magnum
C++

Unser Online-Tipp
für noch mehr Wissen ...

... aktuelles Fachwissen rund
um die Uhr – zum Probelesen,
Downloaden oder auch auf Papier.

www.InformIT.de

PEARSON Education

Markt+Technik

magnum

C++

WALTER SAUMWEBER

Markt+Technik

kompakt
komplett
kompetent

eBook

Die nicht autorisierte Weitergabe dieses eBooks an Dritte ist eine Verletzung des Urheberrechts!

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Die Informationen in diesem Buch werden ohne Rücksicht auf einen eventuellen Patentschutz veröffentlicht.
Warennamen werden ohne Gewährleistung der freien Verwendbarkeit benutzt.
Bei der Zusammenstellung von Texten und Abbildungen wurde mit größter Sorgfalt vorgegangen.
Trotzdem können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden.
Verlag, Herausgeber und Autoren können für fehlerhafte Angaben und deren Folgen weder eine juristische Verantwortung noch irgendeine Haftung übernehmen.
Für Verbesserungsvorschläge und Hinweise auf Fehler sind Verlag und Herausgeber dankbar.

Alle Rechte vorbehalten, auch die der fotomechanischen Wiedergabe und der Speicherung in elektronischen Medien.

Fast alle Hardware- und Softwarebezeichnungen, die in diesem Buch erwähnt werden, sind gleichzeitig auch eingetragene Warenzeichen oder sollten als solche betrachtet werden.

Umwelthinweis:
Dieses Buch wurde auf chlorfrei gebleichtem Papier gedruckt.

10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

05 04 03

ISBN 3-8272-6533-9

© 2003 by Markt+Technik Verlag,
ein Imprint der Pearson Education Deutschland GmbH,
Martin-Kollar-Straße 10–12, D-81829 München/Germany
Alle Rechte vorbehalten
Coverkonzept: independent Medien-Design, Widenmayerstraße 16, 80538 München
Coverlayout: Sabine Krohberger
Lektorat: Rainer Fuchs, rfuchs@pearson.de
Herstellung: Elisabeth Egger, eegger@pearson.de
Layout und Satz: Michael und Silke Maier, Ingolstadt (www.magus-publishing.de)
Druck und Verarbeitung: Kösel, Kempten, www.KoeselBuch.de
Printed in Germany

Quickview

Teil 1 Grundlagen

Der Anfang des ersten Teils soll vor allem dem Programmierneuling zu einem leichten Einstieg in die Thematik verhelfen. Es wird zunächst auf allgemeine Aspekte der Programmierung eingegangen, welche mehr oder weniger für alle Programmiersprachen gelten. In diesem Zusammenhang werden Sie mit wesentlichen Fachbegriffen wie z.B. Maschinencode, Compiler, Entwicklungsumgebung (IDE), Quellcode, usw. bekannt gemacht, die dann im weiteren Verlauf des Buches als bekannt gelten sollen. Im Anschluss daran erhalten Sie eine Anleitung zur Installation und Verwendung der benötigten Software. Zum Abschluss dieses Teils werden Sie ein erstes kleineres C++-Programm erstellen und ausführen.

Teil 2 Das C++-ABC

In diesem Teil mache ich Sie mit den elementaren Sprachelementen von C++ vertraut. Dazu zählen beispielsweise Variablen, Konstanten, Arrays, Schleifen, Verzweigungsanweisungen sowie eine Reihe von Operatoren. Die Gesamtheit der in diesem Teil vorgestellten Konzepte bildet gewissermaßen das A und O der Programmierung. Das heißt, die hier beschriebenen Inhalte kommen in mehr oder weniger ähnlicher Form in nahezu jeder Programmiersprache vor (wobei diese Features in nichtobjektorientierten Programmiersprachen in der Regel nicht das »ABC«, sondern eben das »A und O« darstellen). In Kapitel 21 »Funktionen« erfahren Sie, wie man Programme modularisiert, das heißt, den Quellcode auf mehrere Dateien verteilt. Die Programmierung eines Lottospiels schließt diesen Teil ab – wobei das bis dahin Gelernte auf praxisnahe Weise verdeutlicht werden soll.

Teil 3 Einführung in die objektorientierte Programmierung

Im dritten Teil werden Ihnen die wesentlichen Konzepte der objektorientierten Programmierung vorgestellt; als Schlagwörter seien Klassen, Objekte, Methoden und Eigenschaften genannt. Insbesondere möchte ich Ihnen die Philosophie der objektorientierten Programmierung näher bringen. Während in der funktionalen Programmierung Daten und Funktionen systematisch voneinander getrennt sind, erlaubt es das Konzept der objektorientierten Programmierung – kurz OOP genannt –, diese miteinander zu verknüpfen und damit als Einheit zu behandeln. In Kapitel 27 »Dateioperationen« erfahren Sie, was zu tun ist, damit C++-Programme in Textdateien schreiben bzw. aus diesen lesen können.

Teil 4 Fortgeschrittene Programmierkonzepte

In diesem letzten Teil möchte ich Ihnen einige Themen mit fortgeschrittenem Anspruch vorstellen. Speziell in den Bereich der objektorientierten Programmierung fallen darunter Vererbung sowie das Überladen von Operatoren. Zunächst geht es um die Direktiven des Programmierers an den Präprozessor, der den Quelltext vor der Übersetzung in Maschinencode überarbeitet (Kapitel 28). Das folgende Kapitel befaßt sich mit Zeigervariablen oder kurz Zeigern, mit deren Hilfe Sie u.a. Speicherplatz dynamisch anfordern können. Kapitel 30 heißt »Referenzen«, im Gegensatz zu Zeigern, die C++ von C geerbt hat, eine Neuerwerbung der Programmiersprache. Das Thema Vererbung und alle seine Aspekte steht im Mittelpunkt von Kapitel 31. Mit den Themen »Überladen von Operatoren« (Kapitel 32) und »Ausnahmebehandlung« (Kapitel 33) schließen wir den Textteil des Buches ab.

Im **Anhang** finden Sie eine kurze Bestandsaufnahme der Begleit-CD dieses Buches, Tabellen zu Schlüsselwörtern und Operatoren in C++ sowie ein Glossar.

Inhaltsverzeichnis

Quickview **5**

Liebe Leserin, lieber Leser **13**

Teil 1 Grundlagen **15**

1 Was ist Programmieren? **17**

1.1 Was ist eigentlich ein Computerprogramm? 17
1.2 Entwicklungsschritte zum ausführbaren Computerprogramm 20
1.3 Was versteht man unter einer IDE? 23
1.4 Was sind Konsolenprogramme? 24

2 Welchen Compiler sollten Sie verwenden? **29**

2.1 Wie finde ich einen passenden Compiler? 29
2.2 Installation des Visual C++-Compilers 31
2.3 Installation der Online-Hilfe 35

3 Erste Schritte mit dem Visual C++-Compiler **39**

3.1 Was für einen Editor sollten Sie verwenden? 39
3.2 Quellcodedatei anlegen unter Visual C++ 40
3.3 Mit der Online-Hilfe arbeiten 47

4 Ihr erstes C++-Programm **49**

4.1 Die Lösung vorweggenommen 49
4.2 Von Anfang an 53

5 Kompilieren und Ausführen von C++-Programmen **61**

5.1 Kompilierung unter Visual C++ 61
5.2 Verwendung eines Kommandozeilen-Compilers 64
5.3 Ausführung über den Windows-Explorer 69
5.4 Was ist beim Editieren, Kompilieren und Ausführen von weiteren Programmen zu beachten? 70

6 Über Programm(ier)fehler **73**

6.1 Unterscheidung der verschiedenen Fehlerarten 73
6.2 Fehlermeldungen »aus Compilersicht« 76
6.3 Historisches 77

Teil 2 Das C++-ABC ... **81**

7 Kommentare ... **83**
7.1 Einzeilige Kommentare ... 83
7.2 Mehrzeilige Kommentare ... 85
7.3 Einsatz von Kommentaren bei der Fehlersuche ... 88

8 Syntaxregeln ... **91**
8.1 Textbausteine ... 91
8.2 Anweisungsende ... 92
8.3 Blöcke ... 93
8.4 Leerräume ... 96
8.5 Programmierstil ... 99

9 Ausgabe mit cout ... **101**
9.1 Datenströme ... 101
9.2 C++ unterscheidet zwischen verschiedenen Datentypen ... 101
9.3 Ausgabeeinheiten aneinander hängen ... 104
9.4 Manipulatoren ... 107

10 Steuerzeichen ... **111**
10.1 Die Escape-Sequenzen \", \' und \\ ... 111
10.2 ASCII-Code ... 113
10.3 Darstellung von Zeichen mittels Escape-Sequenzen ... 117
10.4 Das Steuerzeichen \n ... 120
10.5 Weitere Steuerzeichen ... 121

11 Variablen ... **125**
11.1 Variablen deklarieren ... 125
11.2 Regeln zur Bezeichnerwahl ... 127
11.3 Zuweisung ... 129
11.4 Das Objekt cin ... 139
11.5 Dreieckstausch ... 142

12 Ausdrücke und Operatoren ... **145**
12.1 Was ist ein Ausdruck? ... 145
12.2 Arithmetische Operatoren ... 149
12.3 Zusammengesetzte Zuweisungsoperatoren ... 151
12.4 Inkrement- und Dekrementoperatoren ... 153
12.5 Priorität von Operatoren ... 156

13 Zahlen mit Nachkommastellen ... **161**
13.1 Die Datentypen double und float ... 161
13.2 Literale zur Darstellung von Zahlen mit Nachkommastellen ... 163
13.3 Ein Programm zur Berechnung der Mehrwertsteuer ... 166
13.4 Konstanten mit const deklarieren ... 170

14 Ausgabe mit Manipulatoren formatieren ... 175
14.1 Standardeinstellungen ... 175
14.2 Die Manipulatoren setiosflags() und resetiosflags() ... 181
14.3 Die Manipulatoren fixed und scientific ... 187
14.4 setprecision() ... 188
14.5 Feldbreite setzen ... 193

15 Datentypen ... 199
15.1 Welche Datentypen gibt es noch? ... 199
15.2 Literale ... 205

16 Typumwandlungen ... 211
16.1 Implizite Typumwandlungen ... 211
16.2 Wann gehen bei der Konvertierung Informationen verloren? ... 216
16.3 Welchen Datentyp hat ein bestimmter Ausdruck? ... 217
16.4 Explizite Typumwandlungen ... 226

17 Verzweigungen ... 229
17.1 Logische Ausdrücke ... 229
17.2 Die if-Anweisung ... 237
17.3 Die switch-Anweisung ... 250
17.4 Bedingungsoperator ... 259
17.5 Zufallszahlen auslosen ... 261

18 Wiederholungsanweisungen ... 267
18.1 Die while-Schleife ... 267
18.2 Die do while-Schleife ... 274
18.3 Die for-Schleife ... 276
18.4 Die Anweisungen break und continue ... 283
18.5 Gültigkeitsbereich von Variablen ... 285

19 Arrays ... 295
19.1 Deklaration von Arrays ... 295
19.2 Mit Arrays arbeiten ... 296
19.3 Arrays in for-Schleifen durchlaufen ... 298
19.4 Initialisierung von Arrays ... 300
19.5 Mehrdimensionale Arrays ... 303

20 Strings ... 307
20.1 Wie Zeichenketten dargestellt werden ... 307
20.2 Arrays und Adressen ... 309
20.3 Funktionen zur Stringverarbeitung ... 318
20.4 string-Variablen ... 323

21 Funktionen ... 327
21.1 Funktionen definieren und aufrufen ... 327
21.2 Funktionsprototypen ... 332

21.3 Funktionsparameter ... 339
21.4 Rückgabewerte von Funktionen ... 347
21.5 Überladen von Funktionen ... 352
21.6 Rekursionen ... 354
21.7 inline-Funktionen ... 356
21.8 Globale Variablen ... 357

22 Eine Funktionsbibliothek ... 361
22.1 Funktion ArrMinIndex() ... 361
22.2 Funktion sortiereArr() ... 364
22.3 Funktion doppelte() ... 367

23 Ein Lottospiel ... 371
23.1 Im Programm Lottozahlen auslosen ... 371
23.2 Tippen ... 374
23.3 Gewinnanzeige ... 376

Teil 3 Einführung in die objektorientierte Programmierung ... 381

24 Strukturen ... 383
24.1 Strukturen definieren ... 383
24.2 Auf die Komponenten von Strukturen zugreifen ... 388
24.3 Ausblick ... 393

25 Klassen und Objekte ... 395
25.1 Methoden ... 395
25.2 Zugriffsspezifizierer ... 405
25.3 Konstruktoren und Destruktoren ... 411
25.4 Was es mit Namensräumen auf sich hat ... 419

26 Statische Elemente einer Klasse ... 423
26.1 Statische Attribute ... 423
26.2 Statische Methoden ... 426

27 Dateioperationen ... 435
27.1 In Textdateien schreiben ... 435
27.2 Aus Textdateien lesen ... 441

Teil 4 Fortgeschrittene Programmierkonzepte . 453

28 Präprozessor-Direktiven ... 455
28.1 #include ... 455
28.2 Symbolische Konstanten mit #define vereinbaren ... 456
28.3 Bedingte Kompilierung ... 457

29 Zeiger **461**
29.1 Der Adressoperator (&) 461
29.2 Zeigervariablen deklarieren und verwenden 462
29.3 Zeiger als Parameter von Funktionen 472
29.4 Zeiger als Klassenelemente 473
29.5 Der this-Zeiger von Methoden 475
29.6 Speicherplatz dynamisch anfordern 477

30 Referenzen **493**
30.1 Was sind Referenzen? 493
30.2 Referenzen als Parameter von Funktionen 495
30.3 Referenzen als Rückgabewerte von Funktionen 497

31 Vererbung **499**
31.1 Klassen von Basisklassen ableiten 499
31.2 Zugriff auf die geerbten Elemente einer Basisklasse 500
31.3 Überschreiben von Methoden 510

32 Überladen von Operatoren **515**
32.1 Welche Operatoren lassen sich überladen? 515
32.2 Definition von Operatormethoden 516

33 Ausnahmebehandlung **535**
33.1 try – catch 535
33.2 Auffangen von Ausnahmen im Aufrufer 542

A Anhänge **545**
A.1 Die CD-ROM zum Buch 545
A.2 Schlüsselwörter in C++ 546
A.3 Prioritätsreihenfolge der C++-Operatoren 547

B Glossar **551**

Stichwortverzeichnis **557**

Liebe Leserin, lieber Leser

Vielen Dank, dass Sie sich für dieses Buch entschieden haben. Es sollte Ihnen dazu verhelfen, auf möglichst angenehme Weise ein gutes Stück Weg in der Welt der Programmierung im Allgemeinen und in der von C++ im Besonderen hinter sich zu bringen. Allerdings ist wie bei den meisten Dingen im Leben auch hierzu etwas Geduld erforderlich. Gerade dem programmierunerfahrenen Leser sei es deshalb nahe gelegt, diese aufzubringen, auch wenn ihm die ersten Kapitel möglicherweise etwas langweilig erscheinen werden (dem Fortgeschrittenen steht es natürlich frei, an einer späteren Stelle mit dem Lesen zu beginnen).

Ich habe mich grundsätzlich bemüht, die Lerninhalte mit möglichst vielen prägnanten, aber einfachen Beispielen zu verdeutlichen. Die Lektüre dieses Buches sollte daher auch ohne unmittelbaren Rechnerkontakt möglich sein (ich selbst gehöre zu den Leuten, die nicht gerne am Computer sitzen, wenn sie ein Buch lesen). Praktische Übung, zumindest im Nachhinein, ist natürlich immer anzuraten.

Eine Autorenversion des Visual C++-Compilers in der Version 6.0 – Software zum Kompilieren und Ausführen von C++-Programmen – wird Ihnen auf der Buch-CD zur Verfügung gestellt. Sie befindet sich dort im Verzeichnis *InstallVC6*. Die Installation einschließlich der Onlinedokumentation wird in Kapitel 2 Schritt für Schritt erklärt. Eine für den Anfang gedachte Beschreibung des Compilers folgt in Kapitel 3. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass Sie genauso gut jeden anderen aktuellen Compiler verwenden können.

Die Listings der Beispiele finden Sie auch auf der Buch-CD, geordnet nach Kapiteln, im Verzeichnis *Listings*, sodass Sie diese bei Bedarf per Copy&Paste in Ihren Editor übertragen können (zu jedem der entsprechenden Kapitel existiert ein *.rtf*-Dokument, also *Kapitel_4.rtf*, *Kapitel_5.rtf* usw.).

Auf die Abhandlung einiger Fortgeschrittenen-Themen wie beispielsweise Templates habe ich bewusst – wenn auch nicht ganz ohne schlechtes Gewissen – verzichtet. Als Gegenleistung sollte der Leser eine gut verständliche Darstellung der behandelten Themen in Händen halten (da diese Beurteilung letzten Endes immer auf persönlicher Einschätzung beruht, möchte ich hiermit der Hoffnung Ausdruck geben, dass mir dies gelungen ist).

Und nun viel Spaß bei der Beschäftigung mit der Programmiersprache C++.

Genau wie ich ist auch der Verlag Markt+Technik daran interessiert, Ihnen die optimale Information zum Thema zu bieten. Scheuen Sie sich deshalb nicht, uns über Fehler und andere Ärgernisse zu informieren. Nur so können wir laufend an der Verbesserung dieses Buches arbeiten. Aber auch Lob, Erfolgserlebnisse und Ihre Ergebnisse interessieren uns. Schreiben Sie uns daher unter *walter.saumweber@mut.de*, und Ihre Mail liegt sowohl dem Verlag wie mir vor.

Walter Saumweber

Bedeutung der im Buch verwendeten Symbole

HINWEIS

Bei diesem Symbol erhalten Sie zusätzliche Informationen und wichtige Hinweise auf Zusammenhänge.

ACHTUNG

Weist auf Dinge hin, bei denen Vorsicht geboten ist bzw. deren Nichtbeachtung in der Regel unerwünschte Folgen nach sich zieht.

TIPP

Empfehlungen, die Ihnen die Arbeit erleichtern sollen.

CD–ROM

Verweist auf Quell-, Text- oder ausführbare Dateien, die dem Leser auf der Buch-CD zur Verfügung stehen. Im Übrigen finden Sie dort alle kompilierbaren Listings im Verzeichnis *Listings*.

magnum

Teil 1

Grundlagen

Dieser einführende Teil soll Ihnen den Einstieg in die Programmierung erleichtern. Bevor wir uns speziell mit der Programmiersprache C++ befassen, werden wir zunächst auf allgemeine Aspekte der Programmierung eingehen. Insbesondere werden Sie mit Fachbegriffen bekannt gemacht, die Ihnen im weiteren Verlauf des Buches immer wieder begegnen werden. Im Anschluss daran werden wir ein erstes kleines C++-Programm erstellen und ausführen, wobei Sie einige Hilfestellungen zur verwendeten Software erhalten.

1 Was ist Programmieren?

»… sich um das Entstehen einer ausführbaren Datei zu kümmern.« Diese einfache Antwort ist nahe liegend, da das Endprodukt jeder erfolgreichen Programmentwicklung in einer solchen (ausführbaren Datei) besteht.

Eine ebenso lapidare – und auch mehr oder weniger korrekte – Erwiderung würde lauten: »Programmieren bedeutet, Text in einen Editor einzugeben.«

HINWEIS

Die eigentliche Schwierigkeit liegt natürlich darin, dies syntaktisch und logisch korrekt, effizient und auch für andere Programmierer nachvollziehbar zu tun (Letzteres wird beim Modifizieren von Programmen bedeutsam). Was das alles genau bedeutet, werden wir im Weiteren sehen.

Da eine Textdatei eben nicht ausführbar ist, scheint die zweite Aussage im Widerspruch zur ersten zu stehen. Lassen Sie uns die Klärung mit einer weiteren Frage einleiten.

1.1 Was ist eigentlich ein Computerprogramm?

Ein ausführbares Programm enthält Befehle, die vom Computer ausgeführt werden. Die Reihenfolge der Abarbeitung ist dabei durch die Kodierung der Programmdatei festgelegt.

HINWEIS

Die Begriffe »Programmdatei«, »ausführbare Datei«, »Programm« und »ausführbares Programm« werden gleichbedeutend verwendet. Es handelt sich um solche Dateien, die vom Computer zur Ausführung vorgesehen sind. Dies trifft z.B. für Text- oder Grafikdateien nicht zu.

Zu den Begriffen »Programm« sowie »ausführbares Programm« werden bezüglich dieser Definition später noch gewisse Einschränkungen zu nennen sein, die aber hier keine Rolle spielen.

Programmdateien können auf verschiedene Weise zur Ausführung gelangen. Möglich ist ein Aufruf aus bereits laufenden anderen Programmen heraus: Programm A startet Programm B (dieses wiederum Programm C usw.). Einige Programme werden vom Betriebssystem automatisch beim Start des Computers in Gang gesetzt.

Am anschaulichsten geschieht dies jedoch durch einen expliziten Startbefehl des Anwenders – durch einen Doppelklick auf die Programmdatei im Windows-Explorer, mithilfe einer Verknüpfung (Desktop, Startmenü) oder über einen Befehl in der Konsole (die bei DOS und Windows als »Eingabeaufforderung« bezeichnet wird).

Wenn Sie beispielsweise mit dem Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft Excel arbeiten möchten, werden Sie dieses vermutlich über einen Eintrag im Startmenü oder mittels eines Symbols auf dem Desktop aufrufen. Da es sich bei beiden um Verknüpfungen zur entsprechenden Programmdatei handelt, wird diese damit gestartet. Der Name der Excel-Programmdatei lautet übrigens *excel.exe*. Sie befindet sich in der Regel im Verzeichnis `C:\Programme\Microsoft Office\Office`.

ACHTUNG

Für alle Pfadangaben in diesem Buch gilt: Falls sich bei Ihnen die Dateien bzw. Verzeichnisse auf einem anderen Laufwerk befinden, ersetzen Sie den Laufwerksbuchstaben `C` durch den jeweiligen Buchstaben.

Eine Programmdatei wird in den meisten Betriebssystemen an der Dateierweiterung erkannt. Die am häufigsten anzutreffende Erweiterung von ausführbaren Dateien unter Windows und DOS ist *.exe*. Bei Unix und Unix-Derivaten wie Linux weisen ausführbare Dateien die Erweiterung *.out* auf oder haben keine Erweiterung.

Auch die Resultate Ihrer zukünftigen Bemühungen werden sich vor allem in *.exe*-Dateien zeigen (vorausgesetzt, Sie arbeiten mit einem Windows-Betriebssystem).

Wenn also Ihr Computer auf eine Datei mit der Erweiterung *.exe* trifft, wird er versuchen, den Inhalt dieser Datei als Befehlsfolge zu verstehen und auszuführen. Wenn dieser Versuch misslingt, wird er dies mit einer Fehlermeldung kundtun.

HINWEIS

Genau genommen ist es der Prozessor Ihres Computers, der die Datei zu interpretieren versucht, und der Mittler zwischen Programmdatei und Prozessor ist das Betriebssystem. Mit anderen Worten, das Betriebssystem reicht *.exe*-Dateien an den Prozessor des Computers zur Ausführung weiter.

Was hier am Beispiel von *.exe*-Dateien geschildert wird, gilt natürlich in Abhängigkeit vom Betriebssystem ebenso für bestimmte andere Dateierweiterungen – wie oben erwähnt.

Angenommen, Sie würden eine Textdatei beliebigen (!) Inhalts editieren und diese mit der Erweiterung *.exe* speichern. Auf einen entsprechenden Startbefehl hin würde Ihr Computer auch diese Datei als Programmdatei ansehen. Bleibt die Hoffnung, dass in diesem Fall alle Interpretationsversuche fehlschlagen, andernfalls würde das nicht vorhersehbare Aktionen zur Folge haben. Es verhält sich dann so, als ob ein Spanier einem Italiener in der irrigen Annahme, es handle sich um einen Landsmann, Anweisungen erteilt, die gewählten Worte auch im Italienischen vorkommen, nur eben in ganz anderer Bedeutung.

HINWEIS

Aus dem genannten Grund handelt es sich um keinen wirklich ernst gemeinten Vorschlag. Möglicherweise interpretiert Ihr Computer eine Zeichenfolge als »Lösche … «. Ich empfehle Ihnen also, von solchen Experimenten abzusehen und mir auch so zu glauben.

Eine Programmdatei ist somit nur dann ausführbar (und verdient auch nur in diesem Fall, so genannt zu werden), wenn die in ihr enthaltenen Befehle vom Computer verstanden werden können. Das setzt voraus, dass sie in der Sprache des Computers, der so genannten Maschinensprache, abgefasst sind.

Befehle in Maschinencode sind binärkodiert, das heißt, sie liegen als Folge von Nullen und Einsen vor:

```
011010101001010101011100010111 00
101010101101011001011001111010 11
001010001101011101011001001010 10
```

Der offensichtliche Nachteil von Maschinencode liegt in der schlechten Lesbarkeit. Er lässt sich kaum sinnvoll strukturieren und ist somit nur schwer nachvollziehbar. Hinzu kommt, dass sich Maschinenbefehle nur schwer aus dem Gedächtnis reproduzieren lassen. Alles zusammengenommen gestaltet sich die Entwicklung eines Programms auf diese Weise sehr schwierig, ganz zu schweigen von einer eventuellen späteren Überarbeitung.

Wie viel erfreulicher wäre es, wenn ein Computer etwa folgendermaßen kodierte Anweisungen akzeptieren würde:

```
Nimm eine Eingabe des Anwenders entgegen.
Prüfe, ob die Eingabe als Zahlenwert interpretierbar ist.
Falls nicht, schreibe die Zeichenfolge "Falsche Eingabe" auf den
Bildschirm.
…
```

Nun, ganz so einfach ist es leider nicht (andernfalls würden Sie dieses Buch nicht lesen). Allerdings lassen sich Wortschatz und Grammatik moderner Programmiersprachen wie C++ etwa auf einem Niveau zwischen Maschinensprache und dieser gedachten Variante ansiedeln, was die Sache schon sehr viel angenehmer macht.

HINWEIS

Es sei angemerkt, dass nahezu alle Programmiersprachen sich angloamerikanischer Begriffe bedienen.

In gewisser Weise erscheint eine Programmiersprache wie C++ sogar eleganter und unkomplizierter als jede Umgangssprache, da sie über geeignete Schlüsselwörter und Zeichen verfügt, mit denen sich extrem präzise das formulieren lässt, was man erreichen möchte – Konfusionen wie in der Alltagssprache sind ausgeschlossen.

1.2 Entwicklungsschritte zum ausführbaren Computerprogramm

Welche Verbindung besteht nun zwischen der unvermeidbaren Maschinensprache (nur diese versteht ja der Computer!) und der Programmiersprache C++? Um dies aufzuzeigen, wollen wir in aller Kürze die Entwicklungsstationen zum fertigen Programm skizzieren, und zwar von Anfang an.

1.2.1 Aufsetzen des Quellcodes

Ursprung jeder fertigen Anwendung ist der so genannte Quellcode. Dieser besteht aus reinem Text, setzt sich also aus Buchstaben, Zahlen und anderen Zeichen zusammen, die Ihnen von der Tastatur Ihres PCs her bekannt sein dürften. Der Quellcode (englisch »source code«) wird daher auch als »Quelltext« bezeichnet. Vor allem, wenn man nur einen Teil des Quellcodes meint, spricht man auch kurz von »Code«.

Die Hauptaufgabe für Sie als Programmierer besteht in der Erstellung dieses Quellcodes. Dazu müssen Sie diesen, wie eingangs erwähnt, in einen Editor eingeben, wobei Sie den Vorgaben der verwendeten Programmiersprache unterworfen sind. Eben das Erlernen dieser Vorgaben – oder positiv ausgedrückt: Möglichkeiten – der Programmiersprache C++ bildet das Thema dieses Buches.

HINWEIS

Die Bezeichnung »Programm« wird – je nach Sichtweise – nicht nur für die fertige Anwendung, sondern mitunter auch für den – noch nicht lauffähigen – Quellcode verwendet. Während der Anwender unter »Programm« in der Regel die ausführbare Applikation versteht, meint der Programmierer mit dieser Bezeichnung häufig in erster Linie den von ihm verfassten Quellcode.

1.2.2 Kompilierung

Nichtsdestotrotz ist es letzten Endes erforderlich, dass die ausführbare Programmdatei in Maschinensprache vorliegt. Es muss also eine binärkodierte Entsprechung des C++-Quellcodes hergestellt werden. Das heißt nichts anderes, als dass der Quelltext in Maschinensprache zu übersetzen ist. Dies besorgt eine Software, der so genannte Compiler.

Der Compiler übersetzt (kompiliert) den Quellcode als Ganzes in Maschinensprache und speichert das Endprodukt in einer eigenen Datei (eben unter Windows mit der Dateierweiterung *.exe*). Dies geschieht in verhältnismäßig kurzer Zeit und ohne Ihr weiteres Zutun. Da es sich beim Compiler ebenfalls um ein Computerprogramm handelt, müssen Sie dieses lediglich starten.

Allerdings sind auch Compiler keine Multitalente. Sie unterscheiden sich in Abhängigkeit sowohl von der Programmiersprache als auch vom System, für das die zukünftige Anwendung bestimmt ist. So ist etwa ein C++-Compiler nicht in der Lage, einen in einer anderen Programmier-

sprache wie Pascal geschriebenen Quellcode zu übersetzen. Dazu bedarf es eines Compilers, der die Sprache Pascal versteht, wie z.B. Turbo Pascal. Da wir ja C++-Programme schreiben wollen, liegen wir jedoch mit einem C++-Compiler völlig richtig.

Aber auch ein unter Windows kompiliertes C++-Programm ist z.B. auf Unix-Systemen nicht lauffähig. Das zeigt sich schon daran, dass, wie oben erwähnt, ausführbare Dateien in Unix-Betriebssystemen andere Dateierweiterungen besitzen als z.B. *.exe*. Wenn Sie also ein entsprechendes Linux-Programm erzeugen möchten, dann müssen Sie denselben Quelltext unter einem für diese Plattform vorgesehenen C++-Compiler erneut kompilieren.

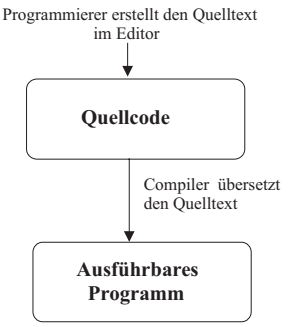
HINWEIS

Dass dies überhaupt möglich ist, ist keineswegs selbstverständlich. In den Urzeiten der Programmierung war es nicht die Regel, dass ein in einer bestimmten Programmiersprache verfasster Quelltext auf mehreren Betriebssystemen kompilierbar war. Wenn ein Quelltext auf mehreren Systemen kompiliert werden kann, sagt man: Er (bzw. die entsprechende Programmiersprache) ist portierbar. Die Portierbarkeit von Programmiersprachen hat sich erst in den Achtzigerjahren zum Standard entwickelt.

Natürlich verrichtet der Compiler seine Arbeit nur dann, wenn der Quelltext syntaktisch korrekt ist, ansonsten quittiert er den Kompilierversuch mit entsprechenden Fehlermeldungen. In diesem Fall müssen Sie den Quellcode nochmals überarbeiten und den Kompiliervorgang erneut in Gang setzen.

Nach erfolgreichem Übersetzungsvorgang liegt das Programm nunmehr in seiner ausführbaren Form vor (siehe Abbildung 1.1).

Bild 1.1: Der Weg zum lauffähigen Programm



HINWEIS

Selbstverständlich durchläuft zumindest jede professionelle Anwendung in der Regel eine mehr oder weniger umfangreiche Testphase, bevor die Entwicklung als abgeschlossen betrachtet werden kann. Diese haben wir bei unseren Betrachtungen großzügig außer Acht gelassen.

Beachten Sie, dass die Quellcodedatei beim Übersetzungsvorgang unverändert erhalten bleibt. Es liegen nunmehr als Ergebnis der Programmierarbeit zwei Dateien vor: die Quellcodedatei und die ausführbare Programmdatei (*.exe*-Datei). Streng genommen sind es sogar drei Dateien, da, sozusagen als Zwischenprodukt, zusätzlich eine so genannte Objektdatei (Endung *.obj*) entsteht. Diese soll uns aber zum jetzigen Zeitpunkt nicht weiter interessieren.

1.2.3 Präprozessor und Linker

Genau genommen leistet der eigentliche C++-Compiler nur einen – wenn auch den größten – Teil des Übersetzungsvorgangs, an dem außerdem noch Präprozessor und Linker beteiligt sind (das Wort »Präprozessor« soll Sie nicht irritieren, wie beim Linker und dem eigentlichen Compiler handelt es sich auch beim Präprozessor um Software – diese hat mit dem Prozessor Ihres Computers nichts zu tun).

HINWEIS

Da der Compiler bei der Übersetzung des Quelltextes die Hauptaufgabe leistet, ist es allgemein üblich, die ganze Software für den Übersetzungsvorgang als »Compiler« zu bezeichnen. Analog dazu nennt man den vollständigen Übersetzungsvorgang Kompilierung.

Da ein Compiler (also die Gesamtheit der für den Übersetzungsvorgang benötigten Software) in modernen integrierten Entwicklungsumgebungen (»IDE«, dazu gleich mehr) immer enthalten ist, verwendet man das Wort »Compiler« mitunter auch synonym für die ganze integrierte Entwicklungsumgebung. Der Begriff »Compiler« kommt somit in dreifacher Bedeutung vor.

Der Kompiliervorgang stellt sich für den Programmierer in der Wahrnehmung als ein einziger Schritt dar. Wenn Sie mit dem Visual C++-Compiler arbeiten – der auf der Buch-CD beiliegt und dessen Installation im Anschluss an diese Ausführungen detailliert beschrieben wird –, erfolgt die Kompilierung, also die Erzeugung einer *.exe*-Datei, auf einen Befehl hin. Konkret klicken Sie dazu auf das jeweilige Symbol oder wählen den entsprechenden Menüpunkt an. Präprozessor und Linker treten so gesehen nach außen hin nicht sichtbar in Erscheinung. Dennoch soll ihre Wirkungsweise hier kurz skizziert werden. Es sei darauf hingewiesen, dass es für Sie zum jetzigen Zeitpunkt weder erforderlich noch möglich ist (sofern Sie zu den Programmiereinsteigern gehören), das Folgende in allen Einzelheiten zu verstehen. Genaueres werden Sie erfahren, wenn wir uns mit Funktionen beschäftigen.

Die Übersetzung von C++-Programmen (mit »Programm« ist hier natürlich der Quelltext gemeint) erfolgt in drei internen Schritten:

1. Der Präprozessor entfernt eventuelle Kommentare aus dem Quelltext und führt bestimmte Textersetzungen durch.
2. Der eigentliche Compiler übersetzt den so aufbereiteten Quelltext in Maschinensprache. Als Ergebnis entstehen eine oder mehrere so genannte Objektdateien mit der Erweiterung *.obj*.

3. Im letzten Übersetzungsschritt fügt der Linker Code aus den Bibliotheken ein und bindet die *.obj*-Dateien, soweit es sich um mehrere handelt, zu einer ausführbaren Datei zusammen.

HINWEIS

Wie oben angedeutet, ist es auch möglich, eine ausführbare Datei aus mehreren Quellcodedateien zu kompilieren. In diesem Fall erzeugt der Compiler für jede Quelltextdatei eine *.obj*-Datei (wie das geht, erfahren Sie ebenfalls in Kapitel 21 »Funktionen«).

