
Literatur

1. Agrawal M, Kayal N, Saxena N: PRIMES is in P. *Annals of Mathematics* 2004;160:781–93.
2. Applegate DL, Bixby RE, Chvátal V, Cook WJ. *The Traveling Salesman Problem. A Computational Study*. Princeton University Press; 2006
3. Bellman R. On a routing problem. *Quarterly of Applied Mathematics* 1958;16:87–90.
4. Berge C. Two theorems in graph theory. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 1957;43:842–44.
5. Breymann U. *Der C++ Programmierer*. 3. Auflage, Hanser 2014
6. C++ Standard. ISO/IEC 14882:2011. <http://www.open-std.org/jtc1/sc22/wg21/docs/papers/2012/n3337.pdf>
7. Church A. An unsolvable problem of elementary number theory. *American Journal of Mathematics* 1936;5:345–63.
8. Cormen TH, Leiserson CE, Rivest RL, Stein C. *Introduction to Algorithms*. 3. Aufl. MIT Press; 2009.
9. Dantzig GB, Fulkerson DR. On the max-flow min-cut theorem of networks. In: Kuhn HW, Tucker AW, Hrsg. *Linear Inequalities and Related Systems*. Princeton University Press, Princeton; 1956. S. 215–21.
10. Dijkstra EW. A note on two problems in connexion with graphs. *Numerische Mathematik* 1959;1:269–71.
11. Edmonds J. Systems of distinct representatives and linear algebra. *Journal of Research of the National Bureau of Standards* 1967;B71:241–5.
12. Edmonds J, Karp RM. Theoretical improvements in algorithmic efficiency for network flow problems. *Journal of the ACM* 1972;19:248–64.
13. Folkerts M. *Die älteste lateinische Schrift über das indische Rechnen nach al-Ḥwārizmī*. München: Verlag der Bayerischen Akademie der Wissenschaften; 1997.
14. Ford LR. *Network flow theory*. Paper P-923, The Rand Corporation, Santa Monica 1956.
15. Ford LR, Fulkerson, DR. Maximal flow through a network. *Canadian Journal of Mathematics* 1956;8:399–404.
16. Ford LR, Fulkerson, DR. A simple algorithm for finding maximal network flows and an application to the Hitchcock problem. *Canadian Journal of Mathematics* 1957;9:210–18.
17. Frobenius G. Über zerlegbare Determinanten. *Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften* 1917;XVIII:274–77.

18. Fürer M. Faster integer multiplication. *SIAM Journal on Computing* 2009;39:979–1005.
19. Held M, Karp RM. A dynamic programming approach to sequencing problems. *Journal of the SIAM* 1962;10:196–210.
20. IEEE Standard for Binary Floating-Point Arithmetic. ANSI/IEEE Std 754-1985. <http://754r.ucbtest.org/standards/754.pdf>. 7. August 2015
21. Jarník V. O jistém problému minimálním. *Práce Moravské Přírodovědecké Společnosti* 1930;6:57–63.
22. Karatsuba A, Ofman Y. Multiplication of multidigit numbers on automata. *Soviet Physics* 1963;Doklady7:595–6.
23. Knuth DE. *The Art of Computer Programming*; Bd. 1–4A. 3. Aufl. Addison-Wesley; 2011.
24. König D. Über Graphen und ihre Anwendung auf Determinantentheorie und Mengenlehre. *Mathematische Annalen* 1916;77:453–65.
25. Kruskal JB. On the shortest spanning subtree of a graph and the traveling salesman problem. *Proceedings of the AMS* 1956;7:48–50.
26. Lippman SB, Lajoie J, Moo BE. *C++ Primer*. 5. Auflage Addison Wesley 2013
27. Moore EF. The shortest path through a maze. *Proceedings of an International Symposium on the Theory of Switching*; Teil II. Harvard University Press; 1959. S. 285–92.
28. Oliveira e Silva T. Empirical verification of the $3x+1$ and related conjectures. In: Lagarias JC, Hrsg. *The Ultimate Challenge: The $3x+1$ Problem*. American Mathematical Society 2010:189–207.
29. Petersen J. Die Theorie der regulären Graphs. *Acta Mathematica* 1891;15,193–220.
30. Prim RC. Shortest connection networks and some generalizations. *The Bell System Technical Journal* 1957;36:1389–401.
31. Schönhage A, Strassen V. Schnelle Multiplikation großer Zahlen. *Computing* 1971;7:281–92.
32. Stroustrup B. *The C++ Programming Language*. 4. Aufl. Addison-Wesley; 2013.
33. Stroustrup B. *Programming: Principles and Practice Using C++*. 2. Auflage Addison Wesley 2014
34. Tarjan RE. *Data Structures and Network Algorithms*. SIAM; 1983.
35. Treiber D. Zur Reihe der Primzahlreziproken. *Elemente der Mathematik* 1995;50:164–6.
36. Turing AM. On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem. *Proceedings of the London Mathematical Society* 1937;(2)42:230–65 und 43:544–6.
37. Vogel K, Hrsg. Mohammed ibn Musa Alchwarizmi's *Algorismus*. Das früheste Lehrbuch zum Rechnen mit indischen Ziffern. Aalen: Zeller; 1963.
38. Wilkinson JH. Error analysis of direct methods of matrix inversion. *Journal of the ACM* 1961;8:281–330.

