dandelon.com
© 2008 AGI-Information Management Consultants
May be used for personal purporses only or by
libraries associated to dandelon.com network.

Robert Sedgewick

# Algorithmen in C++

**ADDISON-WESLEY PUBLISHING COMPANY**

Bonn • München • Paris • Reading, Massachusetts •• Menlo Park, California
New York • Don Mills, O'ntario • Wokingham, England • Amsterdam • Milan • Sydney
Tokyo • Singapore • Madrid • San Juan • Seoul • Mexico City • Taipei, Taiwan

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort . . . . . 5

Inhaltsverzeichnis . . . . . 11

**Grundlagen**

**1 Grundlagen . . . . . 21**
Einführung 21
Algorithmen 22
Themenübersicht 23

2 C++ **(und** C) . . . . . 27
Beispiel: Euklidischer Algorithmus 28
Datentypen 30
Ein-/Ausgabe 31
Abschließende Bemerkungen 33

**3 Elementare Datenstrukturen . . . . . 35**
Felder 36
Verkettete Listen 38
Speicherzuweisung 43
**Stapel** 46
Implementation eines Stapels mit verketteten Listen 50
Schlangen 51
Abstrakte und konkrete Datentypen 53

**4 Bäume . . . . . 57**
Terminologie 58
Eigenschaften 61
Darstellung binärer Bäume 63
Darstellung von Wäldern 66
Traversierung von Bäumen 68

5 **Rekursion . . . . . 75**
Rekurrente Beziehungen 76
Teile und Herrsche 78
Rekursive Traversierung von Bäumen 84
Beseitigung der Rekursion 86
Ausblick 90

**6 Analyse von Algorithmen . . . . . 93**
Rahmen 94
Klassifikation von Algorithmen - 96
Berechnungskomplexität 98
Analyse des durchschnittlichen Falles • 101
Näherungsweise und asymptotische Ergebnisse 102
Grundlegende rekurrente Beziehungen 103
Ausblick 106

**7 Implementation von Algorithmen . . . . . 109**
Auswahl eines Algorithmus 110
Empirische Analyse ' • " ' ' 112
Programmoptimierung 113
Algorithmen und Systeme 115

**Sortieralgörithmen** >

**8 Elementare Sortierverfahren . . . . . 121**
Spielregeln 122
Selection Sort 125
Insertion Sort . • . ' . 127
Exkurs: Bubble Sort . 129
Kenngrößen dgr Leistungsfähigkeit elementarer Sortiermethoden ' . 130
Sortieren von Dateien mit großen Datensätzen 134
Shellsort ' . _ • - iy?
Distribution Counting 141

**9 Quicksort . . . . . 145**
Der grundlegende Algorithmus ' 146
Kenngrößen der Leistungsfähigkeit von Quicksort 151
Beseitigung der Rekursion 152
Kleine Teildateien ' 155
Zerlegung mit Hilfe des mittleren von drei Elementen 157
Auswählen ' ' - . -^g

**10 Digitales Sortieren . . . . . 163**
Bits - 164
Radix Exchange Sort . 165
Straight Radix Sort v ' 170
Kenngrößen der Leistungsfähigkeit digitaler Sortierverfahren 172
Ein lineares Sortierverfahren 173

**11 Prioritätswarteschlangen . . . . . 177**
Elementare Implementationen 179
Die Datenstruktur des Heaps '. ' 181
Algorithmen mit Heaps - . . • • • . . ^g2
Heapsort " ' '• ' 186

Indirekte Heaps . . . 192
Weiterentwickelte Implementationen •. • „. . • 194

**12 Mergesort . . . . . 197**
Mischen ' * 198
Mergesort ' ' 200
Mergesort von Listen , 202
Bottom-Up Mergesort ' 204
Kenngrößen der Leistungsfähigkeit , 206
Optimierte Implementationen . 209
Weitere Bemerkungen zur Rekursion 209