1.3 Was versteht man unter einer IDE?

Wie Sie gerade erfahren haben, ist es für die Programmerstellung notwendig, Text in einen Editor einzugeben und diesen dann kompilieren zu lassen. Dazu kann jeder beliebige Texteditor benutzt und für den Übersetzungsvorgang ein externer Compiler herangezogen werden.

In modernen Entwicklungsumgebungen ist die Software zum Übersetzen des Quellcodes genauso wie ein mit nützlichen Funktionen ausgestatteter Editor als fester Bestandteil in ein umfassendes Softwareprogramm eingebunden. Dort wird der Compiler meist über einen entsprechenden Befehl in der Menüleiste oder noch einfacher mit einem Klick auf ein Symbol gestartet. Zudem werden in der Regel eine Reihe weiterer Hilfsmittel für die Programmentwicklung bereitgestellt.

Weil dort eben alle Programmierwerkzeuge unter einer Bedieneroberfläche zusammengefasst sind, nennt man ein solches System »integrierte Entwicklungsumgebung« oder kurz IDE (für Integrated Development Environment).

Eine IDE für C++-Programme ist Visual Studio von Microsoft. Dieses fungiert gleichzeitig als Entwicklungsumgebung für weitere Programmiersprachen (z.B. Visual Basic). Soweit nur die Features zur Entwicklung von C++-Programmen gemeint sind, spricht man von Visual C++ bzw. vom Visual C++-Compiler. Eine Autorenversion des Visual C++-Compilers befindet sich auf der Buch-CD; wie Sie diese installieren, wird in Kapitel 2 Schritt für Schritt beschrieben.

Der Name »Visual« rührt daher, dass zusätzliche Funktionen zur Programmierung von grafischen Benutzeroberflächen bereitgestellt werden (visual – zu Deutsch »visuell«). Diese sind jedoch compilerspezifisch, gehören also nicht zum Standardumfang der Programmiersprache C++. Das heißt, ein Programm (gemeint ist der Quellcode), welches diese (compilerspezifischen) Funktionen verwendet, kann nicht auf einem anderen Compiler übersetzt werden – auch wenn es sich dabei um einen anderen C++-Compiler handelt.

Es sei hier ausdrücklich darauf hingewiesen, dass C++ ein Sprachstandard, also keine Entwicklungsumgebung, ist. Eben dieser Sprachstandard bildet das Thema dieses Buches. Wir werden in den Programmierbeispielen daher nur auf Features zurückgreifen, die von diesem Standard (dem so genannten ANSI/ISO-Standard) unterstützt werden.

Wenn Sie also mit einem anderen Compiler arbeiten, sollte dies kein Problem sein. Alle Beispiele im Buch wurden zur Sicherheit sowohl mit dem Visual C++-Compiler als auch mit der Kommandozeilenversion des Borland C++-Compilers 5.5 getestet. Ein Kommandozeilen-Compiler wird durch Eingabe eines Startbefehls in der Konsole in Gang gesetzt, ist also nicht Teil einer IDE.

1.4 Was sind Konsolenprogramme?

Das wirft die Frage auf, was unter einer Konsole zu verstehen ist. Zu alten DOS-Zeiten lief die Kommunikation zwischen Anwender und Computer allein über die Konsole, die den ganzen Bildschirm einnahm. Oder anders ausgedrückt: Der Bildschirm war die Konsole.

Der Computer nahm Eingaben des Benutzers (Befehle an das Betriebssystem, aber auch Startbefehle für Computerprogramme) an einer bestimmten Stelle des Bildschirms entgegen. In der Regel forderte dort das Blinken eines Cursors zur Eingabe auf. Diese Stelle wurde eben »Eingabeaufforderung«, »Befehlszeile« oder kurz »Prompt« genannt.

Falls am Prompt der Startbefehl für ein Programm eingegeben wurde (durch Eingabe der dafür notwendigen Zeichenfolge über die Tastatur und anschließendes Betätigen der [↵]-Taste), übernahm dieses sozusagen die Konsole. Das heißt, es nutzte die Konsole – damals also den ganzen Bildschirm – für Mitteilungen an den Benutzer (»Geben Sie bitte … ein«, »Die von Ihnen zu zahlende Einkommensteuer beträgt …«) und um Daten vom Benutzer entgegenzunehmen.

Heutzutage verläuft die Kommunikation zwischen Anwender und Programm meist über grafische Benutzeroberflächen. Dies gilt auch für die Interaktion mit dem Betriebssystem. So bietet Windows verschiedene grafische Schnittstellen zum Starten von Computerprogrammen an: Eintrag im Startmenü, Symbol auf dem Desktop, Auflistung von ausführbaren Dateien im Windows-Explorer.

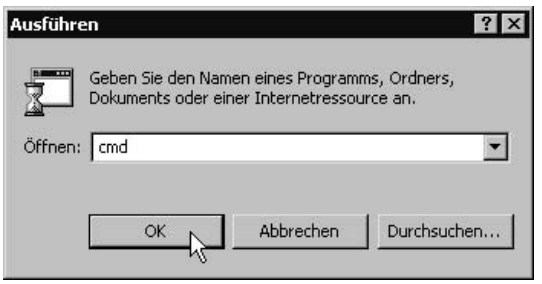
GUI

GUI ist die Abkürzung für Graphical User Interface, zu Deutsch grafische Benutzeroberfläche. Darunter versteht sich die Gesamtheit aller Oberflächenelemente wie Fenster, Menüleisten, Schaltflächen etc., welche für den Dialog mit dem Benutzer zur Verfügung stehen.

Das ändert aber nichts an der Tatsache, dass die Konsole nach wie vor zur Verfügung steht. Nur nimmt sie nicht mehr wie früher den ganzen Bildschirm ein. Außerdem erscheint sie nicht sofort beim Start des Computers, sondern ist ebenfalls über grafische Schnittstellen erreichbar.

Unter Windows-Betriebssystemen erreichen Sie die Konsole über START/PROGRAMME/(ZUBEHÖR/)EINGABEAUFFORDERUNG bzw. START/AUSFÜHREN.... Bei der Variante START/AUSFÜHREN... müssen Sie in dem dann angezeigten Dialogfeld zunächst `cmd` eingeben und mit einem Klick auf die Schaltfläche OK bestätigen.

Bild 1.2: Dialog zum Aufrufen der Konsole



HINWEIS

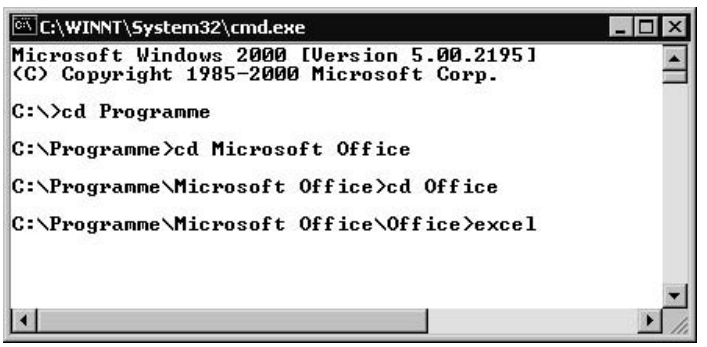
Weitere Bezeichnungen für die Konsole sind neben »Eingabeaufforderung«, »Befehlszeile« und »Prompt« auch »DOS-Fenster« und »DOS-Box«. Unter Linux heißt die Konsole auch »Terminal«.

Eine Anwendung wie beispielsweise das Tabellenkalkulationsprogramm Excel ließe sich auch über die Konsole starten. Falls der Verzeichnispfad zur zugehörigen Programmdatei `C:\Programme\Microsoft Office\Office` lautet, geben Sie an der Eingabeaufforderung nacheinander die Befehle

```
cd Programme
cd Microsoft Office
cd Office
```

ein, um in das Verzeichnis zu gelangen, in dem sich die ausführbare Datei *excel.exe* befindet. Diese starten Sie dann mit dem Befehl `excel` (Eingabe des Dateinamens ohne Erweiterung).

Bild 1.3: Starten von Excel über die Konsole

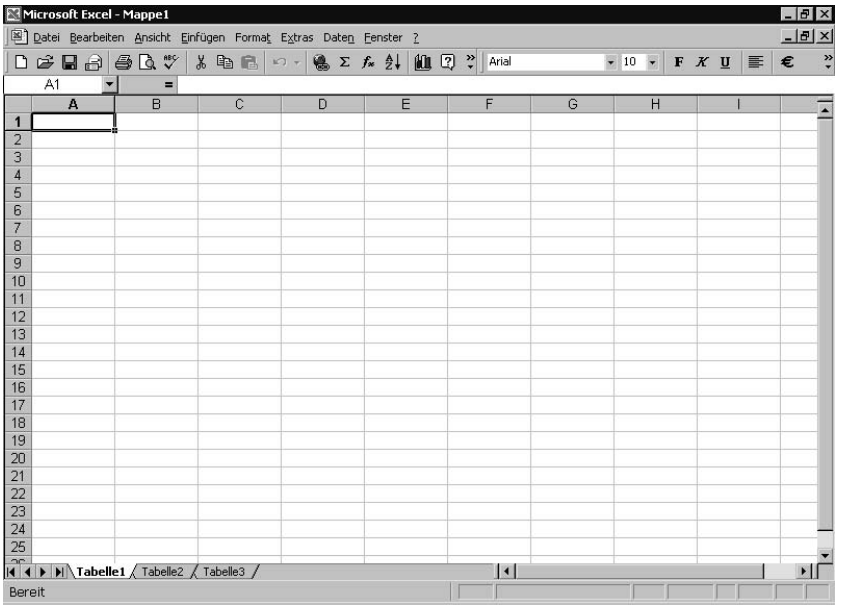


HINWEIS

Es sei erneut darauf hingewiesen, dass der Startbefehl für ausführbare Programme vom verwendeten Betriebssystem abhängt. Unter Linux beispielsweise wird eine Datei mit dem Namen *xy.out* auch mit `xy.out` gestartet, also mit Angabe des vollständigen Dateinamens (einschließlich Dateierweiterung).

Auch wenn es (wie jedes andere Programm) von der Konsole aus gestartet werden kann, ist Excel dennoch ein Windows-Programm, da es ja selbst eine grafische Benutzeroberfläche zur Verfügung stellt.

Bild 1.4:
Die GUI von Excel



Vielmehr zeichnet sich ein Konsolenprogramm dadurch aus, dass es eben keine GUI zur Verfügung stellt, sondern für die Interaktion mit dem Anwender ausschließlich die Konsole benutzt. Dies gilt auch für die Kommandozeilenversion des Borland C++-Compilers 5.5 (das Wort »Kommandozeile« steht hier ebenfalls für die Konsole). Wie Ihnen ja bekannt ist, handelt es sich auch bei einem Compiler um nichts anderes als ein ausführbares Computerprogramm.

Entscheidend ist also die Bereitstellung einer grafischen Benutzeroberfläche seitens des Programms. Von wo aus ein Programm gestartet wird – über eine grafische Benutzerschnittstelle oder durch Eingabe eines Startbefehls in der Konsole –, spielt für die Einordnung als Windows- bzw. Konsolenprogramm keine Rolle.

Wir werden uns bei der Programmierung auf Konsolenprogramme beschränken. Dies mag Sie zunächst etwas enttäuschen, ist aber tatsächlich von Vorteil. Ziel des Buches ist es schließlich, den Standard der Programmiersprache C++ zu erlernen. Die Konzentration auf andere The-

men wäre dabei nur hinderlich. In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, dass die Kenntnisse, die Ihnen im Weiteren vermittelt werden (vor allem auf dem Gebiet der objektorientierten Programmierung), für ein tiefer gehendes Verständnis der Windows-Programmierung unabdingbar sind.

Weitere Gründe, um aus didaktischen Erwägungen von einer Beschäftigung mit der GUI-Programmierung abzusehen, sind:

- Windows-Programme besitzen den Nachteil der Plattformabhängigkeit, da sie an den auf einem System integrierten Window-Manager gebunden sind. Der Quelltext von Windows-Programmen ist also nicht portierbar (zur Portierbarkeit siehe oben). Mit anderen Worten: Jede IDE stellt spezielle Funktionen zur Programmierung von grafischen Benutzerschnittstellen zur Verfügung. Dagegen wird eine Funktion, die zum Standardsprachumfang von C++ gehört, von jedem Compiler unterstützt (ist das nicht der Fall, so handelt es sich wahrscheinlich um einen veralteten Compiler, und es empfiehlt sich der Umstieg auf eine neuere Compilerversion).
- Die Programmierung von GUIs ist in der Regel sehr aufwändig. Verschiedene IDEs, darunter auch das Visual Studio, können allerdings den Quellcode mehr oder weniger automatisch erzeugen – zum Teil erhält man dann für bestimmte Aufgaben mehrere Seiten entsprechend komplexen Codes.

Von letztgenannten Möglichkeiten (die auch Visual C++ bietet) werden wir aber, wie gesagt, keinen Gebrauch machen. Selbstverständlich bleibt es Ihnen freigestellt, sich nach dem Lesen dieses Buches entsprechende Lektüre zu besorgen (z.B. spezielle Literatur über Visual Studio). Sie haben dann die besten Voraussetzungen dazu.

Des Weiteren sei darauf hingewiesen, dass grafische Benutzerschnittstellen zwar erhebliche Verbesserungen des Bedienerkomforts mit sich bringen, die Leistungsfähigkeit von Programmen jedoch nicht erhöhen. Überdies sind auch heute noch eine Reihe von professionellen Programmen im Einsatz, bei denen grafische Schnittstellen keine Rolle spielen.

2 Welchen Compiler sollten Sie verwenden?

Bevor Sie Ihr erstes Programm schreiben, werden wir zunächst auf die Frage der benötigten Software eingehen. Für Leser, die unter einem Windows-Betriebssystem arbeiten, bieten wir auf der Buch-CD eine Autorenversion des Visual C++-Compilers 6.0 an. Die Installation wird gleich im Anschluss beschrieben.

Wir werden uns zwar nicht mit einer speziellen IDE als solcher beschäftigen und auch die zusätzlichen grafischen Möglichkeiten von »Visual« C++ nicht nutzen. Dennoch handelt es sich um eine auch – oder gerade – für den Programmiereinsteiger sehr bequeme Umgebung zur Entwicklung von C++-Programmen. Dies gilt auch für Konsolenprogramme. Die zur Bedienung des Compilers notwendigen Grundkenntnisse werden wir im weiteren Verlauf darlegen.

Für Leser, die mit einem anderen Compiler arbeiten, ist es leider unerlässlich, sich mit der Bedienung ihres Compilers bis zu einem gewissen Grad selbstständig vertraut zu machen. Bemühen Sie gegebenenfalls die Dokumentation Ihres Compilers. Damit sich diese Lesergruppe nicht benachteiligt fühlt, sei noch einmal vermerkt, dass der Fokus dieses Buches auf dem Erlernen der Programmiersprache C++ liegt, nicht auf der Beschreibung einer bestimmten IDE. Zudem sind viele Anmerkungen und Tipps zu Editierung, Übersetzung und Ausführung von C++-Programmen, die in diesem Buch gegeben werden, auch oder vielmehr gerade an diese Lesergruppe gerichtet. Insbesondere werden wir unser erstes Programm zum Vergleich auch von einem Kommandozeilen-Compiler, dem schon erwähnten Borland C++ 5.5, übersetzen lassen. Im Weiteren setzen wir dann eine gewisse Vertrautheit mit der von Ihnen verwendeten Software voraus, sodass in dieser Hinsicht alle Leser gleich behandelt werden.

Im Übrigen ist es nicht immer zwingend notwendig, dass Sie am Computer sitzen, wenn Sie dieses Buch lesen (manche Leser mögen dies generell als unangenehm empfinden). Die meisten Beispiele sollten idealerweise auch ohne direkten Rechnerkontakt gut verstanden werden können. Praktische Übung empfiehlt sich natürlich in jedem Fall.

2.1 Wie finde ich einen passenden Compiler?

Diese Frage stellt sich natürlich nur, wenn Sie nicht mit Visual C++ arbeiten können oder aus irgendeinem Grund nicht wollen. Leider ist der Visual C++-Compiler nicht für Linux-Betriebssysteme verfügbar. In aller Regel ist jedoch dort ein C++-Kommandozeilen-Compiler (GCC) bereits vorinstalliert, sodass Sie diesen verwenden können. Im Zuge der Ausführungen zu unserem ersten Programm werden wir auch hierzu einige Hinweise geben.

Lesern mit Windows-Betriebssystem, die lieber mit einem Kommandozeilen-Compiler arbeiten, empfehlen wir den schon genannten Borland C++-Compiler 5.5.

Diesen können Sie auf der Website

`http://www.borland.com/`

kostenlos herunterladen. Klicken Sie hierfür auf den Link DOWNLOADS, dann auf C++BUILDER und abschließend auf COMPILER.

Sowohl der genannte Borland-Compiler als auch der Visual C++-Compiler unterstützen weitgehend den ANSI/ISO C++-Sprachstandard.

TIPP

Noch ein Tipp, der möglicherweise zu einem späteren Zeitpunkt für Sie von Interesse sein mag: DJGPP, eine sehr aufwändig zu installierende, aber sehr leistungsfähige IDE, wird von der Firma delorie software auf der Website

`http://www.delorie.com/djgpp/`

kostenlos zum Download angeboten. Die Informationen sind allerdings in Englisch gehalten, und es ist trotz umfangreicher Dokumentation nicht unbedingt leicht, sich zurechtzufinden.

Die Standardversion von DJGPP ist auch auf der deutschsprachigen Website

`http://c.theflow.de/djgpp.htm`

erhältlich. Dort finden sich auch eine ausführliche Installationsbeschreibung und weitere interessante Links zu Tutorials, Compilern etc.

Im Allgemeinen sollten Sie jedoch mit dem Visual C++-Compiler gut zurechtkommen. Linux-Anwendern bleibt, wie gesagt, keine andere Wahl, als auf einen anderen Compiler zurückzugreifen, z.B. auf den in der Regel vorinstallierten GCC-Compiler. Auch dieser gewährleistet eine ausreichende Unterstützung des ANSI/ISO C++-Sprachstandards.

Leider ist uns zum Zeitpunkt der Drucklegung dieses Buches kein frei erhältlicher C++-Compiler für den Macintosh bekannt. Lesern, die mit einem Macintosh arbeiten, bleibt somit nichts anderes übrig, als einen passenden Compiler käuflich zu erwerben (z.B. Symantec C++) und sich mit der Bedienung hinreichend vertraut zu machen. Aber wie schon gesagt, Thema dieses Buches ist die Programmiersprache C++ und nicht die Beschreibung eines Compilers.

TIPP

Falls Darlegungen hinsichtlich der Editierung des Quelltextes, dessen Kompilierung und Ausführung für Sie nicht zutreffen (da compiler- oder betriebssystemabhängig), nehmen Sie dies zum Anlass, einen entsprechenden Suchbegriff in Ihrer Compilerhilfe zu verwenden, um die gewünschte Information zu erhalten.

Machen wir uns nun an die Installation des Visual C++-Compilers.

2.2 Installation des Visual C++-Compilers

Bevor Sie mit der Installation beginnen, sollten Sie alle laufenden Programme schließen.

1. Legen Sie nun die Buch-CD in Ihr CD-ROM-Laufwerk ein und starten Sie die Datei *Setup.exe*. Sie befindet sich im Unterverzeichnis *InstallVC6*. Damit rufen Sie den Assistenten für die Installation auf.

Bild 2.1: Der Setup-Assistent stellt sich vor

2. Klicken Sie auf WEITER >.
3. Um mit der Installation fortzufahren, müssen Sie im folgenden Dialog durch Auswahl der Option ICH STIMME DEM LIZENZVERTRAG ZU und erneutem Klick auf WEITER > die Lizenzvereinbarungen akzeptieren.
4. Sie werden nun nach Ihrem Namen gefragt. Geben Sie diesen in das dafür vorgesehene Textfeld ein und klicken Sie auf die WEITER >-Schaltfläche. Die Angabe eines Firmennamens kann unterbleiben.
5. Legen Sie im folgenden Dialog fest, in welches Verzeichnis die Dateien installiert werden sollen. Falls Sie ein anderes Verzeichnis als das hier vorgeschlagene verwenden möchten, klicken Sie entweder auf DURCHSUCHEN... und wählen das gewünschte Zielverzeichnis aus oder Sie geben den gewünschten Pfad in das Textfeld ein. Wenn das Verzeichnis, das Sie hier angeben, nicht existiert, so wird es angelegt. Klicken Sie abschließend auf WEITER >.
6. Im weiteren Verlauf werden Sie erneut an die Lizenzvereinbarungen erinnert und daran, andere aktive Programme zu beenden.
7. Bestätigen Sie diesen und den folgenden Dialog, in dem die Product ID mitgeteilt wird, mit WEITER bzw. OK.

Bild 2.2: Zustimmung zum Lizenzvertrag

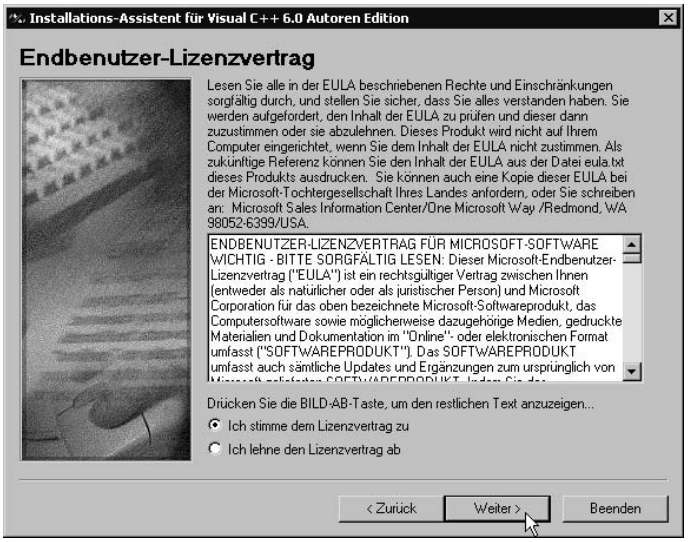


Bild 2.3: Eingabe eines Benutzernamens

8. Wir empfehlen Ihnen, die Standardinstallation durchzuführen. Klicken Sie also im folgenden Dialogfenster auf die Schaltfläche STANDARD.

9. Setzen Sie im folgenden Dialog die Option UMGEBUNGSVARIABLEN REGISTRIEREN (es sei jedoch erwähnt, dass dies für unsere Zwecke nicht zwingend erforderlich ist) und bestätigen Sie mit OK.

Nun wird die eigentliche Installation durchgeführt. Diese kann einige Minuten in Anspruch nehmen. Sie verläuft jedoch ohne Ihr weiteres Zutun.

Bild 2.4: Wahl eines Zielordners

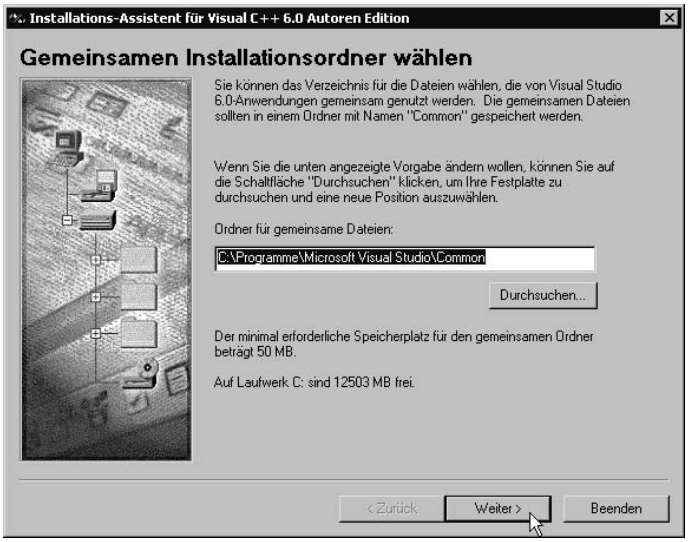
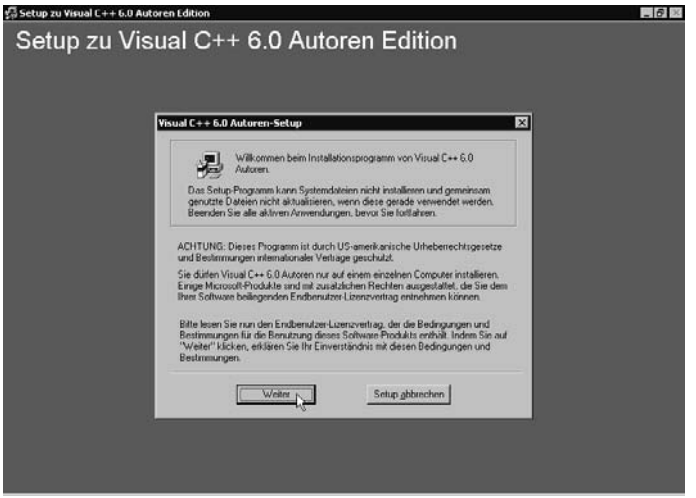


Bild 2.5: Die eigentliche Installation beginnt



10. Wenn Sie die in Abbildung 2.10 zu sehende Mitteilung erhalten, klicken Sie einfach auf OK (eine Installation von NT-Systemsymboldateien ist für unsere Zwecke nicht notwendig – es steht Ihnen natürlich frei, diese zu einem beliebigen Zeitpunkt nachzuinstallieren).

Im Anschluss daran wird Ihnen nach kurzer Zeit das erfolgreiche Ende der Installation mitgeteilt. Der Visual C++-Compiler ist nun auf Ihrem Computer installiert.

11. Bestätigen Sie mit OK.

Nach wenigen Sekunden wird Ihnen die Installation der Autorendokumentation angeboten.

Bild 2.6:
Die Product ID

Bild 2.7:
Auswahl des Installations-umfangs

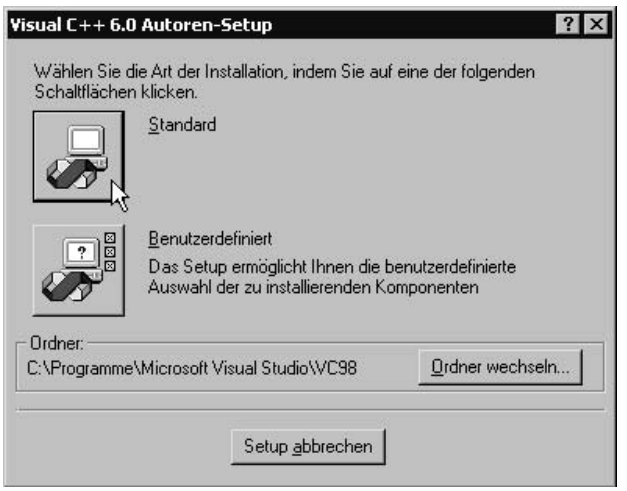


Bild 2.8:
Setzen von Umgebungs-variablen

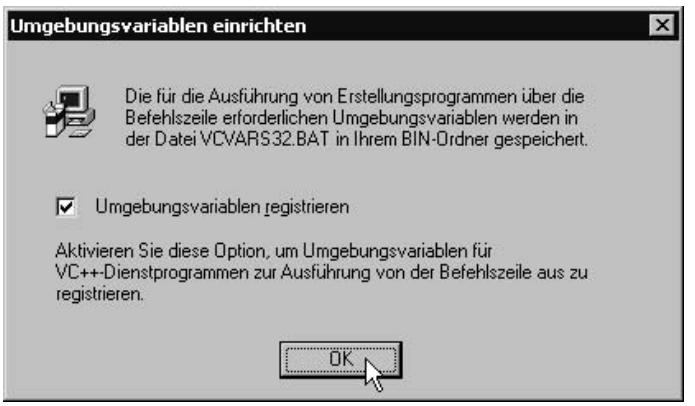


Bild 2.9: Die eigentliche Installation wird durchgeführt

Bild 2.10: Mitteilung zu Symboldateien

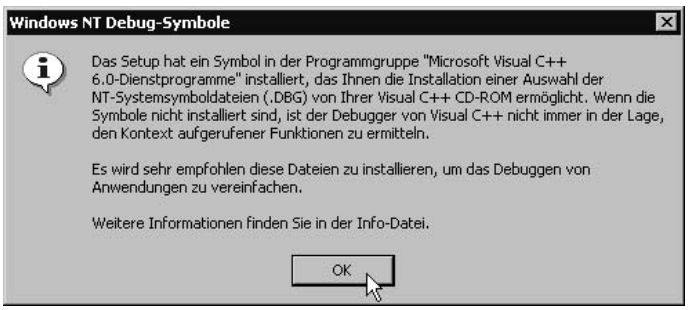


Bild 2.11: Der Visual C++-Compiler ist installiert

2.3 Installation der Online-Hilfe

Sofern genügend Speicher auf Ihrem Computer zur Verfügung steht, empfehlen wir Ihnen, die mitgelieferte Hilfedokumentation ebenfalls zu installieren. Sie ist zwar für Ihre ersten Schritte nicht von Belang, auf Ihrem weiteren Weg kann sie jedoch hilfreich sein.

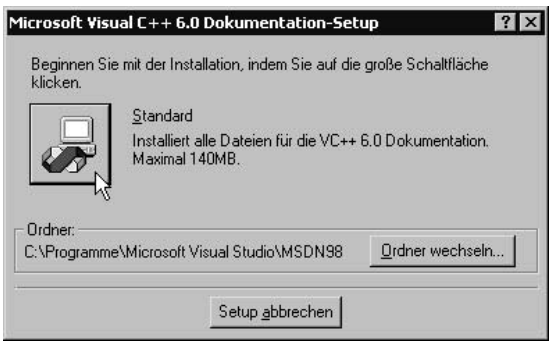
12. Aktivieren Sie also gegebenenfalls die Option VISUAL C++ 6.0 AUTORENDOKUMENTATION INSTALLIEREN und klicken Sie auf WEITER >.

Bild 2.12: Installation der Autorendokumentation

Es folgt die übliche Prozedur (Willkommen, Mitteilung der Product ID, Akzeptieren der Lizenzvereinbarungen).

13. Bestimmen Sie im anschließenden Dialog den Zielordner (falls ein anderes Verzeichnis als das vorgegebene gewünscht wird, klicken Sie auf die Schaltfläche ORDNER WECHSELN...). Ein Klick auf die quadratische Schaltfläche links oben setzt die Installation fort.

Bild 2.13: Angabe des Zielverzeichnisses



Nun beginnt die eigentliche Installation. Warten Sie, bis Ihnen das erfolgreiche Ende der Installation mitgeteilt wird.

Bild 2.14: Beginn der eigentlichen Installation

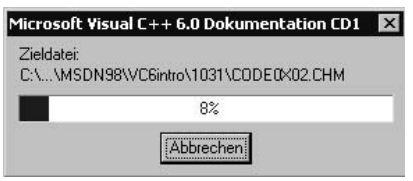


Bild 2.15: Installation erfolgreich

14. Nach einer Bestätigung mit OK klicken Sie im nächsten Dialog auf FERTIG STELLEN.

Bild 2.16: Neustart des Computers

Die C++-Entwicklungsumgebung samt Dokumentation steht Ihnen nun zur Verfügung.

3 Erste Schritte mit dem Visual C++-Compiler

Wie Ihnen aus den Ausführungen in Kapitel 1 »Was ist Programmieren?« bekannt ist, ist der erste Schritt in der Programmentwicklung das Anlegen einer Quelltextdatei. Es erhebt sich also die Frage, welcher Editor zu verwenden ist. Wenn Sie im letzten Kapitel den Visual C++-Compiler auf Ihrem Computer installiert haben, dann werden Sie den in dieser IDE integrierten Editor verwenden. Die dazu erforderliche Vorgehensweise gestaltet sich für den Neuling scheinbar etwas kompliziert. Der Grund: Visual C++ verwaltet Quellcodedateien in Projekten, diese wiederum in Arbeitsbereichen. Dies ist halb so schlimm, wie es sich zunächst anhört. Sie werden sich bald daran gewöhnt haben und später die damit verbundenen Vorteile zu schätzen wissen (wenn es darum geht, den Quellcode auf mehrere Dateien zu verteilen).

Wir werden Ihnen in diesem Kapitel zeigen, was Sie tun müssen, um in der Visual C++-Umgebung eine Quellcodedatei anzulegen (Abschnitt 3.2 »Quellcodedatei anlegen unter Visual C++«). Der folgende Abschnitt 3.1 »Was für einen Editor sollten Sie verwenden?« ist für diejenigen Leser gedacht, die mit einem Kommandozeilen-Compiler arbeiten.

3.1 Was für einen Editor sollten Sie verwenden?

Grundsätzlich steht es Ihnen frei, welchen Editor Sie verwenden. Sie müssen nur darauf achten, den Quellcode als reinen Text, im so genannten ASCII-Format, zu speichern. Andernfalls werden vom Textverarbeitungsprogramm Steuerzeichen eingefügt, die vom Compiler bei der anschließenden Übersetzung nicht interpretiert werden können.

Wie gesagt, stellt sich die Frage, was für einen Editor Sie benutzen sollten, für Sie nur dann, wenn Sie mit einem Kommandozeilen-Compiler arbeiten. Wenn Sie den Visual C++-Compiler oder eine andere IDE einsetzen, greifen Sie auf den integrierten Editor dieser Entwicklungsumgebung zurück.

Sofern Sie mit einem Windows-Betriebssystem arbeiten (und einen Kommandozeilen-Compiler verwenden), können Sie für die Eingabe Ihrer Quelltexte auch den Windows-Editor benutzen. Fürs Erste ist dieser völlig ausreichend.

Den Editor des Windows-Betriebssystems erreichen Sie mit der Befehlsfolge START/PROGRAMME/ZUBEHÖR/EDITOR.

Für Linux-Anwender bietet sich der Editor *vi* oder *emacs* an.

Unter Umständen stellt sich die Frage, unter welchem Namen die Quellcodedatei zu speichern ist, gleich beim Aufruf des Editors (so z.B. wenn

Sie den *vi* verwenden). Dazu ist zu sagen: Den Namen (exklusive Dateierweiterung) können Sie – unter Beachtung der Vorgaben Ihres Betriebssystems – grundsätzlich frei wählen. Entscheidend ist allein die Dateierweiterung. Diese richtet sich nach dem Compiler, der den Quellcode später übersetzen soll.

HINWEIS

Zum besseren Verständnis noch einmal der Hinweis: Wenn im Sinne der Kapitelüberschrift (»Erste Schritte …«) vom Visual C++-Compiler gesprochen wird, ist damit die gesamte IDE (einschließlich des integrierten Compilers) gemeint. In einem anderen Zusammenhang kann dagegen mit »Visual C++-Compiler« allein die zum Übersetzungsvorgang benötigte Software (also der in der IDE integrierte Compiler) gemeint sein. Wenn der Compiler extern aufgerufen wird, wie das bei einem Kommandozeilen-Compiler der Fall ist, bezeichnet das Wort »Compiler« ausschließlich die Software zum Übersetzen des Quellcodes.

Schauen Sie daher in Ihrer Compilerdokumentation nach. In der Regel ist die Endung für C++-Quellcodedateien *.cpp* (für »C plus plus«). Dies trifft auf den erwähnten Borland C++-Compiler 5.5 und ebenso auf den GCC-Compiler unter Linux zu. Falls Sie mit einer integrierten Entwicklungsumgebung arbeiten, brauchen Sie sich darum nicht zu kümmern, da diese automatisch dafür sorgt, dass die Quellcodedateien mit der richtigen Endung gespeichert werden.

TIPP

Lesern mit Kommandozeilen-Compiler sei empfohlen: Speichern Sie Ihre Quellcodedateien in einem separaten Verzeichnis und rufen Sie später aus diesem Verzeichnis heraus den Compiler auf.

