

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Vorspeise: Arithmetik für ganze Zahlen</b>	<b>1</b>
1.1	Addition	2
1.2	Multiplikation: Die Schulmethode	3
1.3	Ergebnisprüfung	7
1.4	Eine rekursive Version der Schulmethode	8
1.5	Karatsuba-Multiplikation	10
1.6	Algorithm Engineering	13
1.7	Die Programme	15
1.8	Beweise für Lemma 1.5 und Satz 1.7	18
1.9	Implementierungsaspekte	20
1.10	Historische Anmerkungen und weitere Ergebnisse	21
<b>2</b>	<b>Einleitung</b>	<b>23</b>
2.1	Asymptotische Notation	24
2.2	Das Maschinenmodell	28
2.3	Pseudocode	32
2.4	Erstellung korrekter Algorithmen und Programme	39
2.5	Ein Beispiel: Binäre Suche	42
2.6	Grundlagen der Algorithmenanalyse	44
2.7	Analyse des mittleren Falles	52
2.8	Randomisierte Algorithmen	57
2.9	Graphen	61
2.10	P und NP	68
2.11	Implementierungsaspekte	72
2.12	Historische Anmerkungen und weitere Ergebnisse	73
<b>3</b>	<b>Darstellung von Folgen durch Arrays und verkettete Listen</b>	<b>75</b>
3.1	Verkettete Listen	76
3.2	Unbeschränkte Arrays	83
3.3	*Amortisierte Analyse	90
3.4	Stapel und Warteschlangen	94

X Inhaltsverzeichnis

3.5	Listen und Arrays im Vergleich .....	98
3.6	Implementierungsaspekte .....	99
3.7	Historische Anmerkungen und weitere Ergebnisse .....	101
<b>4</b>	<b>Hashtabellen und assoziative Arrays .....</b>	<b>103</b>
4.1	Hashing mit Verkettung .....	106
4.2	Universelles Hashing .....	109
4.3	Hashing mit linearem Sondieren .....	115
4.4	Verkettung und lineares Sondieren im Vergleich .....	117
4.5	*Perfektes Hashing .....	118
4.6	Implementierungsaspekte .....	121
4.7	Historische Anmerkungen und weitere Ergebnisse .....	123
<b>5</b>	<b>Sortieren und Auswählen .....</b>	<b>127</b>
5.1	Einfache Sortierverfahren .....	130
5.2	Mergesort – ein $O(n \log n)$ -Sortieralgorithmus .....	132
5.3	Eine untere Schranke .....	135
5.4	Quicksort .....	138
5.5	Das Auswahlproblem .....	145
5.6	Brechen der unteren Schranke .....	147
5.7	*Externes Sortieren .....	150
5.8	Implementierungsaspekte .....	155
5.9	Historische Anmerkungen und weitere Ergebnisse .....	157
<b>6</b>	<b>Prioritätswarteschlangen .....</b>	<b>161</b>
6.1	Binärheaps .....	163
6.2	Adressierbare Prioritätswarteschlangen .....	169
6.3	*Externspeicher .....	177
6.4	Implementierungsaspekte .....	179
6.5	Historische Anmerkungen und weitere Ergebnisse .....	180
<b>7</b>	<b>Sortierte Folgen .....</b>	<b>183</b>
7.1	Binäre Suchbäume .....	186
7.2	$(a, b)$ -Bäume und Rot-Schwarz-Bäume .....	189
7.3	Weitere Operationen .....	197
7.4	Amortisierte Analyse von Einfügungen und Löschungen .....	200
7.5	Erweiterte Suchbäume .....	203
7.6	Implementierungsaspekte .....	205
7.7	Historische Anmerkungen und weitere Ergebnisse .....	208
<b>8</b>	<b>Darstellung von Graphen .....</b>	<b>211</b>
8.1	Ungeordnete Kantenfolgen .....	212
8.2	Adjazenzarrays – Statische Graphen .....	213
8.3	Adjazenzlisten – Dynamische Graphen .....	214
8.4	Adjazenzmatrizen .....	216
8.5	Implizite Darstellungen .....	217

8.6	Implementierungsaspekte .....	218
8.7	Historische Anmerkungen und weitere Ergebnisse .....	219
<b>9</b>	<b>Graphdurchläufe .....</b>	<b>221</b>
9.1	Breitensuche .....	222
9.2	Tiefensuche .....	224
9.3	Implementierungsaspekte .....	239
9.4	Historische Anmerkungen und weitere Ergebnisse .....	240
<b>10</b>	<b>Kürzeste Wege .....</b>	<b>243</b>
10.1	Von Grundbegriffen zu einer allgemeinen Methode .....	245
10.2	Gerichtete azyklische Graphen .....	249
10.3	Nichtnegative Kantenkosten (Der Algorithmus von Dijkstra) .....	250
10.4	*Durchschnittsanalyse des Algorithmus von Dijkstra .....	254
10.5	Monotone ganzzahlige Prioritätswarteschlangen .....	256
10.6	Beliebige Kantenkosten (Der Algorithmus von Bellman und Ford) .....	263
10.7	Kürzeste Wege zwischen allen Knotenpaaren und Knotenpotenziale .....	265
10.8	Kürzeste-Wege-Anfragen .....	267
10.9	Implementierungsaspekte .....	273
10.10	Historische Anmerkungen und weitere Ergebnisse .....	274
<b>11</b>	<b>Minimale Spannbäume .....</b>	<b>277</b>
11.1	Schnitteigenschaft und Kreiseigenschaft .....	278
11.2	Der Algorithmus von Jarník-Prim .....	280
11.3	Der Algorithmus von Kruskal .....	281
11.4	Die Union-Find-Datenstruktur .....	283
11.5	*Externspeicher .....	289
11.6	Anwendungen .....	292
11.7	Implementierungsaspekte .....	295
11.8	Historische Anmerkungen und weitere Ergebnisse .....	296
<b>12</b>	<b>Generische Ansätze für Optimierungsprobleme .....</b>	<b>299</b>
12.1	Lineare Programmierung – ein Black-Box-Lösungsverfahren .....	301
12.2	Greedy-Algorithmen – Nie zurückschauen! .....	307
12.3	Dynamische Programmierung – Schrittweiser Aufbau .....	311
12.4	Systematische Suche – Im Zweifelsfall: Volle Rechenpower! .....	316
12.5	Lokale Suche – Global denken, lokal handeln! .....	321
12.6	Evolutionäre Algorithmen .....	333
12.7	Implementierungsaspekte .....	335
12.8	Historische Anmerkungen und weitere Ergebnisse .....	336
<b>A</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>339</b>
A.1	Mathematische Symbole .....	339
A.2	Mathematische Begriffe .....	341
A.3	Grundlagen aus der Wahrscheinlichkeitsrechnung .....	342
A.4	Einige nützliche Formeln und Abschätzungen .....	347

**XII Inhaltsverzeichnis**

**Literaturverzeichnis** ..... 351

**Sachverzeichnis** ..... 363