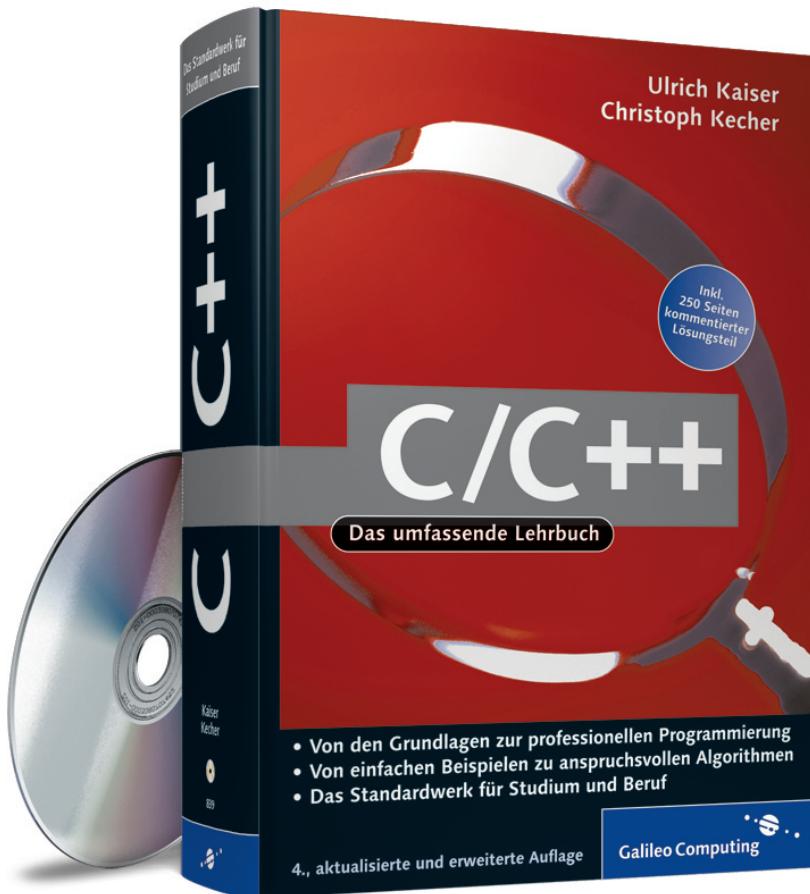


Ulrich Kaiser, Christoph Kecher

C/C++



Auf einen Blick

1	Einige Grundbegriffe	21
2	Einführung in die Programmierung	35
3	Ausgewählte Sprachelemente von C	43
4	Arithmetik	73
5	Aussagenlogik	97
6	Elementare Datentypen und ihre Darstellung	129
7	Modularisierung	181
8	Zeiger und Adressen	253
9	C-Referenz (Teil 1)	271
10	Kombinatorik	315
11	Leistungsanalyse und -messung von Algorithmen	349
12	Sortierverfahren	395
13	Datenstrukturen	441
14	C-Referenz (Teil 2)	497
15	Ausgewählte Datenstrukturen	519
16	Elemente der Graphentheorie	613
17	Projekt 2D-Grafikprogrammierung	701
18	C++-Referenz (Teil 1)	703
19	Objektorientierte Programmierung	743
20	Klassen in C++	759
21	Vererbung in C++	823
22	C++-Referenz (Teil 2)	893
23	Die C++-Standard-Library	983
24	Projekt: 3D-Grafikprogrammierung	1077
	Anhang	1079
	Lösungen	1083

Inhalt

Vorwort	17
Danksagung	18
Vorwort zur zweiten Auflage	19
Vorwort zur vierten Auflage	20
1 Einige Grundbegriffe	21
1.1 Algorithmus	23
1.2 Datenstruktur	27
1.3 Programm	29
1.4 Aufgaben	32
2 Einführung in die Programmierung	35
2.1 Die Programmierumgebung	40
2.1.1 Der Editor	40
2.1.2 Der Compiler	41
2.1.3 Der Linker	42
2.1.4 Der Debugger	42
3 Ausgewählte Sprachelemente von C	43
3.1 Programmrahmen	43
3.2 Zahlen	44
3.3 Variablen	44
3.4 Operationen	46
3.4.1 Zuweisungsoperationen	46
3.4.2 Rechenoperationen	47
3.4.3 Vergleichsoperationen	49
3.5 Kommentare	49
3.6 Elementare Ein-/Ausgabe	50
3.6.1 Bildschirmausgabe	50
3.6.2 Tastatureingabe	52
3.7 Kontrollfluss	52
3.7.1 Bedingte Befehlsausführung	53
3.7.2 Wiederholte Befehlsausführung	54
3.7.3 Verschachtelung von Kontrollstrukturen	60
3.8 Beispiele	61
3.8.1 Das erste C-Programm	61

3.8.2	Das zweite C-Programm	62
3.8.3	Das dritte C-Programm	66
3.9	Aufgaben	69

4 Arithmetik 73

4.1	Folgen	73
4.2	Summen	80
4.3	Produkte	87
4.4	Aufgaben	89

5 Aussagenlogik 97

5.1	Aussagen	97
5.2	Logische Operatoren	98
5.3	Darstellung boolescher Funktionen	106
5.4	Vereinfachung boolescher Ausdrücke	111
5.5	Logische Operatoren in C	119
5.6	Programmierbeispiele	120
5.6.1	Kugelspiel	120
5.6.2	Schaltung	121
5.7	Aufgaben	124

6 Elementare Datentypen und ihre Darstellung 129

6.1	Zahlendarstellungen	129
6.1.1	Dezimaldarstellung	131
6.1.2	Dualdarstellung	131
6.1.3	Oktal darstellung	133
6.1.4	Hexadezimaldarstellung	134
6.2	Bits und Bytes	136
6.3	Skalare Datentypen in C	140
6.3.1	Ganze Zahlen	141
6.3.2	Aufzählungstypen	142
6.3.3	Gleitkommazahlen	142
6.3.4	Buchstaben	143
6.4	Bit-Operationen	147
6.5	Programmierbeispiele mit Zeichen, Zahlen und Bit-Operationen	150
6.5.1	Zeichensatz	150
6.5.2	Bit-Editor	152

6.6	Arrays und Zeichenketten	156
6.6.1	Arrays	156
6.6.2	Zeichenketten	161
6.7	Programmierbeispiele mit Arrays und Strings	167
6.7.1	Buchstaben zählen	167
6.7.2	Matrixdruck	170
6.8	Aufgaben	173

7 Modularisierung 181

7.1	Funktionen und Unterprogramme	181
7.2	Rekursion	188
7.3	Der Stack	196
7.4	Globale, lokale und statische Variablen	199
7.5	Die C-Runtime-Library	201
7.5.1	Mathematische Funktionen	201
7.5.2	Konvertierungs- und Klassifizierungs routinen	204
7.5.3	Stringbearbeitung	206
7.5.4	Terminal I/O	208
7.5.5	Dateioperationen	213
7.5.6	Suchen und Sortieren	216
7.5.7	Variable Anzahl von Argumenten	216
7.5.8	Ausnahme- und Fehlerbehandlung	219
7.5.9	Assertions und Programmabbruch	223
7.5.10	Freispeicherverwaltung und Speicherfunktionen	225
7.5.11	Zeit- und Datum-Funktionen	225
7.5.12	Prozess-Steuerung	226
7.6	Beispiele	226
7.6.1	Das Damenproblem	226
7.6.2	Labyrinth	234
7.7	Aufgaben	240

8 Zeiger und Adressen 253

8.1	Zeigerarithmetik	257
8.2	Arrays und Zeiger	259
8.3	Funktionszeiger	262
8.4	Komplexe Variablendeklarationen	266
8.5	Aufgaben	268

9 C-Referenz (Teil 1) 271

9.1	Reservierte Wörter	271
9.2	Identifier	271
9.3	Numerische Werte	272
9.4	Werte für Zeichen und Zeichenketten	273
9.5	Skalare Datentypen	274
9.6	Variablen	274
9.7	Arrays	279
9.8	Operatoren	279
9.8.1	Arithmetische Operatoren	284
9.8.2	Vergleichsoperatoren	285
9.8.3	Logische Operatoren	285
9.8.4	Bit-Operatoren	286
9.8.5	Zugriffsoperatoren	286
9.8.6	Auswertungsoperatoren	287
9.8.7	Datentyp-Operatoren	288
9.8.8	Ausdrücke und Zuweisungsoperatoren	289
9.9	Funktionen	293
9.10	Kontrollstrukturen	295
9.10.1	Alternativen	295
9.10.2	Sprungleisten	296
9.10.3	Schleifen	298
9.10.4	Sprunganweisungen	300
9.11	Der Preprozessor	302
9.11.1	Includes	302
9.11.2	Symbolische Konstanten	303
9.11.3	Makros	305
9.11.4	Bedingte Compilierung	306
9.12	Der Aufbau von Programmdateien	308
9.12.1	Header-Dateien	309
9.12.2	Quellcode-Dateien	310
9.13	Einige Coding-Standards	311

10 Kombinatorik 315

10.1	Kombinatorische Grundaufgaben	316
10.1.1	Permutationen mit Wiederholungen	316
10.1.2	Permutationen ohne Wiederholungen	317
10.1.3	Kombinationen ohne Wiederholungen	318

10.1.4	Kombinationen mit Wiederholungen	320
10.1.5	Zusammenfassung	322
10.2	Kombinatorische Algorithmen	324
10.2.1	Permutationen mit Wiederholungen	325
10.2.2	Kombinationen mit Wiederholungen	328
10.2.3	Kombinationen ohne Wiederholungen	330
10.2.4	Permutationen ohne Wiederholungen	332
10.3	Beispiele	335
10.3.1	Juwelenraub	335
10.3.2	Geldautomat	340
10.4	Aufgaben	345

11 Leistungsanalyse und -messung von Algorithmen 349

11.1	Leistungsanalyse	352
11.2	Leistungsmessung	364
11.2.1	Überdeckungsanalyse	366
11.2.2	Performance-Analyse	367
11.3	Mathematische Grundfunktionen	369
11.3.1	Floor und Ceiling	369
11.3.2	Potenzfunktionen	371
11.3.3	Exponentialfunktionen	372
11.3.4	Logarithmen	373
11.4	Laufzeitklassen	375
11.5	Beispiele	382

12 Sortierverfahren 395

12.1	Bubblesort	396
12.2	Selectionsort	398
12.3	Insertionsort	401
12.4	Shellsort	403
12.5	Quicksort	407
12.6	Heapsort	412
12.7	Leistungsanalyse	418
12.7.1	Bubblesort	420
12.7.2	Selectionsort	421
12.7.3	Insertionsort	423
12.7.4	Shellsort	424
12.7.5	Quicksort	425
12.7.6	Heapsort	427

12.8	Vergleich und Bewertung	428
12.9	Grenzen der Optimierung von Sortierverfahren	434
12.10	Aufgaben	439

13 Datenstrukturen 441

13.1	Datensequenz (struct)	444
13.2	Datenalternative (union)	451
13.3	Optimierung von Datenstrukturen	457
13.4	Zeiger und Datenstrukturen	462
13.5	Dynamische Datenstrukturen	465
13.6	Verkettete Datenstrukturen (Listen)	470
13.7	Die Freispeicherverwaltung	474
13.8	Abstrakte Datentypen	478
13.8.1	Der abstrakte Datentyp »Stack«	480
13.8.2	Der abstrakte Datentyp »Queue«	485
13.9	Aufgaben	490

14 C-Referenz (Teil 2) 497

14.1	Einfache Strukturen	497
14.2	Zusammengesetzte Strukturen	500
14.3	Zugriff auf Strukturen	502
14.3.1	Direkter Zugriff	502
14.3.2	Indirekter Zugriff	503
14.4	Unions	505
14.5	Datenstrukturen und Funktionen	506
14.6	Dynamische Datenstrukturen	509
14.7	Zeiger in Datenstrukturen	511
14.8	Typvereinbarungen	515
14.9	Bitfelder	516

15 Ausgewählte Datenstrukturen 519

15.1	Aufgabenstellung	519
15.2	Schnittstellenvereinbarung	521
15.3	Anwendungsprogramm	524
15.4	Listen	530
15.4.1	Grundbegriffe	530
15.4.2	Arrays oder Listen	532
15.4.3	Speicherstruktur	533

15.4.4	Implementierung	537
15.4.5	Test	542
15.5	Bäume	543
15.5.1	Grundbegriffe	543
15.5.2	Traversierung von Bäumen	547
15.5.3	Speicherstruktur	559
15.5.4	Implementierung	562
15.5.5	Test	569
15.6	Ausgeglichene Bäume	570
15.6.1	Grundbegriffe	571
15.6.2	Speicherstruktur	575
15.6.3	Implementierung	578
15.6.4	Test	592
15.7	Hashtabellen	593
15.7.1	Grundbegriffe	594
15.7.2	Speicherstruktur	596
15.7.3	Implementierung	599
15.7.4	Test	602
15.8	Vergleich und Bewertung	606
15.8.1	Speicherkomplexität	606
15.8.2	Laufzeitmessungen	607
15.9	Aufgaben	612

16 Elemente der Graphentheorie 613

16.1	Grundbegriffe	615
16.2	Darstellung von Graphen durch Datenstrukturen	621
16.3	Ausgewählte graphentheoretische Probleme	627
16.3.1	Existenz von Wegen	629
16.3.2	Kürzeste Wege	649
16.3.3	Minimal spannende Bäume	682
16.3.4	Hamiltonsche Wege	688

17 Projekt 2D-Grafikprogrammierung 701

18 C++-Referenz (Teil 1) 703

18.1	Schlüsselwörter	703
18.2	Operatoren	704
18.3	Kommentare	707
18.4	Datentypen, Datenstrukturen und Variablen	708

18.4.1	Automatische Typisierung von Aufzählungstypen	708
18.4.2	Automatische Typisierung von Strukturen	708
18.4.3	Vorwärtsverweise auf Strukturen	709
18.4.4	Der Datentyp <code>bool</code>	710
18.4.5	Wide Character	711
18.4.6	Const-Deklarationen	712
18.4.7	Typumwandlungen	713
18.4.8	Definition von Variablen	716
18.4.9	Referenzen	716
18.5	Funktionen und Operatoren	722
18.5.1	Funktionsdeklarationen und Prototypen	722
18.5.2	Default-Werte	722
18.5.3	Inline-Funktionen	724
18.5.4	Der Scope-Resolution-Operator	725
18.5.5	Überladen von Funktionen	726
18.5.6	Überladen von Operatoren	728
18.5.7	Einbindung von C-Funktionen in C++-Programme	730
18.6	Namensräume	732
18.6.1	Erstellung von Namensräumen	733
18.6.2	Verwendung von Namensräumen	736
18.6.3	Der Namensraum <code>std</code>	740

19 Objektorientierte Programmierung 743

20	Klassen in C++	759
20.1	Aufbau von Klassen	759
20.1.1	Daten-Member	761
20.1.2	Funktions-Member	764
20.1.3	Konstruktoren und Destruktoren	772
20.2	Instantiierung von Klassen	777
20.2.1	Automatische Instantiierung	779
20.2.2	Statische Instantiierung	781
20.2.3	Dynamische Instantiierung	782
20.2.4	Instantiierung von Arrays	784
20.3	Friends	785
20.4	Operatoren auf Klassen	788
20.5	Ein- und Ausgabe in C++	792
20.5.1	Bildschirmausgabe	793

20.5.2	Tastatureingabe	796
20.5.3	Dateioperationen	797
20.6	Der this-Pointer	799
20.7	Beispiele	800
20.7.1	Menge	800
20.7.2	Bingo	811
20.8	Aufgaben	818