3.2 Quellcodedatei anlegen unter Visual C++

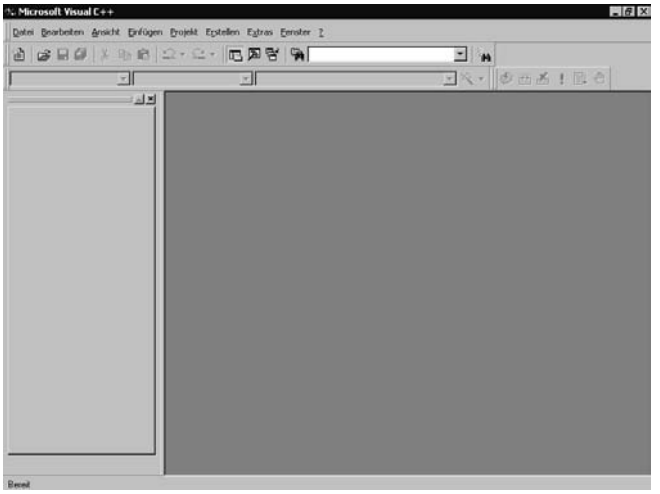
Wie bereits erwähnt, verwaltet Visual C++ Quellcodedateien in Projekten und diese wiederum in Arbeitsbereichen. Das heißt, Sie müssen als Erstes einen Arbeitsbereich anlegen.

1. Starten Sie Visual C++: Wählen Sie in der Taskleiste unter START/PROGRAMME die Programmgruppe MICROSOFT VISUAL C++ 6.0 und hier den gleich lautenden Eintrag MICROSOFT VISUAL C++ 6.0.

Nach dem Aufruf sollte sich Visual C++ wie in Abbildung 3.1 präsentieren (nach eventuellem Schließen eines Fensters mit dem Titel TIPPS UND TRICKS).

Das linke Fenster, genannt Arbeitsbereichsfenster, dient der Verwaltung der Projektdateien. Es ist leer, da noch keine Arbeitsbereiche, Projekte und Quellcodedateien vorhanden sind. Zunächst werden wir uns um einen Arbeitsbereich kümmern.

Bild 3.1: Visual C++ nach dem ersten Aufruf



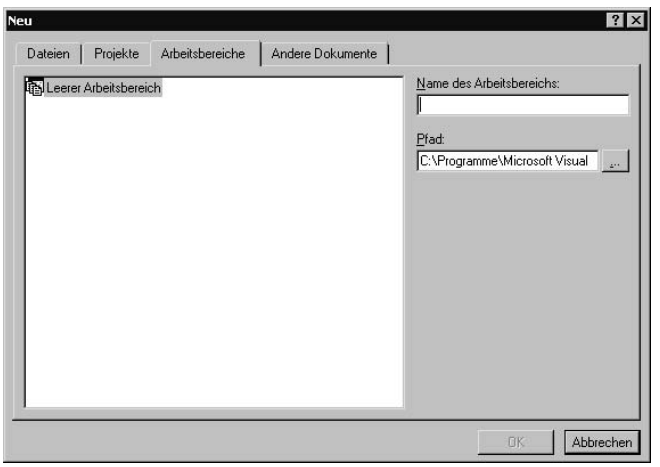
HINWEIS

Falls das Arbeitsbereichsfenster aus irgendeinem Grund nicht sichtbar ist, holen Sie es mit dem Menübefehl ANSICHT/ARBEITSBEREICH oder der Tastenkombination Alt+0 ins Bild.

3.2.1 Arbeitsbereich anlegen

2. Wählen Sie in der Menüleiste DATEI/NEU... und klicken Sie im folgenden Dialogfenster auf das Register ARBEITSBEREICHE.

Bild 3.2: Anlegen eines Arbeitsbereichs



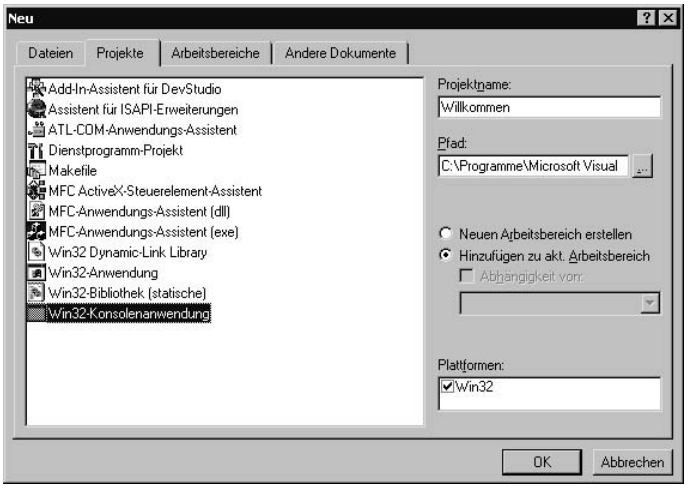
3. Geben Sie in das dafür vorgesehene Textfeld einen Namen für den neuen Arbeitsbereich ein und bestätigen Sie mit OK.

Im Register DATEIEN des Arbeitsbereichsfensters erscheint nun ein Eintrag für den erstellten Arbeitsbereich. In diesen müssen wir nun ein Projekt integrieren.

3.2.2 Ein Projekt in den Arbeitsbereich einfügen

4. Um ein Projekt anzulegen, wählen Sie im Menü erneut die Befehlsfolge DATEI/NEU... und klicken auf das Register PROJEKTE.
5. Wählen Sie in der Liste WIN32-KONSOLENANWENDUNG, geben Sie in das Textfeld rechts oben einen Namen für Ihr Projekt ein und aktivieren Sie die Option HINZUFÜGEN ZU AKT. ARBEITSBEREICH.

Bild 3.3: Anlegen eines Projekts



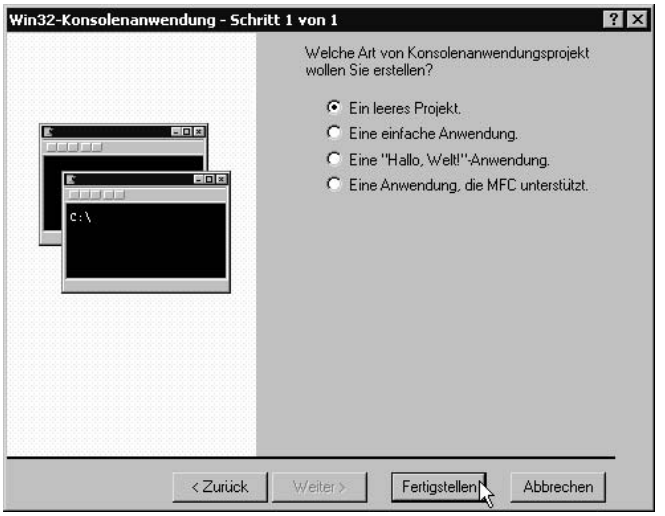
Wir haben unseren Arbeitsbereich sinnigerweise »Erster« und das Projekt im Hinblick auf unser erstes C++-Programm »Willkommen« genannt.

HINWEIS

Die Wahl der Option HINZUFÜGEN ZU AKT. ARBEITSBEREICH ist wichtig, da ansonsten ein neuer Arbeitsbereich zusammen mit einem Projekt angelegt wird. Natürlich hätten wir dies zu Beginn ausnutzen können, um einen Schritt zu sparen. Vermutlich werden Sie im Weiteren jedoch mehrere Projekte in ein und denselben Arbeitsbereich einbinden, also fürs Erste keinen weiteren Arbeitsbereich benötigen. Deshalb wird davon ausgegangen, dass die Darstellung in sich wiederholenden Einzelschritten für Sie leichter nachzuvollziehen ist.

6. Bestätigen Sie den oben genannten Dialog mit OK.
7. Anschließend belassen Sie es bei der Option EIN LEERES PROJEKT und klicken auf FERTIGSTELLEN.

Bild 3.4:
Leeres Projekt

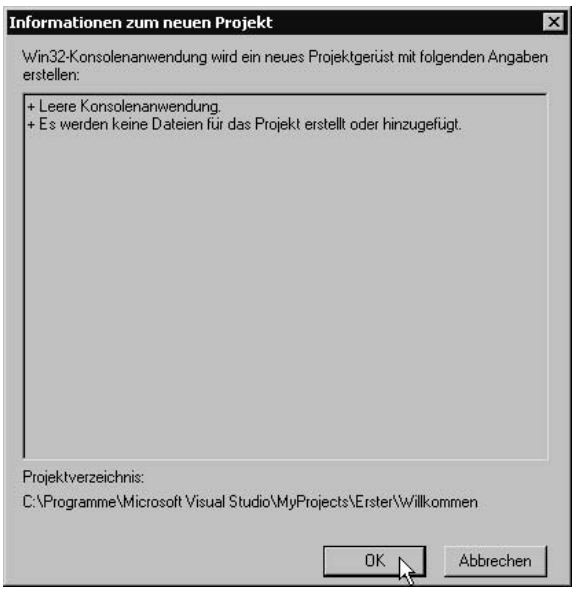


HINWEIS

Leeres Projekt bedeutet, dass Sie Visual C++ nicht beauftragen, Code für Sie zu generieren. Was Visual C++ in diesem Fall für Sie täte (zu Ihrer Entlastung), wollen Sie ja gerade erlernen.

8. Dem folgenden Infofenster (Abbildung 3.5) können Sie entnehmen, in welchem Verzeichnis Ihre zukünftigen Projektdateien abgelegt werden. Klicken Sie auf OK.

Bild 3.5:
Infofenster



Im Arbeitsbereichsfenster (Registerblatt DATEIEN) hat sich inzwischen einiges getan. Wenn Sie den Eintrag für den Projektordner aufklappen (Klick auf das Symbol +), sollte sich in Abhängigkeit von Ihrer Namenswahl folgendes Bild ergeben.

Bild 3.6: Projekt *Willkommen* mit Unterordnern

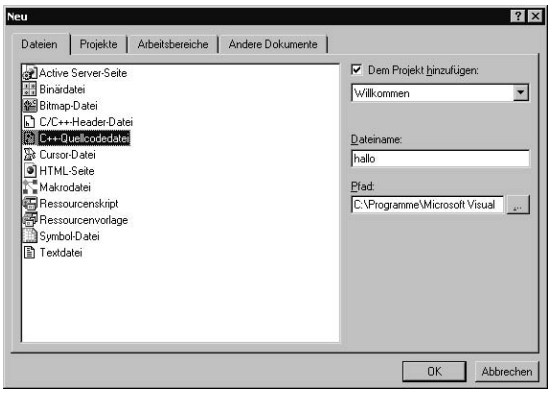
Die Struktur dürfte Ihnen vom Windows-Explorer geläufig sein: ein Verzeichnis für den Arbeitsbereich, ein Unterverzeichnis für das darin integrierte Projekt und auf der untersten Ebene drei vorläufig leere Ordner. Wobei Sie sich sicher denken können, wofür der Ordner *Quellcodedateien* steht. Was es mit Headerdateien auf sich hat, werden Sie im weiteren Verlauf des Buches noch erfahren (siehe Abschnitt 21.2 »Funktionsprototypen«). Ressourcendateien beziehen sich auf die GUI-Programmierung, sollen uns also nicht weiter interessieren.

3.2.3 Endlich die Quellcodedatei ...

Nun wollen wir das tun, worauf es uns eigentlich ankommt: eine Quellcodedatei anlegen. Und wie immer, wenn Sie ein neues Projekt, einen neuen Arbeitsbereich oder eben eine neue Quelltextdatei anlegen wollen, benutzen Sie die Befehlsfolge DATEI/NEU... und wählen das entsprechende Register.

9. Wählen Sie also DATEI/NEU..., Register DATEIEN.
10. Selektieren Sie in der Liste C++-QUELLCODEDATEI und geben Sie im Textfeld mit der Überschrift DATEINAME: einen Namen (ohne Erweiterung) für die Quellcodedatei ein (siehe Abbildung 3.7).

Bild 3.7: Anlegen der Quellcodedatei



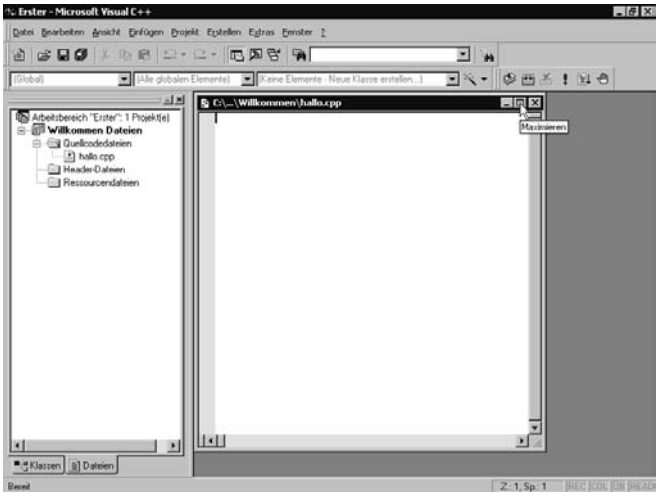
HINWEIS

Die Namensgebung richtet sich zwar nach den Vorgaben des Betriebssystems. Von Leer- oder Sonderzeichen ist jedoch allgemein abzuraten. Es sei darauf hingewiesen, dass die einzugebenden Namen von Projekt und Quellcodedatei sich nicht unterscheiden müssen. Der Name *Willkommen* (oder *willkommen*) – anstelle von *hallo* – wäre also auch für unsere Quellcodedatei zulässig gewesen.

11. Klicken Sie auf OK.

Nun ist in Ihrem Projekt eine Quellcodedatei enthalten. Die Endung *.cpp* wurde automatisch angefügt, wie im Arbeitsbereichsfenster nach Aufklappen des Ordners *Quellcodedateien* zu erkennen.

Bild 3.8: Editieren der Quellcodedatei (*hallo.cpp*)



Rechts neben dem Arbeitsbereichsfenster befindet sich Ihr Editor. Dort werden Sie den Quelltext Ihres ersten Programms eingeben. Damit das Editorfenster die maximale Fläche einnimmt, vergrößern Sie es durch einen Klick auf die Maximieren-Schaltfläche (wie in Abbildung 3.8 gezeigt).

Einige Angaben zur aktuellen Quellcodedatei sind in der Titelleiste des Fensters ersichtlich: Pfad und Name der Quellcodedatei sowie Name des zugehörigen Projekts.

Beachten Sie:

- In einem Arbeitsbereich können sich mehrere Projekte befinden.
- Aus einem Projekt entsteht eine ausführbare Datei (*.exe*-Datei, Computerprogramm).
- Bis auf weiteres gilt: eine Quellcodedatei = ein Projekt = eine ausführbare Datei (das soll bedeuten, dass aus jeweils einer Quellcodedatei, die in einem gesonderten Projekt verwaltet wird, genau eine ausführbare Datei entsteht).

HINWEIS

In Kapitel 21 »Funktionen« erfahren Sie, wie sich der Quellcode auf mehrere Quellcodedateien (die dann ebenfalls innerhalb eines Projekts verwaltet werden) verteilen lässt. In Präzisierung obiger Gleichung ergibt sich dann:

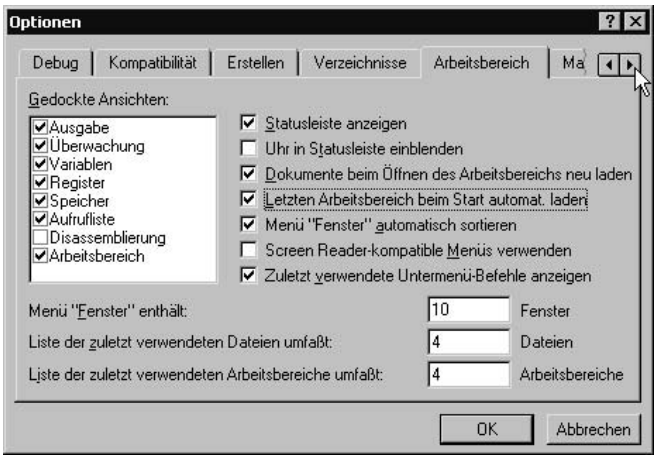
eine oder mehrere Quellcodedateien = ein Projekt = eine ausführbare Datei

3.2.4 Letzten Arbeitsbereich beim Start automatisch laden

Wenn Sie Visual C++ beenden, zeigt sich beim nächsten Start ein leeres Arbeitsbereichsfenster. Dann laden Sie den vorhandenen Arbeitsbereich mit DATEI/ZULETZT GEÖFFNETE ARBEITSBEREICHE ▸ und Auswahl des entsprechenden Arbeitsbereichs in das Arbeitsbereichsfenster.

Es geht jedoch bequemer mit der Einstellung LETZTEN ARBEITSBEREICH BEIM START AUTOMATISCH LADEN. Diese Option steht nach Auswahl von EXTRAS/OPTIONEN auf der Registerkarte ARBEITSBEREICH zur Verfügung. Möglicherweise müssen Sie etwas nach rechts scrollen, um zu diesem Register zu gelangen (siehe Mauszeiger in Abbildung 3.9).

Bild 3.9: Letzten Arbeitsbereich beim Start automatisch laden



Klicken Sie also auf das Registerblatt ARBEITSBEREICH und dann in das leere Kontrollkästchen neben LETZTEN ARBEITSBEREICH BEIM START AUTOMAT. LADEN. Bestätigen Sie diese Einstellung anschließend mit OK. Nun präsentiert sich Visual C++ bei jedem Start genauso wie beim Ende der letzten Sitzung.

3.3 Mit der Online-Hilfe arbeiten

Vermutlich wird Ihnen die Online-Hilfe zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht viel nützen, was die Sprache C++ angeht (ein bisschen Schmökern rentiert sich allemal). Bezüglich der Bedienung Ihres Compilers (gemeint ist die gesamte IDE) kann sie Ihnen aber jetzt schon sehr hilfreich sein.

Kontextbezogene Hilfe erhalten Sie mit der Taste F1. Sie reagiert auf verschiedene Bereiche der Benutzeroberfläche wie Dialogfenster und Auswahloptionen. So etwa, wenn sich der Cursor im leeren Editorfenster befindet.

Bild 3.10: Kontextbezogene Hilfe

Außerdem bekommen Sie mit F1 alle Hilfedokumente zu einem bestimmten Begriff angezeigt (soweit vorhanden), nachdem Sie diesen an beliebiger Stelle in den Editor eingetippt und den Cursor in das Wort (oder unmittelbar dahinter) gesetzt haben.

Um den vollen Umfang der Dokumentation zu nutzen, klicken Sie in der Menüleiste auf das Fragezeichen und dann auf INHALT, SUCHEN... oder INDEX... (alle drei Möglichkeiten stehen im anschließenden Dialog als Registerkarte zur Verfügung).

- Auf der Registerkarte SUCHEN können Sie in das Textfeld ebenfalls einen Suchbegriff eingeben. Nach Klicken auf THEMEN AUFLISTEN erhalten Sie alle zu diesem Begriff existierenden Hilfedokumente. Um sich ein bestimmtes anzeigen zu lassen, doppelklicken Sie auf den Listeneintrag oder bedienen Sie sich der Schaltfläche ANZEIGEN.
- INDEX listet eine Vielzahl von Begriffen auf. Entweder scrollen Sie in der Liste zu dem gewünschten Begriff oder geben Sie in das Textfeld einen oder mehrere Anfangsbuchstaben ein. Das zugehörige Hilfedokument erhalten Sie wiederum durch Doppelklicken auf den Listeneintrag oder mit der Schaltfläche ANZEIGEN (ganz unten).
- Die Registerkarte INHALT zeigt sämtliche Hilfedokumente nach Sachthemen geordnet in einer Verzeichnisstruktur. Das entsprechende Dokument erscheint nach Klicken auf den Ordnereintrag.

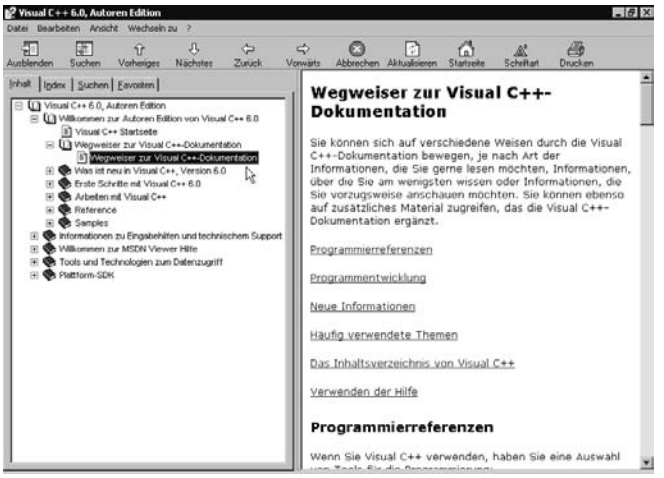


Bild 3.11: Online-Hilfe von Visual C++

Obige Ausführungen sowie weitere Anmerkungen zur Visual C++-Entwicklungsumgebung (und auch zu anderen Compilern) auf den folgenden Seiten sind gewissermaßen als kleine Zugabe zu Ihrer Unterstützung gedacht. Wie schon erwähnt, sind Sie jedoch für die Bedienung Ihres Compilers letzten Endes selbst verantwortlich. Das Suchen nach Begriffen wie »Benutzeroberfläche«, »Editor« und »Compiler« kann sich daher schon jetzt oder sehr bald als hilfreich erweisen. Ansonsten empfehlen wir Ihnen, gegebenenfalls Begriffe, die Ihnen im Laufe der Lektüre dieses Buches begegnen, als Basis für die Suche in der Online-Hilfe zu verwenden.

4 Ihr erstes C++-Programm

Nun ist es endlich so weit: Sie werden Ihr erstes kleines Programm schreiben. Es soll sich darin erschöpfen, einen Text auf den Bildschirm auszugeben. Wir werden den Benutzer mit den Worten »Willkommen bei C++« begrüßen. Sie können aber auch jeden beliebigen anderen Text verwenden, der Ihnen gerade einfällt. Oder Sie schreiben das berühmte »Hallo Welt«-Programm. Berühmt deshalb, weil nahezu jeder Autor eines Programmierbuches es als Einführungsprogramm verwendet, seitdem es in den Siebzigerjahren in einem Lehrbuch von Kernighan und Ritchie über die Programmiersprache C stand.

Im folgenden Abschnitt 4.1 »Die Lösung vorweggenommen« werden wir Ihnen schon einmal den kompletten Quellcode vorstellen und wenn Sie wollen, können Sie diesen im Anschluss daran anhand der Ausführungen in Kapitel 5 »Kompilieren und Ausführen von C++-Programmen« kompilieren lassen und ausführen. In Abschnitt 4.2 »Von Anfang an« werden wir das vorweggenommene Ergebnis Schritt für Schritt entwickeln. Sie lernen in diesem Zusammenhang die ersten Grundlagen der Programmiersprache C++ kennen.

4.1 Die Lösung vorweggenommen

Zur besseren Übersicht und für diejenigen, die nicht länger auf ihr erstes Programm warten wollen, sei hier schon einmal der vollständige Quellcode dargestellt.

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << "Willkommen bei C++";
   cout << endl;
}
```

Beachten Sie, dass C++ »case-sensitiv« ist, das heißt es unterscheidet zwischen Groß- und Kleinschreibung. Der Name `main` (dritte Zeile) darf also z.B. nicht als `Main` oder `MAIN` geschrieben werden. Das Gleiche gilt natürlich auch für `include`, `void`, `cout` usw.

ACHTUNG

Falls Sie mit einem älteren Compilermodell arbeiten (was hoffentlich nicht der Fall ist), müssen Sie anstelle von

```
#include <iostream>
using namespace std;
```

Folgendes schreiben:

```
#include <iostream.h>
```

Die Zeile `using namespace std;` entfällt in diesem Fall, `iostream` erhält die Endung `.h` (erste Zeile). Der gesamte Quelltext lautet dann

```
#include <iostream.h>
void main(void)
{
   cout << »Willkommen bei C++«;
   cout << endl;
}
```

Es sei darauf hingewiesen, dass die meisten neueren Compiler beide Varianten zulassen. Die erste Variante (`iostream` ohne `.h` und `using namespace std;`) ist jedoch vorzuziehen, da sie dem aktuellen ANSI/ISO-Standard von C++ entspricht (mehr zum ANSI/ISO-Standard der Programmiersprache C++ erfahren Sie in Abschnitt 6.3.2).

Wie gesagt, bewirkt das Programm (nachdem es kompiliert und ausgeführt wurde) die Ausgabe von `Willkommen bei C++` auf den Bildschirm. Wenn Sie einen anderen Ausgabetext wünschen, geben Sie statt der Zeichenfolge `Willkommen bei C++` zwischen den beiden doppelten Anführungszeichen den gewünschten Text ein.

So würde das Programm

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << "Guten Tag, lieber Leser";
   cout << endl;
}
```

die Ausgabe

```
Guten Tag, lieber Leser
```

bewirken.

Vermeiden Sie einen Zeilenumbruch innerhalb des Ausgabetextes. Wenn dieser zu lang wird, dann benutzen Sie `cout` ein zweites Mal.

```
#include <iostream>
using namespace std;
using namespace std;
void main(void)
{
   cout << "Willkommen";
   cout << " bei C++";
   cout << endl;
}
```

Ausgabe ist ebenfalls

```
Willkommen bei C++
```

Denken Sie in diesem Fall daran, dass Leerzeichen, die innerhalb der Zeichenfolge stehen, ebenfalls auf den Bildschirm ausgegeben werden. Es hat also auch Auswirkungen auf die Bildschirmausgabe, wenn diese Leerzeichen fehlen.

So ist im obigen Quelltext ein Leerzeichen vor dem Wort `bei` in der zweiten Ausgabeanweisung notwendig, da sonst die Bildschirmausgabe

```
Willkommenbei C++
```

lauten würde.

4.1.1 C++ und Zwischenraumzeichen

C++ geht zwar mit Leerzeichen recht großzügig um (Genaueres dazu erfahren Sie in Abschnitt 8.4 »Leerräume«). Von daher spielt es für die Kompilierbarkeit oft keine Rolle, ob Sie einen – sagen wir zehnzeiligen – Quelltext auf mehrere Seiten verteilen oder auf ein, zwei Zeilen komprimieren.

Dennoch bereits hier der Hinweis: Gewöhnen Sie sich schon jetzt an, die geschweiften Klammern `{` und `}` jeweils in eine eigene Zeile zu schreiben und die Programmbefehle in den Zeilen, die zwischen einer öffnenden geschweiften Klammer und einer schließenden geschweiften Klammer stehen, um eine konstante Anzahl von Stellen einzurücken. Dies ist zwar nicht zwingend notwendig, gehört aber zum guten Programmierstil, da es die Lesbarkeit Ihrer Quelltexte erhöht. Sie werden schon sehr bald feststellen, dass sich ein Quellcode wie oben dargestellt sehr viel leichter nachvollziehen lässt – und sich damit später auch die Überarbeitung leichter gestaltet – als derselbe Quelltext etwa in der Form

```
#include <iostream>
using namespace std;void main(void){
cout<<"Willkommen bei C++";cout<<endl;}
```

HINWEIS

Bei sehr kleinen Quelltexten wie hier sind natürlich Ausnahmen denkbar. Für Einsteiger ist es aber zunächst wichtig, sich gar nicht erst einen schlechten Programmierstil anzugewöhnen.

Da C++, wie gesagt, in Bezug auf das Vorhanden- oder Nichtvorhandensein von Leerzeichen sehr tolerant ist, ist auch diese dreizeilige Fassung des Quelltextes mit demselben Ergebnis kompilierbar.

HINWEIS

Allerdings muss die Präprozessor-Direktive `#include <iostream>` in einer separaten Zeile stehen (mit `#` eingeleitete Befehle richten sich an den Präprozessor – dazu später mehr), und es gilt nach wie vor, dass innerhalb der zwischen doppelten Anführungszeichen eingeschlossenen Zeichenfolge (`"Willkommen bei C++"`) kein Zeilenumbruch erfolgen darf.

Aber schon bei diesem kleinen Programm wäre es für den weniger geübten C++-Programmierer nicht leicht, auf den ersten Blick zu erkennen, welche Teile des Quelltextes sinngemäß zusammengehören. Wenn Sie das jetzt noch nicht überzeugt (weil es sich zum einen um ein sehr kleines Programm handelt und weil auch die besser lesbare Ausführung für Sie noch nicht nachvollziehbar ist, da Sie die Bedeutung der einzelnen Programmbefehle noch nicht kennen), bitten wir Sie dennoch, unserer Empfehlung zu folgen und sich beide Quelltexte im Anschluss an die folgenden Ausführungen noch einmal anzuschauen.

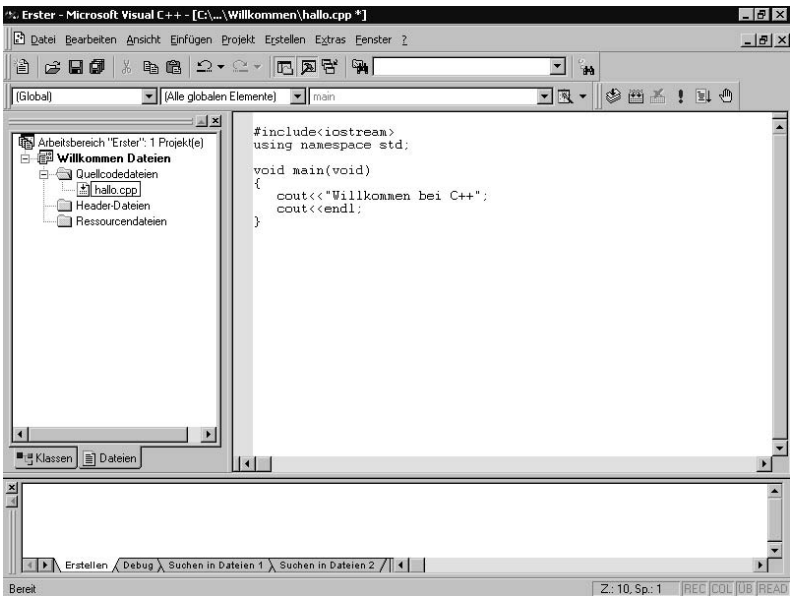
Wir werden die Programmierbefehle innerhalb zweier geschweifter Klammern immer um genau drei Leerzeichen einrücken. Es bleibt Ihnen aber überlassen, für Ihre Programme eine andere Anzahl von Leerzeichen festzulegen, sie sollte aber im weiteren Quelltext konstant bleiben. Einige C++-Editoren, darunter der von Visual Studio, führen diese Einrückungen sogar automatisch durch.

TIPP

Die Anzahl der für den Einzug verwendeten Leerzeichen können Sie im Dialogfenster AUSGANGSDATEI EIGENSCHAFTEN (Menüleiste: ANSICHT/ EIGENSCHAFTEN) ändern. Geben Sie in das Textfeld rechts unten (neben der Aufschrift EINZUG:) einen entsprechenden Wert ein, z.B. 3 für drei Leerzeichen.

Zum Abschluss noch einmal die lesbare Ausführung unseres Programms, eingegeben in den Visual C++-Editor (Abbildung 4.1).

Bild 4.1: Quelltext von *hallo.cpp*



Denjenigen, die es ganz eilig haben, sei es nun überlassen, einen Ausflug zum nächsten Kapitel (»Kompilieren und Ausführen von C++-Programmen«) zu machen und danach wieder hierher zurückzukehren. Wir wer-

den im Folgenden so tun, als ob wir die Lösung unserer Aufgabe noch nicht kennen würden, und uns diese Schritt für Schritt erarbeiten.

4.2 Von Anfang an

Wir müssen uns also überlegen, wie unser Quellcode auszusehen hat. C++ unterliegt wie jede andere Programmiersprache bestimmten Syntaxregeln und Vorgaben, die Sie einhalten müssen. Beachten Sie diese nicht, bricht der Compiler beim Übersetzen den Kompiliervorgang ab und gibt eine oder mehrere Fehlermeldungen aus. Jedes einzelne Zeichen hat in C++ eine ganz bestimmte Bedeutung. C++-Compiler sind darin äußerst empfindlich, so großzügig C++ in Bezug auf Leer- und andere Zwischenraumzeichen auch sein mag.

4.2.1 Aufbau von C++-Programmen

Es stellt sich nun die Frage, wie ein C++-Programm aufgebaut ist (wir sprechen vom Quellcode). Die kleinste, sinngemäß zusammengehörige Einheit eines C++-Programms ist die so genannte Anweisung, auch Statement oder kurz Befehl genannt, mitunter auch Programm(ier)befehl. Wir hatten sie in Kapitel 1 bereits erwähnt (Abschnitt 1.1 »Was ist eigentlich ein Computerprogramm?«), ohne auf Näheres einzugehen.

Die Anweisung bildet praktisch die Ursache dafür, dass beim Programmlauf etwas geschieht, eine Aktion durchgeführt wird. Dabei hat jede einzelne Anweisung eine ganz bestimmte Wirkung:

- Es wird etwas auf den Bildschirm ausgegeben.
- Es wird eine Eingabe des Benutzers angenommen.
- Ein bestimmter Wert wird gespeichert.
- …

Anweisungen sind damit sozusagen die Bausteine eines Programms. Je nachdem, was Ihr Programm leisten soll, wird sich daraus die Wahl der Anweisungen ergeben und auch deren Anordnung im Quelltext. Letzteres bestimmt, in welcher Reihenfolge die einzelnen Anweisungen auszuführen sind, welche Aktionen also beim Programmlauf zuerst stattfinden sollen.

HINWEIS

Grundsätzlich werden die Anweisungen sequenziell ausgeführt, das heißt »von oben nach unten«, so wie sie im Quelltext stehen. Das bedeutet, die im Quellcode am weitesten oben stehende Anweisung wird zuerst ausgeführt, dann die unmittelbar folgende usw. Allerdings kann der Programmierer mittels Kontrollstrukturen in diesen Ablauf eingreifen. Wir werden darauf in Kapitel 17 »Verzweigungen« und Kapitel 18 »Wiederholungsanweisungen« ausführlich zu sprechen kommen.

Wir möchten den Benutzer unseres Programms über den Bildschirm begrüßen. Die dafür benötigte Anweisung lautet

```
cout << "…";
```

wobei zwischen den beiden Anführungszeichen der Ausgabetext einzusetzen ist.

```
cout << "Willkommen bei C++";
```

bewirkt also die Ausgabe von

```
Willkommen bei C++
```

HINWEIS

`cout` ist genau genommen keine Anweisung, sondern ein Objekt, und `<<` ist der Ausgabeoperator. Beides zusammen bewirkt die Ausgabe von Daten auf das Standardausgabegerät (das »c« in `cout` steht für »character«, zu Deutsch »Zeichen«). So viel nur zu Ihrer Information.

HINWEIS

Objekte im engeren Sinne sind Bestandteil der objektorientierten Programmierung, mit der wir uns im dritten Teil des Buches eingehend beschäftigen werden. Es sei hier darauf hingewiesen, dass wir bis dahin mit dem Begriff »Objekt« etwas großzügiger umgehen werden.

Wenn wir diesen Quellcode, bestehend aus der Anweisung

```
cout << "Willkommen bei C++";
```

nun kompilieren würden, erhielten wir eine Reihe von Fehlermeldungen, obwohl die Ausgabeanweisung selbst syntaktisch korrekt ist.

Da Anweisungen aber, wie gesagt, die kleinste Einheit eines C++-Programms darstellen, müssen sie in eine größere eingebunden werden. Sie dürfen nicht so wie jetzt für sich alleine im freien Raum stehen.