Sachverzeichnis

!=, 8
N, 2
Q, 2
R, 2
Z, 2
←, 5
*, 26
++, 11, 38
+ =, 35
- -, 38
/, 9
<, 8
<<, 7, 33
≤, 8
= =, 8
>, 8
≥, 8
>>, 7
%, 9
&, 24
//, 6
#include, 7
\n, 7

A

a-posteriori-Schranke, 58
a-priori-Schranke, 58
Abbildung, 2
Abbruchkriterium, 65
Abstand, 88, 117
abzählbare Menge, 3
Addition, 41
adjazent, 68
Adjazenzlisten, 79
Adjazenzmatrix, 78
Äquivalenzklassen, 29

Äquivalenzrelation, 29, 70
Alchwarizmi, Mohammed ibn Musa, 1
algorithm, 59, 97
Algorithmische Mathematik, 2
Algorithmus, 1
 eine Funktion berechnender, 10
 terminierender, 9
Allgemeines Sortierproblem, 94
Alphabet, 3
and, 8
Anweisung in C++, 6
Approximationsalgorithmus, 126
Äquilibrierung, 154
Arboreszenz, 73
Arithmeum, 30
Array, 75
Artikulationsknoten, 71
Assoziativgesetz, 56
asymptotische Laufzeit, 10
aufspannender Teilgraph, 69
augmentierender Weg
 f-, 129
 M-, 126
Augmentierung, 130
Ausdruck, 8
Ausgangsgrad, 68
Auslöschung, 60
äußeres Produkt, 136
auto, 38
azyklischer Digraph, 90

B

b-adische Darstellung
 natürlicher Zahlen, 21
 reeller Zahlen, 49
b-Komplement, 27

- b*-Komplementdarstellung, 28
- babylonisches Wurzelziehen, 64
- Basiskonverter, 23
- Baum, 72
- `begin()`, 38
- Beliebig große ganze Zahlen, 35
- Bellman, Richard, 122
- benachbarte Knoten, 68
- Berechnungsproblem, 3
 - diskretes, 3, 12
 - eindeutiges, 3
 - numerisches, 3
- bereichsbasiertes `for`, 38
- Berge, Claude, 126
- Betragsdarstellung, 27
- Betragssummennorm, 149
- BFS, 86
- Bias-Darstellung, 52
- Bijektion, 2
- bijektiv, 2
- Binärbaum
 - vollständiger, 105
- Binärdarstellung, 21, 23
- binäre Suche, 58
- Binäre Suche (diskret), 59
- Binärheap, 105
- `binary_search`, 59
- bipartit, 89
- Bipartiter Matching-Algorithmus, 127
- Bipartition, 89
- Bit, 21
- Blatt, 72, 74
- `bool`, 8
- Branching, 73
- Breitensuche, 86, 87
- Brücke, 71
- Bubblesort, 100
- Bucketsort, 99
- Byte, 21