21 Vererbung in C++ 823

21.1	Geschützte Member	829
21.2	Einfache Vererbung	832
21.3	Mehrfache Vererbung	833
21.4	Instantiierung abgeleiteter Klassen	833
21.5	Erweiterung abgeleiteter Klassen	835
21.6	Überladen von Funktionen der Basisklasse	836
21.7	Virtuelle Member-Funktionen	841
21.8	Rein virtuelle Member-Funktionen	844
21.9	Statische Member	845
21.10	Beispiele	850
21.10.1	Würfelspiel	850
21.10.2	Partnervermittlung	871

22 C++-Referenz (Teil 2) 893

22.1	Klassen und Instanzen	893
22.2	Member	894
22.2.1	Daten-Member	895
22.2.2	Funktions-Member	896
22.2.3	Konstante Member	899
22.2.4	Statische Member	900
22.2.5	Operatoren	902
22.3	Zugriff auf Member	903
22.3.1	Zugriff von außen	904
22.3.2	Zugriff von innen	907
22.3.3	Der this-Pointer	910
22.3.4	Zugriff durch Friends	911
22.4	Vererbung	913
22.4.1	Einfachvererbung	913
22.4.2	Mehrfachvererbung	917
22.4.3	Virtuelle Funktionen	922

22.4.4	Virtuelle Destruktoren	925
22.4.5	Rein virtuelle Funktionen	926
22.4.6	Dynamische Typüberprüfungen	928
22.4.7	Dynamische Typumwandlung	929
22.5	Zugriffsschutz und Vererbung	935
22.5.1	Geschützte Member	936
22.5.2	Zugriff auf die Basisklasse	937
22.5.3	Modifikation von Zugriffsrechten	941
22.6	Der Lebenszyklus von Objekten	942
22.6.1	Konstruktion von Objekten	945
22.6.2	Destruktion von Objekten	948
22.6.3	Kopieren von Objekten	949
22.6.4	Instantiierung von Objekten	953
22.6.5	Implizite und explizite Verwendung von Konstruktoren	956
22.6.6	Initialisierung eingelagerter Objekte	957
22.6.7	Initialisierung von Basisklassen	960
22.6.8	Initialisierung virtueller Basisklassen	962
22.6.9	Instantiierungsregeln	964
22.7	Pointer to Member	966
22.8	Generische Klassen (Templates)	970
22.9	Ausnahmefallbehandlung	976

23 Die C++-Standard-Library 983

23.1	Iteratoren	984
23.2	Strings (string)	987
23.2.1	Konstruktion	988
23.2.2	Ein-/Ausgabe	989
23.2.3	Zugriff	989
23.2.4	Manipulation	992
23.2.5	Vergleich	997
23.2.6	Suchen	998
23.2.7	Speichermanagement	999
23.3	Bitsets (bitset)	1002
23.3.1	Konstruktion	1002
23.3.2	Zugriff	1003
23.3.3	Manipulation	1004
23.4	Dynamische Arrays (vector)	1005
23.4.1	Konstruktion	1006
23.4.2	Zugriff	1007

23.4.3	Iteratoren	1008
23.4.4	Manipulation	1009
23.4.5	Speichermanagement	1012
23.5	Beidseitige Warteschlangen (deque)	1012
23.6	Listen (list)	1014
23.6.1	Konstruktion	1014
23.6.2	Zugriff	1015
23.6.3	Iteratoren	1015
23.6.4	Manipulation	1017
23.6.5	Speichermanagement	1027
23.7	Stacks (stack)	1027
23.8	Warteschlangen (queue)	1030
23.9	Prioritätswarteschlangen (priority_queue)	1032
23.10	Geordnete Paare (pair)	1038
23.11	Mengen (set und multiset)	1040
23.11.1	Konstruktion	1041
23.11.2	Zugriff	1042
23.11.3	Manipulation	1044
23.12	Relationen (map und multimap)	1045
23.12.1	Konstruktion	1046
23.12.2	Zugriff	1049
23.12.3	Manipulation	1049
23.13	Algorithmen der Standard-Library	1049
23.13.1	Iterieren	1052
23.13.2	Suchen und Finden	1053
23.13.3	Vergleichen	1055
23.13.4	Zählen	1056
23.13.5	Kopieren	1057
23.13.6	Tauschen	1058
23.13.7	Ersetzen	1059
23.13.8	Wertzuweisung	1061
23.13.9	Entfernen von Elementen	1062
23.13.10	Reorganisation	1063
23.13.11	Sortieren	1064
23.13.12	Binäre Suche	1065
23.13.13	Mischen	1066
23.13.14	Mengenoperationen	1067
23.13.15	Heap-Algorithmen	1069
23.13.16	Minima und Maxima	1070
23.13.17	Lexikografische Ordnung und Permutationen	1071
23.14	Vererbung und virtuelle Funktionen in Containern	1073

24 Projekt: 3D-Grafikprogrammierung 1077

Anhang 1079

Lösungen	1083
Kapitel 1	1085
Kapitel 3	1103
Kapitel 4	1123
Kapitel 5	1155
Kapitel 6	1169
Kapitel 7	1195
Kapitel 8	1245
Kapitel 10.....	1253
Kapitel 12.....	1273
Kapitel 13.....	1277
Kapitel 15.....	1305
Kapitel 20.....	1315
Index	1333

1 Einige Grundbegriffe

Einem Kochbuch entnehmen wir das folgende Rezept zur Herstellung eines sogenannten Pharisäers:

Zutaten:

1/2 l heißer Kaffee
1/4 l Sahne
2 Essl. Zucker
4 Schnapsgläser 54%iger Rum (8 cl)

Zubereitung:

Den Kaffee aufbrühen und warmhalten. 4 Tassen mit heißem Wasser vorwärmen. Inzwischen die Sahne steif schlagen. Das Wasser aus den Tassen gießen, die Tassen abtrocknen und in jede Tasse 1–2 Teelöffel Zucker geben. Je 1 Schnapsglas Rum darüber gießen und mit dem Kaffee auffüllen. Die Schlagsahne als Haube auf jede Tasse Pharisäer setzen.

Das Rezept gliedert sich in zwei Teile. Im ersten Teil werden die erforderlichen Zutaten genannt, und im zweiten Teil wird ein Verfahren beschrieben, nach dem man aus den Zutaten das gewünschte Getränk herstellen kann. Die beiden Teile sind wesentlich verschieden und gehören doch untrennbar zusammen. Ohne Zutaten ist die Zubereitung nicht durchführbar, und ohne Zubereitung bleiben die Zutaten ungenießbar. Zu beachten ist auch, dass sich der Autor bei der Erstellung des Rezepts einer bestimmten Fachsprache (Essl., cl, Sahne steif schlagen, aufbrühen) bedient. Ohne diese Fachsprache wäre die Anleitung wahrscheinlich weitenschweifiger, umständlicher und vielleicht sogar missverständlich. Die Verwendung einer Fachsprache setzt allerdings voraus, dass sich Autor und Leser des Rezepts zuvor (ausgesprochen oder unausgesprochen) auf eine gemeinsame Terminologie verständigt haben.

Wir übertragen dieses Beispiel in unsere Welt – die Welt der Datenverarbeitung:

- ▶ Die Zutaten für das Rezept sind die Daten bzw. **Datenstrukturen**, die wir verarbeiten wollen.
- ▶ Die Zubereitungsvorschrift ist ein **Algorithmus**¹, der festlegt, wie die Daten zu verarbeiten sind.

1. Dieser Begriff geht zurück auf Abu Jafar Muhammad Ibn Musa Al-Khwarizmi, der als Bibliothekar des Kalifen von Bagdad um 825 ein Rechenbuch verfasste und dessen Name in der lateinischen Übersetzung von 1200 als »Algorithmus« angegeben wurde.

- ▶ Das Rezept ist ein **Programm**, das alle Datenstrukturen (Zutaten) und Algorithmen (Zubereitungsvorschriften) zum Lösen der gestellten Aufgabe (Erstellen des Gerichts) enthält.
- ▶ Die gemeinsame Terminologie, in der sich Autor und Leser des Rezepts verständigen, ist eine **Programmiersprache**, in der das Programm geschrieben ist. Die Programmiersprache muss dabei in der Lage sein, alle bezüglich der Zutaten und der Zubereitung bedeutsamen Informationen zweifelsfrei zu übermitteln.
- ▶ Die Küche ist die technische Infrastruktur zur Umsetzung von Rezepten in schmackhafte Gerichte und ist vergleichbar mit einem **Computer**, seinem **Betriebssystem** und den benötigten **Entwicklungswerkzeugen**.
- ▶ Der Koch übersetzt das Rezept in einzelne Arbeitsschritte in der Küche. Üblicherweise geht ein Koch in zwei Schritten vor. Im ersten Schritt bereitet er die Zutaten einzeln und unabhängig voneinander vor (z.B. Kartoffeln kochen), um die Einzelteile dann in einem zweiten Schritt zusammenzufügen und abzuschmecken. In der Datenverarbeitung sprechen wir in diesem Zusammenhang von **Compiler** und **Linker**.
- ▶ Das fertige Gericht ist das **lauffähige Programm**, das vom Benutzer (Esser) angewandt (verzehrt) werden kann.

Nur, welche Rolle spielen **wir** in diesem Szenario? Sollte für uns kein Platz vorgesehen sein? Wir suchen uns die interessantesten Aufgaben aus:

- ▶ Wir sind Autoren, die sich neue, schmackhafte Gerichte für unterschiedliche Anlässe ausdenken und Rezepte bzw. Kochbücher mit den besten Kreationen veröffentlichen.
- ▶ Gelegentlich probieren wir auch einen Pharisäer, um uns an unseren eigenen Schöpfungen zu berauschen und um festzustellen, ob die Speise gelungen ist.

Was müssen wir lernen, um unsere Rolle ausfüllen zu können?

- ▶ Wir müssen die Sprache beherrschen, in der Rezepte formuliert werden.
- ▶ Wir müssen einen Überblick über die üblicherweise verwendeten Zutaten, deren Eigenschaften und Zubereitungsmöglichkeiten haben.
- ▶ Wir müssen einen Vorrat an Standard-Zubereitungsverfahren bzw. Rezepten abrufbereit im Kopf haben.
- ▶ Wir müssen wissen, welche Zutaten oder Verfahren miteinander harmonieren und welche nicht.
- ▶ Wir müssen wissen, was in einer Küche üblicherweise an Hilfsmitteln vorhanden ist und wie bzw. wozu diese Hilfsmittel verwendet werden.

- ▶ Bei anspruchsvolleren Gerichten müssen wir wissen, in welcher Reihenfolge und mit welchem Timing die Einzelteile zuzubereiten sind und wie die einzelnen Aufgaben verteilt werden müssen, damit alles zeitgleich serviert werden kann.
- ▶ Wir müssen auch wissen, worauf ein potentieller, späterer Esser Wert legt und worauf nicht. Dies ist besonders wichtig, wenn wir Rezepte für einen ganz besonderen Anlass erstellen.

Letztlich wollen wir komplette Festmenüs und deren Speisefolge komponieren und benötigen dazu eine Mischung aus Phantasie, Kreativität, logischer Strenge, Ausdauer und Fleiß, wie sie auch ein guter Komponist oder Architekt benötigt.

Zurück zu den Grundbegriffen der Informatik. Wir haben informell die Begriffe

- ▶ Datenstruktur,
- ▶ Algorithmus und
- ▶ Programm

eingeführt und dabei bereits erkannt, dass diese Begriffe untrennbar zusammengehören und eigentlich nur unterschiedliche Facetten ein und desselben Themenkomplexes sind.

- ▶ Algorithmen arbeiten auf Datenstrukturen. Algorithmen ohne Datenstrukturen sind leere Formalismen.
- ▶ Datenstrukturen benötigen Algorithmen, die auf ihnen operieren und sie damit zum »Leben« erwecken.
- ▶ Programme realisieren Datenstrukturen und Algorithmen. Algorithmen und Datenstrukturen sind zwar ohne Programme denkbar, aber viele Datenstrukturen und Algorithmen wären ohne Programmierung allenfalls von akademischem Interesse.

In einem ersten Wurf versuchen wir, die Begriffe »Algorithmus«, »Datenstruktur« und »Programm« einigermaßen exakt zu erfassen.

1.1 Algorithmus

Um unsere noch sehr vage Vorstellung von einem Algorithmus zu präzisieren, starten wir mit einer Definition:

Ein **Algorithmus** ist eine endliche Menge von genau beschriebenen Anweisungen, die unter Benutzung von vorgegebenen Anfangsdaten in einer genau festgelegten Reihenfolge auszuführen sind, um die Lösung eines Problems in endlich vielen Schritten zu ermitteln.

Bei dem Begriff »Algorithmus« denkt man heute sofort an »Programmierung«. Das war nicht immer so. In der Tat gab es Algorithmen schon lange, bevor man auch nur entfernt an Programmierung dachte. Bereits im antiken Griechenland wurden Algorithmen zur Lösung mathematischer Probleme formuliert, so zum Beispiel der Euklidische Algorithmus zur Bestimmung des größten gemeinsamen Teilers zweier Zahlen oder das sogenannte Sieb des Eratosthenes zur Bestimmung aller Primzahlen unterhalb einer vorgegebenen Schranke.²

Ihnen ist der Algorithmus zur schrittweisen Berechnung des Quotienten zweier Zahlen schon lange vertraut. Um beispielsweise 84 durch 16 zu dividieren, geht man wie folgt vor:

$$\begin{array}{r} 84 : 16 = 5,25 \\ 80 \\ \hline 40 \\ 32 \\ \hline 80 \\ 80 \\ \hline 0 \end{array}$$

Wenn wir versuchen, dieses Verfahren im Detail zu beschreiben, finden wir alle in der obigen Definition genannten Elemente wieder:

Problem:

Berechne den Quotienten zweier natürlicher Zahlen!

Anfangsdaten:

z = Zähler ($z \geq 0$),

n = Nenner ($n > 0$) und

a = Anzahl der zu berechnenden Nachkommastellen.³

Anweisungen:

1. Bestimme die größte ganze Zahl x mit $nx \leq z$! Dies ist der Vorkomma-Anteil der gesuchten Zahl.

2. Zur Bestimmung der Nachkommastellen fahre wie folgt fort:

2.1 Sind noch Nachkommastellen zu berechnen (d.h. $a > 0$)? Wenn nein, dann beende das Verfahren!

2.2 Setze $z = 10(z-nx)$!

2.3 Ist $z = 0$, so beende das Verfahren!

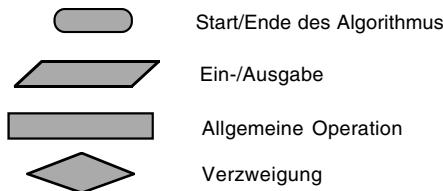
2. Eukleides von Alexandria (um 300 vor Chr.) und Erathostenes von Kyrene (um 200 vor Chr.).

3. Anfänglich ist a die Anzahl der zu berechnenden Nachkommastellen. Im Verfahren verwenden wir a als die Anzahl der noch zu berechnenden Nachkommastellen. Wir werden den Wert von a in jedem Verfahrensschritt herunterzählen, bis $a = 0$ ist und keine Nachkommastellen mehr zu berechnen sind.