4.2.2 Funktionen

Ein Container für Anweisungen ist die Funktion. Es gilt:

- Jedes C++-Programm setzt sich aus einer oder mehreren Funktionen zusammen.
- Jede Anweisung muss innerhalb einer Funktion stehen.
- Eine Funktion kann eine beliebige Anzahl von Anweisungen enthalten.

HINWEIS

Zu den Funktionen und Anweisungen kommen im Zuge der objektorientierten Programmierung noch die Klassen mit ihren Methoden hinzu. Auch von der Regel, dass Anweisungen innerhalb von Funktionen stehen müssen, gibt es Ausnahmen, die uns aber hier noch nicht interessieren sollen (eine dieser Ausnahmen ist allerdings `using namespace std;`, siehe dazu Abschnitt 4.2.4).

Der Aufbau einer Funktion gliedert sich grob in einen Funktionskopf und einen Funktionsrumpf. Bis auf weiteres werden wir uns mit nur einer Funktion befassen. Sie ist auch die wichtigste, nämlich die Funktion `main()`. Das Grundgerüst von `main()` wird folgendermaßen definiert:

```
void main(void)
{
}
```

Die Zeile `void main(void)` bildet den Funktionskopf von `main()`, wobei das `void` in den Klammern auch entfallen kann. Also

```
void main(void)
```

oder eben

```
void main()
```

HINWEIS

Wenn Sie in Ihrem Quelltext einen Funktionsnamen schreiben, dürfen Sie die nachfolgenden Klammern nicht vergessen. Sie gehören zur Funktion. Aber auch wenn man in einer Dokumentation auf eine Funktion verweist, ist es üblich, hinter den Funktionsnamen zwei runde Klammern zu setzen, man schreibt also nicht `main`, sondern `main()`. Dann weiß der Leser sofort, dass es sich um eine Funktion handelt und nicht etwa um eine Variable oder eine Klasse (zu Variablen später mehr).

Der Beginn des Funktionsrumpfes wird durch eine öffnende geschweifte Klammer (`{`) und das Ende des Funktionsrumpfes durch eine schließende geschweifte Klammer (`}`) festgelegt. Alle Anweisungen müssen zwischen diesen beiden Klammern stehen, also

```
void main(void)
{
   // Anweisung(en)
}
```

Bei dem doppelten Schrägstrich (`//`) handelt es sich um ein Kommentarzeichen. Es bewirkt, dass alle folgenden Zeichen bis zum Zeilenende als Kommentar angesehen werden. Kommentare werden beim Übersetzungsvorgang ignoriert, haben also keine Auswirkung auf den späteren Programmlauf – dazu mehr in Kapitel 7 »Kommentare«. Hier weist der Kommentar darauf hin, an welche Stelle Anweisungen zu positionieren sind. Wir müssen also die Kommentarzeile gleich durch die tatsächliche Anweisung ersetzen.

TIPP

Halten Sie sich an die oben genannten Programmierstilregeln. Schreiben Sie die geschweiften Klammern stets in eine extra Zeile und rücken Sie die Anweisung(en) innerhalb der beiden Klammern ein.

Die Funktion `main()` ist deshalb so wichtig, weil sie den Einstiegspunkt ins Programm darstellt. In der Regel besteht ein C++-Programm nicht nur aus einer Funktion (was auf unsere ersten Programme zutrifft), sondern aus mehreren Funktionen. Wenn Sie den Kompiliervorgang starten,

arbeitet der Compiler nicht etwa die Funktionen nacheinander ab, so wie sie im Quelltext stehen (wie das bei den Anweisungen der Fall ist), sondern er sucht gezielt nach der Funktion `main()`. Findet er sie nicht, bricht er die Übersetzung ab, und Sie erhalten eine entsprechende Fehlermeldung.

Aus dem Gesagten ergibt sich:

- In jedem C++-Programm muss genau eine Funktion `main()` definiert sein. Damit wird die Stelle festgelegt, an der die Programmausführung beginnt.
- Die erste Aktion, die beim späteren Programmlauf stattfindet, wird von der ersten Anweisung im Rumpf der Methode `main()` bestimmt.

Zur Erklärung: Wenn sich in einem Quellcode keine Funktion `main()` befindet, weiß der Compiler nicht, wo er mit seiner Arbeit beginnen soll. Genauso verhält es sich, falls ein Quellcode mehrere `main()`-Funktionen enthält. Innerhalb einer Funktion dagegen werden die Anweisungen sequenziell abgearbeitet (siehe oben), sodass die erste Anweisung in `main()` die erste Aktion beim Programmlauf bestimmt.

HINWEIS

In welcher Reihenfolge Funktionen ausgeführt werden, erfahren Sie in Kapitel 21 »Funktionen«. Bis dahin werden wir uns lediglich auf eine Funktion, `main()`, beschränken. Das bedeutet:

Alle Anweisungen befinden sich im Rumpf der Funktion `main()`.

Die im Quelltext am weitesten oben stehende Anweisung (in `main()`) wird als Erstes ausgeführt,

die am weitesten unten stehende (ebenfalls in `main()`) zuletzt.

Wenn wir nun die Ausgabeanweisung

```
cout << "Willkommen bei C++";
```

in die Funktion `main()` integrieren, ergibt sich für unseren Quelltext:

```
void main(void)
{
   cout << "Willkommen bei C++";
}
```

HINWEIS

Über die Zeile `void main (void)` – bzw. `void main()` – brauchen Sie sich noch keine Gedanken zu machen. Ihnen soll nur klar sein, dass es sich dabei um den Funktionskopf von `main()` handelt.

Die Bedeutung von `void` einschließlich der runden Klammern nach dem Funktionsnamen `main` werden Sie später noch kennen lernen (siehe die Abschnitte 21.3 »Funktionsparameter« und 21.4 »Rückgabewerte von Funktionen«). Solange wir nur in `main()` programmieren, lautet der Funktionskopf stets gleich.

Ebenso wie den Funktionskopf von `main()` bitten wir Sie, auch die Zeilen

```
#include <iostream>
using namespace std;
```

zunächst kritiklos zu übernehmen (mehr darüber erfahren Sie ebenfalls in Kapitel 21 »Funktionen«). Beide Programmzeilen werden, abgesehen von weiteren Präprozessor-Direktiven, in allen Quelltexten stets gleich lauten.

4.2.3 #include <iostream>

Fürs Erste dazu nur so viel: Anweisungen, die mit einer Raute beginnen (#), richten sich an den Präprozessor, `iostream` (bzw. `iostream.h` bei älteren Compilern) ist eine so genannte Headerdatei. Mit der Anweisung `#include <iostream>` weisen Sie den Präprozessor an, den Inhalt der Headerdatei an dieser Stelle in den Quellcode einzufügen. Dies geschieht, bevor ihn der eigentliche Compiler zur Übersetzung in Maschinencode erhält (siehe Abschnitt 1.2.3 »Präprozessor und Linker«).

Um die Frage nach dem Sinn zu klären, bedarf es einer weiteren Erläuterung: Ihr Compilersystem verfügt über eine Vielzahl von vordefinierten Klassen, Funktionen, Objekten usw. Dies ist für Sie als Programmierer eine große Hilfe, da Sie diese Elemente, ohne sich große Gedanken machen zu müssen, einfach verwenden können, wenn Sie sie benötigen. So brauchen Sie nicht selbst eine Funktion zu definieren, die Daten auf den Bildschirm ausgibt (wie Sie Funktionen selbst definieren, erfahren Sie in Kapitel 21 »Funktionen«). Sie verwenden dazu einfach das vordefinierte Objekt `cout`.

Allerdings müssen Sie dem Compiler vorher mitteilen, dass Sie bestimmte Funktionen verwenden wollen. Genau dies geschieht mit der Einbindung von Headerdateien via `include` (zu Deutsch »einbeziehen, einschließen«), in diesem Fall der Headerdatei `iostream`. Das »i« in `iostream` steht für »input« (Eingabe), das »o« für »output« (Ausgabe). Das bedeutet, wenn Sie die Headerdatei `iostream` mit der `#include`-Anweisung einbinden, stehen Ihnen im Weiteren eine Reihe von vordefinierten Elementen für Ein- und Ausgabeoperationen zur Verfügung. Wir werden im weiteren Verlauf dieses Buches davon noch ausgiebig Gebrauch machen.

4.2.4 using namespace std;

Zur Anweisung `using namespace std;`: Die vordefinierten Funktionen, Klassen etc., die nach Einbindung der Headerdatei `iostream` zur Verfügung stehen, sind Teil des Namensraums `std` (`std` steht für »Standard«). Dies gilt jedoch nur für Compiler, die sich nach dem ANSI/ISO C++-Standard richten.

HINWEIS

Bei älteren Compilern, die den ANSI/ISO-Standard nicht unterstützen, muss die `namespace`-Anweisung daher unterbleiben. Es sei darauf hingewiesen, dass den Ausführungen in diesem Buch der ANSI/ISO-Standard der Programmiersprache C++ zugrunde liegt. Aber nicht nur aus diesem Grunde möchten wir Ihnen empfehlen, gegebenenfalls auf ein neueres Compilermodell umzusteigen.

Falls Sie die Zeile `using namespace std;` weglassen, müssten Sie Ihrem Compiler (vorausgesetzt, dieser unterstützt den ANSI/ISO C++-Standard) explizit mitteilen, dass Sie das Objekt `cout` in dem Namensraum `std` – und nicht etwa ein gleichnamiges anderes – meinen:

```
#include <iostream>
void main(void)
{
   std::cout << "Willkommen bei C++";
}
```

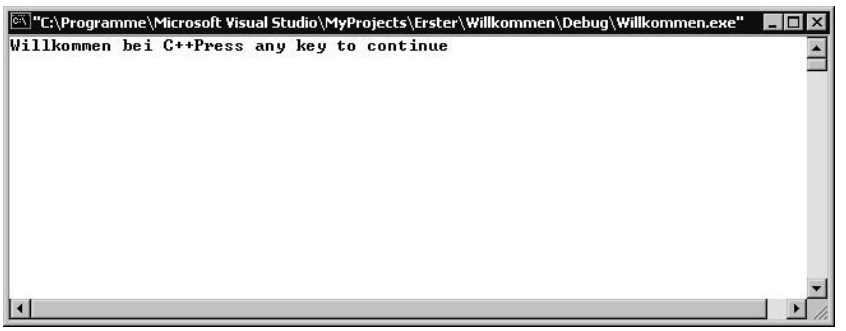
Um zu vermeiden, jedem Aufruf einer in `iostream` deklarierten Funktion den Text `std::` voranstellen zu müssen, teilen Sie Ihrem Compiler gleich zu Anfang mit, dass sich Namen, die im weiteren Code verwendet werden, auf Objekte des Namensraums `std` beziehen (`using namespace std;`).

Mit Einbeziehung der `#include`-Direktive und der `namespace`-Anweisung ergibt sich nun für unseren Quellcode:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << "Willkommen bei C++";
}
```

So weit, so gut. Wenn Sie allerdings mit Visual C++ arbeiten und das Programm von dieser Oberfläche aus starten (wie das geht, werden wir Ihnen im nächsten Kapitel zeigen), präsentiert sich das Ausgabefenster wie in Abbildung 4.2.

Bild 4.2: Ausgabefenster von Visual Studio



Der Text `Press any key to continue` wird von Visual Studio eingefügt und hat also nichts mit unserem Programm zu tun. Daher erscheint dieser Text auch nicht, wenn Sie das Programm von der Konsole aus starten.

Da Sie Ihre Programme aber vermutlich auf dem bequemeren Weg über die Benutzeroberfläche Ihrer IDE starten werden, fügen wir nach der Ausgabe von

```
Willkommen bei C++
```

noch einen Zeilenvorschub ein. Dies geschieht mit der Anweisung

```
cout << endl;
```

Als vollständigen Quelltext für unser erstes Programm erhalten wir somit

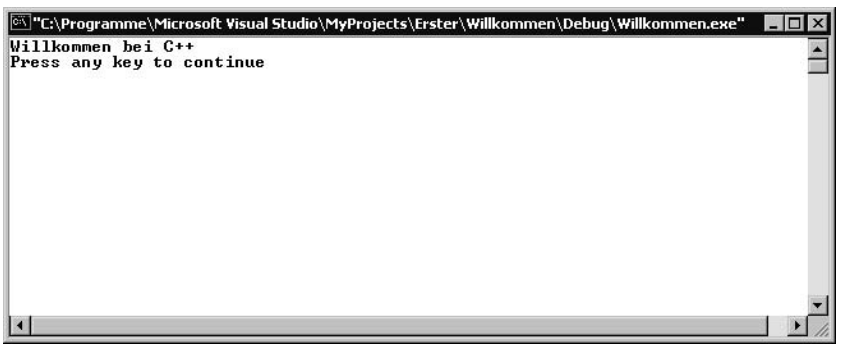
```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << "Willkommen bei C++";
   cout << endl;
}
```

HINWEIS

Wir haben im obigen Listing zwischen `using namespace std;` und `void main(void)` eine Leerzeile eingefügt, um die Präprozessor-Direktive und die Einbindung des Namensraums `std` vom übrigen Code abzuheben. Dies hat, wie Sie bereits wissen, keine Auswirkungen auf das Verhalten des Programms und ist letzten Endes eine reine Geschmacksfrage.

Das erwartete Ergebnis im Ausgabefenster von Visual C++ können Sie Abbildung 4.3 entnehmen.

Bild 4.3: Ausgabe mit Zeilenumbruch



Was unser Programm leistet, ist nicht viel, aber fürs Erste wollen wir damit zufrieden sein:

- Ausgabe der Zeichenfolge `Willkommen bei C++`.
- Setzen des Cursors in die nächste Zeile.

Es sei erneut darauf hingewiesen, dass sich das Ergebnis im Grunde genommen auf die beiden Anweisungen

```
cout << "Willkommen bei C++";
```

und

```
cout << endl;
```

zurückführen lässt.

Woran erkennt ein C++-Compiler nun das Ende einer Anweisung? Die Frage drängt sich auf, da für ihn Zwischenraumzeichen weitgehend bedeutungslos sind. Möglicherweise haben Sie sich darüber bereits Gedanken gemacht, und Sie haben diesbezüglich bei obigen Anweisungen eine Gemeinsamkeit entdeckt – das Semikolon am Ende.

HINWEIS

Merken Sie sich schon jetzt:

Jede Anweisung in C++ muss mit einem Semikolon enden.

5 Kompilieren und Ausführen von C++-Programmen

Wir werden Ihnen nun die notwendigen Schritte zur Kompilierung und Ausführung Ihres ersten Programms (und damit auch aller weiteren Programme) zeigen. Zur besseren Übersicht hier noch einmal der Quellcode:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << "Willkommen bei C++";
   cout << endl;
}
```

Wir werden diesen Quellcode einmal mit Borland C++ 5.5 als Beispiel für einen Kommandozeilen-Compiler und natürlich mit dem Visual C++-Compiler übersetzen lassen. Im Anschluss daran werden wir die ausführbare Datei sowohl auf der Konsole als auch aus der Visual C++-IDE heraus zur Ausführung bringen.

5.1 Kompilierung unter Visual C++

Geben Sie – falls noch nicht geschehen – den Quelltext in das Editorfenster Ihrer Visual C++-IDE ein.

Es steht Ihnen natürlich frei, den Quelltext von der Buch-CD per Copy&Paste einzufügen.

Um den Kompiliervorgang zu starten, wählen Sie unter folgenden Möglichkeiten:

- Befehlsfolge ERSTELLEN/WILLKOMMEN.EXE ERSTELLEN in der Menüleiste
- Taste F7
- Klick auf das Symbol »Erstellen«. Es ist das zweite Symbol von links, und es zeigt den Hilfetext »Erstellen (F7)«, wenn der Mauszeiger für ein paar Augenblicke auf dem Symbol positioniert wird (siehe Abbildung 5.1).

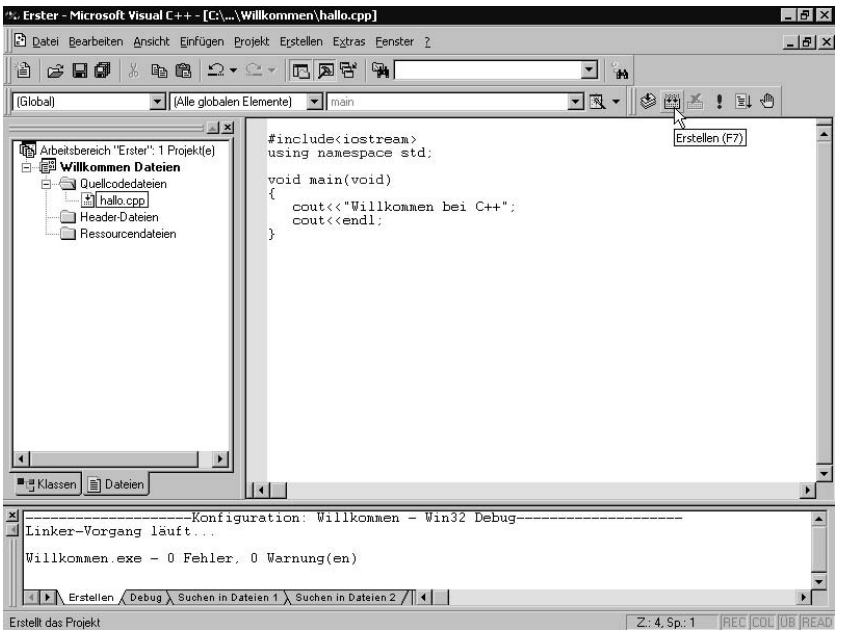
Sofern der Quelltext korrekt eingegeben wurde, wird durch diesen Vorgang die ausführbare Datei mit der Erweiterung *.exe* erzeugt. Ihr Name richtet sich nach dem Namen Ihres Projekts (da wir unser Projekt *Willkommen* genannt haben, heißt unsere ausführbare Datei folglich *Willkommen.exe*). Sie wird im Unterverzeichnis *Debug* Ihres Projektverzeichnisses abgelegt. Der vollständige Pfad lautet also

`C:\Programme\Microsoft Visual Studio\MyProjects\`*`Arbeitsbereichsname`*`\`*`Projektname`*`\Debug`

sofern Sie nicht auf einem anderen Laufwerk arbeiten oder bei der Installation des Compilers einen anderen Zielpfad eingegeben haben.

Für *Arbeitsbereichsname* sowie *Projektname* sind natürlich die tatsächlichen Namen einzusetzen (bei uns *Erster* für *Arbeitsbereichsname* und *Willkommen* für *Projektname*).

Bild 5.1: Kompilieren der Quelldatei *hallo.cpp*

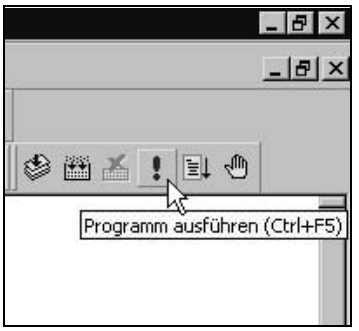


Falls das untere Fenster für die Fehlerausgabe bei Ihnen nicht sichtbar ist, ziehen Sie es an der unteren Teillinie hoch. Wenn die Kompilierung fehlerfrei vonstatten geht, erhalten Sie dort die Meldung »0 Fehler, 0 Warnung(en)« (siehe Abbildung 5.1), ansonsten in der Regel recht hilfreiche Fehlermeldungen. Beseitigen Sie gegebenenfalls die Fehler in Ihrem Quelltext und starten Sie den Kompiliervorgang erneut (zum Thema Fehler siehe Kapitel 6 »Über Programm(ier)fehler«).

Um Ihr Programm auszuführen, könnten Sie nun vorgehen wie im folgenden Abschnitt 5.2 »Verwendung eines Kommandozeilen-Compilers« beschrieben und es von der Konsole aus starten. Einfacher und schneller geht es jedoch über die Benutzeroberfläche Ihrer Visual C++-IDE.

Klicken Sie dazu auf das »Programm ausführen«-Symbol mit dem roten Ausrufezeichen (siehe Abbildung 5.2) oder wählen Sie in der Menüleiste ERSTELLEN/AUSFÜHREN VON WILLKOMMEN.EXE oder – noch einfacher – drücken Sie [Strg]+[F5].

Bild 5.2: Symbol zum Ausführen von Programmen

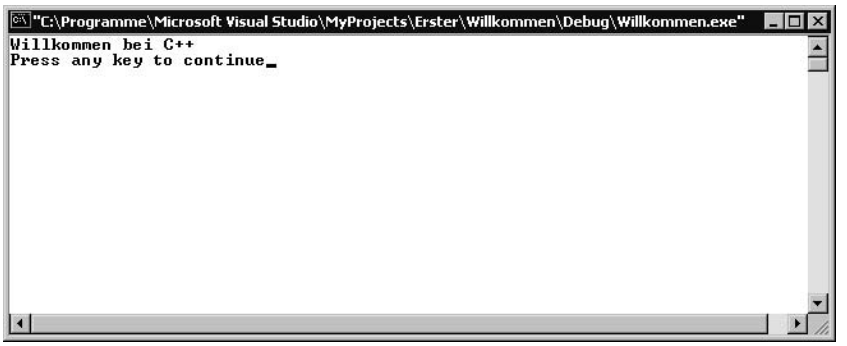


HINWEIS

In der Autorenversion der Visual C++-IDE erscheint beim Start eines damit entwickelten Programms stets eine Meldung, die Sie darauf hinweist, dass Sie die erzeugten ausführbaren Dateien gemäß der Lizenzvereinbarung nicht weitervertreiben dürfen. Erst nach einer Bestätigung mit OK wird Ihr Programm fortgesetzt. Diese etwas lästige Meldung müssen Sie leider in Kauf nehmen.

Ihr Programm wird nun in einem separaten Fenster ausgeführt. Allerdings fügt Visual C++ die Aufforderung `Press any key to continue` hinzu.

Bild 5.3: Ausgabefenster der Visual C++-IDE



Unser Programm macht nun genau das, wozu wir es bestimmt haben: Es gibt die Zeichenfolge `Willkommen bei C++` auf den Bildschirm aus – und dann endet es auch schon wieder.

Schließen können Sie das Ausgabefenster entweder durch Drücken einer beliebigen Taste (»Press any key to continue«) oder durch Klick auf die »x«-Schaltfläche rechts oben (siehe Abbildung 5.4). Letztere Möglichkeit besteht auch vor dem regulären Ende eines Programmlaufs, was hier keine Rolle spielt, da das Programm unmittelbar nach dem Start schon wieder endet.

Sie werden aber später auch Programme schreiben, die eine Vielzahl von Aktionen durchführen und in der Regel an mehreren Stellen auf Eingaben des Benutzers warten. Und je umfangreicher Ihre Programme wer-

Bild 5.4: Schaltfläche zum Schließen des Ausgabefensters

den, desto häufiger werden Sie in der Entstehungsphase die Möglichkeit wahrnehmen, ein Programm zwischendurch testen zu können, ohne die Oberfläche von Visual C++ verlassen zu müssen. Vermutlich werden Sie dann den einen oder anderen Programmlauf gerne durch Betätigen der Schließen-Schaltfläche vorzeitig beenden, z.B. wenn es Ihnen im Moment gerade nicht auf die Endphase Ihres Programms ankommt.

TIPP

Diese Option erweist sich vor allem dann als nützlich, wenn sich ein Programm »aufgehängt hat«, das heißt nicht mehr von selbst terminiert – z.B. aufgrund einer so genannten Endlosschleife, die gewöhnlich auf einem Versehen des Programmierers beruht (siehe Abschnitt 18.1.1 »Endlosschleifen«). Falls das Programm dann extern, also auf der Konsole oder über den Windows-Explorer, gestartet wurde, müssten Sie in diesem Fall mitunter zeitaufwändigere Maßnahmen treffen, im äußersten Fall Ihren Computer herunter- und wieder hochfahren. So hat Visual C++ noch die Kontrolle und Sie sind in der Lage, den Programmlauf durch Schließen des Ausgabefensters ohne Unannehmlichkeiten abzubrechen.

5.2 Verwendung eines Kommandozeilen-Compilers

Ein Kommandozeilen-Compiler wird als eigenständiges Computerprogramm von der Konsole aus gestartet. Dabei wird ihm die zu kompilierende Quellcodedatei mittels Parameterangabe bekannt gemacht, also ihm gewissermaßen beim Aufruf übergeben.

Stellvertretend für andere Kommandozeilen-Compiler wollen wir die Vorgehensweise am Beispiel der Kommandozeilen-Version des Borland C++-Compilers 5.5 darstellen. Zu Einzelheiten, insbesondere zur Installation, sei Ihnen die Dokumentation Ihres Compilers sowie das Lesen der *Readme*-Datei empfohlen.

5.2.1 Vorbereitungen

Wir empfehlen Ihnen, sich für Ihre C++-Programme ein eigenes Unterverzeichnis einzurichten. Nennen Sie es einfach *MeineProgramme*. Wir gehen im Folgenden von dieser Verzeichnisstruktur aus:

- Nach der Installation des Borland-Compilers befindet sich auf der Festplatte ein Verzeichnis `C:\Borland`.

- Die Datei *bcc32.exe*, die gestartet werden muss, um den Compiler in Gang zu setzen, befindet sich im Unterverzeichnis *Bin* (Pfad: `C:\Borland\BCC5\Bin`).
- Als Sammelort für unsere C++-Programme ist das von Hand angelegte Unterverzeichnis *MeineProgramme* vorgesehen (Pfad: `C:\Borland\MeineProgramme`).

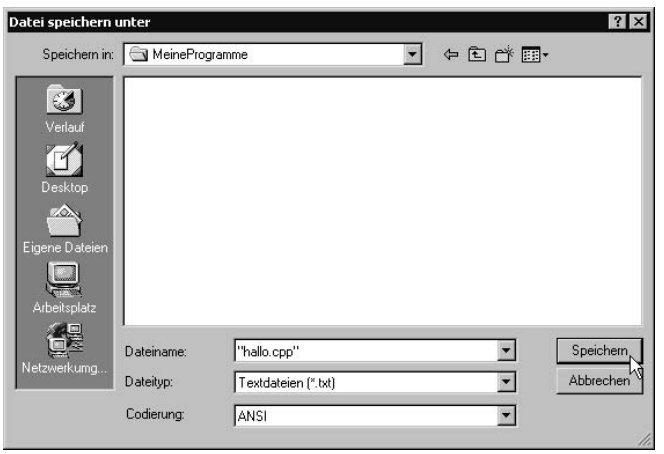
Und noch ein Rat: Fügen Sie das *Bin*-Verzeichnis dem Pfad Ihrer Umgebungsvariablen *Path* hinzu (`C:\Borland\BCC5\Bin`). Dies hat den Vorteil, dass dann der Compiler ohne Pfadangabe aus jedem Verzeichnis heraus aufgerufen werden kann. Sie können dann den Compiler aus dem Verzeichnis starten, in dem sich Ihre Quelldateien befinden (*MeineProgramme*). Dies ist recht komfortabel, da Sie auf diese Weise während der Entwicklung nicht laufend das Verzeichnis wechseln müssen. Wir werden daher im Folgenden so vorgehen.

HINWEIS

Natürlich müssen Sie die oben genannten Daten im Weiteren auf Ihre Umgebung übertragen. Anpassungen sind vor allem dann notwendig, wenn Sie mit einem anderen Compiler arbeiten oder ein anderes Zielverzeichnis bei der Installation bestimmt haben.

Zum Erstellen der Quellcodedatei verwenden wir den Editor des Windows-Betriebssystems (erreichbar über START/PROGRAMME/ZUBEHÖR/EDITOR). Nachdem Sie den Quelltext eingetippt haben, speichern Sie die Datei mit der Erweiterung *.cpp* (*hallo.cpp*). Dies ist die gängigste Endung bei C++-Compilern unter Windows. Schauen Sie gegebenenfalls in Ihrer Compiler-Dokumentation nach, welche Dateierweiterung erwartet wird.

Bild 5.5: Speichern-Dialog des Windows-Editors

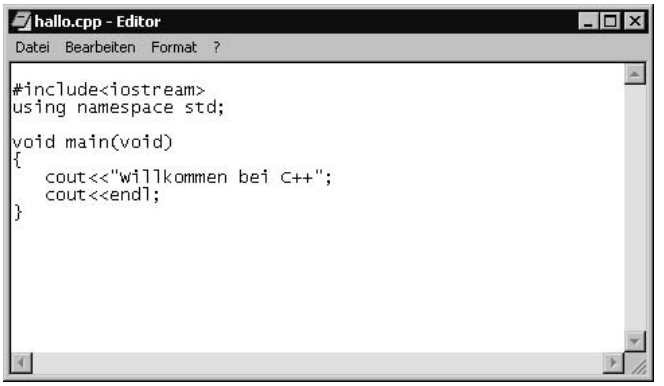


TIPP

Wenn Sie sichergehen wollen, dass der Windows-Editor nicht von sich aus noch zusätzlich die Endung *.txt* anfügt, dann setzen Sie den Dateinamen zusammen mit der Erweiterung *.cpp,* wie in Abbildung 5.5 zu sehen, in doppelte Anführungszeichen.

Nach dem Speichern erscheint in der Titelleiste des Editors der Name der Quelldatei (Abbildung 5.6).

Bild 5.6: Nach dem Speichern



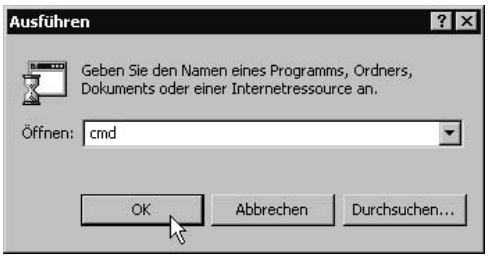
5.2.2 Kompilierung

Nun müssen wir die Datei *hallo.cpp* vom Borland-Compiler in Maschinensprache übersetzen lassen. Das Endprodukt nach erfolgreicher Kompilierung besteht in einer ausführbaren *.exe*-Datei.

Für die weiteren Aktionen spielt es keine Rolle, ob die Quelldatei geschlossen oder noch geöffnet ist. Letzteres ist sogar von Vorteil, falls der Kompilierversuch scheitert und Sie sich in Ihrem Quellcode auf Fehlersuche begeben müssen.

Um den Kommandozeilen-Compiler unter Angabe eines Dateinamens aufrufen zu können, müssen wir uns auf die Konsole begeben. Sie ist für Windows-Betriebssysteme über das Startmenü erreichbar, entweder durch Auswahl von START/PROGRAMME(/ZUBEHÖR) und Klick auf EINGABEAUFFORDERUNG oder (unter Windows 2000, Windows NT sowie Windows XP) mit START/AUSFÜHREN... und Eingabe von `cmd` in der daraufhin erscheinenden Dialogbox (siehe Abbildung 5.7).

Bild 5.7: Aufruf der Konsole



Nach einer Bestätigung des Dialoges mit OK befinden wir uns in der Befehlszeile (Konsole).

Nun wechseln wir in das Verzeichnis *MeineProgramme*, in dem sich die Quellcodedatei *hallo.cpp* befindet. Um in ein Unterverzeichnis zu wechseln, geben Sie an der Eingabeaufforderung `cd` und – durch ein Leerzei-

chen getrennt – den Verzeichnisnamen ein. Um also zunächst ins Verzeichnis *Borland* und von da aus in das Verzeichnis *MeineProgramme* zu wechseln, müssen wir nacheinander

```
cd Borland
```

und

```
cd MeineProgramme
```

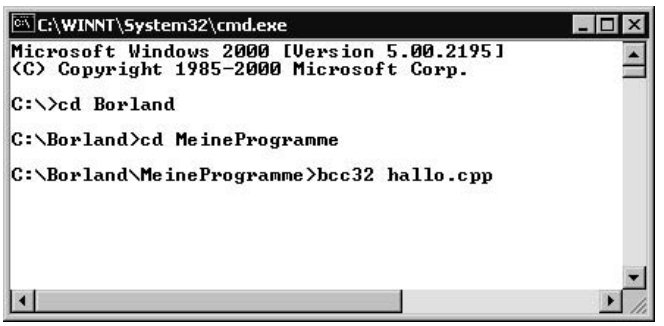
eintippen (und den DOS-Befehl jeweils mit ↵ abschicken).

Bild 5.8: Wechsel ins Unterverzeichnis *MeineProgramme*

Wenn der Pfad zum Compiler (hier `C:\Borland\BCC5\Bin`) in der Path-Umgebungsvariablen enthalten ist (siehe Abschnitt 5.2.1 »Vorbereitungen«), dann lässt sich der Compiler ohne Pfadangabe aufrufen. Die entsprechende Datei heißt *bcc32.exe*.

In der Befehlszeile werden *.exe*-Dateien unter Angabe des Dateinamens (ohne Erweiterung) gestartet, also *bcc32.exe* mit dem Befehl `bcc32`. Allerdings ist noch der Name der zu kompilierenden Quelldatei (mit Erweiterung!) als Parameter zu übergeben. In unserem Fall lautet somit der notwendige DOS-Befehl zum korrekten Start des Compilers `bcc32 hallo.cpp`, um ihm die Datei *hallo.cpp* zum Übersetzen zu übergeben (siehe Abbildung 5.9).

Bild 5.9: Aufruf des Borland C++-Compilers

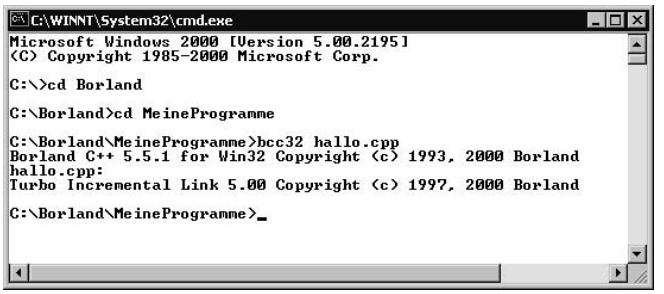


TIPP

Da wir uns im Verzeichnis *MeineProgramme* befinden – in dem die Quellcodedatei enthalten ist –, reicht die alleinige Angabe des Dateinamens *hallo.cpp* aus. Falls die zu kompilierende Quelldatei jedoch nicht im aktuellen Verzeichnis liegt, ist die Angabe des vollständigen Pfades erforderlich. Auch unter diesem Gesichtspunkt ist es sinnvoll, ein eigenes Verzeichnis für alle Quellcodedateien einzurichten und den Compiler später aus diesem Verzeichnis heraus aufzurufen. Sie benötigen dann beim Compileraufruf weder Pfadangaben noch müssen Sie zwischen verschiedenen Verzeichnissen hin- und herwechseln.

Nach Eingabe des Startbefehls und dem Abschicken per ↵ wird die Kompilierung in Gang gesetzt. Verläuft sie erfolgreich, wird im Anschluss daran eine ausführbare *.exe*-Datei im aktuellen Verzeichnis abgelegt. Ihr Name richtet sich nach der Quelldatei. In unserem Fall entsteht also die Datei *hallo.exe* (zusätzlich zur nach wie vor vorhandenen Datei *hallo.cpp*).

Bild 5.10: Nach dem Kompilieren



Sollten Sie jedoch Fehlermeldungen erhalten, so müssen Sie Ihren Quelltext nochmals überarbeiten (heißt: die Fehler beseitigen – möglicherweise haben Sie ein Semikolon vergessen, »main« irrtümlicherweise großgeschrieben oder Ähnliches) und die Quelldatei erneut speichern.

5.2.3 Ausführen der .exe-Datei

Um das somit fertige Programm zur Ausführung zu bringen, starten Sie die *.exe*-Datei. Da diese in unserem Fall den Namen *hallo.exe* trägt, geschieht dies mit dem Befehl `hallo` (Eingabe des Dateinamens ohne Erweiterung).