- C**
- C++, 1, 4
- C++-Programm, 6
- call by reference, 24, 26
- call by value, 24
- Cantor, Georg, 17
- Cantors Diagonalbeweis, 17
- `catch`, 34
- `char`, 81

- Church, Alonzo, 4
- `cin`, 7
- `class`, 30
- `clock()`, 98
- `CLOCKS_PER_SEC`, 98
- `clock_t`, 98
- Code, 25
- Collatz-Problem, 18
- Collatz, Lothar, 18
- Collatz-Folge, 18
- Compiler, 4
- Computerprogramm, 1
- `const`, 25
- Containertypen, 38
- `cout`, 7
- `cstdlib`, 98
- C-style strings, 81
- `ctime`, 98

- D**
- Dantzig, George, 131
- Datenfehler, 57
- Datenstruktur, 75
- `dec`, 25
- `default_random_engine`, 98
- Definition einer Variablen, 8
- Definitionsbereich, 2
- `delete`, 76
- Destruktor, 31
- Determinante, 135, 136
- Dezimaldarstellung, 21
- DFS, 86
- Diagonalbeweis von Cantor, 17
- Diagonalmatrix, 139, 154
- Digraph, 67
 - stark zusammenhängender, 73
 - zusammenhängender, 73
- Dijkstra, Edsger, 118
- Dijkstras Algorithmus, 115, 118
- disjunkte Vereinigung, 70
- diskretes Berechnungsproblem, 3
- Distributivgesetz, 56
- Divide-and-Conquer, 100
- Division, 43, 66
 - ganzzahlige, 9
- `do while`, 19
- `double`, 8, 55
- Dreiecksmatrix
 - normierte, 137

obere, 137
 untere, 137

E

Edmonds, Jack, 132, 144
 Edmonds-Karp-Algorithmus, 133
 eindeutiges Berechnungsproblem, 3
 einfacher Graph, 67
 einfacher Primzahltest, 9, 10
 Eingangsgrad, 68
 Einheitsmatrix, 136
 Einheitsvektor, 136
else-Teil in Pseudocode, 9
else-Teil C++, 13
 end(), 38
 Endknoten, 68, 69
 endliche Menge, 3
 enthaltener Graph, 69
 entscheidbar, 17
 Entscheidungsproblem, 3, 6
 eps, 54
 Eratosthenes, 14
 erreichbar, 70
 Euklid, 44
 Euklidischer Algorithmus, 1, 44, 45

F

false, 8
 Fehler
 absoluter, 54
 relativer, 54
 Fehlerfortpflanzung, 59
 Fibonacci-Zahlen, 45
 Fibonacci, Leonardo, 45
 FIFO-Speicher, 76
 float, 53
 Fluss
 maximaler, 128
 s-t-, 128
 Flusserhaltungsbedingung, 128
 Fluss-Problem, 128
for-Anweisung in Pseudocode, 9
for-Anweisung in C++, 13
 Ford, L.R., jr., 122, 131
 Ford-Fulkerson-Algorithmus, 131
 FPU, 53
 Frobenius, Ferdinand Georg, 127
 Fulkerson, D.R., 131
 Funktion, 2

in C++, 12
 rekursive, 23
 Funktionsparameter, 12

G

Gauß, Carl Friedrich, 137
 Gauß-Elimination, 1, 137, 141
 Gauß-Jordan-Verfahren, 139
 Gaußklammer, 9
 gegenläufige Kante, 129
 Gewicht, 111
 ggT, 44
 Gleitkommadarstellung
 normalisierte, 51
 globale Variable, 24
 goldener Schnitt, 47
 Grad, 68
 Graph, 67
 einfacher, 67
 gerichteter, 67
 ungerichteter, 67
 unzusammenhängender, 71
 zusammenhängender, 71
 Graphen, 81
 Graphendurchmusterung, 85
 Greedy-Algorithmus, 111
 größter gemeinsamer Teiler, 44
 gut konditioniert, 62
 gute Charakterisierung, 90