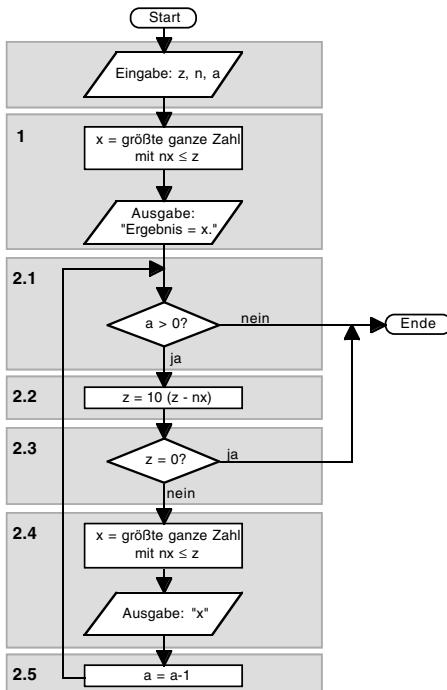
2.4 Bestimme die größte ganze Zahl x mit $nx \leq z$! Dies ist die nächste Ziffer.

2.5 Jetzt ist eine Ziffer weniger zu bestimmen. Vermindere also den Wert von a um 1 und fahre anschließend bei 2.1 fort!

Die einzelnen Anweisungen und ihre Abfolge können wir uns durch ein sogenanntes **Flussdiagramm** veranschaulichen. In einem solchen Diagramm werden alle beim Ablauf des Algorithmus möglicherweise vorkommenden Wege unter Verwendung bestimmter Symbole grafisch beschrieben. Die dabei zulässigen Symbole sind in einer Norm (DIN 66001) festgelegt. Von den zahlreichen in der Norm festgelegten Symbolen wollen wir hier nur einige einführen:

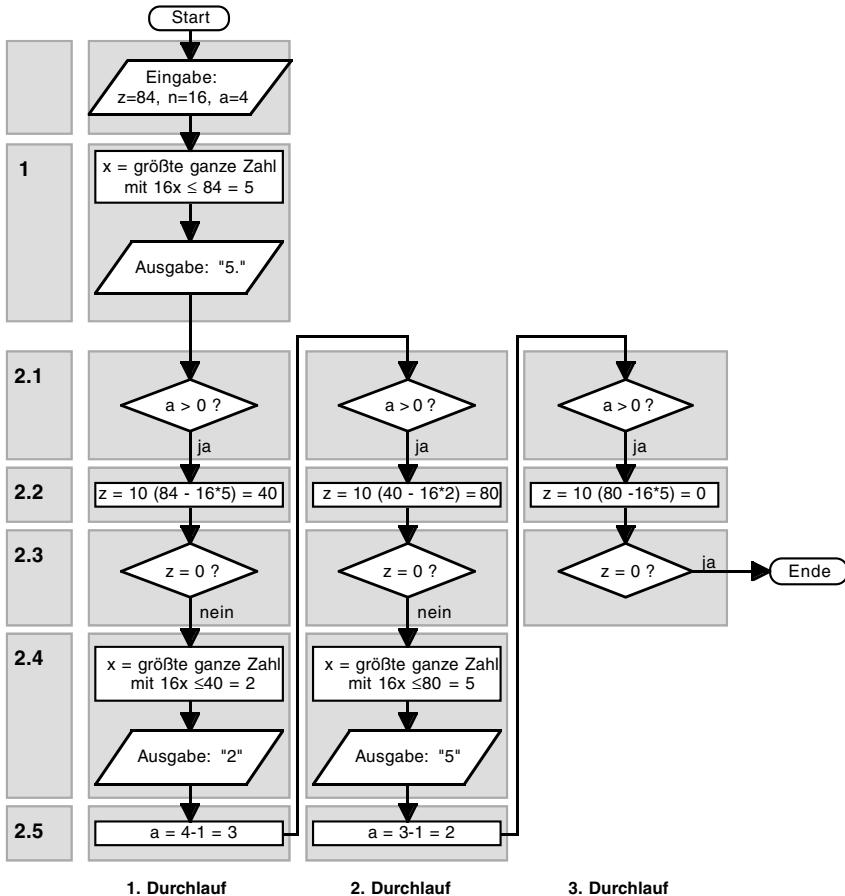


Mit diesen Symbolen können wir den zuvor nur sprachlich beschriebenen Algorithmus auch grafisch darstellen, wenn wir zusätzlich die Abfolge der einzelnen Operationen durch Richtungspfeile kennzeichnen.



In der vorherigen Grafik können wir den Ablauf des Algorithmus für konkrete Anfangswerte »mit dem Finger« nachfahren und erhalten so eine recht gute Vorstellung von der Dynamik des Verfahrens.

Wir wollen den Divisionsalgorithmus anhand des Flussdiagramms für konkrete Daten ($z=84$, $n=16$, $a=4$) Schritt für Schritt durchführen. Mehrfach durchlauft Teile zeichnen wir dabei entsprechend oft, nicht durchlaufene Pfade lassen wir weg.



Als Ergebnis erhalten wir die Ausgabe "5 . 25". Wir sehen, dass der Algorithmus gewisse Verfahrensschritte (z.B. 2.1) mehrfach, allerdings mit verschiedenen Daten durchläuft. Die Daten steuern letztlich den konkreten Ablauf des Algorithmus. Das Verfahren zeigt im Ablauf eine gewisse Regelmäßigkeit – um nicht zu sagen Monotonie. Gerade solchen monotonen Aufgaben würde man sich gern von

einer Maschine abnehmen lassen. Eine Maschine müsste natürlich jeden einzelnen Verfahrensschritt »verstehen« können, um das Verfahren als Ganzes durchführen zu können. Einige unserer Schritte (z.B. 2.2) erscheinen unmittelbar verständlich, während andere (z.B. 2.4) ein gewisses mathematisches Vorverständnis voraussetzen. Je nachdem, welche Eigenintelligenz man bei demjenigen (Mensch oder Maschine) voraussetzt, der den Algorithmus durchführen soll, wird man an manchen Stellen noch präziser formulieren und einen Verfahrensschritt gegebenenfalls in einfachere Teilschritte zerlegen müssen.

Festgehalten werden sollte noch, dass wir von einem Algorithmus gefordert haben, dass er nach endlich vielen Schritten zu einem Ergebnis kommt (terminiert). Dies ist bei unserem Divisionsalgorithmus durch die Vorgabe der Anzahl der zu berechnenden Nachkommastellen sichergestellt, auch wenn in unserem konkreten Beispiel ein vorzeitiger Abbruch eintritt. Würden wir das Abbruchkriterium fallenlassen, so würde unser Verfahren unter Umständen (z.B. bei der Berechnung von $10 : 3$) nicht abbrechen, und eine mit der Berechnung beauftragte Maschine würde endlos rechnen. Es ist zu befürchten, dass die Eigenschaft des Terminierens für manche Verfahren schwer oder vielleicht gar nicht nachzuweisen ist.

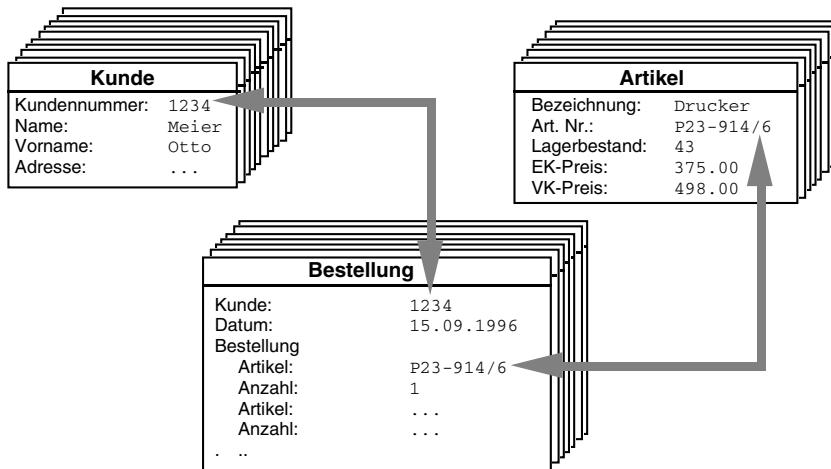
1.2 Datenstruktur

Wir wenden uns jetzt dem Begriff der »Datenstruktur« zu.

Eine **Datenstruktur** ist ein Modell, das die zur Lösung eines Problems benötigten Informationen (Ausgangsdaten, Zwischenergebnisse, Endergebnisse) enthält und für alle Informationen genau festgelegte Zugriffswege bereitstellt.

Auch Datenstrukturen hat es bereits lange vor der Programmierung gegeben, obwohl man hier mit einem Recht sagen kann, dass die Theorie der Datenstrukturen erst mit der maschinellen Datenverarbeitung zur Blüte gekommen ist.

Als Beispiel betrachten wir ein Versandhaus, das seine Geschäftsvorfälle durch drei Karteien organisiert. Die Kundenkartei enthält die personenbezogenen Daten aller Kunden. Die Artikelkartei enthält die Stammdaten und den Lagerbestand aller lieferbaren Artikel. In der Bestellkartei schließlich werden alle eingehenden Bestellungen festgehalten.



Ein einzelner Datensatz entspricht einer ausgefüllten Karteikarte. Auf jeder Karteikarte sind zwei Bereiche erkennbar. Links steht jeweils die Struktur der Daten, während rechts die konkreten Datenwerte stehen. Die Datensätze für Kunden, Artikel und Bestellungen sind dabei strukturell verschieden. Neben der Struktur der Karteikarten ist natürlich auch noch die Organisation der einzelnen Karteikästen von Bedeutung. Wir stellen uns vor, dass die Kundendatei nach Kundennummern, die Artikeldatei nach Artikelnummern und die Bestelldatei nach Bestelldatum sortiert ist. Darüber hinaus gibt es noch Querverweise zwischen den Datensätzen der verschiedenen Karteikästen. In der Bestelldatei finden wir auf jeder Karteikarte beispielsweise Artikelnummern und eine Kundennummer. Die drei Karteikästen mit ihrer Sortierung, der Struktur ihrer Karteikarten und der Querverweisstruktur bilden insgesamt die Datenstruktur. Beachten Sie, dass die konkreten Daten nicht zur Datenstruktur gehören. Die Datenstruktur legt nur die Organisationsform der Daten fest, nicht jedoch die konkreten Datenwerte. Auf der Datenstruktur arbeiten dann gewisse Algorithmen (z.B. Kundenadresse ändern, Rechnung stellen, Artikel nachbestellen, Lieferung zusammenstellen usw.). Die Effizienz dieser Algorithmen hängt dabei ganz entscheidend von der Organisation der Datenstruktur ab. Zum Beispiel ist die Frage: »Was hat der Kunde Müller dem Unternehmen bisher an Umsatz gebracht?«, ausgesprochen schwer zu beantworten. Dazu muss man zunächst in der Kundendatei die Kundennummer des Kunden Müller finden. Dann muss man alle Bestellungen durchsuchen, um festzustellen, ob die Kundennummer von Müller dort vorkommt, und schließlich muss man dann noch die Preise der in den betroffenen Bestellungen vorkommenden Artikel in der Artikeldatei suchen und aufsummieren. Die Frage: »Welche Artikel in welcher Menge sind im letzten Monat bestellt worden?«, lässt sich mit dieser Datenstruktur erheblich einfacher beantworten.

Das Problem, eine »bestmögliche« Organisationsform für eine Datenstruktur zu finden, ist im Allgemeinen unlösbar, weil man dazu in der Regel gegenläufige Optimierungsaspekte in Einklang bringen muss. Man könnte zum Beispiel bei der obigen Datenstruktur den Verbesserungsvorschlag machen, alle Kundendaten mit auf der Bestellkartei zu vermerken, um die Rechnungsstellung zu erleichtern. Dadurch erhöht sich dann aber der Aufwand, den man bei der Adressänderung eines Kunden in Kauf zu nehmen hat. Die Erstellung von Datenstrukturen, die alle Algorithmen eines bestimmten Problemfeldes wirkungsvoll unterstützen, ist eine ausgesprochen schwierige Aufgabe, zumal man häufig zum Zeitpunkt der Festlegung einer Datenstruktur noch gar nicht absehen kann, welche Algorithmen in Zukunft mit den Daten dieser Struktur arbeiten werden.

Bei der Fülle der in der Praxis vorkommenden Probleme und Strukturen (Kundendaten, Geschäftsprozesse, Stücklisten technischer Bauteile, Versicherungsverträge, Krankengeschichten, Konstruktionszeichnungen, Verdachtsflächen für Altlasten, Aktienkurse, ...) kann man natürlich nicht erwarten, dass man für alle (ja nicht einmal für die hier genannten) Beispiele passende Datenstrukturen bereitstellen kann. Wir müssen lernen, typische, immer wiederkehrende Bausteine zu identifizieren und zu beherrschen. Aus diesen Bausteinen werden wir dann komplexe, jeweils an ein bestimmtes Problem angepasste Strukturen aufbauen.

1.3 Programm

Ein Programm ist im Gegensatz zu einer Datenstruktur oder einem Algorithmus für uns etwas sehr Konkretes – zumindest dann, wenn wir schon einmal ein Programm erstellt oder benutzt haben.

Ein **Programm** ist eine eindeutige, formalisierte Beschreibung von Algorithmen und Datenstrukturen, die durch einen automatischen Übersetzungsprozess auf einem Computer ablauffähig ist.

Den zur Formulierung eines Programms verwendeten Beschreibungsformalismus bezeichnen wir als **Programmiersprache**.

Im Gegensatz zu einem Algorithmus fordern wir von einem Programm nicht explizit, dass es terminiert. Viele Programme (z.B. ein Betriebssystem oder Programme zur Überwachung und Steuerung technischer Anlagen) sind auch so konzipiert, dass sie im Prinzip endlos laufen könnten.

Eine Programmiersprache muss nach unserer Definition Elemente zur exakten Beschreibung von Datenstrukturen und Algorithmen enthalten. Programmiersprachen dienen uns daher nicht nur zur Erstellung lauffähiger Programme, sondern auch zur präzisen Festlegung von Datenstrukturen und Algorithmen.

Eigentlich stellen wir gegensätzliche Forderungen an eine Programmiersprache. Sie sollte

- ▶ automatisch übersetzbare, d.h. **maschinenlesbar** und
- ▶ möglichst verständlich und leicht erlernbar, d.h. **menschenlesbar**

sein, und sie sollte darüber hinaus die maschinellen Berechnungs- und Verarbeitungsmöglichkeiten eines Computers möglichst vollständig ausschöpfen. Maschinenlesbarkeit und Menschenlesbarkeit sind bei den heutigen Maschinenkonzepten unvereinbare Begriffe. Da die Maschinenlesbarkeit jedoch unverzichtbar ist, müssen zwangsläufig bei der Menschenlesbarkeit Kompromisse gemacht werden; Kompromisse, von denen Berufsgruppen wie Systemanalytiker oder Programmierer leben.

Häufig teilt man Programmiersprachen in

- ▶ maschinenorientierte,
- ▶ universelle und
- ▶ spezielle

Sprachen ein.

Maschinenorientiert nennen wir Sprachen, die Annahmen über konkrete Merkmale einer Rechnerarchitektur (z.B. Adressierungsmöglichkeiten, Register, Stack, Prozessor-Status, Hardware-Interrupts) machen. Wir werden solche Sprachen im Rahmen dieses Buches nicht betrachten.