TIPP

Mit dem DOS-Befehl `CLS` bzw. `cls` (bei DOS-Befehlen brauchen Sie auf Groß- und Kleinschreibung keine Rücksicht zu nehmen) können Sie den Bildschirminhalt der DOS-Box löschen. CLS steht für Clear Screen.

Nach Drücken der ↵-Taste sollte sich folgendes Bild ergeben:

Bild 5.11: Ausgabe des Programms *hallo.exe*

TIPP

Hier noch ein Tipp für Leser, die in der Konsole arbeiten: Mit den Tasten [↑] und [↓] können Sie auf alle zuletzt verwendeten DOS-Befehle zugreifen, ohne diese erneut eintippen zu müssen.

5.3 Ausführung über den Windows-Explorer

Natürlich ist es auch möglich, *.exe*-Dateien über den Windows-Explorer – durch Doppelklick auf den Dateieintrag – zur Ausführung zu bringen.

Allerdings macht dies für das vorliegende Programm wenig Sinn, da Windows das Konsolenfenster nach Programmausführung sofort wieder schließt. Und da sich unser erstes Programm in der bloßen Ausgabe einer Zeichenfolge erschöpft, würde das Konsolenfenster in diesem Fall tatsächlich in Sekundenbruchteilen wieder verschwinden. Das heißt, Sie bekämen so gut wie nichts zu sehen.

HINWEIS

Aus diesem Grunde wird auch in der Visual C++-IDE das sofortige Schließen des Ausgabefensters unterbunden. Dadurch ist sichergestellt, dass der Programmierer die Ausgaben seiner Programme, die sich in der Entwicklungsphase befinden, betrachten kann, ohne Haltebefehle einbauen zu müssen. Vielmehr wird ein solcher Haltebefehl von der Visual C++-IDE selbstständig angefügt (»Press any key to continue«).

Abhilfe ließe sich, wie im obigen Hinweis angedeutet, mit der Erweiterung des Quellcodes um einen so genannten Haltebefehl schaffen. Dann wartet das Programm erst auf einen Tastendruck, bevor es endet.

Für Interessierte hier ein entsprechend erweiterter Quellcode:

```
#include <iostream>
#include <conio.h>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << "Willkommen bei C++";
   cout << endl;
   getch();
}
```

Die Funktion `getch()`, die aus dem Sprachschatz der Programmiersprache C übernommen wurde, wartet auf die Eingabe eines Zeichens. Es wird weder ein Eingabeprompt noch das eingetippte Zeichen selbst ausgegeben. Um diese Funktion verwenden zu können, ist es allerdings notwendig, die Headerdatei *conio.h* (mit der Erweiterung *.h*) einzubinden:

```
#include <conio.h>
```

HINWEIS

Zur Funktion `getch()` siehe Abschnitt 20.2.3 »Die Funktionen getch(), getche(), kbhit()«.

Wenn Sie den Quelltext in der obigen Form kompilieren, bekämen Sie bei der Ausführung auch etwas zu sehen, wenn Sie das Programm über den Windows-Explorer starten.

5.4 Was ist beim Editieren, Kompilieren und Ausführen von weiteren Programmen zu beachten?

Soweit Sie mit einem Kommandozeilen-Compiler arbeiten, liegt der Fall klar. Sie editieren eine neue Quellcodedatei und legen diese in Ihr Programmverzeichnis. Der übrige Ablauf gestaltet sich dann wie beschrieben: Aufruf des Compilers, Start der *.exe*-Datei.

Unter der Visual C++-IDE ist zu beachten:

- Ein Arbeitsbereich kann, wie gesagt, mehrere Projekte enthalten. Es ist also nicht unbedingt notwendig, einen neuen Arbeitsbereich zu erstellen.
- Sie müssen aber in dem bereits vorhandenen Arbeitsbereich auf jeden Fall ein neues Projekt einfügen (Option HINZUFÜGEN ZU AKT. ARBEITSBEREICH).

ACHTUNG

Denken Sie an die Formel: eine Quellcodedatei = ein Projekt = eine ausführbare Datei.

Falls sich mehrere Quellcodedateien in ein und demselben Projekt befinden, versucht der Visual C++-Compiler diese zusammenzubinden. Da jede unserer Quellcodedateien genau eine `main()`-Funktion enthalten wird, sind dann de facto mehrere `main()`-Funktionen im Code anzutreffen. Und das ist, wie Sie wissen, nicht möglich (siehe Abschnitt 4.2.2 »Funktionen«).

- Wenn Sie eine Quellcodedatei erstellen und diese einem Projekt hinzufügen, achten Sie darauf, dass im Dialogfenster rechts oben unter DEM PROJEKT HINZUFÜGEN: der Name des gewünschten Projekts steht (siehe Abbildung 5.12, der Name *neuesProjekt* steht natürlich für einen beliebigen Projektnamen, ebenso *neueQuelldatei* für einen frei wählbaren Namen für die neue Quellcodedatei).

Im Übrigen gehen Sie so vor, wie in Abschnitt 3.2 »Quellcodedatei anlegen unter Visual C++« beschrieben.

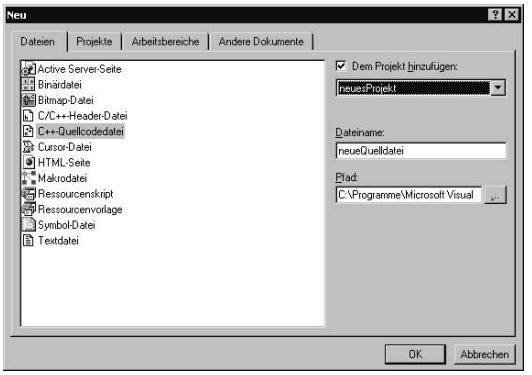


Bild 5.12: Hinzufügen einer neuen Quellcodedatei zu einem weiteren Projekt

5.4.1 Zwischen mehreren Projekten wechseln

Aktiv ist gewöhnlich das zuletzt erstellte Projekt. Das heißt, wenn Sie den Kompiliervorgang auslösen, wird die Quellcodedatei dieses Projekts übersetzt. Um ein anderes Projekt zu aktivieren, wählen Sie den Menübefehl PROJEKT/AKTIVES PROJEKT FESTLEGEN ▸ und klicken auf den Namen des gewünschten Projekts.

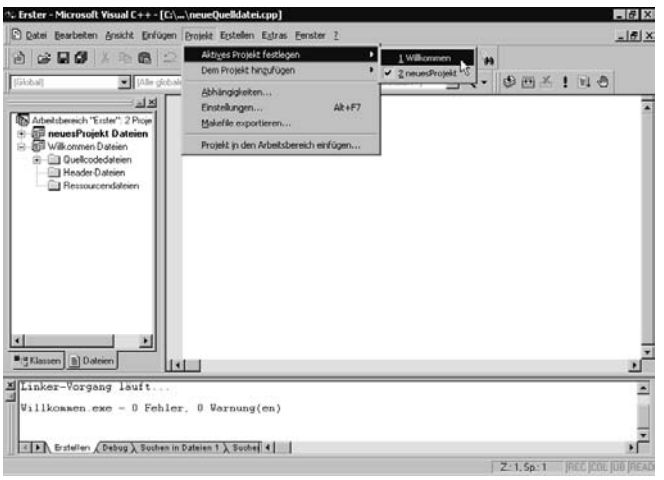


Bild 5.13: Aktives Projekt festlegen

Der Name des gerade aktiven Projekts ist links mit einem Häkchen versehen. Im Registerblatt DATEIEN des Arbeitsbereichsfensters erscheint der Eintrag für das aktive Projekt fett gedruckt.

6 Über Programm(ier)fehler

Es wird Ihnen vermutlich in den seltensten Fällen gelingen, den Quellcode von Anfang an fehlerfrei zu gestalten. Dies umso mehr, je umfangreicher Ihre Programme werden.

Tatsächlich nimmt die Fehlersuche in der Regel einen Großteil der Programmiertätigkeit in Anspruch. Auch wenn Sie sehr sorgfältig vorgehen, lässt sich die Fehlerhäufigkeit zwar minimieren, jedoch kaum gänzlich vermeiden. Es ist deshalb sinnvoll, sich schon sehr früh mit diesem Thema zu beschäftigen. Unter diesem Motto hier ein kleiner Exkurs zum Thema Fehler.

Am Ende des Kapitels weichen wir etwas vom eigentlichen Thema ab und geben – zum Abschluss des ersten Teils – einen kurzen historischen Abriss der Programmiersprache C++ (siehe Abschnitt 6.3 »Historisches«).

6.1 Unterscheidung der verschiedenen Fehlerarten

Hinsichtlich ihrer Auswirkung unterscheidet man drei Gruppen von Fehlern:

- Syntaxfehler
- Laufzeitfehler
- logische Fehler

6.1.1 Syntaxfehler

Syntaxfehler sind solche, die vom Compiler erkannt und gemeldet werden. Quelltexte, die Syntaxfehler enthalten, können nicht erfolgreich kompiliert werden. Da somit kein ausführbares Programm aus syntaxfehlerbehaftetem Code entstehen kann, ist für diese Fehlergruppe allein die Bezeichnung Programmierfehler angebracht.

Bezüglich der Häufigkeit ihres Auftretens nimmt diese Fehlergruppe unbestreitbar den ersten Rang ein. Dennoch sind Syntaxfehler am einfachsten zu handhaben, weil man im Allgemeinen frühzeitig von ihnen Kenntnis erlangt. Um dies zu forcieren, empfiehlt es sich, den Quelltext zwischenzeitlich immer wieder zu kompilieren (um so von den Fehlermeldungen des Compilers zu profitieren).

Das setzt allerdings voraus, dass Sie im Verlauf der Programmierarbeit den Code in kompilierbaren Schritten weiterentwickeln. Sicherlich werden Sie sich nun fragen, was damit gemeint ist. Ziehen wir zur Verdeutlichung unser kleines Willkommen-Programm heran.

Als Sie Ihren Quellcode eingegeben haben, taten Sie dies vermutlich Zeile für Zeile, was – vom Programmieren einmal abgesehen – im Allgemeinen

die übliche Vorgehensweise ist, um Text in einen Editor einzutippen. Nehmen wir an, Sie hätten gerade die erste Ausgabeanweisung eingegeben.

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << "Willkommen bei C++";
```

Wenn Sie obiges Codestück kompilieren würden, resultiert aus der fehlenden schließenden Klammer (}) in jedem Fall eine Fehlermeldung. Meist sogar mehrere, da die Interpretationsweise eines C++-Compilers von der menschlichen häufig abweicht (dazu gleich mehr). Von daher hätten die Meldungen Ihres Compilers also nur wenig Aussagekraft.

Richtig ist, die geöffnete Klammer gleich wieder zu schließen. Folgender Code ist für sich kompilierbar.

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
}
```

Wenn Sie nun Fehlermeldungen erhalten, können Sie von einem Versehen Ihrerseits ausgehen (und den Fehler zunächst korrigieren, bevor Sie die Ausgabeanweisung zwischen die geschweiften Klammern setzen).

HINWEIS

Dieser Quelltext ist kompilierbar, da er die Mindestanforderung erfüllt: Er enthält eine Funktion `main()`. Der Umstand, dass diese Funktion keine Anweisungen enthält, spielt dabei keine Rolle. Allerdings würde die aus der Übersetzung hervorgehende *.exe*-Datei, wenn ausgeführt, mangels Anweisung keinerlei Aktionen durchführen.

Obiger Code bildet sozusagen das Grundgerüst für Ihre weiteren Programme, solange diese nur aus einer Funktion bestehen.

Nun könnten Sie die Anweisungen nacheinander (sofern es sich um mehrere handelt) in den Quellcode schreiben und zwischendurch immer wieder den Compiler aufrufen, um festzustellen, ob sich Fehler eingeschlichen haben.

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << "Willkommen bei C++";
   // …
}
```

Wenn Sie an Ihrem Quellcode arbeiten, ist es ratsam, diesen zwischenzeitlich öfter zu kompilieren, um rechtzeitig auf Syntaxfehler aufmerksam gemacht zu werden. Dies verschafft Ihnen immer wieder das sichere Gefühl »Bis hier ist alles o.k.«.

6.1.2 Programmfehler

Solange sich im Quelltext Syntaxfehler befinden, weigert sich der Compiler, daraus Maschinenbefehle zu erzeugen. Das hat den Vorteil, dass ein fehlerhaftes ausführbares Programm erst gar nicht entsteht. Wohlgemerkt gilt dies nur für Syntaxfehler. Leider erkennt der Compiler keine logischen Fehler und auch keine Laufzeitfehler. Beides wäre zu schön, aber andernfalls wäre der Compiler vermutlich in der Lage, gleich die ganze Programmierarbeit zu übernehmen – und würde damit alle Programmierer überflüssig machen.

Laufzeitfehler sind solche, die die Syntaxprüfung des Compilers überstanden haben und daher erst bei Ausführung des Programms auftreten, meist in Abhängigkeit von anderen Faktoren, die z.B. durch das Benutzerverhalten oder das aktuelle Speicherbild des Computers bestimmt sein können. Ein Laufzeitfehler führt in der Regel zu einem so genannten Programmabsturz.

Ein typisches Beispiel für einen Laufzeitfehler ist eine versuchte Division durch die Zahl Null. Der Benutzer gibt eine Zahl ein, die vom Programm als Divisor verwendet wird. Ist der eingegebene Wert ungleich Null, treten keine Unstimmigkeiten auf. Wurde aber eine Null eingegeben, führt dies zum Programmabsturz. Folglich hätte der Programmierer es irgendwie verhindern müssen, dass an besagter Stelle überhaupt eine Null eingegeben bzw. vom Programm als Divisor eingesetzt werden kann, z.B. durch eine entsprechende Mitteilung und eine erneute Aufforderung zur Eingabe.

```
Eingabe: 0
Ungültiger Wert.
Bitte wiederholen Sie Ihre Eingabe: _
```

Zumindest müsste die Division vermieden werden, falls die Eingabe Null ist.

Am gefürchtetsten sind logische Fehler, weil sie in der Regel am schwersten zu finden sind. Das Programm scheint zwar fehlerfrei zu arbeiten, es macht aber eben nicht das, was es eigentlich soll. Ein Beispiel hierfür sind etwa fehlerhafte Berechnungsergebnisse.

Logische Fehler und Laufzeitfehler lassen sich als Programmfehler einstufen, da sie sich, wie gesagt, erst bei Programmausführung, also beim fertigen Programm, bemerkbar machen.

6.2 Fehlermeldungen »aus Compilersicht«

Wie oben angedeutet, reagiert der Compiler auf Syntaxfehler nicht immer in der Weise, wie wir das von unserem Denken her erwarten würden. Zeilenangaben, Fehleranzahl und angegebene Fehlerbeschreibung müssen daher nicht immer exakt zutreffen.

Betrachten wir folgendes Codestück:

```
…
cout << "Willkommen bei C++"
cout << endl;
…
```

Wie Sie bereits wissen, muss jede Anweisung in C++ mit einem Semikolon abgeschlossen werden. Daher ist für uns der Fall klar: Es fehlt ein Semikolon am Ende der ersten Codezeile (nach `cout << "Willkommen bei C++"`). Dort hätte es der Programmierer auch sicherlich hingesetzt, wenn er es nicht vergessen hätte.

Der Visual C++-Compiler vermutet den Fehler jedoch in der unteren Zeile. Denn dort (unmittelbar vor `cout << endl;`) bestünde sozusagen die letzte Möglichkeit, es zu platzieren.

```
…
cout << "Willkommen bei C++"
;cout << endl;
…
```

HINWEIS

Es sei daran erinnert, dass für einen C++-Compiler Zwischenraumzeichen (Zeilenumbrüche, Tabulatorschritte, Leerzeichen) weitgehend bedeutungslos sind (mehr dazu in Abschnitt 8.4 »Leerräume«). Von daher sind das obige Codestück und der entsprechende Auszug aus dem ursprünglichen (lauffähigen) Programm gleichwertig.

Hierzu noch eine Bemerkung. Tatsächlich erkennt der Visual C++-Compiler (und auch der von Borland) hier, dass es sich um ein fehlendes Semikolon handelt. Grundsätzlich ist für einen C++-Compiler eine Anweisung aber erst dann zu Ende, wenn er auf ein Semikolon trifft. Nach dieser Betrachtungsweise handelt es sich bei besagtem Codestück um genau *eine* Anweisung, deren Ende das Semikolon in der zweiten Zeile darstellt. So betrachtet sind

```
cout << "Willkommen bei C++"
cout << endl;
```

und

```
cout << "Willkommen bei C++" cout<<endl;
```

gleichwertig (was hinsichtlich der genannten Compiler nicht zutrifft, da beide, wie gesagt, »schlauer« sind).

Fehlermeldungen könnten sich nun daraus ergeben, dass in dieser einen Anweisung (bestehend aus beiden Zeilen) Zeichen und Namen stehen,

die im Kontext so nicht stehen dürfen. Beispielsweise ist die Verwendung des Namens `cout` pro Anweisung nur ein einziges Mal erlaubt (siehe Abschnitt 9.3 »Ausgabeeinheiten aneinander hängen«).

Ein anderer nicht so »intelligenter« C++-Compiler könnte nun, beginnend mit der zweiten Zeile, konsequenterweise jeden einzelnen Textbaustein, der nicht in den gedachten Zusammenhang passt (eine Anweisung, bestehend aus zwei Zeilen), als Fehler melden. Ein fehlendes Semikolon wäre nach dieser Interpretationsweise jedoch nicht zu bemängeln.

Es sei hier angemerkt, dass das Verhalten eines Compilers in dieser Hinsicht von Fall zu Fall verschieden und auch für erfahrene Programmierer nicht immer vorhersehbar ist. Wie gesagt, hat jeder Compiler bei der Fehlerbewertung seine eigenen Maßstäbe. Und letzten Endes handelt es sich bei dem Compiler auch nur um ein Softwareprogramm, das sich eben so verhält, wie es programmiert wurde.

Wir wollten Sie mit diesem Beispiel auf die vereinzelt auftretende Notwendigkeit vorbereiten, eventuelle Fehlerangaben Ihres Compilers relativiert zu betrachten. Als Richtlinie für die Fehlersuche sollten Sie die Meldungen Ihres Compilers aber auf jeden Fall ansehen. Außerdem gilt ohne Einschränkung: Wenn Ihr Compiler sich weigert, den Quellcode zu übersetzen, sind in diesem mit Sicherheit Syntaxfehler vorhanden.

6.2.1 Fehlerausgabe in der Visual C++-IDE

Hier noch ein Beitrag zur Visual C++-IDE. Eventuelle Fehlermeldungen im Zuge eines Kompilierversuchs werden in einem eigens dafür vorgesehenen Ausgabefenster angezeigt (ganz unten; falls nicht sichtbar, ziehen Sie die untere Teillinie mit der Maus nach oben).

Mit einem Doppelklick auf die Fehlerbeschreibung (gegebenenfalls müssen Sie im Fehlerausgabefenster etwas nach oben scrollen) können Sie sich die entsprechende Zeile bzw. diejenige, in der Ihr Compiler den Fehler vermutet, im Quellcode (Editorfenster) anzeigen lassen (siehe Abbildung 6.1, der Pfeil am linken Rand des Editorfensters verweist auf die entsprechende Zeile im Quellcode).

Haben Sie den/die Fehler erkannt?

In der Ausgabeanweisung `cout << "Willkommen bei C++";` fehlt das erste doppelte Anführungszeichen nach `cout <<`. Tatsächlich handelt es sich also um nur ein einziges Zeichen. Wie Sie sehen, resultieren aus dieser Unterlassung gleich acht (!) Fehlermeldungen des Compilers, wobei er sieben Fehler in der siebten und einen in der achten Zeile sieht (Leerzeilen werden mitgezählt).

6.3 Historisches

Die Programmiersprache C++ wurde zu Beginn der Achtzigerjahre von Bjarne Stroustrup entwickelt. Zurückführen lässt sie sich auf die in den Siebzigerjahren entstandene Sprache C, die gegen Ende der Siebzigerjahre eine sehr große Akzeptanz erreicht hatte. Als Gründe für die dama-

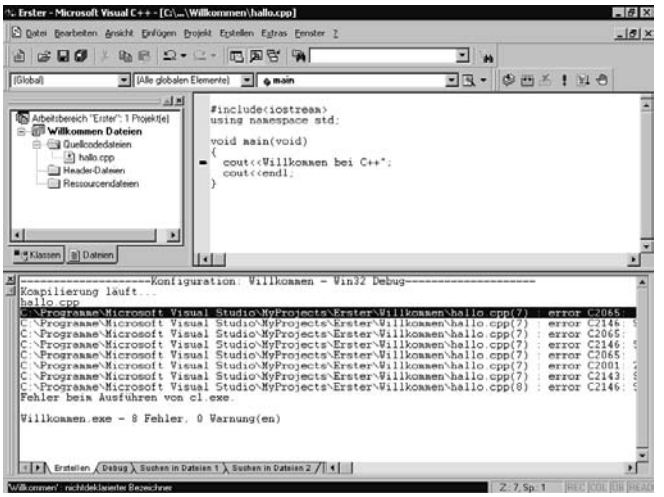


Bild 6.1: Fehlerausgabe in der Visual C++-IDE

lige Popularität von C (die bis Mitte der Neunzigerjahre anhielt und auch heute noch zu einem großen Teil besteht, allenfalls abgelöst bzw. übertroffen von C++) sind wohl zu nennen:

- C erlaubt es, systemnah zu programmieren. Das bedeutet, man kann mit C sehr nahe an der Hardware (also am System) programmieren und damit Arbeiten durchführen, für die eigentlich die umständlichere und prozessorabhängige Maschinensprache vonnöten wäre. Gleichzeitig hat C aber auch Elemente von »höheren« Programmiersprachen (wie Funktionen). C vereint damit beide Welten.
- Ein in der Programmiersprache C verfasster Quellcode ist portierbar (zur Portierbarkeit von Programmen siehe Abschnitt 1.2.2 »Kompilierung«).

Beides zeichnet die Programmiersprache C gegenüber anderen Sprachen aus. Es spielten aber auch zwei Aspekte eine Rolle, die mit der Programmiersprache C an sich unmittelbar nichts zu tun hatten:

- das Aufkommen der Personalcomputer
- das Buch »The C Programming Language« von Brian W. Kernighan und Dennis M. Ritchie, das 1978 erschien und seither als die »Bibel« von C gilt. Viele behaupten, dass gerade dieses Buch C erst richtig populär gemacht habe.

6.3.1 C/C++

Genau genommen ist C++ eine Erweiterung der Programmiersprache C um objektorientierte Merkmale (der ursprüngliche Name war »C mit Klassen«). Tatsächlich ist der Sprachumfang von C eine Untermenge von C++. Das heißt, ein C++-Compiler versteht jeden C-Befehl (die Umkehrung trifft natürlich nicht zu – C++ ist eine echte Obermenge von C).

Oder mit anderen Worten: Die Möglichkeiten von C sind voll von C++ übernommen worden. So gesehen ist jede C-Funktion gewissermaßen auch eine C++-Funktion.

Es ergibt durchaus Sinn, auf bereits in C vorhandene Möglichkeiten zurückzugreifen, es sei denn C++ (gemeint ist hier die Erweiterung gegenüber C, also derjenige Teil, der nicht von C stammt) hat etwas Besseres zu bieten. So hätten wir unser erstes Programm unter Verwendung der C-Funktion `printf()` auch wie folgt implementieren können.

```
#include <stdio.h>
void main(void)
{
   printf("Willkommen bei C++");
   printf("\n");
}
```

Ausgabe: `Willkommen bei C++`

Um `printf()` verwenden zu können, muss die Headerdatei *stdio.h* eingebunden werden (`#include <stdio.h>`).

HINWEIS

Die Endung `.h` deutet darauf hin, dass eine Headerdatei aus der Programmiersprache C übernommen wurde bzw. aus älteren C++-Zeiten stammt (siehe Abschnitt 21.2.2 »Prototypen von vordefinierten Funktionen«).

Die Funktion `printf()` bewirkt ebenso wie `cout` die Ausgabe eines Textes auf den Bildschirm. Die Anweisung `printf("\n");`, die hier anstelle von `cout << endl;` verwendet wird, erzeugt ebenfalls einen Zeilenvorschub. Wenn Sie obigen Quellcode kompilieren und ausführen, zeigt sich das gleiche Ergebnis wie bei unserem in C++-Manier verfassten Quelltext:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << "Willkommen bei C++";
   cout << endl;
}
```

Ausgabe: `Willkommen bei C++`

Es sei darauf hingewiesen, dass wir im Zweifel natürlich auf die Mittel von C++ zurückgreifen, also Programme im C++-Stil schreiben werden. Wir verwenden für Ausgaben also nicht die C-Funktion `printf()`, sondern das Klassenobjekt `cout`, das in der Programmiersprache C noch nicht zur Verfügung stand.

Letzten Endes ist es ja so, dass es gute Gründe gab, zu bestimmten C-Funktionen C++-Entsprechungen anzubieten. Tatsächlich besitzt `cout` gegenüber `printf()` den Vorteil der Typsicherheit (was das heißt, werden Sie noch erfahren).

Es stellt sich die Frage, warum es `printf()` trotzdem noch gibt. Ein Grundgedanke bei der Konzeption von C++ war, dass jedes in C geschriebene Programm ebenfalls unter einer C++-Umgebung kompilierbar sein sollte. Man wollte ja bereits bestehenden Code nicht verwerfen, sondern mithilfe der zusätzlichen Möglichkeiten von C++ optimieren und erweitern.

6.3.2 ANSI/ISO-Standard

Wie nicht anders zu erwarten, unterliegt eine Programmiersprache, wenn sie eine gewisse Popularität erreicht hat, zahlreichen Veränderungen. Das rührt daher, dass verschiedene Hersteller ihre Compilermodelle mit zusätzlichen Funktionen ausstatten oder – was schlimmer ist – gar echte Veränderungen einführen. Somit besteht für die Sprache selbst die Tendenz, auseinander zu driften, was im äußersten Fall zu einem vollständigen Verlust der Portierbarkeit führen könnte.

Das war schon bei der Programmiersprache C in den Siebzigerjahren der Fall und genauso verhielt es sich auch mit C++ in den Neunzigerjahren. Während man sich bei C jedoch frühzeitig auf einen gemeinsamen Standard einigen konnte, den so genannten ANSI C-Standard (benannt nach dem American National Standards Institute, dem Initiator der verabschiedenden Kommission), dauerte dies bei der Programmiersprache C++ fast ein ganzes Jahrzehnt. Die endgültige Verabschiedung eines gemeinsamen Standards erfolgte erst 1998. Da diese Entwicklung seit 1990 sowohl vom American National Standards Institute als auch von der International Organization for Standardization (ISO) gemeinsam vorangetrieben wurde, spricht man vom ANSI/ISO-Standard der Programmiersprache C++ (einige nennen ihn nur ANSI-Standard, wir werden im Folgenden des Öfteren einfach vom C++-Standard sprechen, gemeint ist aber dasselbe).

Letzten Endes ist der ANSI/ISO-Standard als ein gemeinsamer Nenner zu sehen, sozusagen als Richtschnur. Dass verschiedene Compilermodelle mehr oder weniger von diesem Standard abweichen, lässt sich leider auch in Zukunft nicht gänzlich vermeiden. Sie sollten aber möglichst einen Compiler verwenden, der diesen Standard weitgehend unterstützt, zumindest was den gemeinsamen Part betrifft. Zusätzliche Funktionen, wie sie z.B. der Visual C++-Compiler zur Programmierung von grafischen Benutzeroberflächen anbietet, schaden nicht, solange sie nur eine Erweiterung und keine Veränderung darstellen. Wie gesagt, man braucht sie ja nicht zu verwenden.

Wir werden uns in den Beispielen dieses Buches grundsätzlich an den ANSI/ISO-Standard halten. Damit ist gewährleistet, dass alle dargestellten Listings auf Ihrem C++-Compiler erfolgreich übersetzt werden können, soweit dieser den ANSI/ISO C++-Standard unterstützt. Zudem ist, wenn man von der Programmiersprache C++ redet, eben genau dieser ANSI/ISO-Standard von C++ gemeint und nicht eine spezielle Implementation eines bestimmten Compilerherstellers. Hierin unterscheiden sich ja gerade C++ und Visual C++ (Letzteres ist eine Implementation von C++ mit den erweiterten Funktionen zur GUI-Programmierung).

magnum

Teil 2

Das C++-ABC

In diesem Teil lernen Sie die elementaren Sprachelemente von C++ kennen, beispielsweise Variablen, Konstanten, Arrays, Schleifen und Verzweigungsanweisungen. Es geht um das A und O der Programmierung – die hier beschriebenen Elemente sind nicht nur in C++ zu finden, sondern (wenngleich in veränderter Form) auch in anderen Programmiersprachen.

In Kapitel 21 »Funktionen« erfahren Sie, wie man Programme modularisiert, das heißt, den Quellcode auf mehrere Dateien verteilt.

Den Abschluss dieses Teils bildet die Programmierung eines Lottospiels unter Verwendung von zuvor selbst definierten Funktionen (Kapitel 22 »Eine Funktionsbibliothek« und Kapitel 23 »Ein Lottospiel«).

7 Kommentare

Programmentwickler sehen sich häufig der Situation gegenüber, eigene oder gar fremde Quelltexte überarbeiten zu müssen. Dann ist es nicht immer leicht, sich im Quellcode zurechtzufinden, umso mehr, wenn es sich um sehr umfangreiche Programme handelt. Dies gilt insbesondere auch für selbst entwickelte Programme, wenn zwischen Erstellung und Überarbeitung ein größerer Zeitraum verstrichen ist.

Ein Mittel, Quellcode leichter nachvollziehbar zu machen, liegt darin, diesen an geeigneten Stellen zu kommentieren, das heißt ihn mit erläuternden Anmerkungen zu versehen. C++ stellt zu diesem Zweck verschiedene Kommentarzeichen zur Verfügung. Codeteile, die mittels dieser Symbole als Kommentar kenntlich gemacht sind, werden bei der Übersetzung des Quellcodes ignoriert.

Kommentare haben also keinen Einfluss auf das Laufzeitverhalten von C++-Programmen und bringen auch sonst keine Nachteile mit sich. Es handelt sich lediglich um Hinweise, die der Programmentwickler in den Quelltext einfügen kann. Adressaten dieser Informationen sind daher nicht Anwender, sondern ebenfalls Programmierer.

Man unterscheidet zwei Gruppen von Kommentarsymbolen:

- einzeilige Kommentare
- mehrzeilige Kommentare

7.1 Einzeilige Kommentare

Einzeilige Kommentare werden mit einem doppelten Schrägstrich (//) eingeleitet. Der Text, der dem // nachfolgt, wird bis zum Zeilenende als Kommentar angesehen.

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << "Willkommen bei C++";  // gibt die Zeichenfolge
          // "Willkommen bei C++" auf den Bildschirm aus.
   cout << endl;
}
```

Im obigen Beispiel haben wir den Quellcode unseres ersten Programms mit zwei einzeiligen Kommentaren versehen. Der Informationsgehalt beider Kommentare bezieht sich sinngemäß auf die Anweisung `cout << "Willkommen bei C++";`, deren Wirkungsweise beschrieben wird. Beachten Sie, dass Sie den doppelten Schrägstrich in jeder Kommentarzeile erneut verwenden müssen.

Wenn Sie den Quelltext nun erneut speichern und kompilieren, dann würde sich am Ergebnis nichts ändern, da beide Kommentarzeilen nicht mitübersetzt werden. Was den Maschinencode der ausführbaren Datei (*Willkommen.exe* bzw. *hallo.exe*) angeht, hat sich also gegenüber der Ausführung in Kapitel 5 nichts geändert.

HINWEIS

Tatsächlich ist es der Präprozessor, der die Kommentare entfernt, bevor der Quellcode an den eigentlichen Compiler zur Übersetzung weitergereicht wird (zum Präprozessor siehe Abschnitt 1.2.3 »Präprozessor und Linker«).

An dieser Stelle möchten wir Sie auf eine Besonderheit aufmerksam machen. Wie Sie bereits wissen, ist C++ nicht zeilenorientiert. Obwohl es im Allgemeinen für die Lesbarkeit des Quelltextes sehr nützlich ist, jede Anweisung in eine eigene Zeile zu setzen, ist dies nicht zwingend notwendig. Das Ende einer Anweisung wird nicht am Zeilenumbruch erkannt, der durch ↵ erzeugt wird, sondern am abschließenden Semikolon (wir werden darauf in Abschnitt 8.2 »Anweisungsende« noch einmal zu sprechen kommen).

Bei der Verwendung von einzeiligen Kommentaren tritt insofern ein Sonderfall auf, als in diesem Kontext das Zeilenende syntaktische Bedeutung erlangt: Es wird als das Ende des Kommentars interpretiert. Der Text, der in der Folgezeile steht, wird vom Compiler wieder als C++-Anweisung angesehen – es sei denn, es handelt sich wiederum um eine Kommentarzeile.

Machen Sie sich in diesem Zusammenhang auch klar, dass ein Kommentar im programmiertechnischen Sinne keine Anweisung ist. Zur Erinnerung: Eine Anweisung ist die Ursache dafür, dass – beim Programmlauf – etwas geschieht, eine Aktion ausgeführt wird. Kommentare dürfen zwar überall im Quelltext stehen – vorausgesetzt, sie sind als solche kenntlich gemacht –, haben jedoch auf das Laufzeitverhalten eines Programms keinerlei Auswirkung.

Der Kommentar in obigem Listing erfüllt dort allein den Zweck der Demonstration. Natürlich werden Sie später nicht daran denken, so unproblematische Codeteile mit Kommentaren zu versehen. Durchaus üblich sind aber eine einleitende Kommentarzeile ganz oben im Quellcode sowie die Kenntlichmachung des Endes von Funktionen, Kontrollstrukturen oder Klassendefinitionen (Letzteres ergibt natürlich nur dann Sinn, wenn der Quelltext entsprechend umfangreich ist).

```
// Dies ist mein erstes Programm
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << "Willkommen bei C++";
   cout << endl;
}  // end main
```

7.2 Mehrzeilige Kommentare

Es ist auch möglich, zusammenhängende Codeabschnitte in Kommentare zu setzen. Die Kürzel /* und */ stehen hierbei für den Anfang und das Ende des Kommentarblocks. Der gesamte Text, der sich zwischen beiden Kürzeln befindet, wird dann als Kommentar angesehen.

```
#include <iostream>
using namespace std;

/* blablabla …
Dies ist ein Kommentar, der sich
über mehrere Zeilen erstreckt …
blablabla … Hier beginnt die Definition
der Funktion main()… blablabla*/
void main(void)
{
   cout << "Willkommen bei C++";
   cout << endl;
}
```

Selbstverständlich dürfen die Kürzel /* und */ auch verwendet werden, wenn sich die Kommentierung nur über eine Zeile erstrecken soll.

```
/* Dies ist mein erstes Programm */
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << "Willkommen bei C++";
   cout << endl;
}
```

Da bei Verwendung von /* … */ das Kommentarende nicht am Zeilenende, sondern an dem Symbol */ erkannt wird, ist es sogar zulässig, Kommentare innerhalb einer Programmierzeile einzufügen:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << /*Dies ist ein Kommentar*/ "Willkommen bei C++";
   cout << endl;
}
```

So ungewöhnlich diese Konstellation auch sein mag – obiges Listing würde für das ausführbare Programm kein anderes Resultat ergeben als alle zuvor genannten Varianten. Beim Programmlauf erscheint ebenfalls die Ausgabe `Willkommen bei C++` auf dem Bildschirm. Anschließend wird der Cursor in die nächste Zeile gesetzt (`cout<<endl;`).