H

Haltefunktion, 17
 Halteproblem, 17
 Hamiltonkreis, 123
 Harmonische Zahlen, 32
 Hash-Tables, 109
 Headerdatei, 35
 Heap, 25, 105, 106
 binärer, 104
 Heapordnung, 105
 Heapsort, 109
 Heiratssatz, 127
 Held, Michael, 123
 Heron von Alexandria, 64
 hex, 25
 Hexadezimaldarstellung, 23
 Hoare, Antony, 102
 Horner-Schema, 22

I

IEEE-Standard, 52
if-Anweisung in Pseudocode, 9, 13
 implementieren, 4
 include, 7
 Induktion über f , 22
 Induktionsanfang, 22
 Induktionsschritt, 22
 Induktionsvoraussetzung, 22
 induzierte Norm, 151
 induzierter Teilgraph, 69
 injektiv, 2
 inklusionsmaximal, 71
 inklusionsminimal, 71
 innere Knoten, 69
 inneres Produkt, 136
 Instanz eines Problems, 3
 int, 8, 30
 Intervallarithmetik, 63
 Invariante, 89
 Inverse, 136
 inverse Matrix, 135
 inzident, 68
 Inzidenzmatrix, 79
 iomanip, 99
 ostream, 7
 Iterator, 38, 95

J

Jarník, Vojtěch, 114

K

Kante, 67
 Kante beginnt in, 68
 Kante endet in, 68
 Kante geht von ... nach ..., 68
 kantendisjunkt, 70
 Kantenzug, 69
 geschlossener, 69
 Kapazität, 128, 129
 Karatsuba, A.A., 42
 Karatsubas Algorithmus, 42
 Karp, Richard, 123, 132
 kartesisches Produkt, 2
 kaufmännische Rundung, 53
 kgV, 44
 Kind, 74
 Klasse, 30
 kleinstes gemeinsames Vielfaches, 44

K_n , 89
 $K_{n,m}$, 89
 Knoten, 67
 knotendisjunkt, 70
 Kombinatorische Optimierung, 111
 Kommandozeilenparameter, 80
 Kommentare in C++, 6
 Kommutativgesetz, 56
 Komplementdarstellung, 27
 komplexe Zahl, 49
 Kondition, 151
 absolute, 61
 relative, 61
 Kondition einer Matrix, 152
 König, Dénes, 89, 126
 konservativ, 120
 Konstante, 25
 Konstruktor, 31
 Konvergenzordnung, 64
 korrekte Ausgabe, 3
 Kosten, 111
 Kreis, 69
 ungerader, 89
 Kruskal, Joseph, 111
 Kruskals Algorithmus, 112
 Kürzen von Brüchen, 44
 Kürzeste-Wege-Baum, 118
 Kürzeste-Wege-Problem, 118

L

Lambda-Kalkül, 4
 Landau-Symbole, 10, 79
 Länge
 eines Kreises, 69
 eines Teilgraphen, 111
 eines Weges, 69, 117
 eines Wortes, 3
 Laplacescher Entwicklungssatz, 136
 Laufzeit, 10
 leere Menge, 3
 leeres Wort, 3
 LIFO-Speicher, 76
 limits, 18
 Lineare Gleichungssysteme, 135
 lineare Konvergenz, 64
 lineare Laufzeit, 86
 Lineares Programm, 133
 linearisierte Fehlertheorie, 153
 Liste, 75