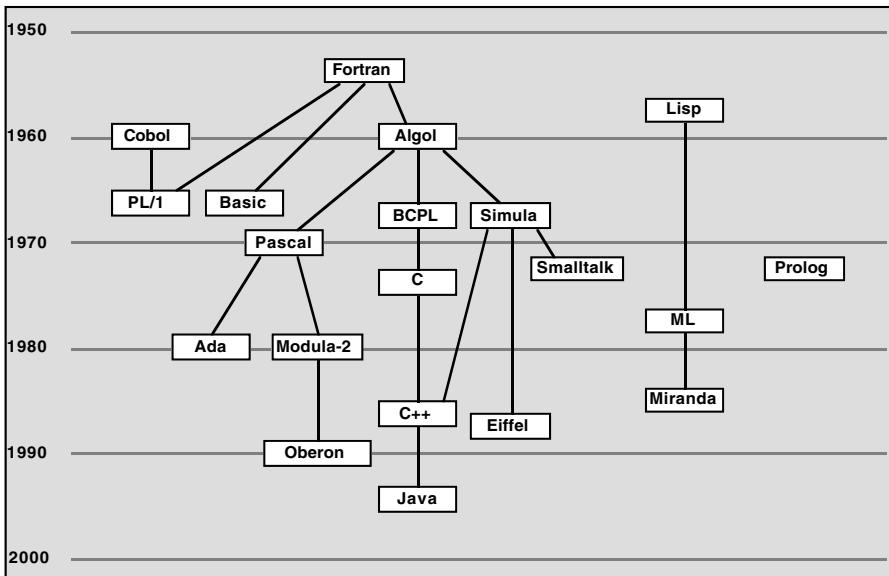
Um die Frage nach der »Mächtigkeit« von Programmiersprachen zu beantworten, wurden in der theoretischen Informatik zahlreiche Berechnungs- bzw. Programmierformalismen aufgestellt⁴. Es konnte gezeigt werden, dass diese Formalismen alle exakt die gleiche Klasse von Problemen lösen und damit von gleicher Mächtigkeit sind. Programmiersprachen dieser Mächtigkeit werden als **universell** bezeichnet. Zu den universellen Programmiersprachen gehören u.a. Ada, Basic, C, C++, Cobol, Fortran, Java, Lisp, Modula-2, Pascal und Prolog. Diese Liste ließe sich problemlos weiter fortsetzen. Universelle Sprachen stehen im Mittelpunkt unserer Betrachtungen, auch wenn wir uns in konkreten Beispielen ausschließlich mit C bzw. C++ beschäftigen.

Manche Programmiersprachen geben die Universalität auf, um spezielle Probleme effizienter oder komfortabler lösen zu können. Solche Sprachen bezeichnen wir als **spezielle** Programmiersprachen. Beispiele sind etwa UIL zur Spezifikation von grafischen Benutzeroberflächen, SQL zur Arbeit mit relationalen Datenbanken oder die Kommandosprache zur Bedienung eines DOS-Systems.

4. Z.B. die »Turingmaschine«

Solche Sprachen sind oft rein deskriptiv (beschreibend) und enthalten keine expliziten Steueranweisungen. Auch mit solchen Sprachen beschäftigen wir uns hier nicht.

Die verschiedenen Programmiersprachen, die wir heute verwenden, haben sich nicht unabhängig voneinander entwickelt. Sie sind teilweise auseinander hervorgegangen oder haben sich wechselseitig beeinflusst. Auf diese Weise entsteht ein »Stammbaum«, der für einige wichtige universelle Programmiersprachen in der folgenden Grafik dargestellt ist:



Der Stammbaum zeigt die prägende Bedeutung, die Fortran und Algol für die Entwicklung der Programmiersprachen hatten. Einige eigenständige und für die Informatik durchaus interessante Programmierkonzepte (z.B. Prolog) fristen bei der praktischen Anwendung ein Schattendasein. Erwähnt werden sollte die besondere Bedeutung der Programmiersprache Cobol, die – oft für tot erklärt – im Bereich der kommerziellen Software bei Banken und Versicherungen immer noch verwendet wird.

Alle hier aufgeführten Programmiersprachen sind im oben angesprochenen Sinn universell und daher gleich mächtig. Prinzipiell ist es daher egal, in welcher dieser Sprachen wir unsere Programme formulieren. Die Entscheidung für die Verwendung von C/C++ in diesem Buch hat ausschließlich praktische Gründe. Insbesondere ist hier die hohe Verbreitung von C/C++ im Bereich der technischen Programmierung zu nennen. Als Alternative zu C/C++ bietet sich Java an. Es ist jedoch festzustellen, dass C/C++ und Java so eng miteinander verwandt sind, dass

Ihnen ein gegebenenfalls erforderlicher Umstieg von der einen auf die andere Sprache nicht schwer fallen wird.

1.4 Aufgaben

- A 1.1** Formulieren Sie Ihr morgendliches Aufsteh-Ritual vom Klingeln des Weckers bis zum Verlassen des Hauses als Algorithmus. Berücksichtigen Sie dabei auch verschiedene Wochentags-Varianten! Zeichnen Sie ein Flussdiagramm!
- A 1.2** Verfeinern Sie den Algorithmus zur Division zweier Zahlen aus Abschnitt 1.1 so, dass er von jemandem, der nur Zahlen addieren, subtrahieren und der Größe nach vergleichen kann, durchgeführt werden kann! Zeichnen Sie ein Flussdiagramm!
- A 1.3** In unserem Kalender sind zum Ausgleich der astronomischen und der kalendarischen Jahreslänge in regelmäßigen Abständen Schaltjahre eingebaut. Zur exakten Festlegung der Schaltjahre dienen die folgenden Regeln:
- (1) Ist die Jahreszahl durch 4 teilbar, so ist das Jahr ein Schaltjahr.
- Diese Regel hat allerdings eine Ausnahme:
- (2) Ist die Jahreszahl durch 100 teilbar, so ist das Jahr kein Schaltjahr.
- Diese Ausnahme hat wiederum eine Ausnahme:
- (3) Ist die Jahreszahl durch 400 teilbar, so ist das Jahr doch ein Schaltjahr.
- Formulieren Sie einen Algorithmus, mit dessen Hilfe man feststellen kann, ob ein bestimmtes Jahr ein Schaltjahr ist oder nicht!
- A 1.4** Sie sollen eine unbekannte Zahl x ($1 \leq x \leq 1000$) erraten und haben beliebig viele Versuche dazu. Bei jedem Versuch erhalten Sie die Rückmeldung, ob die gesuchte Zahl größer, kleiner oder gleich der von Ihnen geratenen Zahl ist. Entwickeln Sie einen Algorithmus, um die gesuchte Zahl möglichst schnell zu ermitteln! Wie viele Versuche benötigen Sie bei Ihrem Verfahren maximal?
- A 1.5** Formulieren Sie einen Algorithmus, der prüft, ob eine gegebene Zahl eine Primzahl ist oder nicht!
- A 1.6** Ihr CD-Ständer hat 100 Fächer, die fortlaufend von 1–100 nummeriert sind. In jedem Fach befindet sich eine CD. Formulieren Sie einen Algorithmus, mit dessen Hilfe Sie die CDs alphabetisch nach Interpreten sor-

tieren können! Das Verfahren soll dabei auf den beiden folgenden Grundfunktionen basieren:

vergleiche (n, m)

Vergleiche die Interpreten der CDs in den Fächern n und m! Ergebnis: »richtig« oder »falsch« je nachdem, ob die beiden CDs in der richtigen oder falschen Reihenfolge im Ständer stehen.

tausche (n, m)

Tausche die CDs in den Fächern n und m!

A 1.7 Formulieren Sie einen Algorithmus, mit dessen Hilfe Sie die CDs in Ihrem CD-Ständer jeweils um ein Fach aufwärts verschieben können! Die dabei am Ende herausgeschobene CD kommt in das erste Fach. Das Verfahren soll nur auf der Grundfunktion **tausche** aus Aufgabe 1.6 beruhen.

A 1.8 Formulieren Sie einen Algorithmus, mit dessen Hilfe Sie die Reihenfolge der CDs in Ihrem CD-Ständer umkehren können! Das Verfahren soll nur auf der Grundfunktion **tausche** aus Aufgabe 1.6 beruhen.

A 1.9 In einem Hochhaus mit 20 Stockwerken fährt ein Aufzug. Im Aufzug sind 20 Knöpfe, mit denen man sein Fahrziel wählen kann, und auf jeder Etage ist ein Knopf, mit dem man den Aufzug rufen kann. Entwickeln Sie einen Algorithmus, der den Aufzug so steuert, dass alle Aufzugbenutzer gerecht bedient werden! Sie können dabei annehmen, dass der Aufzug über die folgenden Befehle zur Fahrtsteuerung bzw. zum Auslesen der Bedienelemente verfügt:

fahre (n)

Fahre das Stockwerk n an!

lade ()

Lade oder entlade in dem zuletzt angefahrenen Stockwerk Fahrgäste!

pruefe (n)

Prüfe, ob Stockwerk n (innen oder außen) als Fahrziel gewählt wurde!
Ergebnis: »ja« oder »nein«.

max ()

Liefert die höchste Etage, die aktuell als Fahrziel (innen oder außen) gewählt wurde. Ergebnis: Etagennummer.

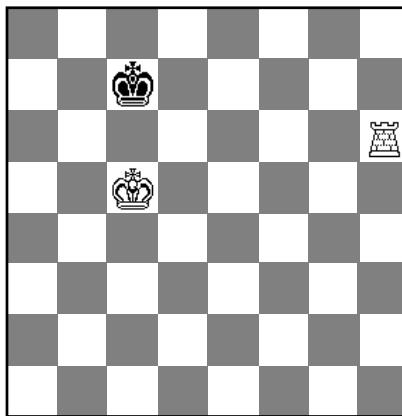
min ()

Liefert die niedrigste Etage, die aktuell als Fahrziel (innen oder außen) gewählt wurde. Ergebnis: Etagennummer.

loesche (n)

Löscht Etage n als Fahrziel.

A 1.10 Beim Schach gibt es ein einfaches Endspiel:



König und Turm gegen König

Versuchen Sie den Algorithmus für das Endspiel so zu formulieren, dass auch ein Nicht-Schachspieler die Spielstrategie versteht!

Lösungen

Kapitel 1

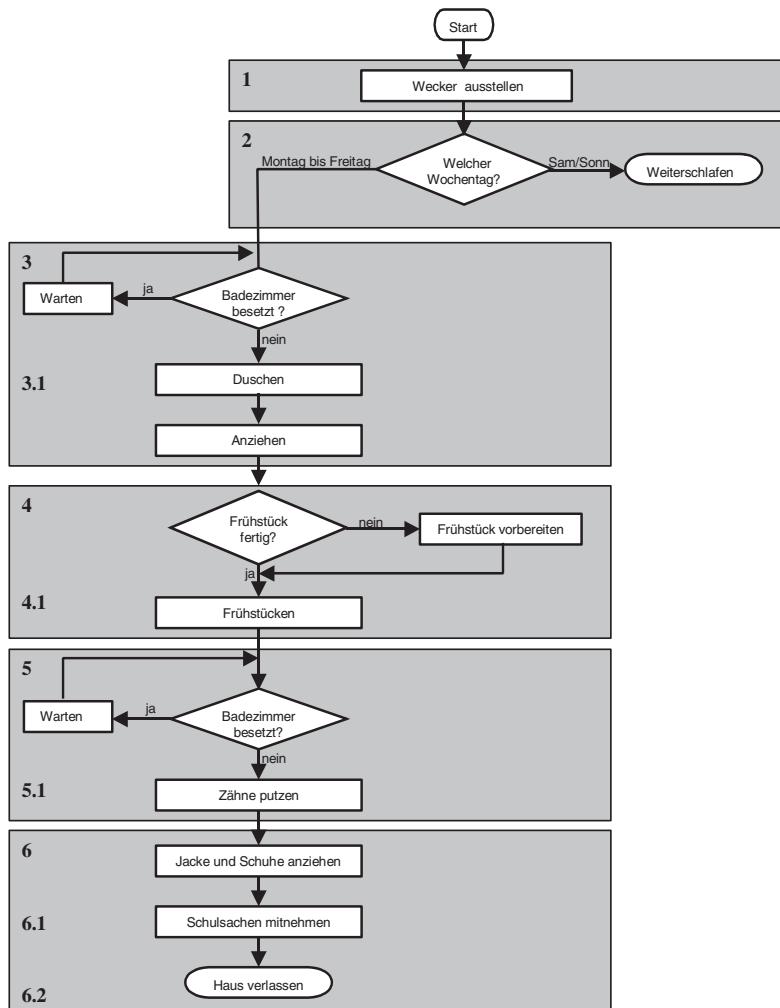
-
- A 1.1** Formulieren Sie Ihr morgendliches Aufsteh-Ritual vom Klingeln des Weckers bis zum Verlassen des Hauses als Algorithmus. Berücksichtigen Sie dabei auch verschiedene Wochentags-Varianten! Zeichnen Sie ein Flussdiagramm!

Vorüberlegung:

Natürlich haben wir alle unterschiedliche »Aufsteh-Rituale«, jedoch ist es hier wichtig, sich möglichst genaue Gedanken über den zeitlichen Ablauf des typischen Morgens zu machen. Sehr leicht werden Sie dabei erkennen, wie viele unbewusste Entscheidungspfade ein auf den ersten Blick so simpler Vorgang wie das tägliche Aufstehen beinhaltet.

Lösungsteil 1 (Algorithmus):

1. Stelle den Wecker aus!
2. Ist der heutige Wochentag ein Samstag oder ein Sonntag, dann schlaf ruhig weiter!
Andernfalls fahre mit Punkt 3 fort!
3. Ist das Badezimmer gerade besetzt, dann warte solange, bis es frei wird!
 - 3.1 Ist dies nicht der Fall, dann kannst Du jetzt duschen und Dich danach anziehen!
4. Ist das Frühstück von keinem anderen bereits vorbereitet worden, musst Du es wohl selbst tun!
 - 4.1 Andernfalls kannst Du sofort Dein Frühstück zu Dir nehmen!
5. Ist das Badezimmer gerade besetzt, dann warte solange, bis es frei wird!
 - 5.1 Ist dies nicht der Fall, dann kannst Du Dir nun Deine Zähne putzen!
6. Nun musst Du nur noch Deine Schuhe und Jacke anziehen,
 - 6.1 die Schulsachen mitnehmen
 - 6.2 und das Haus in Richtung Schule verlassen!

Lösungsteil 2 (Flussdiagramm)

-
- A 1.2** Verfeinern Sie den Algorithmus zur Division zweier Zahlen aus Abschnitt 1.1 so, dass er von jemandem, der nur Zahlen addieren, subtrahieren und der Größe nach vergleichen kann, durchgeführt werden kann! Zeichnen Sie ein Flussdiagramm!

Vorüberlegung:

Zuallererst sollten wir uns genau den Algorithmus aus Abschnitt 1.1 anschauen. Das Ziel ist, die Stellen herauszufinden, an denen die obigen Bedingungen nicht erfüllt werden. Wir suchen also die Anweisungen heraus, in denen andere Ope-

rationen als Addition, Division oder ein Vergleich verwendet werden. Diese werden wir dann so umformulieren, dass sie nur noch die in der Aufgabenstellung erlaubten Operationen verwenden.

Der ursprüngliche Algorithmus:

Problem:

Berechne den Quotienten zweier natürlicher Zahlen!

Anfangsdaten:

z = Zähler ($z \geq 0$)

n = Nenner ($n > 0$) und

a = Anzahl der zu berechnenden Nachkommastellen.

Anweisungen:

1. Bestimme die größte ganze Zahl x mit $n \cdot x \leq z$! Dies ist der Vorkommaanteil der gesuchten Zahl.

2. Zur Bestimmung der Nachkommastellen fahre wie folgt fort:

2.1 Sind noch Nachkommastellen zu berechnen (d. h. $a > 0$)? Wenn nein, dann beende das Verfahren!

2.2 Setze $z = 10(z - n \cdot x)$!

2.3 Ist $z = 0$, so beende das Verfahren!

2.4 Bestimme die größte ganze Zahl x mit $n \cdot x \leq z$! Dies ist die nächste Ziffer.

2.5 Jetzt ist eine Ziffer weniger zu bestimmen. Vermindere also den Wert von a um 1 und fahre anschließend bei 2.1 fort!

Die Anweisungen 1 und 2.4 enthalten eine Division, denn um die geforderte Zahl x zu bestimmen, müssen wir die Operation $x = z/n$ durchführen. Dies ist durch die Aufgabenstellung nicht erlaubt. Um diese Anweisungen zu ersetzen, benötigen wir eine zusätzliche Variable y . Wir werden y solange um den Wert des Nenners n erhöhen, bis wir den Wert des Zählers z übertrroffen haben.