Unerwünschte Ergebnisse würden Sie aber z.B. mit

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << "Willkommen/*Dies ist ein Kommentar*/ bei C++";
   cout << endl;
}
```

erzielen, da hier der »Kommentar« keiner mehr ist. Er wird als Teil der auszugebenden Zeichenfolge interpretiert, weil er zwischen deren Begrenzungszeichen steht ("…"). Die Folge ist, dass das Programm die Bildschirmausgabe

```
Willkommen/*Dies ist ein Kommentar*/ bei C++
```

erzeugt.

HINWEIS

Zeichenfolgen, die im Quellcode zwischen " … " stehen, werden »Zeichenketten« genannt.

Zwischen den Kommentarsymbolen /* und */ darf jedes beliebige Zeichen stehen. Das gilt auch für die Zeichen * und / – mit der Einschränkung, dass diese Zeichen nicht in der Reihenfolge, die dem Kommentarende entspricht (*/), verwendet werden dürfen.

HINWEIS

Beachten Sie, dass C++ die Kommentarzeichen /* und */ wie auch Steuerzeichen und verschiedene Operatoren als *ein* Symbol behandelt – obwohl diese tatsächlich aus zwei Zeichen bestehen (zu Steuerzeichen und Operatoren siehe Kapitel 10 »Steuerzeichen« bzw. Kapitel 12 »Ausdrücke und Operatoren«).

Aus dem oben genannten Grund ist es auch nicht erlaubt, Kommentarblöcke zu verschachteln:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
/* blablabla
   cout << "Willkommen bei C++";
/* blablabla
blablabla */
   cout << endl;
blablabla */
}
```

Nehmen wir obiges – fehlerhaftes – Listing zum Anlass, Überlegungen »aus der Sicht eines gedachten Übersetzers« anzustellen: Das erste Kommentarsymbol (/* in Zeile 6) interpretiert der Compiler als Kommentaranfang – was vom Programmierer sicherlich auch so gewollt war.

Die Zeichenfolge `/* blablabla` in Zeile 8 wird ebenfalls als zum Kommentarblock gehörig angesehen (wie oben dargelegt, dürfen die Zeichen / und * in dieser Reihenfolge im Kommentar verwendet werden).

Die nächste Folge der Zeichen * und / (Zeile 9) darf in dieser Kombination (*/) jedoch nicht als Kommentartext zwischen zwei korrespondierenden Kommentarsymbolen stehen. Sie wird immer als das Ende eines mit /* eingeleiteten Kommentars betrachtet. Somit präsentiert sich dem Compiler folgender Kommentarblock (Zeile 6 bis Zeile 9):

```
/* blablabla
   cout << "Willkommen bei C++";
/* blablabla
blablabla */
```

Folglich wird Ihr Compiler versuchen, alle nachfolgenden Textbausteine als reguläre C++-Anweisungen zu interpretieren. Denkt man sich nun den Teil weg, der im Sinne dieser Auslegung als Kommentar zu verstehen ist, dann präsentiert sich der in Maschinensprache zu übersetzende Quellcode wie folgt:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << endl;
blablabla */
}
```

In diesem ist somit ein für C++ unbekannter Name enthalten (`blablabla`) sowie ein Kommentarendesymbol (*/), das ohne Vorhandensein eines einleitenden Pendants nicht interpretierbar ist. Folglich wird Ihr Compiler auf einen Kompilierversuch mit mehreren Fehlermeldungen reagieren (mindestens zwei).

Dabei spielt es selbstverständlich keine Rolle, wie der Programmierer sich das beim Erstellen des Quellcodes vorgestellt hat. Deshalb möchten wir Sie an dieser Stelle ausdrücklich darauf aufmerksam machen, wie wichtig es ist, Quelltexte so aufzubauen, dass sie eindeutig interpretiert werden können.

TIPP

Versetzen Sie sich bei der Kontrolle Ihres Quellcodes in die Lage eines gedachten Übersetzers, um zu überprüfen, ob die einzelnen Anweisungen auch eindeutig interpretierbar sind.

Da Ihnen Kommentare nun bekannt sind, werden wir sie ab jetzt des Öfteren verwenden, um Programmierzeilen erläuternde Anmerkungen hinzuzufügen. Dies geschieht dann im Zusammenhang mit neuen Lerninhalten vor allem aus didaktischen Gründen, also unter Berücksichtigung der besonderen Voraussetzungen des Lesers als Programmier- bzw. C++-Neuling.

Im Übrigen ist eine eher sparsame Verwendung von Kommentaren angezeigt. Kommentare sollen zur besseren Lesbarkeit des Quellcodes beitragen. Setzen Sie sie in Ihren Programmen also nur dann ein, wenn es wirklich angebracht ist. Andernfalls würden Sie den gegenteiligen Effekt erzielen. Sie werden im weiteren Verlauf noch ausreichend Gelegenheit haben, den sinnvollen Einsatz von Kommentaren zu üben.

7.3 Einsatz von Kommentaren bei der Fehlersuche

Ein weiterer Nutzen von Kommentaren bezieht sich auf die Fehlersuche. Um bei längeren Quelltexten Fehler einzugrenzen, ist es häufig sinnvoll, manche Codeteile vorübergehend als Kommentare zu kennzeichnen – man spricht dabei auch von »auskommentieren« –, damit sie bei der Übersetzung vorübergehend ignoriert werden.

Hierzu folgendes Beispiel:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   Cout << "Willkommen bei C++";
   Cout << endl
}
```

Beim Versuch, obiges Listing zu kompilieren, meldet der Visual C++-Compiler gleich fünf Fehler.

TIPP

Falls Visual C++ beim Doppelklick auf eine Fehlermeldung den Inhalt des Editorfensters ändert (es wird dort möglicherweise die zugehörige include-Datei *iostream* angezeigt), so doppelklicken Sie im Arbeitsbereichsfenster auf den Eintrag Ihrer Quellcodedatei.

Womöglich können Sie zum jetzigen Zeitpunkt mit den Fehlermeldungen noch nicht viel anfangen. Sie könnten aber zuverlässig feststellen, ob die Fehlerursache in einer der Ausgabeanweisungen liegt, indem Sie diese vorübergehend als Kommentare kennzeichnen. Das kann entweder mit den Symbolen /* und */

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   /*Cout << "Willkommen bei C++";
   Cout << endl*/
}
```

oder mit zwei einzeiligen Kommentaren geschehen (//):

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   //Cout << "Willkommen bei C++";
   //Cout << endl
}
```

Da obiger Quelltext nunmehr kompilierbar ist, lässt das den Schluss zu, dass die (der) Fehler in den Ausgabeanweisungen zu suchen sind (ist). Wie gesagt, ist es nicht auszuschließen, dass es sich um nur eine einzige Fehlerursache handelt. Wie Sie ja bereits wissen, ist es durchaus denkbar, dass Ihr Compiler bei Weglassen auch nur eines Zeichens mit mehreren Fehlermeldungen reagiert.

Um die Fehlerursache(n) einzugrenzen, erscheint es sinnvoll, zunächst bei einer Anweisung das Kommentarsymbol zu entfernen:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   Cout << "Willkommen bei C++";
   //Cout << endl
}
```

Nun wird die Ausgabeanweisung

```
Cout << "Willkommen bei C++";
```

mitkompiliert.

Da Sie nun Fehlermeldung(en) erhalten, empfiehlt es sich, diese Anweisung etwas genauer unter die Lupe zu nehmen. Sicher werden Sie bald erkennen, dass der Name `cout` fälschlicherweise großgeschrieben ist. Es muss heißen

```
cout << "Willkommen bei C++";
```

und nicht

```
Cout << "Willkommen bei C++";
```

Nach der Änderung verläuft die Kompilierung erfolgreich. Damit ist bis auf die Anweisung

```
Cout << endl
```

alles in Ordnung.

Nachdem Sie gerade darauf aufmerksam geworden sind, erkennen Sie natürlich sofort zumindest eine Fehlerursache in dem großgeschriebenen `Cout`. Also schreiben Sie es klein und entfernen das Kommentarsymbol:

```
#include <iostream>
using namespace std;
```

```
void main(void)
{
   cout << "Willkommen bei C++";
   cout << endl
}
```

Wie ein erneuter Kompilierversuch zeigt, ist dieser Quelltext immer noch nicht fehlerfrei. Allerdings wird es Ihnen jetzt nicht mehr schwer fallen, die Fehlerursache in dem fehlenden Semikolon am Ende der Zeile

```
cout << endl
```

zu erkennen. Wenn Sie dieses nun eingefügt haben, verläuft die Kompilierung erfolgreich.

HINWEIS

Mitunter und gerade für den Programmierneuling kann der Ausschluss von nur einer oder zwei Programmierzeilen bei der Fehlersuche zwar schon von Nutzen sein. In der Regel bedient man sich dieser Vorgehensweise – Eingrenzung von Fehlern durch Auskommentierung von Codestücken –, aber vor allem bei umfangreicheren Quelltexten. Denken Sie daran, dass diese Methode nicht nur in Bezug auf Syntaxfehler, sondern auch bei der Beseitigung von Laufzeitfehlern oder logischen Fehlern hilfreich sein kann.

Hier sei noch erwähnt, dass moderne Entwicklungsumgebungen wie die Visual C++-IDE für die Suche nach logischen und Laufzeitfehlern einen integrierten Debugger bereitstellen. Mit diesem lässt sich das fertige Programm (die *.exe*-Datei) schrittweise ausführen. Dieses Werkzeug kann jedoch zum jetzigen Zeitpunkt für den Programmierneuling noch nicht von Nutzen sein. Bemühen Sie zur Bedienung des Debuggers die Dokumentation Ihres Compilers, wenn es so weit ist. Für die Lektüre dieses Buches kommen Sie aber auch gut ohne Debugger aus.

Achten Sie bei der Ausblendung von Codestücken darauf, dass der übrige Teil erfolgreich kompiliert werden kann.

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << "Willkommen bei C++";
   /*cout << endl;
} */
```

Beispielsweise ist obiger Quelltext in keinem Fall kompilierbar, da die schließende Klammer des Funktionsrumpfs von `main()` versehentlich mit auskommentiert wurde. Für jede öffnende Klammer muss im zu kompilierenden Code aber auch eine schließende vorhanden sein. Bedenken Sie zudem, dass Sie das Grundgerüst von `main()` auf keinen Fall ausblenden dürfen, da dann im Quellcode de facto keine Methode `main()` vorhanden ist.

8 Syntaxregeln

Wie in jeder anderen Programmiersprache sind auch in C++ beim Editieren des Quellcodes bestimmte sprachspezifische Regeln zu beachten. Einige davon wurden bereits angesprochen. Das Wesentliche soll hier noch einmal in kompakter Form und abschließend dargestellt werden.

8.1 Textbausteine

Wie Sie bereits wissen, ist die kleinste zusammengehörige Einheit in C++ die Anweisung. Allerdings setzt sich eine Anweisung in der Regel aus einer Reihe von Textbausteinen zusammen – solange es sich nicht um eine leere Anweisung handelt (was das ist, erfahren Sie gleich weiter unten).

Textbausteine können Schlüsselwörter, Bezeichner, konstante Werte, Operatoren oder Zeichen mit besonderer Bedeutung sein.

Schlüsselwörter sind Namen, die der Compiler kennt und die eine ganz bestimmte Bedeutung haben. Beispiele für Schlüsselwörter sind etwa `void` oder `using`. Beide haben Sie in Ihrem ersten Programm bereits verwendet. Was es mit Operatoren, Bezeichnern und Konstanten auf sich hat, werden Sie in Kürze erfahren. Beispiele für Zeichen mit besonderer Bedeutung sind etwa in Verbindung mit Zeichenketten die doppelten Anführungszeichen (`"..."`), die den Beginn und das Ende einer Zeichenkette festlegen. Auch das Semikolon als Endezeichen einer Anweisung fällt darunter.

HINWEIS

Textbausteine werden auch »Token« genannt.

Die einzelnen Textbausteine müssen innerhalb einer Anweisung eindeutig unterscheidbar sein, um vom Compiler in ihrer Bedeutung erkannt zu werden. Wo das nicht automatisch der Fall ist, müssen sie durch mindestens ein Leerzeichen voneinander getrennt werden. Nehmen wir als Beispiel die Anweisung

```
int name = 15;
```

Die genaue Bedeutung dieser Anweisung und der einzelnen Textbausteine werden Sie in Kapitel 11 »Variablen« erfahren. Hier nur so viel: `int` ist ein Schlüsselwort zur Angabe eines Datentyps, `name` ist ein Bezeichner für ein Datenobjekt – nämlich eine Variable –, das Gleichheitszeichen steht für einen Zuweisungsoperator und bei der Zahl `15` handelt es sich um einen konstanten Wert. Wenn Sie nun schreiben

```
intname = 15;  // FEHLER
```

kann das Schlüsselwort `int` natürlich nicht mehr als solches erkannt werden. Auch ist jetzt in der Anweisung kein Bezeichner `name` enthalten – allenfalls ein Bezeichner `intname`. Die Fehlermeldung, die diese Programmierzeile hervorruft, ergibt sich aus dem Fehlen eines einleitenden Schlüsselwortes zur Angabe eines Datentyps bzw. daraus, dass der Com-

piler mit einem Bezeichner `intname` in diesem Kontext vermutlich nichts anfangen kann (was das genau bedeutet, erfahren Sie ebenfalls in Kapitel 11).

In der obigen Anweisung ist es also zwingend erforderlich, zwischen dem Schlüsselwort `int` und dem Bezeichner `name` zumindest ein Leerzeichen zu setzen. Andererseits ist die Anweisung

```
int name=15;
```

– ohne Leerzeichen zwischen dem Bezeichner `name`, dem Zuweisungsoperator (=) und der Zahl `15` – syntaktisch in Ordnung. Der Grund dafür ist, dass der Compiler hier die einzelnen Token auch ohne Trennzeichen auseinander halten kann. Ein Bezeichner `name=` ist nicht zulässig, da Bezeichner, abgesehen von dem Unterstrich (_), keine Sonderzeichen enthalten dürfen (siehe dazu Abschnitt 11.2 »Regeln zur Bezeichnerwahl«). Folglich wird der Ausdruck `name=` vom Compiler auch nicht als Bezeichner interpretiert, sondern als Bezeichner `name` und Zuweisungsoperator =.

TIPP

Um sich selbst vor Nachlässigkeiten zu schützen und auch die Lesbarkeit des Quellcodes zu verbessern, ist es im Allgemeinen jedoch sinnvoll, die einzelnen Textbausteine in jedem Fall durch ein Leerzeichen voneinander zu trennen.

Lassen Sie uns das eben Gesagte am Beispiel des Funktionskopfes von `main()` verdeutlichen:

```
void main(void)
```

Wenn Sie `void` und `main` zusammenschreiben

```
voidmain(void)
```

sind das Schlüsselwort `void` und der Bezeichner `main` nicht mehr als solche interpretierbar. Demgegenüber ist es zulässig, zwischen dem Bezeichner `main` und der folgenden Klammer `(` auf Leerstellen zu verzichten (tatsächlich handelt es sich bei der Funktionsklammer um einen Operator, also um ein eigenes Token). Im Allgemeinen werden die Leerstellen zwischen Funktionsname und `(` weggelassen – entgegen der oben genannten Empfehlung. Damit will man die Zusammengehörigkeit von Funktionsname und Parameterliste (dabei handelt es sich um den geklammerten Ausdruck) im Code verdeutlichen.

8.2 Anweisungsende

C++ ist nicht zeilenorientiert. Das heißt, das Ende einer Anweisung wird nicht am Zeilenende erkannt. Ausschlaggebend hierfür ist allein das abschließende Semikolon.

Dabei spielt es keine Rolle, welche Textbausteine vor dem Semikolon stehen. Das geht so weit, dass ein Semikolon ohne vorangehenden Code ebenfalls als C++-Anweisung angesehen wird. Diese hat sogar einen speziellen Namen. Man spricht in diesem Fall von einer leeren Anweisung.

In dem Codefragment

```
cout << "Hallo";;  // zwei Anweisungen
;;;  // drei Anweisungen
```

sind demzufolge fünf Anweisungen enthalten. Natürlich haben die letzten vier Anweisungen keinerlei Auswirkung auf das Geschehen während des Programmlaufs.

Beachten Sie:

- Immer wenn im C++-Quellcode ein Semikolon auftritt, bildet dieses zusammen mit den vorangehenden Textbausteinen – beginnend mit dem letzten Semikolon – eine Anweisung.
- Codeteile, die nicht mit einem Semikolon abgeschlossen werden, sind in der Regel unvollständig und damit fehlerhaft.

8.3 Blöcke

Weitere Bausteine des Quellcodes neben den Anweisungen sind Blöcke. Mit ihnen lassen sich mehrere Anweisungen zusammenfassen. Meist geschieht dies im Zusammenhang mit Klassen, Methoden, Funktionen, Verzweigungs- und Schleifenkonstrukten. Man spricht deshalb vom Funktionsblock, Schleifenblock usw.

Grundsätzlich wird jeder Bereich zwischen einer öffnenden (`{`) und einer schließenden (`}`) geschweiften Klammer in C++ als Block angesehen.

Sie haben bereits einen Block verwendet. So handelt es sich bei einem Funktionsrumpf wie beispielsweise den von `main()` ebenfalls um einen Block. Die Bezeichnungen Funktionsrumpf und Funktionsblock sind daher gleichbedeutend.

```
void main(void)
{
   // Anweisung(en)
}
```

Wie Ihnen bekannt ist, dürfen im Rumpf (Block) von `main()` eine oder mehrere Anweisungen stehen. Mittels dieser Konstruktion bilden diese Anweisungen gewissermaßen eine Einheit. Mit anderen Worten: Alle Anweisungen, die sich in diesem Block befinden, werden als zur Funktion `main()` gehörig interpretiert.

Ein C++-Programm kann beliebig viele Blöcke enthalten, die auch ineinander liegen dürfen. Als Beispiel für eine verschachtelte Blockstruktur sei hier die Definition einer Klasse `X` genannt.

```
class X
{
   …
   void Y(void)
   {
```

```
        // Anweisung(en)
    }
    …
};
```

Eine Klassendefinition wird mit dem Schlüsselwort `class` eingeleitet, dem sich ein frei wählbarer Name für die Klasse anschließt (hier `X`). Die äußeren `{…}` bilden den Klassenblock. Zu diesem Grundgerüst gehört noch das Semikolon nach der schließenden geschweiften Klammer. Dieses ist am Ende einer Klassendefinition erforderlich, was uns hier aber nicht interessieren soll (Klassen sind Elemente der objektorientierten Programmierung, mit der wir uns in Teil III dieses Buches beschäftigen werden).

Wie Sie aus dem Konstrukt vermutlich ersehen können, befindet sich innerhalb des Klassenblocks die Definition einer Funktion `Y()`. Sie gleicht bis auf den Namen – `Y` statt `main` – der Ihnen bekannten Funktionsdefinition von `main()`.

Funktionen und Methoden

Eigentlich ist die korrekte Bezeichnung für `Y()` hier »Methode«. In Aufbau und Wirkungsweise stimmen Methoden und Funktionen überein. Im Zusammenhang mit Klassen spricht man jedoch von Methoden.

Rein objektorientierte Programmiersprachen wie Java oder das neuere C# kennen keine Funktionen. Ihr Quellcode ist ausschließlich in Klassen (mit ihren Methoden) aufgeteilt.

Nicht objektorientierte Programmiersprachen wie etwa Pascal, Basic, Cobol und auch C kennen keine Klassen und damit auch keine Methoden. Sie besitzen als Bausteine ausschließlich Funktionen (oder damit verwandte Konstruktionen).

Anders dagegen C++. In C++ gibt es sowohl Funktionen als auch Methoden. Steht eine Funktion für sich alleine, ohne in eine Klasse eingebunden zu sein, nennt man sie eben Funktion. Wird eine Funktion aber innerhalb einer Klasse definiert, dann heißt sie Methode. C++ besitzt also sowohl objektorientierte Features (Klassen, Methoden) als auch nicht objektorientierte Features (Funktionen).

Wir nehmen an, innerhalb des Methodenblocks von `Y()` befinden sich mehrere Anweisungen (`// Anweisung(en)`).

Alle diese Anweisungen (die im Block der Methode `Y()` stehen), sind somit Teil dieser Methode. Sie gehören zu ihr. Ebenso wie die Methode `Y()` und eventuell weitere Methoden, die in demselben Block definiert sind, als zur Klasse `X` gehörig interpretiert werden.

Nicht erlaubt ist das Verschachteln von Funktionen bzw. Methoden untereinander. Unzulässig ist demzufolge:

```
// FEHLER
void eineFunktion(void)
{
   …
   void nochEineFunktion(void)
   {
      …
   }
   …
}
```

Richtig muss es heißen:

```
// OK
void eineFunktion(void)
{
   …
}
void nochEineFunktion(void)
{
   …
}
```

Wir werden von der Möglichkeit, Anweisungen in Blöcken zusammenzufassen, im Zusammenhang mit Kontrollstrukturen noch intensiv Gebrauch machen.

Im obigen Beispiel ist das Setzen von Blöcken zwingend vorgeschrieben, da eine Klasse sowie eine Funktion bzw. eine Methode von einem Block begrenzt werden muss. Es ist aber auch erlaubt, Blöcke willkürlich zu setzen, ohne dass dafür eine syntaktische Notwendigkeit besteht.

```
void main(void)
{ // Block A
   …
   { // Block B1
      …
      { // Block C
         …
      } // end C
      …
   } // end B1
   …
   { // Block B2
      …
   } // end B2
   …
} // end A
```

Hier wurden – eingeleitet mit einem Kommentarzeichen – den einzelnen Blöcken Namen gegeben bzw. das Blockende kenntlich gemacht. Die Buchstaben (`A`, `B`, `C`) geben dabei die Verschachtelungsstruktur wieder. Blöcke mit gleichen Buchstaben befinden sich auf derselben Verschachtelungsebene. Die Auslassungspunkte (...) sollen anzeigen, dass an den jeweiligen Stellen Anweisungen stehen dürfen.

Eine im innersten Block (`C`) platzierte Anweisung ist ebenso den sie umgebenden Blöcken (`A` und `B`) zuzurechen. Sie ist also wie grundsätzlich alle Anweisungen, die innerhalb von `A` stehen, Teil der Funktion `main()`.

Das willkürliche Setzen von Blöcken kann unter Umständen ein Mittel zur besseren Strukturierung des Quelltextes sein. In den meisten Fällen werden Sie Blöcke aber nur dann setzen, wenn es die Syntax von C++ vorschreibt.

8.4 Leerräume

Wie Sie weiter oben erfahren haben (Abschnitt 8.1 »Textbausteine«), ist es oft zwingend notwendig, einzelne Token durch Leerzeichen voneinander zu trennen.

Umgekehrt verlieren jedoch Namen (Bezeichner und Schlüsselwörter) oder Operatoren, sofern diese aus mehreren Einzelzeichen zusammengesetzt sind, durch das Hinzufügen von Zwischenraumzeichen ihre Bedeutung. Wenn Sie also schreiben

```
v o i d main()
```

dann ist das Schlüsselwort `void` nicht mehr als solches erkennbar. Da der Ausdruck `v o i d` auch nicht anderweitig interpretiert werden kann, resultiert aus obiger Programmierzeile eine Fehlermeldung.

Damit wird deutlich, dass Leerräume im Quelltext in genau zwei Varianten syntaktische Bedeutung erlangen:

- Trennung zweier Textbausteine durch Einfügen von Zwischenraumzeichen, sofern dies zu deren Unterscheidung notwendig ist (wie Sie im Abschnitt über Textbausteine erfahren haben, ist das nicht immer der Fall)
- unerlaubtes Einfügen von Zwischenraumzeichen innerhalb eines Tokens

In allen anderen Zusammenhängen haben Leerräume im Quellcode keinerlei Bedeutung. Sie werden bei der Kompilierung einfach ignoriert. Das heißt, Sie dürfen so viele Zwischenraumzeichen (Leerzeichen, Tabulatorschritte und Zeilenumbrüche) einfügen, wie Sie wollen. Ebenso können Sie auch ganz darauf verzichten. Auf die Bedeutung des Quellcodes hat dies keinen Einfluss.

Es spielt also im Hinblick auf die Kompilierbarkeit und das Endergebnis – die ausführbare Datei – keine Rolle, ob Sie unser Einführungsprogramm in lesbarer Form – was aus Ihnen schon bekannten Gründen zu empfehlen ist – oder in Kurzform

```
#include <iostream>
using namespace std;void main(void){cout
<<"Willkommen bei C++";cout<<endl;}
```

oder etwa wie folgt eintippen:

```
#include <iostream>

using
              namespace
                                std;
void
main
                              (void)
{
   cout
                                 <<


   "Willkommen bei C++"
                    ;
   cout
<<
endl              ;

                                 }
```

Dies ließe sich noch beliebig weitertreiben. Solange die Bedeutung der einzelnen Textbausteine dabei erhalten bleibt – was in beiden Listings der Fall ist –, ist der Programmiercode syntaktisch in Ordnung.

ACHTUNG

Beachten Sie jedoch, dass Präprozessor-Direktiven – also Anweisungen, die mit # beginnen – immer in einer eigenen Zeile stehen müssen. Zudem ist das Einfügen von Newline-Zeichen innerhalb von Zeichenketten nicht erlaubt. Sie dürfen also Text, der zwischen "..." steht, nicht mittels ↵ umbrechen.

Wenn Sie Leerräume einfügen müssen, weil es zur Unterscheidung der Token untereinander notwendig ist, gilt: Die Anzahl und die Art der Zwischenraumzeichen spielt keine Rolle. In der Regel ist im Hinblick auf die Lesbarkeit des Codes genau ein Leerzeichen zur Trennung optimal. Alle weiteren Zwischenraumzeichen werden vom Compiler ignoriert. Statt

```
void main(void)
```

ist es also ebenfalls erlaubt zu schreiben

```
void     main    (    void    )
```

Das Ganze lässt sich sogar auf mehrere Zeile verteilen, wie im obigen Listing zu sehen.

Nicht gestattet ist jedoch

```
void m a i n(void)
```

da der Name `main`, wie das Schlüsselwort `void`, ein nicht zerlegbares Token darstellt.

Da Sie nun wissen, wie Ihr C++-Compiler mit Leerräumen umgeht, möchten wir Sie noch einmal auf die herausragende Bedeutung des Semikolons und der geschweiften Klammern `{}` aufmerksam machen. Da C++ eben nicht zeilenorientiert ist, wird das Anweisungsende allein am Semikolon und das Blockende allein an der schließenden Klammer erkannt.

Von daher sind die Anweisungen

```
cout << "Willkommen bei C++";
```

und

```
cout << "Willkommen bei C++"

                ;
```

für den Compiler völlig gleichwertig,

ebenso die Blockstrukturen

```
void main(void)
{
   cout << "Willkommen bei C++";
}
```

und

```
void main(void)
{cout << "Willkommen bei C++";


                          }
```

Der Block ist erst mit dem Zeichen `}` zu Ende, und selbst wenn die schließende Klammer im Abstand von mehreren Bildschirmseiten folgt, wird sie vom Compiler als Blockende erkannt.

TIPP

Gewöhnen Sie sich an, eine öffnende Klammer sogleich wieder zu schließen, bevor Sie an Ihrem Quelltext weiterarbeiten. Dies ist eine ebenso einfache wie nützliche Methode, um Fehler im Vorfeld zu verhindern.

Zum Abschluss dieser Ausführungen hier noch der ausdrückliche Hinweis: Ein wesentliches Kriterium für die Güte eines Quelltextes ist seine gute Nachvollziehbarkeit. Lassen Sie sich daher gerade von der oben dargestellten dreizeiligen Variante des Quellcodes nicht verführen und beherzigen Sie die im Folgenden genannten Programmierstilregeln.

8.5 Programmierstil

Anwendungsprogramme können in den seltensten Fällen ohne Wartung über einen längeren Zeitraum hinweg eingesetzt werden. Einerseits ist es aufgrund äußerer Gegebenheiten oft notwendig, die Funktionalität einer Applikation zu erweitern, andererseits kann das Auftreten logischer Fehler zu einer Überarbeitung des Quellcodes zwingen.

Daher ist es sinnvoll, den Quelltext von Anfang an wartungsfreundlich zu gestalten. Das ausschlaggebende Kriterium hierfür ist eine gute Nachvollziehbarkeit des Quellcodes. Im Idealfall muss dieser daher so eingerichtet sein, dass er auch von anderen Programmierern gelesen und verstanden werden kann.

Teilweise werden Sie es zukünftig mit sehr viel komplexeren Strukturen zu tun haben, als im letzten Beispiel des Abschnitts 8.3 »Blöcke« angedeutet. Es ist deshalb ratsam, sich schon zu Beginn einen guten Programmierstil anzugewöhnen. Unter diesem Gesichtspunkt seien hier folgende – selbst auferlegte – Regeln genannt:

- Schreiben Sie die Zeichen für den Blockanfang (`{`) und das Blockende (`}`) jeweils in eine eigene Zeile (von Ausnahmen bei kleineren Funktionen, Methoden usw. einmal abgesehen).
- Rücken Sie alle Anweisungen – und auch innere Blockstrukturen – innerhalb eines Blocks um eine konstante Anzahl von Leerzeichen ein. In unseren Listings sind dafür genau drei Stellen vorgesehen, Sie können aber genauso gut zwei oder vier Leerzeichen verwenden.

```
{
   // Anweisung
   { // innerer Block
      // Anweisung(en), die sich
      // im inneren Block befindet (befinden)
   } // Ende innerer Block
   // Anweisung
}
```

- Beginnen Sie jede Anweisung möglichst in einer eigenen Zeile. Dagegen ergibt es Sinn, eine sehr lange Anweisung auf zwei oder mehr Zeilen zu verteilen.

Wenn Sie sich diesen Regeln nicht unterwerfen, hat das zwar keine Fehlermeldungen Ihres Compilers zur Folge. Wie gesagt, kann es unter gewissen Umständen auch einmal begründet sein, von diesen Empfehlungen abzuweichen. Ihre Einhaltung wird Ihnen jedoch im Allgemeinen das Programmieren erleichtern.

9 Ausgabe mit cout

In diesem Kapitel werden wir uns das Objekt `cout` etwas näher ansehen. Sie erfahren dabei einiges Wissenswerte über Datenströme, Manipulatoren und die Möglichkeit, mehrere Ausgabeeinheiten innerhalb einer Anweisung aneinander zu hängen. In diesem Zusammenhang wird auch die Bedeutung der Datentypen in C++ zum ersten Mal angesprochen.

9.1 Datenströme

Wie Sie bereits wissen, erfolgt die Datenausgabe auf den Bildschirm (genauer: auf das Standardausgabegerät) mit dem Objekt `cout`. In diesem Zusammenhang spricht man von einem Datenstrom und es ist nicht verkehrt, sich einen Datenfluss zum Objekt `cout` hin vorzustellen. `cout` steht dabei für das Standardausgabegerät, was in der Regel der Bildschirm ist. Dies wird auch durch die Richtung des Ausgabeoperators << deutlich, dessen Spitze auf `cout` zeigt.

```
cout << "blablabla";
```

HINWEIS

Das Gegenstück zu `cout` ist `cin`. Es steht für den Datenfluss in der umgekehrten Richtung, also für Eingaben des Benutzers. Mit `cin` handelt es sich ebenfalls um ein Objekt einer speziellen vordefinierten Klasse, die die Funktionalität für die Dateneingabe bereitstellt. `cin` steht dabei für die Standardeingabe, also in der Regel für die Tastatur. Demzufolge weist die Spitze des Eingabeoperators >> in die entgegengesetzte Richtung, von `cin` weg.

```
cin >> ...
```

Das Objekt `cin` lernen Sie in Abschnitt 11.4 »Das Objekt cin« kennen.

HINWEIS

Das »c« in `cout` sowie in `cin` steht jeweils für »character«, zu Deutsch »Zeichen«. Sprechen Sie also »character out« bzw. »character in«. Das englische Wort »out« (deutsch »aus«) in `cout` bezeichnet die Datenausgabe, das Wort »in« (deutsch »ein«) in `cin` die Dateneingabe.

9.2 C++ unterscheidet zwischen verschiedenen Datentypen

Im weiteren Verlauf des Buches wird Ihnen der Gebrauch von Variablen und Konstanten schnell zur Selbstverständlichkeit werden. Beide charakterisiert ihre Zugehörigkeit zu einem bestimmten Datentyp. So gibt es in C++ spezielle Datentypen für ganze Zahlen, Zahlen mit Nachkommastellen, Wahrheitswerte, einfache Zeichen und Zeichenfolgen.

Variablen lernen Sie in Kapitel 11 »Variablen« kennen. Konstante Werte eines bestimmten Datentyps haben Sie bereits benutzt. Es handelt sich um Zeichenketten. Eine Zeichenkette ist, wie Sie ja bereits wissen, die Gesamtheit aller Zeichen, die von doppelten Anführungszeichen ("...") begrenzt werden.

Zeichenketten werden, vielleicht etwas präziser, auch Zeichenkettenkonstanten genannt. Denn es handelt sich schließlich um Konstanten. Wegen des unangenehm langen Wortes »Zeichenkettenkonstanten« spricht man lieber von »Stringkonstanten«, nach dem englischen Wort »string«, was so viel heißt wie »Zeichenfolge« bzw. in der Computersprache: Folge von Zeichen, die gemeinsam verarbeitet werden. Um sich die Sache noch einfacher zu machen, werden Zeichenketten mitunter einfach nur »Strings« genannt.

```
"Willkommen bei C++"
```

oder

```
"Hallo"
```

sind also Zeichenketten, Zeichenkettenkonstanten, Stringkonstanten oder Strings. Suchen Sie sich die Bezeichnung aus, die Ihnen am liebsten ist.

Nun besitzt, wie oben erwähnt, jeder konstante Wert einen bestimmten Datentyp und eine Zeichenkette ist ein konstanter Wert. Ausgerechnet mit Zeichenketten verhält es sich aber gar nicht so einfach. In C++ existiert nur ein elementarer Datentyp für einzelne Zeichen, genannt `char`. Und eine Zeichenkette ist eigentlich ein Array von Werten des Typs `char` (zu Arrays siehe Kapitel 19 »Arrays«).

Um uns die Sache etwas einfacher und anschaulicher zu machen, wollen wir fürs Erste die Feststellung treffen, der Datentyp von Zeichenketten sei `string` (kleingeschrieben).

HINWEIS

Wir sagten oben, in C++ gibt es Datentypen für ganze Zahlen, Zahlen mit Nachkommastellen, einfache Zeichen und Zeichenfolgen. Das trifft zwar zu, elementare Datentypen gibt es jedoch nur für Zahlen, Wahrheitswerte und einfache Zeichen. Elementare Datentypen, auch »Standarddatentypen« genannt, sind solche, die unmittelbar zur Programmiersprache gehören. Es handelt sich sozusagen um eingebaute Datentypen.

Bei dem Datentyp `string` (für Zeichenketten) handelt es sich eigentlich um eine vordefinierte Klasse. Wir werden aber fürs Erste so tun, als sei dieser Datentyp ebenfalls elementar, zumal das zum jetzigen Zeitpunkt für Sie keinen Unterschied macht. Genaueres werden Sie erfahren, wenn wir uns im Zuge der objektorientierten Programmierung mit Klassen beschäftigen.

HINWEIS

Man sagt, ein konstanter Wert besitzt einen bestimmten Datentyp bzw. er ist von diesem Datentyp. Folglich gilt: Strings (Zeichenketten) besitzen den Datentyp `string` bzw. Zeichenketten sind vom Datentyp `string`. Beachten Sie, dass der Name des Datentyps (`string`) kleingeschrieben wird. String, großgeschrieben, ist dagegen eine synonyme Bezeichnung für »Zeichenkette« bzw. für Variablen des Datentyps `string` (zu letzteren siehe Abschnitt 11.3.3 »string-Variablen«).