**13. Externes Sortieren . . . . . 213**
Sortieren-Mischen ' . ' " ' ; 214
Ausgeglichenes Mehrweg-Mischen , 215
Replacement Selection 217
Praktische Erwägungen . • .. • • • 220
Mehrphasen-Mischen . •- . • 222
Ein einfacherer Weg ; " • • . 225

**Suchalgorithmen . ' - . . '**

**14 Elementare Suchmethoden . . . . . ' . . . . . --..... 231**
Sequentielle Suche : > : . •. 233
Binäre Suche . - . . - , • • 237
Suche in einem Binärbaum , . • • . 242
Löschen • ': 248
Indirekte binäre Suchbäume . • . • . 251

**15 Ausgeglichene Bäume . . . . . 255**
Top-Down 2-3-4-Bäume • 256
Rot-Schwarz-Bäume . • . • • 260
Andere Algorithmen . . , . 270

**16 Hashing . . . . . 273**
Hash-Funktionen ' 274
Getrennte Verkettung 276
Lineares Austesten • . 279
Doppeltes Hashing . . . . . .. 282
Ausblick ' . . . 285

**17 Digitales Suchen . . . . . 289**
Digitale Suchbäume " 290
Digitale Such-Tries . • * ••.••::• - 293
Digitales Mehrwege-Suchen ... - r . ••.<•.. 296
Patricia • .•-.•• ' 298

**18 Externes Suchen** . . . . . 305
Indexsequentieller Zugriff 307
B-Bäume 308
Erweiterbares Hashing 313
Virtueller Speicher 319

**Verarbeitung von Zeichenfolgen**

**19 Suchen in Zeichenfolgen** . . . . . 325
Kurzer historischer Abriß 326
Der grobe Algorithmus 327
Der Algorithmus von Knuth-Morris-Pratt 329
Der Algorithmus von Boyer-Moore 334
Der Algorithmus von Rabin-Karp 338
Mehrfache Suche 340

**20 Pattern Matching** . . . . . 343
Beschreibung von Mustern 344
Automaten für das Pattern Matching 345
Darstellung des Automaten 349
Simulation des Automaten 350

**21 Syntaxanalyse (Parsing)** . . . . . 357
Kontextfreie Grammatiken 358
Der rekursive Abstieg (Top-Down-Syntaxanalyse) 361
Bottom-Up-Syntaxanalyse 364
Compiler 365
Compiler-Compiler 368

**22 Datenkomprimierung** . . . . . 371
Lauflängenkodierung 372
Kodierung mit variabler Länge 375
Erzeugung des Huffman-Codes 377
Implementation 380

**23 Kryptologie** . . . . . 385
Spielregeln 386
Einfache Methoden 388
Ver- und Entschlüsselungsmaschinen 390
Kryptosysteme mit öffentlichen Schlüsseln 391

**Geometrische Algorithmen**

**24 Elementare geometrische Methoden** . . . . . 399
Punkte, Linien und Polygone 400
Schnitt von Strecken 402
Einfacher geschlossener Pfad 404

Enthaltensein in einem Polygon . 406
Ausblick , 408

**25 Bestimmung der konvexen Hülle . . . . . 411**
Spielregeln 413
Einwickeln 414
Das Durchsuchen nach Graham ' 417
Innere Elimination 422-
• Aspekte der Leistungsfähigkeit . . 423

26 **Bereichssuche . . . . . 427**
Elementare Verfahren • 429
Gitterverfahren 431
Zweidimensionale Bäume • _, 434
Mehrdimensionale Bereichssuche ., . • 439

**27 Geometrischer Schnitt . . . . . 443**
Horizontale und vertikale Linien . 444
Implementation. ' 447
Allgemeiner Schnitt von Strecken 450

