	899
<b>30</b>	<b>Polynome und die FFT</b>	<b>911</b>
30.1	Darstellung von Polynomen.....	913
30.2	Die DFT und FFT.....	919
30.3	Effiziente Implementierung der FFT.....	927
<b>31</b>	<b>Zahlentheoretische Algorithmen</b>	<b>937</b>
31.1	Elementare zahlentheoretische Begriffe.....	938
31.2	Größter gemeinsamer Teiler.....	944
31.3	Modulare Arithmetik.....	950
31.4	Lösen modularer linearer Gleichungen.....	957
31.5	Der chinesische Restsatz.....	962
31.6	Potenzen eines Elements.....	965
31.7	Das RSA-Kryptosystem.....	970
31.8	* Primzahltests.....	977
31.9	* Primfaktorzerlegung.....	987

---

<b>32 String-Matching</b>	<b>997</b>
32.1 Der naive String-Matching-Algorithmus .....	999
32.2 Der Rabin-Karp-Algorithmus .....	1002
32.3 String-Matching mit endlichen Automaten .....	1007
32.4 * Der Knuth-Morris-Pratt-Algorithmus .....	1014
<b>33 Algorithmische Geometrie</b>	<b>1025</b>
33.1 Eigenschaften von Strecken .....	1026
33.2 Bestimmung von Schnittpunkten in einer Menge von Strecken .....	1032
33.3 Bestimmen der konvexen Hülle .....	1039
33.4 Berechnung des dichtesten Punktepaars .....	1050
<b>34 NP-Vollständigkeit</b>	<b>1059</b>
34.1 Polynomielle Zeit .....	1064
34.2 Verifikation in polynomieller Zeit .....	1072
34.3 NP-Vollständigkeit und Reduktion .....	1077
34.4 NP-Vollständigkeitsbeweise .....	1088
34.5 NP-vollständige Probleme .....	1096
<b>35 Approximationsalgorithmen</b>	<b>1117</b>
35.1 Das Knotenüberdeckungsproblem .....	1119
35.2 Das Problem des Handelsreisenden .....	1122
35.3 Das Mengenüberdeckungsproblem .....	1128
35.4 Randomisierung und lineare Programmierung .....	1134
35.5 Das Teilsummenproblem .....	1139
<b>VIII Anhang</b>	<b>1151</b>
<b>A Summen</b>	<b>1155</b>
A.1 Summenformeln und Eigenschaften .....	1155
A.2 Abschätzungen für Summen .....	1159
<b>B Mengen usw.</b>	<b>1169</b>
B.1 Mengen .....	1169
B.2 Relationen .....	1174

---

B.3 Funktionen .....	1176
B.4 Graphen .....	1178
B.5 Bäume .....	1183
<b>C Kombinatorik und Wahrscheinlichkeitstheorie</b>	<b>1193</b>
C.1 Kombinatorik .....	1193
C.2 Wahrscheinlichkeiten .....	1199
C.3 Diskrete Zufallsvariablen.....	1205
C.4 Die geometrische Verteilung und die Binomialverteilung .....	1211
C.5 * Die Ränder der Binomialverteilung .....	1217
<b>D Matrizen</b>	<b>1227</b>
D.1 Matrizen und Matrizenoperationen .....	1227
D.2 Elementare Matrizeneigenschaften .....	1232
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>1241</b>
<b>Index</b>	<b>1265</b>