Im Unterschied zum Datentyp `string` sei hier der Datentyp `char` genannt. Er ist für die Verarbeitung von einzelnen Zeichen zuständig.

Wie konstante Werte vom Datentyp `string` im Quelltext dargestellt werden, wissen Sie bereits: mittels Begrenzung durch die Zeichen " und ". Wie ist das nun mit konstanten Werten vom Datentyp `char`? Die Antwort ist denkbar einfach: Als Begrenzungszeichen dienen einfache Apostrophe (').

HINWEIS

Das Zeichen ' wird durch die Kombination von ⇧ und der Taste, auf der sich die Raute (#) – und natürlich das ' – befindet, dargestellt.

```
'A'
'Z'
'z'
```

und auch

```
'&'
```

oder

```
'!'
```

sind also konstante Werte vom Datentyp `char`.

Kommen wir wieder auf `cout` zu sprechen. Eine Besonderheit von `cout` ist, dass Sie es, ohne dabei viel beachten zu müssen, zur Ausgabe von Werten aller elementaren Datentypen (einschließlich `string`) heranziehen können. Folgende Anweisungen sind demnach beide korrekt:

```
cout << "ABC";
cout << 'D';
```

In der ersten Anweisung wird ein String (Datentyp: `string`) ausgegeben, in der zweiten ein einfaches Zeichen (Datentyp: `char`). Mit anderen Worten: In der ersten Anweisung wird ein konstanter Wert vom Typ `string`, in der zweiten ein konstanter Wert vom Typ `char` ausgegeben.

HINWEIS

Anstelle vom »Datentyp« spricht man auch einfach nur vom »Typ« (einer Konstanten, einer Variablen).

Verwendet man beide Ausgabeanweisungen nacheinander im Quellcode, so erfolgt die zweite Ausgabe (`cout << 'D';`) an der Stelle, an der sich der Cursor befindet, also unmittelbar nach dem `C`. Das Programm

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << "ABC";
   cout << 'D';
}
```

erzeugt somit – nach Kompilierung und Ausführung – die Ausgabe

```
ABCD
```

HINWEIS

Das gleiche Ergebnis ist natürlich ebenso mit einer einzigen Anweisung zu erzielen:

```
#include <iostream>
using namespace std;
using namespace std;
void main(void)
{
   cout << "ABCD";
}
```

Ausgabe: `ABCD`

9.3 Ausgabeeinheiten aneinander hängen

Durch mehrfache Verwendung des Ausgabeoperators ist es möglich, mehrere Ausgabeeinheiten in einer einzigen Anweisung zu verarbeiten. Dabei darf sich auch der Datentyp von Ausgabeeinheit zu Ausgabeeinheit ändern.

```
cout << "Ha" << 'l' << "lo";
```

Obige Anweisung bewirkt die Ausgabe

```
Hallo
```

Statt

```
cout << "ABC";
cout << 'D';
```

im obigen Beispiel hätten wir also auch schreiben können:

```
cout << "ABC" << 'D';
```

HINWEIS

Und selbstverständlich darf auch Folgendes geschrieben werden:

```
cout << "ABCD";
```

Beachten Sie, dass der Name `cout` innerhalb einer Anweisung nur ein einziges Mal, zu Beginn der Anweisung, verwendet werden darf. Alle weiteren Ausgabeeinheiten werden mit dem bloßen `<<` eingeleitet.

9.3.1 In der Programmierung gibt es meist mehrere Lösungen

Denken Sie einmal daran, wie viele Möglichkeiten Ihnen nun zur Verfügung stehen, um eine Zeichenfolge, sagen wir `Hallo`, auf den Bildschirm zu bringen. Folgendes Listing erscheint wohl diesbezüglich am naheliegendsten:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << "Hallo";
}
```

Ausgabe: `Hallo`

Die Anweisung

```
cout << "Hallo";
```

lässt sich aber auch durch

```
cout << "Ha" << 'l';
cout << "lo";
```

oder aneinander gereiht in einer Anweisung

```
cout << "Ha" << 'l' << "lo";
```

oder gar

```
cout << 'H';
cout << 'a';
cout << 'l';
cout << 'l';
cout << 'o';
```

oder wiederum verkettet

```
cout << 'H' << 'a' << 'l' << 'l' << 'o';
```

ersetzen. Dies ließe sich, in Bezug auf die Zeichenkette `"Hallo"` vielleicht nicht unendlich, aber doch sehr lange, weitertreiben, um alle zur Verfügung stehenden Möglichkeiten auszuschöpfen. Das Ergebnis bliebe stets das gleiche.

HINWEIS

Im Hinblick auf eine gute Lesbarkeit des Quellcodes scheiden jedoch einige Varianten aus.

Dies soll uns schon jetzt Anlass zu der zwar trivialen, aber mitunter sehr bedeutsamen Feststellung geben, dass es in der Programmierung in den seltensten Fällen nur einen einzigen richtigen Weg gibt. Vielmehr ist für die Realisierung eines Programms im Allgemeinen eine Vielzahl von möglichen Implementationen denkbar.

9.3.2 Anweisungen auf mehrere Zeilen verteilen

Abgesehen vom Wechseln des Datentyps bietet die mehrfache Verwendung des Ausgabeoperators hinsichtlich der Übersichtlichkeit des Quellcodes eine bequeme Möglichkeit, sehr lange Anweisungen auf mehrere Zeilen zu verteilen.

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << "Dies ist eine sehr lange "
        << "Anweisung. Deshalb ist sie"
        << " auf mehrere Programmier"
        << "zeilen verteilt";
}
```

ACHTUNG

Es sei daran erinnert, dass im Quelltext das Drücken der Taste ↵ innerhalb von Zeichenketten nicht erlaubt ist. Das damit verbundene Zeichen ist vom Compiler nicht interpretierbar.

HINWEIS

Möglicherweise wundern Sie sich darüber, dass in der Anweisung

```
cout << "Dies ist eine sehr lange "
     << "Anweisung. Deshalb ist sie"
     << " auf mehrere Programmier"
     << "zeilen verteilt";
```

die weiteren Ausgabeeinheiten nicht am Zeilenanfang beginnen, sondern gegenüber dem Namen `cout` eingerückt sind. Damit soll hervorgehoben werden, dass diese Programmzeilen zu ein und derselben Ausgabeanweisung gehören. Im Sinne einer guten Lesbarkeit verfahren die meisten Programmierer in der gleichen Weise. Letzten Endes handelt es sich dabei jedoch um eine Geschmacksfrage.

9.3.3 Verkettung von Strings

Soweit es sich ausschließlich um Zeichenketten handelt, kann auf die Verwendung weiterer Ausgabeoperatoren sogar verzichtet werden. Die Zeichenketten können – ohne << – einfach aneinander gehängt werden. Der Compiler behandelt sie dann automatisch wie eine einzige Zeichenkette.

```
cout << "Dies ist eine sehr lange "
        "Anweisung. Deshalb ist sie"
        " auf mehrere Programmier"
        "zeilen verteilt";
```

HINWEIS

Das Verfahren, mehrere Zeichenketten aneinander zu hängen, wird »Verkettung« genannt. Man spricht von Stringverkettung bzw. Verkettung von Stringkonstanten.

HINWEIS

Die Verkettung von Strings ist grundsätzlich an jeder Stelle im Code möglich. Da Zwischenraumzeichen (Leerzeichen, Tabulatorschritte und Zeilenumbrüche), soweit sie die Bedeutung der einzelnen Textbausteine nicht beeinflussen, im Quelltext keine Rolle spielen, steht es Ihnen grundsätzlich frei, zwei Strings unmittelbar aneinander zu ketten oder dazwischen ein oder mehrere Zwischenraumzeichen (gar einen Zeilenumbruch und mehrere Leerzeichen, wie in der eben genannten Anweisung) zu setzen, also:

```
cout << "Will""kommen";
```

oder

```
cout << "Will" "kommen";
```

oder eben

```
cout << "Will"
        "kommen";
```

Es sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Möglichkeit der Verkettung ausschließlich für Zeichenketten gilt, nicht für Werte anderen Datentyps. Folgende Anweisung ist demnach fehlerhaft:

```
cout << 'A' 'B'; // FEHLER
```

9.4 Manipulatoren

Wenn Sie das Programm

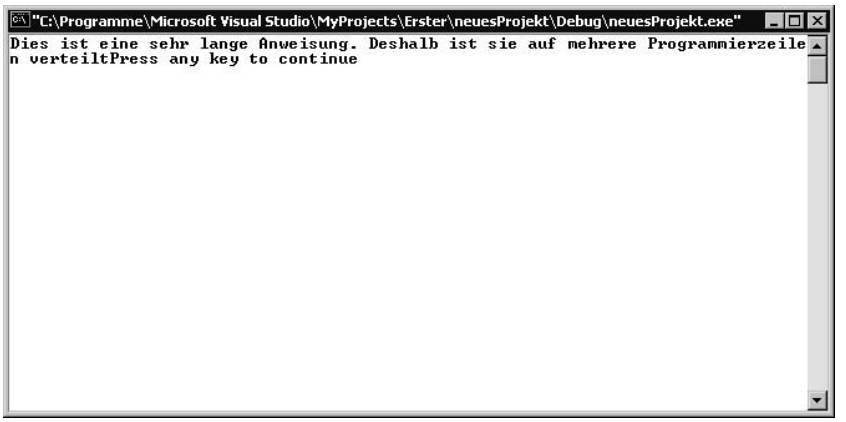
```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << "Dies ist eine sehr lange "
        << "Anweisung. Deshalb ist sie"
        << " auf mehrere Programmier"
        << "zeilen verteilt";
}
```

bzw.

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
cout << "Dies ist eine sehr lange "
        "Anweisung. Deshalb ist sie"
        " auf mehrere Programmier"
        "zeilen verteilt";
}
```

kompilieren und ausführen, erhalten Sie eine ziemlich unschöne Ausgabe.

Bild 9.1: Ausgabe ohne Zeilenumbrüche



Mit der Ausgabe sollte eigentlich dasselbe geschehen, was im Quellcode mit der entsprechenden Ausgabeanweisung erreicht wurde: Die Ausgabe sollte auf mehrere Zeilen verteilt werden (der Zeilenumbruch in Abbildung 9.1 ist natürlich nicht durch die Programmierung, sondern allein durch die Größe des Konsolenfensters bedingt).

Dazu ist es notwendig, an den geeigneten Stellen ein so genanntes Newline-Zeichen einzufügen. Dazu stehen Ihnen zwei Möglichkeiten zur Verfügung: die Verwendung des Steuerzeichens `\n` oder des Manipulators `endl`. Steuerzeichen bilden das Thema des nächsten Kapitels. Hier werden wir die Zeilenumbrüche mit `endl` umsetzen.

HINWEIS

Das »l« in `endl` steht für line (zu Deutsch »Zeile«). Sprechen Sie also »end line«.

Die Ausgabe von `endl` bewirkt an jeder Stelle, an der dieser Manipulator verwendet wird, einen Zeilenvorschub. Manipulatoren werden so genannt, weil sie auf die Ausgabe mit `cout` einwirken, sie sozusagen verändern, »manipulieren«.

Um die gewünschte Ausgabe – mit Zeilenumbrüchen – zu erhalten, könnte Ihr Quelltext in etwa so aussehen:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << "Dies ist eine sehr lange Anweisung."
        << endl << "Deshalb ist sie auf mehrere "
        << endl << "Programmierzeilen verteilt"
        << endl << endl;
}
```

Beachten Sie, dass jede Verwendung eines Manipulators eine eigene Ausgabeeinheit erfordert.

Die Ausgabe zeigt sich nun wie gewünscht (Abbildung 9.2).

Bild 9.2: Ausgabe mit Zeilenumbrüchen

Neben `endl` gibt es weitere wichtige Manipulatoren, unter anderem zur Steuerung von Zahlenausgaben. Diese werden Sie im weiteren Verlauf noch kennen lernen (siehe dazu Kapitel 14 »Ausgabe mit Manipulatoren formatieren«).

10 Steuerzeichen

Nicht alle Zeichen sind druckbar oder mit der Tastatur zu erreichen. Zudem lassen sich manche Zeichen nicht in der gewohnten Form direkt in den Quellcode schreiben, da ihnen im Kontext eine besondere Bedeutung zugeordnet ist. Das ist etwa bei dem Zeichen " innerhalb von Zeichenketten der Fall, da dieses dort als Begrenzungszeichen fungiert.

Aus diesen Gründen stellt C++ für die Ausgabe eine Reihe von Steuerzeichen, auch »Escape-Sequenzen« genannt, zur Verfügung. Damit ist der Programmierer in der Lage, z.B. einen Signalton, Tabulatorschritte oder Zeilenumbrüche zu erzeugen oder etwa den Cursor um eine oder mehrere Stellen zurückzusetzen.

10.1 Die Escape-Sequenzen \", \' und \\

In Abwandlung unseres ersten Programms, das die Ausgabe

```
Willkommen bei C++
```

bewirkt, möchten wir nun die Ausgabe

```
"Willkommen bei C++"
```

erzielen. Die Zeichen " sollen also ebenfalls auf dem Bildschirm erscheinen.

Nichts – abgesehen von Fehlermeldungen des Compilers – erreichen wir, wenn wir die Zeichen wie die anderen direkt in die Zeichenkette schreiben.

```
// Fehlerhafter Code
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << ""Willkommen bei C++"";  // FEHLER
   cout << endl;
}
```

Um sich mit der Interpretationsweise eines C++-Compilers vertraut zu machen, rentiert es sich jedoch, die – fehlerhafte – Anweisung

```
cout << ""Willkommen bei C++"";
```

einmal unter die Lupe zu nehmen. Nach `cout <<` erwartet der Compiler die Angabe eines Wertes, z.B. einer Zeichenkette. Und das erste " wertet er auch als Beginn einer solchen. Nun wird er alle folgenden Zeichen als Teil des Strings ansehen – bis zum Auftreten eines weiteren doppelten Anführungszeichens. Das dem ersten " folgende doppelte Anführungszeichen wird also automatisch als Zeichenkettenende interpretiert. Somit ergibt sich hier als Zeichenkette "", und eine Anweisung wie

```
cout << "";
```

ist auch syntaktisch korrekt, obwohl sie beim Programmlauf herzlich wenig bewirkt.

HINWEIS

Die Zeichenkette "" hat sogar einen speziellen Namen. Sie heißt *leere Zeichenkette*, da in ihr keine Zeichen enthalten sind. Die leere Zeichenkette ist in gewisser Weise das Pendant zur Zahl `0`.

Was den Compiler irritiert, sind die Textbausteine, die dem String "" folgen:

```
Willkommen bei C++"";
```

denn mit den Namen `Willkommen`, `bei` und `C++` kann er nicht viel anfangen. Es gibt im Quellcode keine Variablen, Funktionen oder Klassen, die so heißen, und als Teil einer Zeichenkette sind sie ebenfalls nicht zu begreifen, da ein entsprechendes Anfangszeichen (") im Code nicht vorhanden ist. Also wird der Compiler jeden Namen, den er nicht versteht, einzeln monieren. Und die darauf folgende Zeichenkette "" (nach `C++`) passt ebenfalls nicht in den Kontext. Tatsächlich beantwortet der Visual C++-Compiler einen Kompilierversuch mit insgesamt sieben Fehlermeldungen.

Wie machen wir dem Compiler nun verständlich, dass er bestimmte " nicht als Begrenzungszeichen, sondern als »normale« Zeichen behandeln soll? Die Antwort ist denkbar einfach. Wir stellen besagten Zeichen einen Backslash \ (also einen umgekehrten Schrägstrich) voran.

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << "\"Willkommen bei C++\"";
   cout << endl;
}
```

Nun ist alles in Ordnung und das Programm zeigt, wenn es ausgeführt wird, die Ausgabe `"Willkommen bei C++"`.

Escape-Sequenzen werden stets mit einem Backslash eingeleitet. Dieser nimmt hier dem darauf folgenden doppelten Anführungszeichen praktisch die Sonderbedeutung. Beachten Sie, dass es sich bei `\"` für den Compiler um nur ein Zeichen handelt, auch wenn dieses tatsächlich aus zwei Zeichen zusammengesetzt ist.

HINWEIS

Denken Sie an den Ausgabeoperator <<, der ebenfalls aus zwei Zeichen (<) besteht.

Kritisch ist allerdings nur die Verwendung von " innerhalb von Zeichenketten, nicht in Werten vom Typ `char`. Wenn Sie das " als einfaches Zeichen im Code verwenden, steht es Ihnen frei, entweder

```
cout << '"';
```

oder

```
cout << '\"';
```

zu schreiben. Demnach hätten wir das gewünschte Ergebnis auch wie folgt erreicht:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << '"' << "Willkommen bei C++" << '"';
   cout << endl;
}
```

Ausgabe: `"Willkommen bei C++"`

Solange ein auszugebendes Zeichen nicht mit den Begrenzungszeichen korreliert, kommt ihm auch keine Sonderbedeutung zu. Daher dürfen Sie auch das einfache Anführungszeichen (`'`) ohne weiteres in einer Zeichenkette verwenden:

```
cout << "Sie sagte, '…'. ";
```

Als einfaches Zeichen notiert, müssen Sie es dagegen maskieren:

```
cout << '\'';
```

Einem Zeichen kommt allerdings stets eine Sonderbedeutung zu, nämlich dem Backslash selbst. Um einen Backslash auszugeben, muss diesem folglich in jedem Fall ein weiterer Backslash vorangestellt werden:

Die Anweisungen

```
cout << "\\C++\\";
```

oder

```
cout << '\\' << "C++" << '\\';
```

erzeugen beide die Ausgabe

```
\C++\
```

10.2 ASCII-Code

Rechnerintern wird jedes druckbare und nicht druckbare Zeichen in binärer Form als ganzzahliger Wert dargestellt. Welcher Zahlenwert einem bestimmten Zeichen zugeordnet ist, hängt davon ab, welchen Zeichensatz Ihr Computer verwendet. Die meisten Computer verwenden den so genannten ASCII-Zeichensatz (American Standard Code for Information Interchange, zu Deutsch »Amerikanischer Standardcode für Informationsaustausch«). Beispielsweise wird das Zeichen »A« in binä-

rer Schreibweise als 0100 0001 dargestellt, was dem Dezimalwert 65 und dem Hexadezimalwert 41 entspricht (zu Hexadezimalwerten gleich mehr).

Der vollständige ASCII-Code besteht aus 256 Zeichen, beginnend mit der Ordnungszahl 0. Jedem Zeichen ist somit eine Ordnungszahl im Bereich von 0 bis 255 zugeordnet. Wirklich standardisiert sind eigentlich nur die ersten 128 Zeichen des ASCII-Codes (siehe Tabelle 10.1).

Tabelle 10.1: ASCII-Zeichensatz (Ordnungszahlen 0 bis 127)

Dez.	Hex.	Zeichen	Dez.	Hex.	Zeichen	Dez.	Hex.	Zeichen	Dez.	Hex.	Zeichen
0	00	NUL	32	20	SP	64	40	@	96	60	`
1	01	SOH	33	21	!	65	41	A	97	61	a
2	02	STX	34	22	»	66	42	B	98	62	b
3	03	ETX	35	23	#	67	43	C	99	63	c
4	04	EOT	36	24	$	68	44	D	100	64	d
5	05	ENQ	37	25	%	69	45	E	101	65	e
6	06	ACK	38	26	&	70	46	F	102	66	f
7	07	BEL	39	27	'	71	47	G	103	67	g
8	08	BS	40	28	(	72	48	H	104	68	h
9	09	HT	41	29	)	73	49	I	105	69	i
10	0A	LF	42	2A	*	74	4A	J	106	6A	j
11	0B	VT	43	2B	+	75	4B	K	107	6B	k
12	0C	FF	44	2C	,	76	4C	L	108	6C	l
13	0D	CR	45	2D	-	77	4D	M	109	6D	m
14	0E	SO	46	2E	.	78	4E	N	110	6E	n
15	0F	SI	47	2F	/	79	4F	O	111	6F	o
16	10	DLE	48	30	0	80	50	P	112	70	p
17	11	DC1	49	31	1	81	51	Q	113	71	q
18	12	DC2	50	32	2	82	52	R	114	72	r
19	13	DC3	51	33	3	83	53	S	115	73	s
20	14	DC4	52	34	4	84	54	T	116	74	t
21	15	NAK	53	35	5	85	55	U	117	75	u
22	16	SYN	54	36	6	86	56	V	118	76	v

Tabelle 10.1: ASCII-Zeichensatz (Ordnungszahlen 0 bis 127) (Forts.)

Dez.	Hex.	Zeichen	Dez.	Hex.	Zeichen	Dez.	Hex.	Zeichen	Dez.	Hex.	Zeichen
23	17	ETB	55	37	7	87	57	W	119	77	w
24	18	CAN	56	38	8	88	58	X	120	78	x
25	19	EM	57	39	9	89	59	Y	121	79	y
26	1A	SUB	58	3A	:	90	5A	Z	122	7A	z
27	1B	ESC	59	3B	;	91	5B	[	123	7B	{
28	1C	FS	60	3C	<	92	5C	\	124	7C	|
29	1D	GS	61	3D	=	93	5D	]	125	7D	}
30	1E	RS	62	3E	>	94	5E	^	126	7E	~
31	1F	US	63	3F	?	95	5F	_	127	7F	DEL

In diesem Bereich des ASCII-Codes sind nahezu alle Zeichen enthalten, die auf direktem Wege über die Tastatur erreichbar sind.

TIPP

Um auch andere Zeichen darzustellen, z.B. die des erweiterten ASCII-Codes, drücken Sie die Alt-Taste und geben gleichzeitig die entsprechende Ordnungszahl auf dem Nummernblock ein. Allerdings muss dieser aktiviert sein (drücken Sie gegebenenfalls die Num-Taste).

Auf diese Weise können Sie grundsätzlich jedes druckbare Zeichen des ASCII-Codes darstellen. Beispielsweise erhalten Sie das »Z« (Ordnungsnummer 90) mit der Tastenkombination Alt + 9 + 0, wobei 9 und 0 auf dem – aktivierten – Nummernblock gedrückt werden müssen. Analog dazu wird das Zeichen »@« (Ordnungsnummer 64) mit Alt + 6 + 4 eingefügt.

Das Zeichen mit der Ordnungsnummer 127 steht für das mit der Taste Entf verbundene Zeichen (DEL steht für »delete«, also »löschen«). Beim Zeichen mit der Ordnungszahl 32 handelt es sich um das Leerzeichen (SP steht für »space«).

Die ersten 32 Zeichen (Bereich 0 bis 31) sind – nicht druckbare – Steuerzeichen. Sie dienen vornehmlich zur Steuerung und Formatierung von Ein- und Ausgabe.

HINWEIS

Machen Sie sich klar, dass, wenn hier von Steuerzeichen die Rede ist, die binäre Repräsentation dieser Zeichen im Computer gemeint ist. Auf der anderen Seite stellt C++ eine Reihe von Symbolen (C++-Steuerzeichen) wie etwa `\n`, `\t` oder `\a` zur Verfügung, um diese Steuerzeichen im Quellcode darstellen zu können (dazu gleich mehr).

Es sei darauf hingewiesen, dass einige dieser 32 Steuerzeichen heutzutage keine praktische Bedeutung mehr haben. Auf die wichtigsten werden wir

gleich eingehen. Interessierte können Tabelle 10.2 eine kurze (formale) Beschreibung der ersten 32 Zeichen entnehmen.

Tabelle 10.2: Beschreibung der Steuerzeichen

Dec.	Hex.	Zeichen	Englisch	Deutsch
0	00	NUL	Null	Nullzeichen
1	01	SOH	start of heading	Kopfzeilenbeginn
2	02	STX	start of text	Textanfangzeichen
3	03	ETX	end of text	Textendezeichen
4	04	EOT	end of transmission	Übertragungsende
5	05	ENQ	enquiry	Aufforderung zur Datenübertragung
6	06	ACK	acknowledge	positive Rückmeldung
7	07	BEL	bell	Signalton
8	08	BS	backspace	Rückwärtsschritt
9	09	HT	horizontal tab	horizontaler Tabulator
10	0A	LF	line feed	Zeilenvorschub
11	0B	VT	vertical tab	vertikaler Tabulator
12	0C	FF	form feed	Seitenvorschub
13	0D	CR	carriage return	Wagenrücklauf
14	0E	SO	shift out	Dauerumschaltung
15	0F	SI	shift in	Rückschaltung
16	10	DLE	data link escape	Datenübertragungs-umschaltung
17	11	DC1	device control 1	Gerätesteuerzeichen 1
18	12	DC2	device control 2	Gerätesteuerzeichen 2
19	13	DC3	device control 3	Gerätesteuerzeichen 3
20	14	DC4	device control 4	Gerätesteuerzeichen 4
21	15	NAK	negative acknow-ledge	negative Rückmeldung
22	16	SYN	synchronous idle	Synchronisierung
23	17	ETB	end of transmission block	Ende des Übertragungs-blocks

Tabelle 10.2: Beschreibung der Steuerzeichen (Forts.)

Dec.	Hex.	Zeichen	Englisch	Deutsch
24	18	CAN	cancel	ungültig
25	19	EM	end of medium	Ende der Aufzeichnung
26	1A	SUB	substitute	Substitution
27	1B	ESC	escape	Umschaltung
28	1C	FS	file separator	Hauptgruppentrenn-zeichen
29	1D	GS	group separator	Gruppentrennzeichen
30	1E	RS	record separator	Untergruppentrenn-zeichen
31	1F	US	unit separator	Teilgruppentrennzeichen

Mit dem so genannten Nullbyte (das Zeichen mit der Ordnungsnummer 0) werden Sie im Zusammenhang mit Zeichenketten noch in Berührung kommen (siehe Abschnitt 20.1 »Wie Zeichenketten dargestellt werden«). Dargestellt wird es im Quellcode mit dem C++-Steuerzeichen `\0`.

Bezüglich des Bereichs mit den Ordnungszahlen von 128 bis 255, auch erweiterter ASCII-Code genannt, existieren verschiedene Variationen (die Ordnungsnummern der Umlaute sowie des Zeichens »ß« sind jedoch einheitlich).

10.3 Darstellung von Zeichen mittels Escape-Sequenzen

Grundsätzlich kann jedes Zeichen aus dem verwendeten Zeichensatz im C++-Quellcode auch durch eine Escape-Sequenz dargestellt werden. Dazu leiten Sie die Escape-Sequenz mit `\x` ein, gefolgt von der entsprechenden Hexadezimalzahl (Spalte »Hex.« in der obigen ASCII-Tabelle).

Im folgenden Beispiel werden das erste doppelte Anführungszeichen und das `C` in der Zeichenkette durch eine Escape-Sequenz repräsentiert:

```
#include <iostream>
using namespace std;
void main(void)
{
   cout << "\x22Willkommen bei \x43++\"";
   cout << endl;
}
```

Ausgabe:

```
"Willkommen bei C++"
```

Hexadezimalsystem

Unser vertrautes Dezimalsystem, dem die Basis 10 zugrunde liegt, kommt mit den Ziffern 0 bis 9 aus. Da das Hexadezimalsystem mit der Basis 16 arbeitet, sind neben den ersten zehn Ziffern weitere Zeichen zur Darstellung notwendig. Hierfür verwendet man die Buchstaben A bis F. Die aufsteigende Reihenfolge der »Zahlen« im Hexadezimalsystem ist also: `0`, `1`, `2`, `3`, `4`, `5`, `6`, `7`, `8`, `9`, `A`, `B`, `C`, `D`, `E`, `F`. Daher ist z.B. `F` bzw. `0F` die hexadezimale Darstellung des Dezimalwertes `15`. In gleicher Weise entspricht die hexadezimale »Zahl« `A` bzw. `0A` der Zahl `10` des Dezimalsystems.

Der Grund, warum das auf den ersten Blick unpraktische Hexadezimalzahlsystem bei Computern eine so große Rolle spielt, liegt darin, dass die Basis 16 eine Zweierpotenz ist (2^4) und damit hervorragend mit der binären Arbeitsweise des Computers harmoniert (der Prozessor kann bekanntlich nur zwei verschiedene Werte – 0 und 1 – verarbeiten). 10 – die Basis des Dezimalsystems – stellt dagegen keine Zweierpotenz dar. Gewissermaßen ist das Hexadezimalsystem nur eine andere Sichtweise von binären Werten (wie 01000001), genauer lassen sich hexadezimale und binäre Werte sehr leicht untereinander umrechnen – was für die Umrechnung binär nach dezimal und umgekehrt nicht gilt. Daher werden Sie bei der Programmierung oft auf das Hexadezimalsystem stoßen.

Hier ein weiteres Beispiel:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << '\x43';
   cout << '\x2B';
   cout << '\x2B';
   cout << endl;
}
```

Ausgabe:

```
C++
```

HINWEIS

Denken Sie daran, dass es sich auch bei Escape-Sequenzen wie `\x2B` oder `\x43` um ein einziges Zeichen handelt. Daher ist die Notierung als `char`-Wert (`'\x2B'`) unproblematisch.

10.3.1 Ausgabe von Umlauten sowie des Zeichens »ß«

Leider verwendet die Konsole einen eigenen Zeichensatz, den so genannten OEM-Code, der aber in den ersten 128 Zeichen mit dem ASCII-Zeichensatz übereinstimmt.

Daher ist es nicht auf dem üblichen Weg möglich, Umlaute sowie den Buchstaben ß, denen im ASCII-Code Ordnungszahlen zwischen 129 und 225 zugeordnet sind, auf der Konsole auszugeben. Sie können sich natürlich dadurch behelfen, dass Sie die Umlaute mit `ae`, `ue`, `oe` bzw. mit `Ae`, `Ue`, `Oe` und das »ß« als `ss` wiedergeben. Um dennoch auf den ASCII-Zeichensatz zurückzugreifen, müssen Sie besagte Zeichen wie oben dargelegt als Escape-Sequenz mit der zugeordneten hexadezimalen Zahl und einem vorangestellten `x` in den Quellcode schreiben. Die entsprechenden Werte sind Tabelle 10.3 zu entnehmen.

Tabelle 10.3: Umlaute und ß (erweiterter ASCII-Code)

Dez.	Hex.	Zeichen
129	81	ü
132	84	ä
142	8E	Ä
148	94	ö
153	99	Ö
154	9A	Ü
225	E1	ß

Hierzu ebenfalls ein Beispiel:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << "\x84, \x94, \x81" << endl;
   cout << "\x8E, \x99, \x9A" << endl;
   cout << "und \xE1" << endl;
}
```

Ausgabe:

```
ä, ö, ü
Ä, Ö, Ü
und ß
```

Es macht keinen Unterschied, ob Sie bei der Notierung von Hexadezimalwerten Groß- oder Kleinbuchstaben verwenden. Statt `\xE1` ist `\xe1` ebenso möglich.

Bedenken Sie jedoch, dass eine Hexadezimalzahl erst mit dem ersten Zeichen, das nicht als Teil einer Hexadezimalzahl interpretiert werden kann, zu Ende ist. Um das Wort »öffentlich« auszugeben, ist es demnach unzulässig, Folgendes zu schreiben:

```
cout << "\x94ffentlich";  // FEHLER
```

Dies liegt daran, dass `f` – und auch `e` – als hexadezimale »Ziffern« Verwendung finden. Obige Anweisung beantwortet der Visual C++-Compiler mit der Meldung, dass `'610302'` (entspricht `'\x94ffe'`) zu groß für ein Zeichen ist. Der Borland-Compiler geht nicht so ins Detail und beschwert sich einfach über die zu hohe Anzahl von (hexadezimalen) Ziffern.

Schaffen Sie nötigenfalls mit mehreren Ausgabeeinheiten Abhilfe:

```
cout << '\x94' << "ffentlich";  // OK
```

oder schreiben Sie

```
cout << "\x94""ffentlich";  // OK
```

Ausgabe:

```
öffentlich
```

10.4 Das Steuerzeichen \n

In Abschnitt 9.4 »Manipulatoren« haben Sie mit dem Manipulator `endl` bereits eine Möglichkeit kennen gelernt, Zeilenumbrüche zu erzeugen. Alternativ dazu können Sie das C++-Steuerzeichen `\n` verwenden. Dieses dürfen Sie auch direkt in die Zeichenkette schreiben.

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << "Dies ist eine sehr lange Anweisung."
        << "\nDeshalb ist sie auf mehrere "
        << "\nProgrammierzeilen verteilt.\n"
        << '\n';
   cout << "ENDE\n";
}
```

Ausgabe:

```
Dies ist eine sehr lange Anweisung.
Deshalb ist sie auf mehrere
Programmierzeilen verteilt.

ENDE
```

Die Zeile

```
<< '\n';
```

soll lediglich verdeutlichen, dass das Steuerzeichen `\n` ebenso als einfache Zeichenkonstante (Typ `char`) geschrieben werden kann. Dies gilt natürlich für jedes Zeichen, egal ob es sich um ein »normales« oder um ein Steuerzeichen handelt.

Anstelle von

```
…
        << "\nProgrammierzeilen verteilt.\n"
        << '\n';
…
```

hätten wir also mit dem gleichen Ergebnis auch schreiben können

```
…
        << "\nProgrammierzeilen verteilt.\n\n";
…
```

Jedes `\n` erzeugt genau einen Zeilenvorschub.

HINWEIS

Zum Verständnis: `\n` ist ein C++-Steuerzeichen zur Darstellung des ASCII-Zeichens mit der Ordnungsnummer 10 (hexadezimaler Wert 0A). Nach dem oben Gesagten ist es natürlich auch möglich, dieses Zeichen im Code mit `\x0A` zu notieren. Was kein Programmierer tut, nicht nur wegen des minimal erhöhten Aufwands, sondern auch, weil es die Lesbarkeit des Quellcodes gegenüber `\n` bzw. `endl` nicht gerade verbessert.

HINWEIS

Obwohl noch aus alten C-Zeiten stammend, steht die Verwendung des Steuerzeichens `\n` – anstelle des Manipulators `endl` – einem guten C++-Stil nicht entgegen.

10.5 Weitere Steuerzeichen

Neben dem Steuerzeichen `\n` gibt es eine Reihe weiterer Escape-Sequenzen für diejenigen der ersten 32 Zeichen der ASCII-Codetabelle, die häufig in C++-Programmen benötigt werden. Da diese Zeichen nicht druckbar sind, könnten sie auf andere Weise nicht im Code dargestellt werden – sieht man von der Möglichkeit, die Zeichen als Escape-Sequenz mit hexadezimalen Zahlen zu notieren, einmal ab (siehe Abschnitt 10.3 »Darstellung von Zeichen mittels Escape-Sequenzen«).

Tabelle 10.4 enthält eine Auflistung der gebräuchlichsten Escape-Sequenzen.

Tabelle 10.4: C++-Escape-Sequenzen

Escape-Sequenz	Zeichen
\n	Zeilenvorschub (LF)
\t	horizontaler Tabulator (HT)
\a	Signalton (BEL)
\b	Rückwärtsschritt (BS)
\r	Wagenrücklauf (CR)
\f	Seitenvorschub (FF)
\v	vertikaler Tabulator (VT)
\0	Nullzeichen (NUL)
\"	"
\'	'
\\	\

Das Nullzeichen oder Nullbyte dient als Begrenzungszeichen für Zeichenketten. Wie gesagt, werden wir darauf in Kapitel 20 »Strings« näher eingehen. Die Zeichen `\f` (Seitenvorschub) und `\v` (vertikaler Tabulator) sind in der Tabelle eigentlich nur der Vollständigkeit halber erwähnt, in der Praxis sind die Zeichen nicht so bedeutend. Das Zeichen `\f` steuert allein die Druck-, nicht die Bildschirmausgabe; `\v` ist praktisch nicht mehr als vertikaler Tabulatorschritt verwendbar. Stattdessen erscheint in der Regel das Symbol auf dem Bildschirm.