**28 Probleme des nächsten Punktes . . . . . 457**
Das Problem des nächsten Paares ' 458
Voronoi-Diagramme 465

**Algorithmen für Graphen** ' "

**29 Elementare Algorithmen für Graphen . . . . . 473**
Glossar • 474
Darstellung ' . • 477
Tiefensuche • 482
Nichtrekursive Tiefensuche . 487
Breitensuche 490
Labyrinthe 493
Ausblick 494

**30 Zusammenhang . . . . . 497**
Zusammenhängende Komponenten 498
Zweifacher Zusammenhang - . 499
Algorithmen zur Vereinigungs-Suche . . • 502

**31 Gewichtete Graphen . . . . . 513**
Minimaler Spannbaum " , . . ^ 4 ,
Prioritätssuche . 516
Das Verfahren von Kruskal .. , • 520
Kürzester Pfad 524
Minimaler Spannbaum und kürzeste Pfade in' dichten Graphen 528
Geometrische Probleme . , 530

**32 Gerichtete Graphen** . . . . . **535**
Tiefensuche 536
Transitive Hülle 537
Alle kürzesten Pfade 541
Topologisches Sortieren 543
Streng zusammenhängende Komponenten 545

**33 Fluß in einem Netzwerk** . . . . . **551**
Das Problem des Flusses in einem Netzwerk 552
Das Verfahren von Ford-Fulkerson 554
Suche in Netzwerken 556

**34 Paarung** . . . . . **561**
Bipartite Graphen 563
Problem der stabilen Ehe 566
Weiterentwickelte Algorithmen 571

## Mathematische Algorithmen

**35 Zufallszahlen** . . . . . **577**
Anwendungen 578
Methode der linearen Kongruenz 579
Methode der additiven Kongruenz 583
Test der Zufälligkeit 585
Bemerkungen zur Implementation 587

**36 Arithmetik** . . . . . **591**
Arithmetik für Polynome 592
Berechnung und Interpolation von Polynomen 595
Multiplikation von Polynomen 598
Rechenoperationen mit großen ganzen Zahlen 601
Rechenoperationen mit Matrizen 602

**37 Gaußsches Eliminationsverfahren** . . . . . **607**
Ein einfaches Beispiel 608
Beschreibung des Verfahrens 610
Variationen und Erweiterungen 614

**38 Kurvenanpassung** . . . . . **619**
Interpolation mit Hilfe von Polynomen 620
Spline-Interpolation 621
Methode der kleinsten Quadrate 625

**39 Integration** . . . . . **631**
Symbolische Integration 632
Einfache Quadraturverfahren 633
Zusammengesetzte Verfahren 636
Adaptive Quadratur 638

**Weiterführende Themen**

**40 Parallele Algorithmen . . . . . 645**
Allgemeine Ansätze 646
Perfektes Mischen 647
Systolische Felder 654
Ausblick 658

**41 Die schnelle Fourier-Transformation . . . . . 661**
Berechnen, Multiplizieren, Interpolieren 662
Komplexe Einheitswurzeln 663
Berechnung in den Einheitswurzeln 664
Interpolation mit Hilfe der Einheitswurzeln 666
Implementation 668

**42 Dynamische Programmierung . . . . . 673**
Das Rucksack-Problem 674
Das Produkt mehrerer Matrizen . 677
Optimale binäre Suchbäume 681
Zeit- und Speicher auf wand 683

43 **Lineare Programmierung . . . . . 687**
Lineare Optimierungsaufgaben 688
Geometrische Interpretation 689
Die Simplexmethode 693
Implementation 698

**44 Erschöpfendes Durchsuchen . . . . . 703**
Erschöpfendes Durchsuchen in Graphen 704
Backtracking 707
Digression: Erzeugung von Permutationen 711
Approximationsalgorithmen 713

**45 NP-vollständige Probleme . . . . . 717**
Deterministische und nichtdeterministische Algorithmen mit polynomialer Zeit 718
NP-Vollständigkeit 720
Der Satz von Cook 723
Einige NP-vollständige Probleme 724

**Stichwortverzeichnis . . . . . 729**

**Programm-Index . . . . . 739**