Wir ersetzen diese Anweisungen also durch:

1. Um die größte Zahl x mit $n \cdot x \leq z$ zu bestimmen, fahre wie folgt fort:

1.1 Setze $x = 0$ und $y = n$!

1.2 Ist $y > z$, so ist x der gesuchte Vorkommaanteil!

1.3 Ist dies nicht der Fall, dann setze $x = x+1$ und $y = y+n$ und fahre mit Punkt 1.2 fort!

Die Anweisung 2.2 enthält zwei Multiplikationen: $n \cdot x$ und $10 \cdot$ Klammerinhalt.

Den Wert $n \cdot x$ können wir aus y berechnen. Unser y ist um den Wert des Nenners n zu hoch, denn wir mussten ihn solange erhöhen, bis wir über den Wert des Zählers z hinausgekommen sind, also einmal zu viel. Deshalb können wir $n \cdot x$ einfach durch $y-n$ ersetzen.

Die Multiplikation des Klammerinhalts mit 10 lassen wir verschwinden, indem wir den Klammerinhalt in einer Zwischenvariablen k speichern und ihn zehnmal in der Variable add aufaddieren. Wie oft wir schon addiert haben, zählen wir in der Variablen i mit.

Somit ergeben sich für die Anweisung 2.2 folgende Algorithmusanweisungen:

- 2.2 Setze $add = 0$ und $i = 1$!
- 2.3 Speichere den Klammerinhalt $z - (y-n)$ in der Variablen k , setze also $k = z - (y-n)$!
- 2.4 Solange die Zählvariable $i \leq 10$ ist
 - 2.4.1 Addiere k zu add und
 - 2.4.2 Erhöhe den Wert von i um 1!
- 2.5 Setze $z = add$!

Der neue Algorithmus:

Problem:

Berechne den Quotienten zweier natürlicher Zahlen!

Anfangsdaten:

z = Zähler ($z \geq 0$)

n = Nenner ($n > 0$)

a = Anzahl der zu berechnenden Nachkommastellen

i = Zählvariable

y = Zwischenspeicher für $n \cdot x$

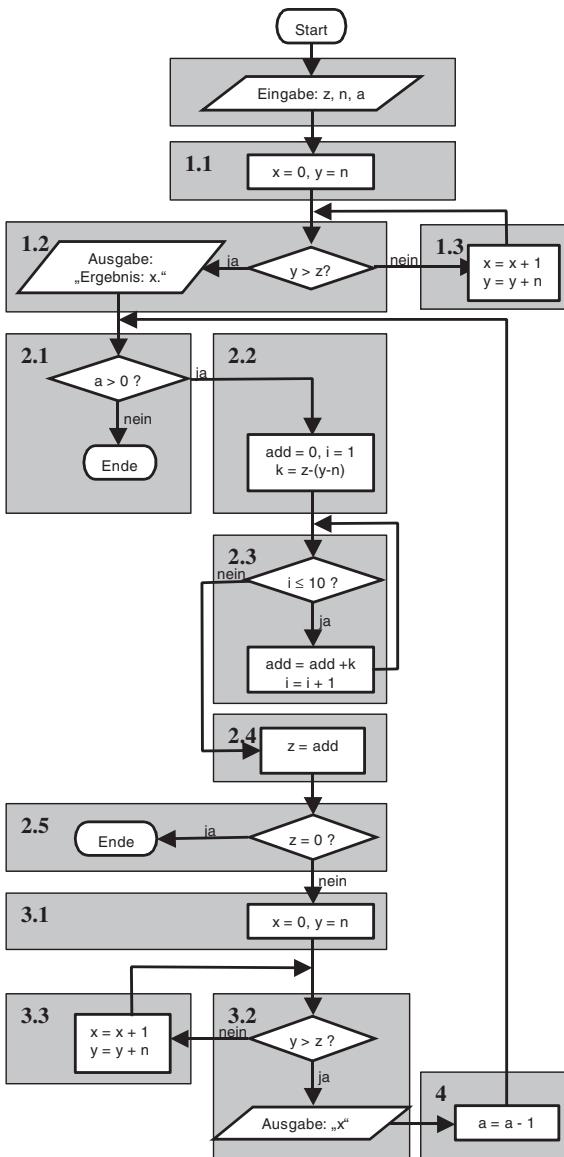
k = Zwischenspeicher für den Inhalt der ursprünglichen Klammer ($z-n \cdot x$)

add = Zwischenspeicher für die Aufaddierung des Klammerwertes

Anweisungen:

1. Um die größte Zahl x mit $n \cdot x \leq z$ zu bestimmen, fahre wie folgt fort:
 - 1.1 Setze $x = 0$ und $y = n$!
 - 1.2 Ist $y > z$, so ist x der gesuchte Vorkommaanteil!
 - 1.3 Ist dies nicht der Fall, dann erhöhe den Wert von x um 1, den Wert von y um den Wert des Nenners n und fahre mit Punkt 1.2 fort!

2. Zur Bestimmung der Nachkommastellen fahre wie folgt fort:
 - 2.1 Sind noch Nachkommastellen zu berechnen (d. h. $a > 0$)? Wenn nein, dann beende das Verfahren!
 - 2.2 Setze $add = 0$, $i = 1$ und speichere den Klammerinhalt $z - (y-n)$ in der Variablen k , setze also $k = z - (y-n)$!
 - 2.3 Solange die Zählvariable $i \leq 10$ ist, addiere k zu add und erhöhe den Wert von i um 1!
 - 2.4 Setze $z = add$!
 - 2.5 Ist $z = 0$, so beende das Verfahren!
3. Um die größte Zahl x mit $n \cdot x \leq z$ zu bestimmen, fahre wie folgt fort:
 - 3.1 Setze $x = 0$ und $y = n$!
 - 3.2 Ist $y > z$, so ist x die nächste Ziffer!
 - 3.3 Ist dies nicht der Fall, dann erhöhe den Wert von x um 1, den Wert von y um den Wert des Nenners n und fahre mit Punkt 3.2 fort!
4. Jetzt ist eine Ziffer weniger zu bestimmen. Vermindere also den Wert von a um 1 und fahre anschließend bei 2.1 fort!

Das Flussdiagramm:

- A 1.3** In unserem Kalender sind zum Ausgleich der astronomischen und der kalendarischen Jahreslänge in regelmäßigen Abständen Schaltjahre eingebaut. Zur exakten Festlegung der Schaltjahre dienen die folgenden Regeln:

(1) Ist die Jahreszahl durch 4 teilbar, so ist das Jahr ein Schaltjahr.

Diese Regel hat allerdings eine Ausnahme:

(2) Ist die Jahreszahl durch 100 teilbar, so ist das Jahr doch kein Schaltjahr.

Diese Ausnahme hat wiederum eine Ausnahme:

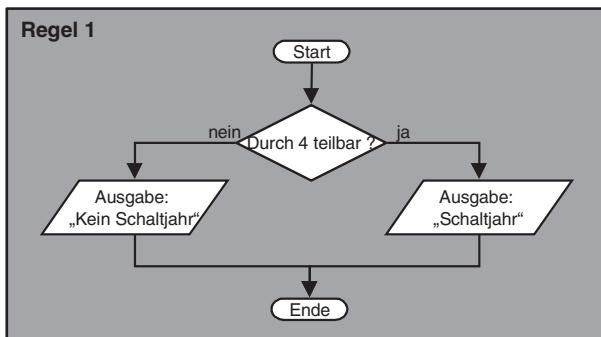
(3) Ist die Jahreszahl durch 400 teilbar, so ist das Jahr doch ein Schaltjahr.

Formulieren Sie einen Algorithmus, mit dessen Hilfe man feststellen kann, ob ein bestimmtes Jahr ein Schaltjahr ist oder nicht!

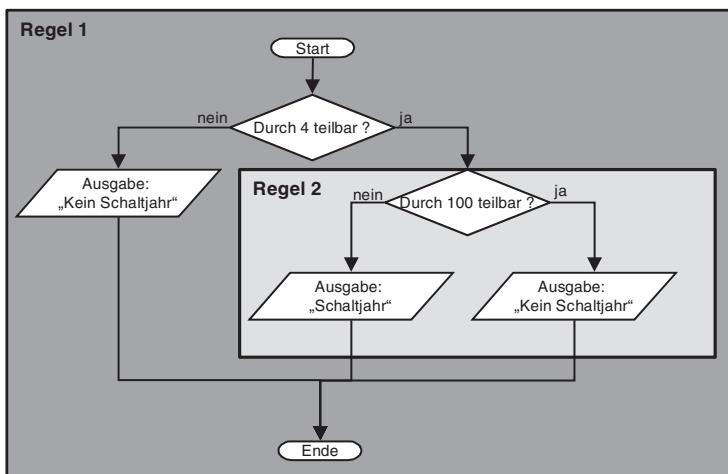
Vorüberlegung:

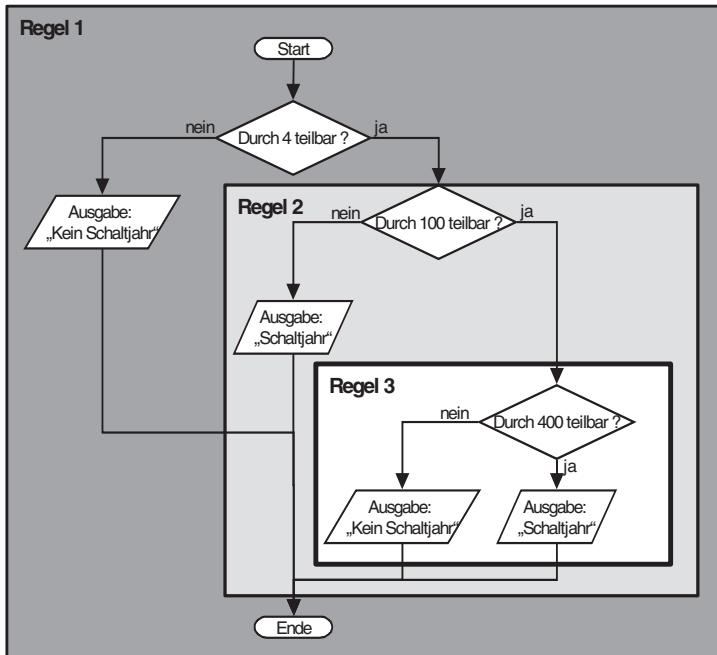
Wir können diesen Algorithmus bereits anhand der Aufgabenstellung, die bereits das gesamte Regelwerk enthält herausarbeiten:

Einsetzen der ersten Regel:



Einsetzen der zweiten Regel:



Einsetzen der dritten Regel:

- A 1.4** Sie sollen eine unbekannte Zahl x ($1 \leq x \leq 1000$) erraten und haben beliebig viele Versuche dazu. Bei jedem Versuch erhalten Sie die Rückmeldung, ob die gesuchte Zahl größer, kleiner oder gleich der von Ihnen geratenen Zahl ist. Entwickeln Sie einen Algorithmus, um die gesuchte Zahl möglichst schnell zu ermitteln! Wie viele Versuche benötigen Sie bei Ihrem Verfahren maximal?

Vorüberlegung:

Um unsere gesuchte Zahl möglichst schnell zu finden, müssen wir zuerst die Wahrscheinlichkeit ermitteln, wo sich diese Zahl im Intervall befinden könnte. Tippen wir z. B. zuerst auf die 1, liegt die Wahrscheinlichkeit bei 99,9 %, dass die in unserem Intervall gesuchte Zahl größer ist; dass sie kleiner ist bei 0 %. Das heißt, wir müssten noch eventuell 999 mal tippen, wenn wir die Tippreihenfolge einfach aufsteigend wählen würden. Wir haben unsere Fehlerwahrscheinlichkeit lediglich um 0,1 % gesenkt.

Wählen wir jedoch die Mitte unseres Bereiches, also 500, liegt unsere Wahrscheinlichkeit auf der linken Seite bei 49,9 % und auf der rechten bei 50 %. Das heißt, wir haben unsere maximale Fehlerwahrscheinlichkeit diesmal auf bis zu 49,9 % gesenkt !

Die Wahrscheinlichkeit, dass wir beim ersten Mal sofort die richtige Zahl erraten, liegt sowieso bei allen Taktiken bei 0,1 %.

Bereits jetzt wird es einsichtig, dass wir mit dem Verfahren der Intervallhalbierung am schnellsten zum Ziel kommen.

Der Algorithmus:

Problem:

Erraten Sie eine unbekannte Zahl im Intervall $1 \leq x \leq 1000$!

Anfangsdaten:

geheimzahl = Die zu erratende Zahl

tipp = Die von uns geratene Zahl

untergrenze = Die untere Grenze des Intervalls

obergrenze = Die obere Grenze des Intervalls

Anweisungen:

1. Setze $tipp = (\text{untergrenze} + \text{obergrenze})/2$!
2. Falls $tipp = \text{geheimzahl}$, beende das Verfahren!
 - 2.1 Überprüfe, ob $tipp < \text{geheimzahl}$ ist!
 - 2.1.1 Falls ja, setze $\text{untergrenze} = tipp + 1$!
 - 2.1.2 Falls nein, setze $\text{obergrenze} = tipp - 1$!
3. Fahre mit Punkt 1 fort.

Erläuterungen:

1. Wir tippen auf die Mitte des Intervalls.
2. Ist die gesuchte Zahl größer als die von uns geratene,
 - 2.1 dann können wir unsere untere Intervallgrenze bis auf die nächsthöhere als die von uns geratene Zahl hochziehen. Wir reduzieren also das mögliche Intervall, in dem sich unsere Geheimzahl befinden kann, auf die Hälfte.
 - 2.2 Das entsprechende tun wir, falls die gesuchte Zahl kleiner ist, als unser aktueller Tipp.

Anzahl der maximal benötigten Versuche:

Um die Anzahl der maximal benötigten Versuche zu bestimmen, müssen wir uns noch einmal vor Augen führen, dass wir unser Intervall immer wieder ganzzahlig halbieren.

Nehmen wir unser Beispiel von 1000 Zahlen, um uns dies deutlich zu machen:

$$1. \text{ Versuch: } \frac{1000}{2} = 500$$

$$2. \text{ Versuch: } \frac{500}{2} = 250$$

$$3. \text{ Versuch: } \frac{250}{2} = 125 \text{ usw.}$$

Die Frage ist also, wie oft (x) muss ich die Anzahl meiner Intervallelemente n durch 2 teilen, um höchstens nur noch eine Möglichkeit zum Auswählen zu haben?

Mathematisch ausgedrückt:

$$\frac{n}{2^x} \leq 1$$

$$\Leftrightarrow n \leq 2^x$$

$$\Leftrightarrow \log_2(n) \leq x$$

In unserem Falle, also für $n=1000$, folgt:

$$x \geq \log_2(1000)$$

$$x \geq 9,966$$

$$x = 10$$

Wir benötigen mit unserem Verfahren also höchstens 10 Versuche, um die richtige Zahl zu raten.

A 1.5 Formulieren Sie einen Algorithmus, der prüft, ob eine eingegebene Zahl eine Primzahl ist oder nicht!

Vorüberlegung:

Eine Primzahl ist eine Zahl ≥ 2 , die nur durch sich selbst und durch 1 teilbar ist. Die nahe liegende Lösung wäre, einfach alle Zahlen bis zu unserer eingegebenen Prüfzahl darauf zu testen, ob eine davon ein Teiler unserer Prüfzahl ist. Dann handelt es sich nicht um eine Primzahl.