- doppelt verkettete, 76
- einfach verkettete, 76
- Liste von Primzahlen, 12
- ln, 10
- ℓ_1 -Norm, 149
- ℓ_∞ -Norm, 149
- localtime, 98
- log, 10
- long, 30
- long double, 53
- long long, 18, 30
- LU-Zerlegung, 140
 - teilpivotisiert, 141
 - voll pivotisiert, 140

M

- main, 6
- Manhattanorm, 149
- Mantisse, 52
- map, 109
- Maschinencode, 4
- Maschinengenauigkeit, 54
- Maschinenzahl, 52
- Maschinenzahlbereich, 52
- Matching, 125
- Matching-Problem, 125
- Matrix
 - nichtsinguläre, 136
- Matrixnorm, 149
- max, 18
- Max-Flow-Min-Cut-Theorem, 131
- maximal, 71
- Maximumnorm, 149
- Median, 103
- Menge
 - abzählbare, 3
 - überabzählbare, 3
 - unendliche, 3
- Mergesort, 100
- minimal, 71
- minimum spanning tree, 111
- Minimum-Spanning-Tree-Problem, 111
- mod, 9
- Modellfehler, 58
- Moore, E.F., 122
- Moore-Bellman-Ford-Algorithmus, 121
- MST, 111
- Multiplikation, 42

N

- Nachbar, 68
- Nachbarschaft, 68
- Nachiteration, 152
- NaN, 52
- Netzwerk, 128
 - von Neumann, John, 101
- new, 76
- Newton-Verfahren, 63
- Newton, Isaac, 63
- nichtsinguläre Matrix, 135, 136
- Norm, 149
 - normierte Dreiecksmatrix, 137
- not, 8
- NP, 123
- Null-Pointer, 75
- nullptr, 75
- Nullstelle, 63
- numeric_limits, 18, 53
- numerisch stabil, 62
- numerisches Berechnungsproblem, 3

O

- obere Dreiecksmatrix, 137
- oct, 25
- Oktalardarstellung, 23
- Ω -Notation, 10, 79
- O -Notation, 10, 79
- operator, 31
- Operatoren in C++, 8, 31
- optimale Lösung, 111
- or, 8
- Orakel, 58
- Orientierung, 73
- ostream, 33
- Outputoperator, 7

P

- P, 123
- $P=NP$?, 123
- parallele Kanten, 67
- Parameter einer Funktion, 12
- partielle Ordnung, 93
 - durch Schlüssel induziert, 99
- Partition, 29
- perfektes Matching, 125
- Permutation, 94
- Permutationsmatrix, 140
- Petersen, Julius, 126

Pivotelement, 142
 Pivotisierung
 partielle, 142
 Pointer, 25
 polynomielle Laufzeit, 122
 polynomieller Algorithmus, 122
 pop_back, 76
 Prim?, 7
 Prim, Robert, 114
 Primfaktorzerlegung, 15
 Prims Algorithmus, 114, 115
 Primzahl, 6
 Primzahltest, 7
 Prioritätswarteschlange, 104
 private, 31
 Programm, 4
 Programmiersprache, 4
 Pseudo-Zufallszahlen, 98
 Pseudocode, 4, 8
 public, 31
 push_back, 37

Q

Quadrat einer Zahl, 5
 quadratische Konvergenz, 64
 Quadratwurzel, 58, 64
 Quelle, 128
 Queue, 76, 77
 queue, 78
 Quicksort, 102

R

rand(), 98
 RAND_MAX, 98
 random, 98
 random access, 75
 Random-Quicksort, 103
 randomisierter Algorithmus, 103
 Rang, 135, 136
 range, 53
 Rationale Zahlen, 32
 rbegin(), 38
 reelle Zahlen, 49
 Referenz, 24
 rekursive Funktion, 23
 Relation, 2
 rend(), 38
 Residualgraph, 129
 Residualkapazitäten, 129