Wir können uns den Aufwand an einem Beispiel (Prüfzahl ist die 16) veranschaulichen:

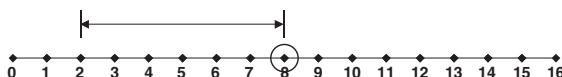


Bei dieser Methode müssten wir also 14 von 16 Zahlen überprüfen!

Wir wollen uns jedoch die Frage stellen, ob wir den Algorithmus effizienter gestalten können.

Würden wir z. B. nur bis zu der Hälfte der eingegebenen Zahl testen, dann könnten wir uns auch sicher sein, ob es sich um eine Primzahl handelt. Alle Zahlen, die größer als die Hälfte der Prüfzahl und kleiner als sie selbst sind, brauchen nicht mehr in Betracht gezogen zu werden, da sie nicht mehr ein ganzzahliger Teiler der Prüfzahl sein können.

Wir verdeutlichen uns auch diesen Aufwand:



Hier bräuchten wir noch 6 Zahlen zu überprüfen, wir haben unseren Algorithmus also ca. doppelt so schnell gemacht.

Wenn wir aber nur bis zu der Quadratwurzel der Prüfzahl testen, dann erhalten wir dieselbe Sicherheit, ob die Prüfzahl eine Primzahl ist oder nicht.

Dies können wir uns folgendermaßen erklären:

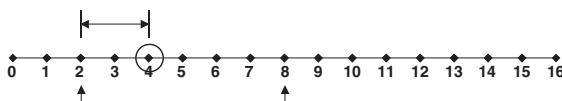
Wenn wir einen Teiler x von einer Zahl z gefunden haben, dann gilt:

$$z = x \cdot y$$

wobei y der zweite Teiler ist. Wären nun x und y größer als \sqrt{z} , dann wäre auch $x \cdot y > z$.

Deshalb muss ein Teiler auf jeden Fall kleiner oder gleich \sqrt{z} sein. Also reicht es, die Zahlen bis zu \sqrt{z} zu untersuchen.

Wir verdeutlichen uns dies grafisch:



Wir überprüfen bei der Zahl 16 nur noch die Zahlen 2, 3 und 4 als mögliche Teiler. In diesem Beispiel gibt es noch eine Zahl, die größer ist als die Quadratwurzel aus 16 und die ein ganzzahliger Teiler von 16 ist: die 8.

Die Überprüfung dieser Zahl haben wir aber durch das Testen der Zahl 2 schon erledigt.

Wie Sie erkennen, müssen wir mit dieser Methode nur noch 3 von 16 Zahlen testen!

Wir haben unser Verfahren also erheblich beschleunigt!

Der Algorithmus:**Problem:**

Überprüfen Sie, ob die eingegebene Zahl eine Primzahl ist!

Anfangsdaten:

`pruefzahl` = Die zu prüfende Zahl

`test` = Die Zahl, die gerade geprüft wird, ob sie ein Teiler von `pruefzahl` ist.

Anweisungen:

1. Setze `test` = 2!
2. Überprüfe, ob das Quadrat von `test` kleiner oder gleich der `pruefzahl` ist!
Trifft dies nicht zu, dann ist `pruefzahl` eine Primzahl. Beende das Verfahren!
3. Überprüfe, ob `pruefzahl` durch `test` teilbar ist!
 - 3.1 Falls ja, dann ist `pruefzahl` keine Primzahl!
Beende das Verfahren!
 - 3.1.1 Erhöhe `test` um 1 und fahre mit Punkt 2 fort!

- A 1.6** Ihr CD-Ständer hat 100 Fächer, die fortlaufend von 1–100 nummeriert sind. In jedem Fach befindet sich eine CD. Formulieren Sie einen Algorithmus, mit dessen Hilfe Sie die CDs alphabetisch nach Interpreten sortieren können! Das Verfahren soll dabei auf den beiden folgenden Grundfunktionen basieren:

► `vergleiche (n, m)`

Vergleiche die Interpreten der CDs in den Fächern `n` und `m`! Ergebnis:
»richtig« oder »falsch« je nachdem, ob die beiden CDs in der richtigen oder falschen Reihenfolge im Ständer stehen.

► `tausche (n, m)`

Tausche die CDs in den Fächern `n` und `m`!

Vorüberlegung:

Die erste Lösung, die Ihnen hier wahrscheinlich eingefallen wird, beruht wohl auf dem Verfahren, wie wir Menschen meistens Dinge sortieren. Wir suchen das kleinste Element und legen es an der ersten Stelle ab. Dann das nächstgrößere auf der zweiten usw. Diese Lösung ist mit den zur Verfügung stehenden Funktionen realisierbar. Wir müssten alle CDs durchlaufen und uns unterwegs merken, welche CD die gerade »kleinste« ist, also der Name welchen Musikers gehört an die erste Stelle. Am Ende angekommen, wären wir uns sicher, dass diejenige CD, die wir gerade als »kleinste« in Erinnerung haben, an die erste Stelle gehört. Dann

dasselbe für die zweite Stelle usw. Um die Lösung auf diese Weise zu realisieren, bräuchten wir also ein zusätzliches »Gedächtnis«, eine Variable, in der wir uns die gerade »kleinste« CD merken.

Ich möchte jedoch bei dieser Lösung ein Verfahren vorstellen, bei dem wir dieses »Gedächtnis« nicht brauchen.

Wir durchlaufen die CDs in aufsteigender Richtung und vergleichen immer nur die nebeneinander stehenden CDs. Wenn diese nicht in der richtigen Reihenfolge stehen, vertauschen wir sie sofort. Nach einem Durchlauf können wir uns dann sicher sein, dass die letzte CD auf dem richtigen Platz steht und brauchen diese nicht mehr zu betrachten.

Wir fangen wieder am Anfang an und fahren solange fort, bis wir nur noch die erste mit der zweiten CD vergleichen müssen.

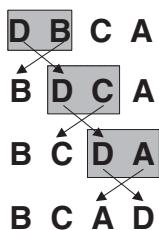
Danach sind unsere CDs ganz sicher richtig sortiert!

Wir veranschaulichen uns dies grafisch an einem Beispiel:

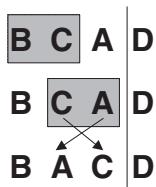
Wir nehmen an, die Interpreten hätten als Künstlernamen alle jeweils einen einzigen Buchstaben gewählt und ständen in unserem CD-Regal in folgender Reihenfolge:

D B C A

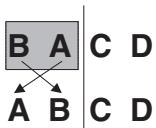
Wir laufen also die CDs durch, vergleichen und vertauschen gegebenenfalls:



Wie Sie sehen, steht die CD mit dem »größten« Interpreten (Künstlernamen »D«) bereits auf der richtigen Stelle. Beim nächsten Durchlauf werden wir diese CD also nicht mehr beachten müssen:



Auch hier erkennen Sie, dass die CD »C« schon auf ihrem richtigen Platz steht.
Diese brauchen wir beim nächsten Durchlauf nicht mehr zu beachten:



Wie Sie leicht erkennen, sind unsere CDs damit sortiert!

Der Algorithmus:

Problem:

Sortieren Sie Ihre CD-Sammlung alphabetisch!

Anfangswerte:

n = Index der gerade betrachteten CD (erste CD hat den Index 1)

a = Gesamtzahl der zu betrachtenden CDs

Anweisungen:

1. Falls $a \geq 2$ ist, setze $n = 1$!

Ansonsten beende das Verfahren! Die CDs sind sortiert.

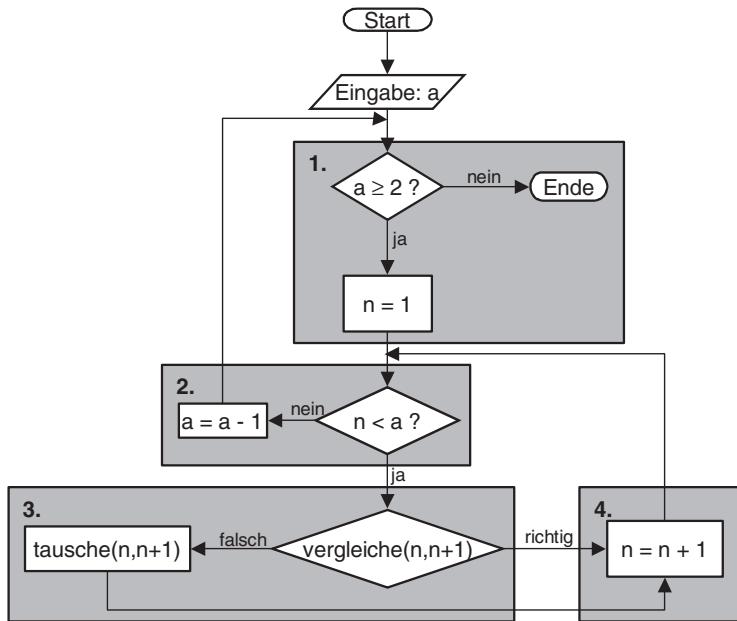
2. Ist $n < a$, dann fahre mit Punkt 3 fort!

Trifft dies nicht zu, erniedrige den Wert von a um 1 und fange wieder vorne bei Punkt 1 an!

3. Ist das Ergebnis der Funktion `vergleiche(n, n+1)` falsch, dann rufe die Funktion `tausche(n, n+1)` auf und fahre danach mit Punkt 4 fort. Andernfalls fahre sofort mit Punkt 4 fort.

4. Setze $n = n+1$ und fahre mit Punkt 2 fort!

Eine bessere Übersicht erhalten wir mithilfe eines Flussdiagramms:



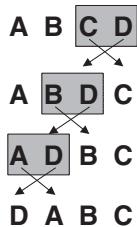
- A 1.7** Formulieren Sie einen Algorithmus, mit dessen Hilfe Sie die CDs in Ihrem CD-Ständer jeweils um ein Fach aufwärts verschieben können! Die dabei am Ende herausgeschobene CD kommt in das erste Fach. Das Verfahren soll nur auf der Grundfunktion `tausche` aus Aufgabe 1.6 beruhen.

Vorüberlegung:

Wir wollen bei diesem Algorithmus von hinten nach vorne arbeiten. Wir fangen bei der letzten CD an und tauschen sie mit der vorletzten, dann die vorletzte mit der vorvorletzten usw.

Dabei wird die letzte CD von hinten nach vorne durchgereicht und landet am Ende auch im ersten Fach, wie es in der Aufgabenstellung gefordert ist.

Verdeutlichen wir uns das Vorgehen grafisch:



Der Algorithmus:**Problem:**

Verschieben Sie die CDs in Ihrem CD-Ständer um ein Fach!

Die herausgeschobene CD kommt in das erste Fach!

Verwenden Sie dazu nur die Funktion $\text{tausche}(n, m)$ aus Aufgabe 1.6!

Anfangsdaten:

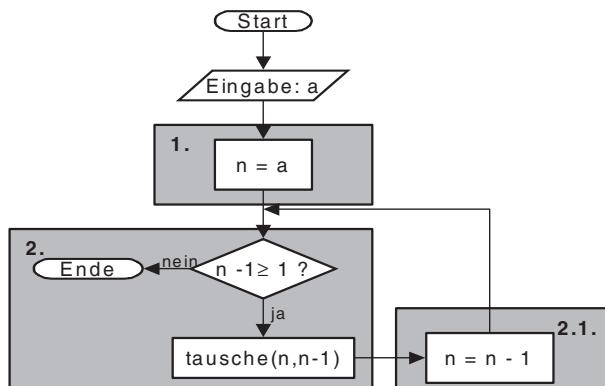
n = Index der gerade betrachteten CD (erste CD hat den Index 1)

a = Gesamtanzahl der zu betrachtenden CDs

Anweisungen:

1. Setze $n = a$!
2. Ist $n - 1 \geq 1$, dann rufe die Funktion $\text{tausche}(n, n-1)$ auf!
Ansonsten beende das Verfahren!
- 2.1 Erniedrig den Wert von n um 1 und fahre mit Punkt 2 fort!

Wir verdeutlichen uns auch diesen Algorithmus anhand eines Flussdiagramms:



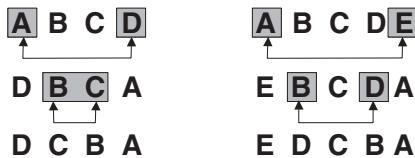
-
- A 1.8** Formulieren Sie einen Algorithmus, mit dessen Hilfe Sie die Reihenfolge der CDs in Ihrem CD-Ständer umkehren können! Das Verfahren soll nur auf der Grundfunktion tausche aus Aufgabe 1.6 beruhen.

Vorüberlegung:

Hier werden wir die Möglichkeit verwenden, dass die Funktion $\text{tausche}(n, m)$ nicht nur nebeneinander stehende CDs, sondern auch weit entfernte tauschen kann. Wenn wir die Reihenfolge der CDs umkehren sollen, dann muss am Ende die erste CD auf dem letzten Platz landen, die zweite auf dem vorletzten usw. Die letzte CD gehört dann hingegen auf den ersten Platz, die vorletzte auf den zweiten usw.

Die naheliegende Lösung, die wir auch hier benutzen werden, ist also, die erste CD mit der letzten zu tauschen, die zweite mit der vorletzten usw., bis wir in der Mitte angekommen sind. Dann haben wir die gesamte Reihenfolge der CDs umgekehrt. Im Falle einer ungeraden Anzahl von CDs wird die mittlere CD nicht mehr umgetauscht, da sie sich bereits auf dem richtigen Platz befindet.

Grafisch können wir uns das so veranschaulichen:



Der Algorithmus:

Problem:

Kehren Sie die Reihenfolge der CDs in Ihrem CD-Ständer um! Verwenden Sie dazu nur die Funktion `tausche(n, m)` aus Aufgabe 1.6!

Anfangsdaten:

n, m = Indizes der gerade betrachteten CDs (erste CD hat den Index 1)

a = Gesamtanzahl der zu betrachtenden CDs

Anweisungen:

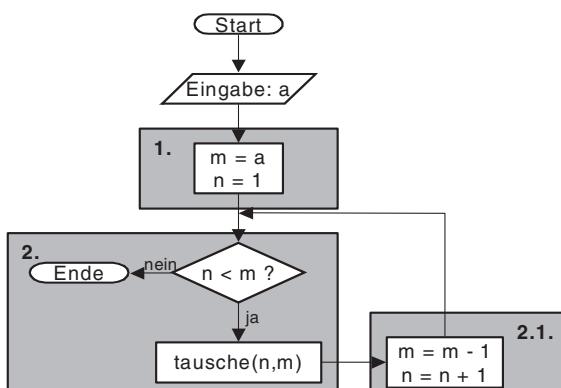
1. Setze $n = 1$ und $m = a$!

2. Ist $n < m$, dann rufe die Funktion `tausche(n, m)` auf!

Ansonsten beende das Verfahren!