Residuenvektor, 152
 resize, 37
 Restklassenring, 29
 return, 12
 RSA, 15
 Rückwärtsanalyse, 62
 rückwärtsstabil, 149
 Rundung, 53
 Rundungsfehler, 3, 57
 runtime_error, 34

S

Satz vom arithmetischen und geometrischen
 Mittel, 65
 Schlüssel, 99
 Schnitt
 s-t-, 129
 Senke, 128
 setprecision, 55
 setw, 99
 short, 30
 Sieb des Eratosthenes, 1, 13, 14
 signifikante Stellen, 55
 singuläre Matrix, 136
 size(), 37
 sizeof, 30
 size_t, 30
 sort, 97
 Sortieren durch Einfügen, 100
 Sortieren durch sukzessive Auswahl, 94, 96
 Sortieren nach Schlüsseln, 99
 Spaltensummennorm, 149
 Spaltenvektor, 136
 Sprache, 3, 6
 Stabilität, 62
 Stack, 25, 76
 Standardbibliothek, 7, 16
 Standardskalarprodukt, 136
 stark zusammenhängend, 73
 Static, 26
 static, 35
 static_cast, 33
 std::, 7
 stdexcept, 34
 Stellen
 signifikante, 55
 Streammanipulator, 25, 99
 streng polynomieller Algorithmus, 122
 string, 23, 24

- Subdeterminante, 145
- Subgraph, 69
- submultiplikativ, 150
- subnormale Zahl, 52
- Subtraktion, 41
- Suchbaum
 - balancierter, 109
- surjektiv, 2
- swap, 33
- symmetrische Differenz, 70

- T**
- Teilbarkeitsrelation, 2
- teilerfremd, 44
- Teilgraph, 69
 - echter, 71
 - induzierter, 69
- Teilmenge
 - echte, 71
- Teilpivotisierung, 142
- template, 76
- Template-Parameter, 78
- then**-Teil in Pseudocode, 9
- Θ -Notation, 10, 79
- this, 39
- throw, 34
- Tiefensuche, 86
- time(), 98
- time_t, 98
- tm, 98
- topologische Ordnung, 90
- totale Ordnung, 93
- transponiert, 136
- Traveling-Salesman-Problem, 124
- true, 8
- try, 34
- Turing-Maschine, 1, 4
- Turing, Alan, 4
- Typ einer Variablen, 8
- typename, 78

- U**
- überabzählbare Menge, 3
- überdeckt
 - von Matching, 126
- Überlauf, 19, 30
- unendliche Menge, 3
- uniform_int_distribution, 98
- unordered_map, 109

- untere Dreiecksmatrix, 137
- Untergraph, 69
- using, 18

- V**
- Variable
 - globale, 24
 - in C++, 8
 - in Pseudocode, 5
- vector, 16, 59
- verbindet (Kante), 68
- verbindet (Weg), 69
- Verfahrensfehler, 57
- verträglich, 149
- virtual, 115
- void, 12
- vollständige Induktion, 22
- vollständiger bipartiter Graph, 89
- vollständiger Graph, 89
- Vorgänger, 74
- Vorkonditionierung, 154
- Vorwärtsanalyse, 62
- Vorzeichendarstellung, 27

- W**
- van der Waerden, B.L., 126
- Wald, 72
- Weg, 69
- Wert, 128
- Wertebereich, 2
- what(), 34
- while-Anweisung in C++, 19
- Wilkinson, J.H., 147
- Wort, 3
 - leeres, 3
- Wurzel, 74

- Z**
- Zehnerkomplement, 27
- Zeichenkette, 3
- Zeilensummennorm, 149
- Zeilenvektor, 136
- Zertifikat, 123
- zugrundeliegender ungerichteter Graph, 73
- zulässige Lösung, 111
- Zusammenhangskomponente, 71
 - starke, 73
- Zweierkomplement, 27