2.1 Erhöhe den Wert von n um 1, erniedrig den Wert von m um 1 und fahre mit Punkt 2 fort!

Das Flussdiagramm:



A 1.9 In einem Hochhaus mit 20 Stockwerken fährt ein Aufzug. Im Aufzug sind 20 Knöpfe, mit denen man sein Fahrziel wählen kann, und auf jeder Etage ist ein Knopf, mit dem man den Aufzug rufen kann. Entwickeln Sie einen Algorithmus, der den Aufzug so steuert, dass alle Aufzugbenutzer gerecht bedient werden! Sie können dabei annehmen, dass der Aufzug über die folgenden Befehle zur Fahrtsteuerung bzw. zum Auslesen der Bedienelemente verfügt:

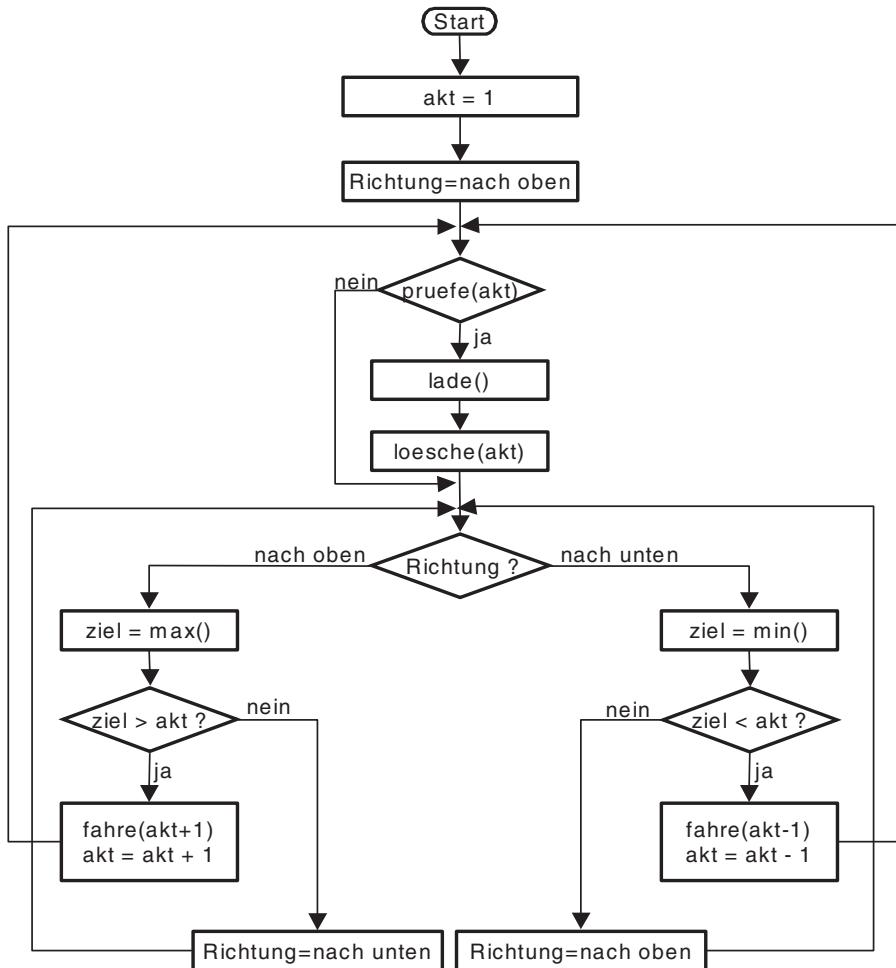
- ▶ **fahre (n)**
Fahre das Stockwerk n an!
- ▶ **lade ()**
Lade oder entlade in dem zuletzt angefahrenen Stockwerk Fahrgäste!
- ▶ **pruefe (n)**
Prüfe, ob Stockwerk n (innen oder außen) als Fahrziel gewählt wurde!
Ergebnis: »ja« oder »nein«.
- ▶ **max ()**
Lieferst die höchste Etage, die aktuell als Fahrziel (innen oder außen) gewählt wurde. Ergebnis: Etagennummer.
- ▶ **min ()**
Lieferst die niedrigste Etage, die aktuell als Fahrziel (innen oder außen) gewählt wurde. Ergebnis: Etagennummer.
- ▶ **loesche (n)**
Löscht Etage n als Fahrziel.

Vorüberlegung:

Unter »gerechte Bedienung der Fahrgäste« könnte man verstehen: »Wer zuerst drückt, der fährt zuerst«. Vielleicht wäre das eine der gerechtesten Lösungen, aber sicherlich nicht die effizienteste. Wir nehmen den Fall an, dass jemand erst ganz oben drückt und danach jemand in der Mitte. Nach der jetzigen Strategie müssten wir den Fahrstuhl an der Person in der Mitte vorbeifahren lassen, weil die Person ganz oben ja zuerst gedrückt hat.

Wesentlich effizienter wäre es aber, die Person in der Mitte unterwegs mitzunehmen. Dies wollen wir in unserem nachfolgendem Algorithmus auch so handhaben.

Ich möchte an dieser Stelle den Algorithmus direkt in Form eines Flussdiagramms vorstellen, da er in der textuellen Darstellung nur sehr schwer nachvollziehbar ist:



Index

2D-Grafikprogrammierung 701

A

Abstrakte Klasse 746, 844, 927
Abstrakter Datentyp 479
 Queue 485
 Stack 480
adjacent_find 1054
Adjazenzliste 623
Adjazenzmatrix 623
Adressbus 137
Adresse 137, 254
Aggregation 753
Aktualparameter 182
Algorithmus 23
 Algorithmus von Dijkstra 661
 Algorithmus von Floyd 652
 Algorithmus von Ford 672
 Algorithmus von Kruskal 682
 Algorithmus von Warshall 637
Alignment 459
and 703
and_eq 703
Anweisung
 break 59, 297, 300
 catch-Anweisung 978
 continue 59, 300
 do...while 300
 extern 184
 for 56, 298
 goto 300
 if 53
 if..else 295
 return 184, 293
 struct 444, 497
 switch 297
 throw-Anweisung 978
 try-Anweisung 978
 union 451, 505
 while 299
Argument 182
Array 156, 279
 eindimensionaler Array 156
 mehrdimensionaler Array 160, 279

Array (Forts.)
 zweidimensionaler Array 158
Arrays und Zeiger 259
ASCII-Zeichensatz 143
Assertions 223
Assoziativgesetz 104
Attribut 744, 759
Aufzählungstyp 142
 automatische Typisierung 708
Ausdruck
 arithmetischer Ausdruck 290
 logischer Ausdruck 290
 L-Wert 291
 relationaler Ausdruck 290
 R-Wert 291
 Zuweisungs-Ausdruck 290
Ausgabe
 Ausgabe in C++ 793
 Ausgabe in eine Datei 213
 Ausgabe von ganzen Zahlen 51
 Ausgabe von Gleitkommazahlen 51
 Ausgabe von Text 50
 Bildschirmausgabe 208
Ausgeglichene Bäume 570
Ausnahmefallbehandlung 219, 976
Aussage 97
Aussagenlogik 97
Automatische Objekte 943

B

Basisklasse
 Zugriff auf die Basisklasse 937
 Zugriffsspezifikation private 940
 Zugriffsspezifikation protected 939
 Zugriffsspezifikation public 937
Baum 543, 619
 absteigend sortierter Baum 546
 aufsteigend sortierter Baum 546
 ausgeglichener Baum 573
 AVL-Baum 573, 578
 Balance 572
 Baum-Modul 559
 Binärbaum 545
 Blätter 545

- Baum (Forts.)
 Inorder-Traversierung 550
 Knoten 545
 Level 545
 Level-Order-Traversierung 557
 linker Teilbaum 546
 Nachfolger 544
 Postorder-Traversierung 552
 Preorder-Traversierung 549
 rechter Teilbaum 546
 Teilbaum 545
 Tiefe 545
 Traversierung 547
 vollständiger Baum 571
 Wurzel 544
Bedingte Compilierung 306
Befehlsausführung
 bedingte Befehlsausführung 53
 wiederholte Befehlsausführung 54
Beidseitige Warteschlangen 1012
Beispiel
 Algorithmus von Dijkstra 666
 Algorithmus von Floyd 656
 Algorithmus von Ford 674, 679
 Algorithmus von Kruskal 684
 Algorithmus von Warshall 637
 Ausnahmefallbehandlung 220
 AVL-Baum-Modul 575
 Baum-Modul 559
 Bingo 811
 Bit-Editor 152
 Bubblesort 397
 Buchstaben zählen 167
 Damenproblem 226
 Darlehen 74
 Dateioperationen 214
 Division ganzer Zahlen 61
 Fakultäten 88, 188
 Geldautomat 340
 Hamiltonsche Wege 690
 Hashtabellen-Modul 596
 Heapsort 416
 Hofstadter-Funktion 190
 Inorder-Traversierung 550
 Insertionsort 402
 Juwelenraub 335
 Kombinationen mit Wiederholungen 328
 Kombinationen ohne Wiederholungen 330
Beispiel (Forts.)
 Kugelspiel 62, 120
 Labyrinth 234
 Legotreppe 81
 Level-Order-Traversierung 558
 Listen-Modul 533
 Matrixdruck 170
 Menge 800
 Näherungslösung Travelling Salesman 697
 Partnervermittlung 871
 Permutationen 193
 Permutationen mit Wiederholungen 325
 Permutationen ohne Wiederholungen 332
 Postorder-Traversierung 552
 Preorder-Traversierung 549
 Queue 486
 Quicksort 411
 Schaltung 121
 Selectionsort 400
 Shellsort 405
 Stack 481
 Summation von Zahlen 66
 Travelling Salesman Problem 693
 Traversierung von Graphen 631
 Variable Anzahl von Argumenten 216
 Vereinigungssuche 645
 Würfelspiel 850
 Zeichensatz 150
 Zusammenhangskomponenten 645
Bildschirmausgabe 793
Binärbaum 545
binary_search 1066
Binomialkoeffizient 319
Bit 136
 invertieren 149
 löschen 149
 prüfen 149
 setzen 149
bitand 703
Bitfelder 516
Bit-Operationen 147
bitor 703
bitset 1002
Bitsets 1002
Block 274
 Schachtelung von Blöcken 275
 Variablen in Blöcken 275

bool 703, 710
Boolesche Funktion 100
break-Anweisung 59, 300
Bubblesort 396
Byte 136

C

Callback 262
calloc 466, 510
case-Label 297
catch 703, 978
class 703, 759, 893
Coding-Standards 311
Compiler 41
Compileschalter 306
compl 703
const_cast 703
const-Deklaration 278
continue-Anweisung 59, 300
copy 1058
copy_backward 1058
count 1056
count_if 1056
Crosscast 932
C-Runtime-Library 201

D

Darstellung boolescher Funktionen 106
Darstellungssatz für boolesche Funktionen 109
Dateioperationen 213
Dateioperationen in C++ 797
Datenabstraktion 442
Datenbus 137
Daten-Member 759, 761, 895
Datenstruktur 27, 441
anlegen 445, 498
Arrays in Datenstrukturen 501
automatische Typisierung 708
Bitfelder 516
Datenstrukturen und Funktionen 506
Datenstrukturen und Zeiger 511
direkter Zugriff 503
dynamische Datenstrukturen 465, 509
indirekter Zugriff 503
Initialisierung 445, 498

Datenstruktur (Forts.)
Initialisierung zusammengesetzter Datenstrukturen 500
Liste 470, 513
lokale Datenstruktur 499
Optimierung 457
struct 497
Typvereinbarungen 515
unbenannte Datenstruktur 499
union 505
Vorwärtsverweise 709
Zeiger auf Datenstrukturen 503
Zeiger und Datenstrukturen 462
zusammengesetzte Datenstruktur 500
Zuweisung von Datenstrukturen 502
Datentyp
char 141
double 142
enum 142
float 142
int 141
long 141
long double 142
short 141
signed 141
skalarer Datentyp 140, 274
unsigned 141
void 188
Datum-Funktionen 225
De Morgan'sches Gesetz 104
Debugger 42
Default -Werte 722
Default-Konstruktor 780
default-Label 297
delete 703, 782
delete-Operator 782
deque 1012
Dereferenzierung 254
Destruktion 780
Destruktor 479, 772, 948
Dezimaldarstellung 131
Disjunktive Normalform 109
Diskriminante 452, 505
Distributivgesetz 104
Division mit Rest 130
do...while-Anweisung 300
Downcasts 932
Dualdarstellung 131
Dynamic Cast 716

dynamic_cast 703, 933
Dynamische Arrays 1005
Dynamische Datenstrukturen 465, 509
Dynamische Objekte 944
Dynamische Typüberprüfungen 928

E

Editor 40
Einerkomplement 138
Einfachvererbung 913
Eingabe
 Eingabe aus einer Datei 213
 Eingabe in C++ 796
 Eingabe von ganzen Zahlen 52
 Eingabe von Zeichenketten 162
 Tastatureingabe 208
Eingabeparameter 182
equal 1055
equal_range 1066
Erweiterung abgeleiteter Klassen 835
Escape-Sequenz 145, 273
Eulerscher Weg 614
Exception-Handling 976
explicit 703
Explizite Instantiierung 956
export 703
extern 730
extern-Anweisung 184

F

Fakultät (n!) 88, 188
false 703
Fehlerbehandlung 219
fill 1061
fill_n 1061
find 1054
find_end 1054
find_first_of 1054
find_if 1054
Flussdiagramm 25
Folgen 73
for_each 1053
for-Anweisung 56, 298
Formalparameter 182
Format-Anweisungen
 Ausgabe 209
 Eingabe 211

free 466, 510
Freispeicher verwaltung 225, 467, 474
friend 703
Friends 785, 911
Function Name Encoding 727
Funktion 182, 293
 Default-Werte 722
 Function Name Encoding 727
 Funktionskörper 184
 Funktionsprototyp 183, 184, 294, 722
 globale Funktion 293
 Implementierung 183
 Inline-Funktion 724
 Parameter 186, 293
 Parametersignatur 727
 Schnittstelle 184, 293
 Schnittstellenvariablen 186
 statische Funktion 294
 Überladen von Funktionen 726, 836
Funktions-Member 759, 764, 896
Funktionsprototyp 184, 722
Funktionszeiger 262
fwprintf 712
fwscanf 712

G

Generalisierung 749
generate 1061
generate_n 1061
Generische Klasse 970
Geordnete Paare 1038
Geschützte Member 936
getwchar 712
Gigabyte 140
Gleitkommazahlen 44
Globale Variablen 199
goto-Anweisung 301
Graph 616
 Adjazenzliste 623
 Adjazenzmatrix 623
 Algorithmus von Dijkstra 661
 Algorithmus von Floyd 652
 Algorithmus von Ford 672
 Anfangsknoten einer Kante 616
 Anfangsknoten eines Weges 617
 Baum 619
 bewerteter Graph 620
 Bewertungsfunktion 620

H

Graph (Forts.)
Endknoten einer Kante 616
Endknoten eines Weges 617
Existenz von Wegen 629
gerichteter Graph 616
geschlossener Weg 617
Hamiltonscher Weg 689
Inzidenzmatrix 625
Kante 616
Kantentabelle 626
Kantenzug 617
Knoten 616
Kostenfunktion 620
Kosten-Wege-Matrix 623
Kreis 617
kürzeste Wege 649
Länge eines Weges 617
minimal spannender Baum 682
Pfad in einem Graphen 617
Schleife 617
schleifenfreier Weg 617
schwach zusammenhängender Graph 619
Spannbaum 682
stark zusammenhängender Graph 619
symmetrischer Graph 616
Travelling Salesman Problem 692
Traversierung von Graphen 630
ungerichteter Graph 616
unzerlegbarer Graph 618
Verbindbarkeit von Knoten 618
Verfahren von Warshall 637
Weg in einem Graphen 617
Wegematrix 634
Wurzelbaum 620
zusammenhängender Graph 619
Zusammenhangskomponenten 641
 Graphentheorie 613

I
 Heap-Bedingung 413
 Heapsort 412
 Hexadezimaldarstellung 134

I
 Idempotenzgesetz 104
 Identifier 271
 if-Anweisung 53
 Implementierung 35, 37
 Implizite Instantiierung 956
 Include-Direktive 302
 includes 1068
 Indirektzugriff 254
 Initialisierung
eingelagerter Objekte 957
virtueller Basisklassen 962
von Basisklassen 960
 inline 703
 Inline-Funktion 724
 Inorder-Traversierung 550
 inplace_merge 1066
 Insertionsort 401
 Instantierbare Klassen 746
 Instantiierung 747, 953
automatische Instantiierung 778, 779
dynamische Instantiierung 778, 782
Instantiierung abgeleiteter Klassen 833
Instantiierung von Arrays 784
Instantiierungsregeln 964
statische Instantiierung 778, 781
von Klassen 777
 Instanz 747, 893
 Inzidenzmatrix 625
 iter_swap 1058
 Iteratoren 984

K

Kantentabelle 626
 Karnaugh-Veitch-Diagramm 113
 Keyword 271
 Kilobyte 140
 Klasse 746, 759, 893
abgeleitete Klasse 913
abstrakte Klasse 844
Aufbau 759
Basisklasse 913
Instantiierung 777

H

Hamiltonscher Weg 689
 Hashing 593
 Hashtabelle 594
Hashfunktion 595
Kollision 595
Synonymkette 595
 Hauptprogramm 43, 182
 Header-Datei 41, 186, 200, 294, 309
 Heap 413, 467

Klasse (Forts.)
 Vererbung 823
 virtuelle Basisklasse 920
 Zugriff von außen 904
 Zugriff von innen 907
Klassenhierarchie 750
Klassifizierungsfunktionen 204
Kombinationen mit Wiederholungen 320
Kombinationen ohne Wiederholungen
 318
Kombinatorik 315
Kombinatorische Algorithmen 324
Kommentar 49, 707
Kommutativgesetz 104
Komplementgesetz 104
Konfigurationsmanagement 36
Königsberger Brückenproblem 613
Konstante 278, 712
Konstante Member 899
Konstruktor 479, 772, 945
 Default-Konstruktor 780
Kontrollabstraktion 442
Kontrollstrukturen 295
Konvertierungsfunktionen 204
Kosten-Wege-Matrix 623
Kürzeste Wege 649

L

Label 301
Laufzeitanalyse
 Block 361
 Fallunterscheidung 357
 Schleife 355
Laufzeitfunktion 369
Laufzeitklassen 375
Laufzeitkomplexität 377
 exponentielle 381
 logarithmische 379
 polynomiale 379
Laufzeitsystem 197
Leistungsanalyse 352
 Bubblesort 420
 Heapsort 427
 Insertionsort 423
 Quicksort 425
 Selectionsort 421
 Shellsort 424
Leistungsmessung 364

Level-Order-Traversierung 557
lexicographical_compare 1072
LIFO-Prinzip 197
Linker 42
list 1014
Liste 471, 513, 530, 1014
 doppelt verkettete Liste 531
 einfach verkettete Liste 531
 Listenanfang 530
 Listenende 530
 logische Sicht 531
 Nachfolger 530
 physikalische Sicht 531
 Vergleich mit Array 532
 Vorgänger 530
Listenanker 471
Lokale Variablen 199
longjmp 977
lower_bound 1066
L-Wert 291

M

main 43, 293
make_heap 1070
Makros 305
malloc 466, 509
map 1045
Mathematische Funktionen 201
Mathematische Grundfunktionen 369
 ceiling 369
 Exponentialfunktionen 372
 floor 369
 Logarithmen 373
 Potenzfunktionen 371
Matrizenprodukt 635
max 1070
max_element 1070
Megabyte 140
Mehrdeutige Vererbung 752, 917
Mehrfachvererbung 751, 917
Member 759, 894
 Daten-Member 761, 895
 Funktions-Member 764, 896
 geschützte Member 760, 829, 936
 öffentliche Member 760
 private Member 760
 rein virtuelle Member-Funktion 844, 926
 statische Member 845, 900

Member (Forts.)
virtuelle Member-Funktion 841, 922
Zugriff auf Member 903
Mengen 1040
merge 1066
Message-Passing 755
Methode 744, 759
min 1070
min_element 1070
mismatch 1055
Modifikation von Zugriffsrechten 941
Modularisierung 181
multimap 1045
multiset 1040
mutable 703, 900

N

Nachricht 755
Namensraum std 740
Namensräume 732
namespace 703, 733
new 703, 782
new-Operator 782
next_permutation 1073
Nil-Zeiger 471
not 703
not_eq 703
nth_element 1065
Null-Zeiger 471

O

Objectfile 42
Objekt 744
Objektorientierte Programmierung 743
abstrakte Klasse 746
Aggregation 753
Attribut 744
dynamisches Binden 756
Generalisierung 749
instantierbare Klasse 746
Instantiierung 747
Instanz 747
Klasse 746
Klassenhierarchie 750
mehrdeutige Vererbung 752
Mehrfachvererbung 751
Message-Passing 755

Objektorientierte Programmierung
(Forts.)
Methode 744
Nachricht 755
persistente Attribute 745
Polymorphismus 756
Relation 754
Spezialisierung 749
transiente Attribute 745
Vererbung 748
wiederholte Vererbung 752
Oktaldarstellung 133
Operator 279, 704, 902
Adressoperator (&) 254
Äquivalenz 103
arithmetische Operatoren 47, 284
Assoziativität 280
Auswertungsoperatoren 287
Bit-Operatoren 147, 286
bitshift links (<<) 149
bitshift rechts (>>) 149
bitweises entweder oder (^) 149
bitweises Komplement (~) 148
bitweises oder (|) 148
bitweises und (&) 148
Cast-Operator 466
Class-Member-Zugriff 704
Datentyp-Operatoren 288
Dekrement-Operator 293
delete 704
delete-Operator 782
Dereferenzierungsoperator ()* 254, 503
Globalzugriff 704
Implikation 105
Indirektzugriff (->) 463, 504, 904
Infix-Notation 280
Inkrement-Operator 293
logische Operatoren 98, 285
new 704
new-Operator 782
nicht-Operator 100
nicht-Operator (!) 119
oder-Operator 101
oder-Operator (||) 119
Operatoren auf Klassen 788
Operatoren und Ausdrücke 289
Pointer to Member 966
Pointer to Member (.*)* 704
Pointer to Member (->)* 704

Operator (Forts.)
 Postfix-Notation 280
 Präfix-Notation 280
 Priorität 102, 280
 Scope Resolution 725
 sizeof-Operator 509
 Stelligkeit 280
 Strukturzugriff(.) 445, 503
 Überladen von Operatoren 728, 788
 und-Operator 101
 und-Operator (&&) 119
 Vergleichsoperatoren 49, 285
 Zugriff(.) 762
 Zugriffsoperator(.) 904
 Zugriffsoperatoren 286
 Zuweisungsoperator(=) 46
 Zuweisungsoperatoren 289
operator 703
or 703
or_eq 703

P

pair 1038
Parameter 182
Parametersignatur 726
partial 1065
partial_sort 1065
partial_sort_copy 1065
partition 1064
Performance-Analyse 367
Permutationen mit Wiederholungen 316
Permutationen ohne Wiederholungen
 317
Pointer 254
Pointer to Member 966
Polymorphe Klasse 928
Polymorphismus 756
pop_heap 1069
Postorder-Traversierung 552
Preorder-Traversierung 549
Preprozessor 302
Preprozessor-Direktiven 302
prev_permutation 1073
Prioritätswarteschlangen 1032
priority_queue 1032
private 703, 894, 904, 936, 940
Produkte 87
Programm 29

Programmabbruch 223
Programmcode 43
Programmdateien 308
Programmiersprache 29
 maschinenorientierte 30
 spezielle 30
 universelle 30
Programmrahmen 43
Projektplan 36
Projektplanung 36
protected 703, 894, 904, 936, 939
Prozessor 137
Prozesssteuerung 226
public 703, 894, 936, 937
push_heap 1069
putwchar 712

Q

Qualitätssicherung 37
Quellcode-Datei 41, 310
Queue 485, 558
 get 486
 put 486
queue 1030
Quicksort 407

R

random_shuffle 1064
Realisierung 35
realloc 466, 511
Referenz 717
 Initialisierung von Referenzen 720
 konstante Referenz 720
 Referenz auf Variablen 720
 Referenzen als Rückgabewert 718
 Referenzen in Funktionsschnittstellen 717
Rein virtuelle Funktion 927
Reinterpret Cast 715
reinterpret_cast 703
Rekursion 188, 196
Relationen 754, 1045
remove 1062
remove_copy 1062
remove_copy_if 1062
remove_if 1062
replace 1059
replace_copy 1060

replace_copy_if 1060
 replace_if 1059
 return-Anweisung 184, 293
 Returnwert 182
 reverse 1064
 reverse_copy 1064
 Review 36
 rotate 1064
 rotate_copy 1064
 Rückgabeparameter 182
 Rückgabewert 182
 Rücksprungadresse 198
 Runtime-Library
 abort 224
 abs 202
 acos 202
 asctime 225
 asin 202
 atan 202
 atan2 202
 atexit 224
 atof 204
 atoi 204
 atol 204
 bsearch 216
 calloc 225, 466, 510
 ceil 202
 clearerr 223
 clock 226
 cos 202
 cosh 202
 ctime 225
 difftime 225
 div 202
 exit 224
 exp 202
 fabs 202
 fclose 213
 feof 213
 ferror 213
 fflush 213
 fgetc 213
 fgetpos 213
 fgets 213
 floor 202
 fmod 202
 fopen 213
 fprintf 213
 fputc 213
 fputs 213
 fread 213
 free 225, 466, 510
 frexp 203
 fscanf 213
 fseek 213
 fsetpos 213
 ftell 213
 fwrite 213
 getc 213
 getchar 208
 getenv 226
 gets 208
 gmtime 225
 isalnum 204
 isalpha 204
 iscntrl 204
 isdigit 205
 isgraph 205
 islower 205
 isprint 205
 ispunct 205
 isspace 205
 isupper 205
 isxdigit 205
 labs 202
 ldexp 203
 ldiv 202
 localtime 225
 log 203
 log10 203
 longjmp 220
 malloc 225, 466, 509
 memchr 225
 memcmp 225
 memcpy 225
 memmove 225
 memset 225
 mktime 225
 modf 203
 perror 223
 pow 203
 printf 208
 putc 213
 putchar 208
 puts 208
 qsort 216
 raise 226

Runtime-Library (Forts.)
rand 203
realloc 225, 466, 511
remove 213
rename 213
rewind 213
scanf 206, 208
setbuf 213
setjmp 220
setvbuf 213
signal 226
sin 203
sinh 203
sprintf 206
sqrt 203
srand 203
strcat 206
strchr 206
strcmp 206
strcpy 206
strcspn 207
strerror 223
strlen 207
strncat 207
strncmp 207
strncpy 207
strpbrk 207
 strrchr 207
strspn 207
strstr 207
strtod 205
strtok 207
strtol 205
strtoul 205
system 226
tan 203
tanh 203
time 225
tmofile 214
tmpnam 214
toascii 205
tolower 205
toupper 205
ungetc 214
va_arg 216
va_end 216
va_start 216
vfprintf 219
vprintf 219

Runtime-Library (Forts.)
vsprintf 219
R-Wert 291

S

Schleife 298
Initialisierung 54
Inkrement 55
Kopf 55
Körper 55
Test 54
Schlüsselwörter 271, 703
and 703
and_eq 703
bitand 703
bitor 703
bool 703
catch 703
class 703
compl 703
const_cast 703
delete 703
dynamic_cast 703
explicit 703
export 703
false 703
friend 703
inline 703
mutable 703
namespace 703
new 703
not 703
not_eq 703
operator 703
or 703
or_eq 703
private 703
protected 703
public 703
reinterpret_cast 703
static_cast 703
template 703
this 703
throw 703
true 703
try 703
typeid 703
typename 703

Schlüsselwörter (Forts.)
using 703
virtual 703
wchar_t 703
xor 703
xor_eq 703
Schnittstelle 182, 293
search 1054
search_n 1054
Seiteneffekt 182, 187
Selectionsort 398
set 1040
set_difference 1068
set_intersection 1068
set_symmetric_difference 1068
set_union 1068
setjmp 977
Shellsort 403
sizeof-Operator 509
sort 1065
sort_heap 1070
Sortierverfahren 395, 434
Bubblesort 396
Distributionsort 435
Heapsort 412
Insertionsort 401
Leistungsanalyse 418
Quicksort 407
Selectionsort 398
Shellsort 403
Vergleich und Bewertung 428
Speicherfunktionen 225
Spezialisierung 749
Sprunganweisung 300
Springleisten 296
stable_partition 1064
stable_sort 1065
Stack 197, 480, 553
pop 197, 480
push 197, 480
stack 1027
Stackpointer 197
Stacks 1027
static 845
Static Cast 714
static_cast 703
Statische Objekte 943

Statische Variablen 199
string 987
Stringbearbeitung 206
Strings 161, 987
struct-Anweisung 444, 497
Suchen und Sortieren 216
Suffix 272
Summen 80
swap 1058
swap_ranges 1058
Symbolische Konstanten 303
Systemanalyse 35, 37
Systementwurf 35, 37

T

Tastatureingabe 796
Tautologie 104
Template 970
template 703
Terabyte 140
this 703
this-Pointer 799, 910
throw 703, 978
transform 1053
Travelling Salesman Problem 692
Traversierung 547
true 703
try 703, 978
type_info 928
typeid 703, 928
typename 703
Typumwandlungen 713
Typvereinbarungen 515

U

Überdeckungsanalyse 366
Überladen von Funktionen 726
Überladen von Operatoren 728
union-Anweisung 451, 505
unique 1062
unique_copy 1062
Unterprogramm 182
Upcast 931
upper_bound 1066
using 703, 737

V

Variable Anzahl von Argumenten 216
Variablen 45, 274
 automatische Variablen 277
 Definition von Variablen 716
 Externverweis 200
 globale statische Variablen 277
 globale Variablen 187, 199, 277
 Initialisierung von Variablen 276
 lokale statische Variablen 277
 lokale Variablen 199, 276
 Register-Variablen 277
 statische Variablen 199
Variablendefinitionen 43
Variablendeklarationen 266
vector 1005
Vereinigungssuche 644
Vererbung 748, 823, 913
 Einfachvererbung 832, 913
 mehrdeutige Vererbung 917
 Mehrfachvererbung 833, 917
 Modifikation von Zugriffsrechten 941
 wiederholte Vererbung 918
 Zugriffsschutz 935
 Zugriffsspezifikation 936
Verfahren von Warshall 637
Verschmelzungsgesetz 104
Virtual 703, 842
Virtuelle Basisklasse 920
Virtuelle Destruktoren 925
Virtuelle Funktion 923
Virtuelle Member-Funktionen 841
vollständiger Baum 571
Vorgehensmodell 35

W

Wahrheitstafel 100
Warteschlangen 1030
wchar_t 703, 711
wcscat 712
wcscmp 712
wcscpy 712

wcslen 712
Wegematrix 634
while-Anweisung 299
Wide Character 711
Wiederholte Vererbung 752
wprintf 712
wscanf 712
Wurzel 620
Wurzelbaum 620

X

xor 703
xor_eq 703

Z

Zahlen
 Dezimalzahlen 131, 272
 Dualzahlen 131
 ganze Zahlen 44, 129
 Gleitkommazahlen 44, 142
 Hexadezimalzahlen 134, 272
 Oktalzahlen 133, 272
Zahlendarstellungen 129
Zahlenfolge 73
 explizite Definition 73
 induktive Definition 74
Zeichen 273
 Bildschirm-Steuerzeichen 144
 druckbares Zeichen 143
 nicht druckbares Zeichen 143
Zeichenkette 161, 273, 279
 Länge berechnen 166
 Terminator 161
 Zeichenkette kopieren 165
 Zeichenketten vergleichen 165
Zeichensatz 143
Zeiger 254, 463
Zeigerarithmetik 257
Zeigervariable 254
Zeit-Funktionen 225
Zusammenhangskomponente 641
Zweierkomplement 138