Das Zeichen `\t` bewirkt in der Ausgabe einen waagerechten Tabulatorsprung.

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << "C\t+\t+";
   cout << endl;
}
```

Ausgabe:

```
C       +       +
```

Wie viele Zeichen der Cursor bei einem Tabulatorschritt weitergesetzt wird, hängt von den Einstellungen des Computers ab, auf dem das Programm ausgeführt wird.

Signaltöne lassen sich mit dem Zeichen `\a` erzeugen.

HINWEIS

Signalton – andere nennen ihn Klingelzeichen, Klingelton, sogar Alarm(ton) oder schlicht Piepton. Gemessen an der Klangstärke kommt letztere Bezeichnung der Sache wohl am nächsten.

Das folgende Programm gibt jeweils nach Ausgabe eines Buchstabens einen Signalton wieder:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << "F\aE\aH\aL\aE\aR\a";
   cout << endl;
}
```

Oder zur Verdeutlichung das Ganze in einer etwas umständlicheren Form:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << 'F';
   cout << '\a';
   cout << 'E';
   cout << '\a';
   cout << 'H';
   cout << '\a';
   cout << 'L';
   cout << '\a';
   cout << 'E';
   cout << '\a';
   cout << 'R';
   cout << '\a';
   cout << endl;
}
```

Das Zeichen `\b` setzt den Cursor um eine Stelle zurück.

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << "C\b++";
   cout << endl;
}
```

Ausgabe ist nicht C++, sondern

```
++
```

da nach Ausgabe des ersten Zeichens (C) der Cursor mit \b zurückgesetzt und das C anschließend mit dem ersten + überschrieben wird.

Analog funktioniert \r, nur dass hier der Cursor an den Anfang der aktuellen Zeile gesetzt wird. Das Programm

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << "Hal\rlo";
   cout << endl;
}
```

erzeugt somit die Ausgabe

```
lol
```

11 Variablen

Wie Sie es einrichten, dass Ihre C++-Programme Informationen an den Benutzer weitergeben, wissen Sie bereits. Jede Applikation beruht aber im Wesentlichen auf einem wechselseitigen Datenaustausch zwischen Anwender und Programm.

So müssen z.B. im Zuge von mathematischen Operationen gewöhnlich erst Daten vom Benutzer entgegengenommen werden, um ihm anschließend die gewünschten Ergebnisse auszugeben. In der Regel ist es notwendig, die Eingabedaten über einen gewissen Zeitraum hinweg festzuhalten, um gegebenenfalls mehrmals darauf zugreifen zu können. Dies gilt mitunter auch für Informationen, die vom Programm selbst erzeugt werden – denken Sie an eventuelle Zwischenergebnisse von Berechnungen.

C++ stellt hierzu das Konzept der Variablen zur Verfügung. Variablen sind Datenobjekte, die es erlauben, Informationen zu speichern, zu verändern und im Code auf diese gespeicherten Daten zuzugreifen. Das vorliegende Kapitel beschreibt den Umgang mit Variablen.

11.1 Variablen deklarieren

Bevor Sie eine Variable verwenden können, müssen Sie diese zunächst anlegen. Man spricht in diesem Zusammenhang vom Deklarieren einer Variablen bzw. von deren Vereinbarung. Um eine Variable zu deklarieren, geben Sie zunächst ihren Datentyp an, gefolgt von einem frei wählbaren Namen für die Variable. Und da es sich bei einer Variablendeklaration schließlich auch um eine Anweisung handelt, wird das Ganze mit einem Semikolon abgeschlossen.

```
char zeichen;
```

Mit obiger Anweisung wird demnach eine Variable namens `zeichen` zur Aufnahme von einzelnen Zeichen vereinbart. Wie Sie ja bereits erfahren haben, lautet der dafür zuständige Datentyp `char`. Der programmiersprachliche Fachausdruck für frei wählbare Namen ist *Bezeichner*. Bei `zeichen` handelt es sich also um den Bezeichner für eine Variable vom Typ `char`.

HINWEIS

Allerdings ist die grundsätzliche Freiheit in der Bezeichnerwahl gewissen Einschränkungen unterworfen (dazu mehr in Abschnitt 11.2 »Regeln zur Bezeichnerwahl«).

Was ist nun eigentlich eine Variable bzw. was geschieht im Zuge einer Variablendeklaration? Stellen Sie sich dazu den Arbeitsspeicher Ihres Computers eingeteilt in Speicherzellen vor, von denen jede exakt 1 Byte groß ist. Zur Identifizierung besitzen diese Speicherzellen fortlaufende ganzzahlige Adressen.

Im Grunde ist eine Variable nichts anderes als ein benannter Ort im Arbeitsspeicher. Benannt, weil der für die Variable reservierte Speicherbereich im weiteren Code mit Namen, nämlich mit dem bei der Deklaration gewählten Bezeichner der Variablen, ansprechbar ist.

Die Deklarationsanweisung `char zeichen;` hat bei Ausführung des Programms also zur Folge, dass

- im Arbeitsspeicher ein entsprechend dem angegebenen Datentyp großer Bereich reserviert wird, der ab sofort nur mehr von diesem Programm nutzbar ist. Werte des Typs `char` beanspruchen genau 1 Byte. Das ist der Platz, der zur internen Darstellung eines Zeichens benötigt wird.
- auf diesen Speicherort unter Angabe des Namens `zeichen` zugegriffen werden kann. Das heißt, es können dort Werte abgelegt bzw. vom Programm gelesen werden. Wie das geht, erfahren Sie in den Abschnitten 11.3 »Zuweisung« und 11.4 »Das Objekt cin«).

Zum Vergleich sei hier ein weiterer Datentyp genannt: der Datentyp `int`. Dieser dient zur Darstellung von ganzen Zahlen. Um eine Variable dieses Typs zu deklarieren, schreiben Sie

```
int zahl;
```

wobei `zahl` wiederum der Bezeichner der Variablen ist. Ebenso hätten wir als Bezeichner `nummer` bzw. das englische `number` oder `a`, `b`, `xy` usw. wählen können. Allerdings ist es im Allgemeinen sinnvoll, für Datenobjekte »sprechende« Namen zu vergeben.

Das Schlüsselwort `int` gibt den Datentyp der Variablen an. In der Regel beansprucht eine `int`-Variable 4 Byte.

HINWEIS

Diese Größe ist allerdings systemabhängig (siehe dazu Kapitel 15 »Datentypen«), auf 16-Bit-Computern werden dafür nur 2 Byte reserviert – entsprechend kleiner ist dann auch der Wertebereich.

HINWEIS

Wie Sie im nächsten Kapitel sehen werden, gibt es zur Darstellung von ganzen Zahlen mehrere Datentypen. Diese unterscheiden sich ausschließlich in ihrem Wertebereich voneinander. Der Sammelbegriff für Datentypen zur Darstellung von ganzen Zahlen ist *Integer*. Dieses Wort wird in der Fachsprache häufig gebraucht. Man spricht vom Integerdatentyp bzw. von Integervariablen. Die obige Variable `zahl` ist vom Typ `int` bzw. sie ist vom Typ Integer – beide Ausdrucksweisen sind demnach korrekt.

11.1.1 Mehrere Variablen mit einer Anweisung deklarieren

Um zwei oder mehr Variablen zu deklarieren, schreiben Sie also:

```
int zahl;
char zeichen;
...
```

HINWEIS

Wie gesagt, bezeichnen Variablennamen bestimmte Orte im Arbeitsspeicher. Dies muss natürlich in eindeutiger Weise geschehen. Daraus folgt, dass sich die Bezeichner der einzelnen Variablen voneinander unterscheiden müssen. Dies gilt auch, insofern es sich um verschiedene Datentypen handelt. Die zweite Anweisung des folgenden Codestücks ist daher fehlerhaft, da der Bezeichner `donald` mit der ersten Deklaration bereits vergeben ist.

```
int donald;
char donald;  // FEHLER
```

Da C++ zwischen Groß- und Kleinschreibung unterscheidet, ließe sich der Fehler zwar wie folgt beheben, da sich ein Bezeichner `donald` gegenüber einem großgeschriebenen `Donald` ausreichend unterscheidet:

```
int donald;
char Donald;
```

Im Sinne eines gut lesbaren Quellcodes ist jedoch davon abzuraten. Zudem ist es unter C++-Programmierern im Allgemeinen üblich, Bezeichner von lokalen Variablen (um solche handelt es sich im Weiteren) kleinzuschreiben, um sie im Code von anderen Datenobjekten besser unterscheiden zu können.

Soweit es sich um Variablen gleichen Datentyps handelt, lassen sich diese auch in einer einzigen Anweisung vereinbaren. Dazu sind die Bezeichner der einzelnen Variablen durch Kommata (,) zu trennen:

```
int zahl, nummer, nochEineZahl;
```

Mit obiger Anweisung werden demnach drei Integervariablen vereinbart. Das Schlüsselwort für den Datentyp (hier: `int`) ist dabei nur ein Mal anzugeben.

HINWEIS

Die Datentypen heißen `int`, `char` usw. Die Schlüsselwörter, mit denen sich angeben lässt, welcher Datentyp verwendet werden soll, haben den gleichen Namen wie die Datentypen selbst, also im vorliegenden Fall `int` und `char`.

11.2 Regeln zur Bezeichnerwahl

Bezeichner sind eindeutige Namen für Datenobjekte, Funktionen, Klassen, Methoden usw. Sie sind, wie gesagt, vom Programmierer grundsätzlich frei wählbar. Einschränkungen bestehen jedoch in Bezug auf folgende Regeln:

- Bezeichner dürfen sich aus Buchstaben, Ziffern und – als einzigem Sonderzeichen – dem Unterstrich (_) zusammensetzen. Umlaute, das »ß«, andere fremdsprachliche Zeichen und Leerzeichen sind nicht erlaubt.
- Das erste Zeichen darf keine Ziffer sein. Obwohl gestattet, sollten Sie keine Bezeichner mit einem führenden Unterstrich verwenden (wie

_meinevar), da diese Schreibweise für vordefinierte Konstanten der C++-Entwicklungsumgebung vorgesehen ist. Unterstriche innerhalb des Namens sind unproblematisch und werden gerne als Ersatz für Leerzeichen verwendet. Bezeichner wie meine_variable, my_var und um_2003 sind durchaus üblich.

- C++ ist »case-sensitiv« – es unterscheidet zwischen Groß- und Kleinschreibung. Das bedeutet, dass ein Bezeichner xyz auch im weiteren Quellcode so geschrieben werden muss und nicht etwa als Xyz, XYZ, xYz usw.
- Vom C++-Standard her gibt es bezüglich der Länge eines Bezeichners keine Vorschriften. Restriktionen bestehen allein in Bezug auf den verwendeten Compiler. Darüber müssen Sie sich aber keine Gedanken, da nahezu jeder Compiler weit über 200 Zeichen erlaubt.
- Auch Schlüsselwörter sind letzten Endes nichts anderes als vordefinierte Bezeichner. Daher dürfen Ihre eigenen Bezeichner nicht mit einem Schlüsselwort übereinstimmen, da ansonsten die Eindeutigkeit verloren geht.

In Tabelle 11.1 finden Sie eine Auflistung aller C++-Schlüsselwörter. Einige davon dürften Ihnen bereits bekannt sein.

Tabelle 11.1: Vordefinierte C++-Schlüsselwörter

Schlüsselwörter			
asm	auto	bad_cast	bad_typeid
bool	break	case	catch
char	class	const	const_cast
continue	default	delete	do
double	dynamic_cast	else	enum
except	explicit	extern	false
finally	float	for	friend
goto	if	inline	int
long	mutable	namespace	new
operator	private	protected	public
register	reinterpret_cast	return	short
signed	sizeof	static	static_cast
struct	switch	template	this
throw	true	try	type_info
typedef	typeid	typename	union

Tabelle 11.1: Vordefinierte C++-Schlüsselwörter (Forts.)

Schlüsselwörter			
unsigned	using	virtual	void
volatile	while		

Eine Variablendeklaration wie folgt ist also nicht möglich, da `break` als Schlüsselwort bereits vergeben ist:

```
char break;  // FEHLER
```

Weitere Beispiele für ungültige Bezeichner sind:

```
2zahl  // keine Ziffer als erstes Zeichen
z-1  // Bindestrich nicht erlaubt
über  // keine Umlaute
donald duck  // Leerzeichen nicht erlaubt
```

Hier ein paar Beispiele für gültige Bezeichner:

```
ueber
zahl1
zahl2
zahl_3
a
a123
a_1_30
donaldDuck
donald_duck
```

Wie gesagt, sei Ihnen ans Herz gelegt, bei der Bezeichnerwahl möglichst sprechende Namen vorzuziehen – von Ausnahmen, die auch wir vereinzelt in den Beispielen dieses Buches für uns in Anspruch nehmen werden, einmal abgesehen. Ein Quelltext mit Variablennamen wie `anzahl`, `summe` und `alter` lässt sich in der Regel viel leichter nachvollziehen als derselbe Code mit den Bezeichnern `a`, `b` und `c`.

HINWEIS

Falls Variablennamen aus mehreren Wörtern bestehen, ist es üblich, diese mit einem Unterstrich zu verbinden (`donald_duck`, `wer_hat_was`) oder sich mit Großbuchstaben zu behelfen (`donaldDuck`, `werHatWas`).

11.3 Zuweisung

Legen wir nun eine Integervariable an:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int zahl;
}
```

Wie Sie ja nun wissen, bezeichnet `zahl` mithin einen Speicherort, an dem Werte abgelegt werden können. Für einen Programmierer ist es durchaus sinnvoll, sich eine Variable als Behälter vorzustellen. Dieses Bild kommt – vom praktischen Standpunkt aus betrachtet – der Wirklichkeit hinreichend nahe.

Bild 11.1: Variable ohne Inhalt

Der Behälter im Bild ist leer, weil unsere Variable `zahl` ja noch keinen Wert enthält.

HINWEIS

Genau genommen besitzt sie einen undefinierten Zufallswert und schon jetzt der Hinweis: Sie sollten tunlichst vermeiden, auf eine Variable lesend zuzugreifen, bevor diese einen wohldefinierten Wert besitzt. Ansonsten würde dies im günstigsten Fall »nur« zu falschen Berechnungsergebnissen führen. Denn der Speicherort, der im Zuge der Variablendeklaration für zukünftige Werte reserviert wird, erfährt ja vorerst keine Veränderung. Sind dort bereits Daten vorhanden, werden diese zunächst nicht gelöscht. Dies geschieht erst, wenn während des Programmlaufs neue Werte in die Variable – das heißt an diese Stelle – geschrieben werden.

In diesem Zusammenhang unterscheiden sich die Programmiersprachen. Die einen verbieten generell einen Zugriff auf Variablen, die keinen wohldefinierten Wert besitzen (Syntaxfehler). In anderen Sprachen werden numerische Variablen vom Compiler bei der Deklaration automatisch mit einem Anfangswert wie `0` versehen. Für C++ trifft weder das eine noch das andere zu, was hundertprozentig der Philosophie von C++ entspricht. Einerseits muss der C++-Programmierer alles »zu Fuß« machen, andererseits darf er auch mehr machen als in anderen Sprachen.

Also werden wir der Variablen jetzt einen Wert zukommen lassen, sagen wir den Wert `99`. Grundsätzlich stehen uns dazu zwei verschiedene Wege offen: zum einen durch Benutzereingabe (dazu mehr in Abschnitt 11.4 »Das Objekt cin«) und zum anderen durch Zuweisung. Dabei handelt es sich um eine Operation, die im Code durch das Symbol = dargestellt wird. Dieses Zeichen heißt in der Welt von C++ nicht etwa Gleichheitszeichen, sondern – nach der Operation, die es repräsentiert – *Zuweisungsoperator*.

Es gilt:

- Links vom Zuweisungsoperator steht immer der Name einer Variablen. Damit wird die Variable bezeichnet, die etwas bekommen soll (einen neuen Wert).
- Rechts vom Zuweisungsoperator steht der Wert, den diese Variable erhalten soll.

Um unserer Variablen `zahl` den Wert `99` zuzuweisen, müssen wir also schreiben:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int zahl;
   zahl = 99;
}
```

Dass die Zuweisung erst nach der Deklaration stattfinden kann, versteht sich nach dem weiter oben Gesagten von selbst. Eine Variable muss ja erst einmal existent sein, bevor man mit ihr arbeiten kann.

HINWEIS

Sie erinnern sich? Konstante Werte vom Typ `char` werden durch einfache Anführungszeichen (`'h'`), konstante Werte vom Typ `string` durch doppelte begrenzt (`"Guten Tag"`). Mit konstanten Werten vom Typ `int` verhält es sich einfacher. Sie werden in gewohnter Weise in den Quellcode geschrieben, also z.B. `1`, `2`, `0`, `2004` oder eben `99`. Negativen Zahlen stellen Sie ebenfalls wie üblich ein Minuszeichen voran: `-11`, `-99`, `-5` usw.

Dies ist auch der Grund, warum das erste Zeichen eines Bezeichners keine Ziffer sein darf (siehe Abschnitt 11.2 »Regeln zur Bezeichnerwahl«). Denn der Compiler könnte dann bei einem Ausdruck wie `123` nicht mehr feststellen, ob es sich um eine Variable dieses Namens (die vermutlich einen ganz anderen Wert eines möglicherweise anderen Datentyps als `int` beherbergt) oder um den konstanten Integerwert `123` handelt.

Mit besagter Zuweisung ergibt sich für unsere Variable nunmehr folgendes Bild:

Bild 11.2: Nach der Zuweisung

Beachten Sie:

- Welche Art von Werten eine Variable aufnehmen kann, ist durch ihren Datentyp vorgegeben.
- Eine Variable kann ihren Datentyp nicht ändern. Dieser wird im Zuge ihrer Deklaration ein für alle Mal festgelegt.

Im vorliegenden Fall würde der Versuch, der Variablen `zahl` etwa eine Zeichenkette zuzuweisen, als Syntaxfehler interpretiert. Es handelt sich ja um eine Integervariable, die grundsätzlich nur ganze Zahlen akzeptiert.

HINWEIS

In bestimmten Fällen führt der Compiler allerdings automatische Typumwandlungen durch. Das heißt, ein auf der rechten Seite der Zuweisung angegebener Wert, dessen Datentyp nicht mit dem der Zielvariablen übereinstimmt, wird vor der eigentlichen Zuweisung zunächst in den Datentyp der Zielvariablen konvertiert (siehe dazu Abschnitt 16.1 »Implizite Typumwandlungen«). Im Allgemeinen sollte man sich aber nicht auf implizite Typumwandlungen verlassen.

Um eine Variable nach deren Deklaration zu verwenden, genügt es, ihren Bezeichner im Code anzugeben, wie wir das bei der Zuweisung bereits getan haben. Sie können also den Erfolg der Zuweisung leicht nachprüfen, indem Sie den Inhalt der Variablen `zahl` mit `cout` ausgeben.

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int zahl;
   zahl = 99;
   cout << zahl;
}
```

Ausgabe: `99`

TIPP

Fügen Sie die Anweisung `cout << endl;` hinzu, wenn Sie in der Visual C++-IDE arbeiten. Dann stehen die Ausgabe des Programms und der Text `Press any key to continue` nicht in einer Zeile.

Beachten Sie, dass eine Variable zur gleichen Zeit nur einen einzigen Wert enthalten kann. Eine erneute Zuweisung überschreibt den alten Wert. Die ursprüngliche Information geht dabei unwiederbringlich verloren.

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int zahl;
   zahl = 99;
   zahl = 17;
   cout << zahl;
}
```

Ausgabe: `17`

Lassen Sie uns zu Demonstrationszwecken eine zweite Integervariable – nennen wir sie `nummer` – vereinbaren. Da es sich um denselben Datentyp handelt, dürfen wir beide Deklarationen in einer Anweisung zusammenfassen:

Bild 11.3:
Nach der Neuzuweisung

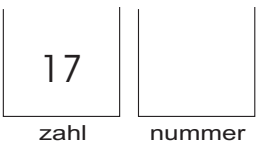
```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int zahl, nummer;
   zahl = 99;
   zahl = 17;
   cout << zahl;
}
```

HINWEIS

Anders als in der Programmiersprache C dürfen Sie eine Variable grundsätzlich an jeder Stelle im Code deklarieren, solange Sie diese erst nach ihrer Erzeugung verwenden (für uns gilt allerdings bis auf weiteres die Voraussetzung, dass dies innerhalb des Funktionsblocks von `main()` geschehen muss). Wir werden jedoch unsere Variablen in der Regel zu Beginn des Funktionsblocks deklarieren, soweit keine besonderen Gründe dagegen sprechen. Damit schafft man einen separaten Deklarationsteil und kann auf einen Blick übersehen, welche Variablen im Quellcode verwendet werden.

Auch die zweite Variable `nummer` haben wir uns zunächst als leeren Behälter vorzustellen.

Bild 11.4:
Zwei Variablen



Sie soll nun denselben Wert erhalten wie die Variable `zahl`. Obwohl uns der aktuelle Wert von `zahl` bekannt ist, soll dies aber nicht mit der Anweisung

```
nummer = 17;
```

geschehen. Vielmehr wollen wir so tun, als ob wir den Inhalt von `zahl` nicht kennen würden. Nehmen wir einfach an, `zahl` hätte ihren aktuellen Wert zuvor mittels einer Benutzereingabe erhalten (wie das geht, erfahren Sie weiter unten in Abschnitt 11.4 »Das Objekt cin«).

In diesem Fall verwenden wir den Bezeichner `zahl` einfach auf der rechten Seite der Zuweisung. Im Anschluss daran geben wir zur Kontrolle beide Variablenwerte – mit erklärendem Text – aus.

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int zahl, nummer;
   zahl = 99;
   zahl = 17;
   nummer = zahl;
   cout << "Wert von zahl: " << zahl << endl;
   cout << "Wert von nummer: " << nummer;
}
```

Ausgabe:

```
Wert von zahl: 17
Wert von nummer: 17
```

Aufmerksamkeit verdient die Tatsache, dass bei Ausführung der Anweisung

```
nummer = zahl;
```

zunächst die Variable `zahl` gelesen und danach die eigentliche Zuweisung des mit der Leseoperation erhaltenen Wertes an die Variable `nummer` stattfindet. Die Abarbeitung einer Zuweisung erfolgt also von rechts nach links.

HINWEIS

Die Anweisungen

```
cout << »Wert von zahl: « << zahl << endl;
```

und

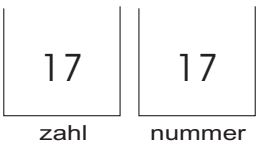
```
cout << »Wert von nummer: « << nummer;
```

sollten Ihnen keine größeren Schwierigkeiten bereiten. Beispielsweise wird in der ersten Anweisung zunächst eine Zeichenkette, dann ein `int`-Wert, repräsentiert durch die Variable `zahl`, und schließlich mit `endl` ein Zeilenvorschub ausgegeben. Beachten Sie, dass jede Variable wie auch jede Konstante und auch jeder Manipulator (`endl`) eine eigene Ausgabeeinheit erfordert. Dies gilt auch, wenn Sie in einer Anweisung mehrere Variablenwerte gleichen Datentyps nacheinander ausgeben wollen:

```
cout << zahl << nummer;
```

Hier unser neues Speicherbild:

Bild 11.5: Nach der Zuweisung `nummer = zahl;`



11.3.1 Additionsoperator (+)

Wir stellten weiter oben fest, dass rechts vom Zuweisungsoperator der Wert steht, den die auf der linken Seite bezeichnete Variable erhalten soll. Das stimmt nicht ganz, zumindest bedarf diese Aussage einer gewissen Ergänzung, da auf der rechten Seite einer Zuweisung auch ein komplexer Ausdruck stehen darf. Dann muss dieser Ausdruck erst ausgewertet werden, bevor die eigentliche Zuweisung des Ergebniswertes an die Zielvariable erfolgen kann.

HINWEIS

Die genannten Aktionen (Auswertung eines Ausdrucks und Zuweisung eines Wertes an eine Variable) geschehen natürlich unbemerkt vom Benutzer, wenn die entsprechende Anweisung beim Programmlauf zur Ausführung gelangt.

Zur Demonstration wollen wir der Variablen `zahl` die Summe ihres aktuellen Wertes plus den Wert von `nummer` zuweisen. Dabei wollen wir wiederum von einer Situation ausgehen, in der die Werte beider Variablen bei der Programmentwicklung nicht bekannt sind. Eine Zuweisung wie

```
zahl = nummer
```

führt nicht zum gewünschten Erfolg, da der bis dato gespeicherte Wert der Variablen `zahl` dabei überschrieben wird. Folglich muss der Wert von `zahl` vor der eigentlichen Zuweisung zunächst gelesen werden, das heißt, auf der rechten Seite der Zuweisung muss die Summe aus `zahl` und `nummer` stehen. Das Symbol für die mathematische Addition ist das Pluszeichen (+). Demnach lautet die passende Anweisung:

```
zahl = zahl + nummer
```

Bemerkenswert ist hier, dass der Bezeichner `zahl` sowohl auf der linken als auch auf der rechten Seite der Zuweisung auftaucht.

Es gilt:

- Die links vom Zuweisungsoperator befindliche Variable wird manipuliert.
- Erscheint ein Variablenbezeichner auf der rechten Seite einer Zuweisung, so bedeutet dies, dass die Variable gelesen, aber nicht verändert wird.

HINWEIS

Das heißt, es wird eine interne Kopie der Variablen erzeugt, um mit dem gelesenen Wert weiterzuarbeiten. Die Variable selbst bleibt dabei unberührt.

In unserem Fall wird die Variable `zahl` sowohl gelesen als auch verändert, da sie auf beiden Seiten der Zuweisung auftaucht.

Machen wir die Probe aufs Exempel:

```
#include <iostream>
using namespace std;
```

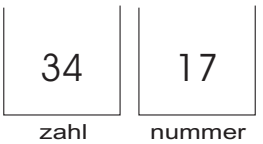
```
void main(void)
{
   int zahl, nummer;
   zahl = 99;
   zahl = 17;
   nummer = zahl;
   zahl = zahl + nummer;
   cout << "Wert von zahl: " << zahl << endl;
   cout << "Wert von nummer: " << nummer;
}
```

Ausgabe:

```
Wert von zahl: 34
Wert von nummer: 17
```

Die Ausgabe entspricht den Erwartungen. Die Variable `zahl` wurde um den Wert von `nummer` erhöht. Die Variable `nummer` blieb unverändert.

Bild 11.6: Nach der Zuweisung `zahl = zahl + nummer;`



Halten Sie sich bezüglich der Anweisung `zahl = zahl + nummer` die Reihenfolge des Geschehens vor Augen (hier wird besonders gut deutlich, dass die Abarbeitung einer Zuweisung von rechts nach links erfolgt).

- Zunächst werden Kopien der rechts vom Zuweisungsoperator genannten Variablen `zahl` und `nummer` hergestellt.
- Erst dann kann – mit den kopierten Werten – die Additionsoperation durchgeführt werden.
- Im letzten Schritt erfolgt die eigentliche Zuweisung des Ergebniswertes an die Variable `zahl`.

11.3.2 Initialisierung

Es ist möglich, einer Variablen bereits im Zuge ihrer Deklaration einen Anfangswert zuzuweisen. Man spricht in diesem Fall von der »Initialisierung« (der entsprechenden Variablen).

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int zahl = 99;
   cout << zahl;
}
```

Ausgabe: `99`

Falls in einer Anweisung mehrere Variablen vereinbart sind, steht es Ihnen frei, alle bzw. nur einige davon zu initialisieren:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int zahl1 = 99, zahl2, zahl3 = 1001;
   // …
}
```

Die Variablen `zahl1` und `zahl3` sind mit den Werten `99` bzw. `1001` initialisiert, `zahl2` bleibt zunächst ohne definierten Wert.

HINWEIS

Allgemein bedeutet Initialisieren, ein Datenobjekt mit einem Anfangswert zu versehen. Im weiteren Sinne spricht man also auch dann vom Initialisieren einer Variablen, wenn dies erst unmittelbar nach ihrer Vereinbarung geschieht.

```
#include <iostream>
using namespace std;
using namespace std;
void main(void)
{
   int eineZahl;
   eineZahl = 44;
   // …
}
```

In Bezug auf obiges Listing ist es demnach korrekt festzustellen, der Initialisierungswert der Variablen `eineZahl` sei `44` – auch wenn die Variable diesen Wert nicht mit der Deklarationsanweisung erhalten hat.

11.3.3 string-Variablen

Obwohl es sich bei dem Typ `string`, wie bereits erwähnt, nicht um einen elementaren Datentyp handelt, unterscheiden sich `string`-Variablen im Gebrauch nicht wesentlich von den Variablen elementarer Datentypen. Um mit `string`-Variablen arbeiten zu können, ist es allerdings erforderlich, die Headerdatei *string* mit einer entsprechenden `#include`-Direktive einzubinden:

```
#include <iostream>
#include <string>

using namespace std;

void main(void)
{
   string myString = "C++";
   cout << myString;
}
```

Ausgabe: `C++`

Auch für den Datentyp `string` ist eine Operation definiert, die durch das Pluszeichen (+) symbolisiert wird. Sie verkettet zwei Strings miteinander.

HINWEIS

Als Strings (großgeschrieben) werden außer Zeichenketten auch Variablen vom Datentyp `string` bezeichnet.

```
#include <iostream>
#include <string>
using namespace std;

void main(void)
{
   string myString = "C++";
   string yourString = "Die Programmiersprache ";
   string herString = yourString + myString;
   cout << herString;
}
```

Ausgabe:

```
Die Programmiersprache C++
```

HINWEIS

Das Aneinanderhängen bzw. Verketten von Strings wird auch *Konkatenation* genannt.

Im obigen Listing wird das Ergebnis der Konkatenation `yourString + myString` zunächst in der Variablen `herString` gespeichert, bevor diese dann mit `cout` ausgegeben wird. Natürlich ist es auch möglich, den Ausdruck `yourString + myString` sofort an `cout` zu übergeben:

```
#include <iostream>
#include <string>
using namespace std;

void main(void)
{
   string myString = "C++";
   string yourString = "Die Programmiersprache ";
   cout << yourString + myString;
}
```

Ausgabe:

```
Die Programmiersprache C++
```

Das Verketten von Strings mit dem Plusoperator (+) funktioniert nur unter der Voraussetzung, dass mindestens ein Operand eine `string`-Variable ist. Allerdings ist der Einsatz des Plusoperators (+) auch nur in diesem Fall notwendig, wie Sie gleich sehen werden:

```
cout << yourString + "C++";  // OK,
  // yourString ist eine string-Variable
cout << "Die Programmiersprache " + "C++";  //FEHLER,
                            // keine string-Variable
```

Richtig ist dagegen:

```
cout << "Die Programmiersprache " "C++";  // OK
```

In der letzten Anweisung findet die Verkettung nicht mit dem Plusoperator (+) statt. Die bloße Aneinanderreihung zweier Zeichenketten bewirkt, dass diese vom Compiler wie eine einzige behandelt werden (siehe Abschnitt 9.3.3 »Verkettung von Strings«).

Die Verkettung zweier Strings ohne den Plusoperator (+) ist jedoch nur möglich, wenn es sich ausschließlich um konstante `string`-Werte – also Zeichenketten – handelt. Folgende Anweisung ist daher fehlerhaft.

```
cout << yourString »C++«;  // FEHLER
```

Hier ist es zwingend notwendig, beide Strings (die Zeichenkette und die `string`-Variable) wie oben gezeigt mit dem Konkatenationsoperator (+) zu verbinden.

11.4 Das Objekt cin

Das Gegenstück zu `cout` ist `cin`. Dieses steht für den Datenfluss in der entgegengesetzten Richtung: vom Benutzer zum Programm. Das Objekt `cin` repräsentiert dabei das Standardeingabegerät, was in der Regel die Tastatur ist. Dementsprechend weist der Eingabeoperator (>>) mit der Spitze von `cin` – der Tastatur – weg.

```
cin >> ...;
```

Obige Anweisung ist allerdings noch unvollständig. Nach dem Eingabeoperator muss der Bezeichner einer Variablen stehen. Es muss ja festgelegt sein, wohin die Benutzereingabe gespeichert werden soll.

Das folgende Programm nimmt vom Benutzer die Eingabe eines Zeichens entgegen und speichert dieses in der `char`-Variablen `zeich`:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   char zeich;
   cin >> zeich;
}
```

Zur Kontrolle soll der Inhalt von `zeich` auf den Bildschirm ausgegeben werden. Zudem empfiehlt es sich, dem Benutzer mitzuteilen, was er zu tun hat.

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   char zeich;
   cout << "Geben Sie bitte ein Zeichen ein: ";
   cin >> zeich;
   cout << "Sie haben das Zeichen " << zeich
        << " eingegeben." << endl;
}
```

Wenn Sie nach der Aufforderung das Zeichen `Y` eintippen, präsentiert sich die Ausgabe wie folgt:

```
Geben Sie bitte ein Zeichen ein: Y
Sie haben das Zeichen Y eingegeben.
```

Beachten Sie, dass `cin` nach der Eingabe auf [↵] wartet, wenn Sie das Programm ausführen. Eine weitere Besonderheit von `cin` ist, dass es den Cursor nach der Eingabe in die nächste Zeile setzt. Daher erfolgt die Ausgabe von `Sie haben das Zeichen` ... in der folgenden Zeile.

HINWEIS

Falls Sie mehrere Zeichen eingeben, bevor Sie die [↵]-Taste drücken, werden Sie feststellen, dass nur das erste Zeichen in der Variablen `zeich` landet. Das ist an und für sich nichts Besonderes, da eine `char`-Variable – im Gegensatz zur `string`-Variablen – grundsätzlich nur ein einziges Zeichen aufnehmen kann.

Interessant ist es aber zu erfahren, was mit den übrigen Zeichen passiert. Diese landen in einem Puffer und falls `cin` in diesem Fall ein weiteres Mal zur Ausführung kommt, wartet das Programm nicht auf eine Eingabe des Benutzers, sondern nimmt sich einfach das nächste Zeichen aus dem Puffer heraus (was zu tun ist, um den Eingabepuffer zu leeren, erfahren Sie in Abschnitt 20.2.1 »cin.get()«).

Hier ein weiteres Beispiel. Der Benutzer wird zunächst nach seinem Vornamen gefragt, anschließend wird die Benutzereingabe in einer Begrüßungsformel verwendet:

```
#include <iostream>
#include <string>
using namespace std;

void main(void)
{
   string vname;
   cout << "Sag mir Deinen Vornamen: ";
   cin >> vname;
   cout << "Hallo " << vname << '!';
   cout << endl;
}
```

ACHTUNG

Denken Sie immer daran, dass Sie es bei `cin` mit einer Dateneingabe zu tun haben. Das Objekt `cin` steht für das Standardeingabegerät, in der Regel die Tastatur. Schreiben Sie also nicht (!) `cin <<`, sondern richtig `cin >>`, mit der Spitze von `cin` (der Tastatur) wegweisend. Verwenden Sie ein – fehlerhaftes – `cin <<` im obigen Quelltext, moniert der Visual C++-Compiler beim Übersetzungsversuch 25 (!) Fehler. So viel zur Exaktheit der Anzahl von Fehlern (siehe dazu Abschnitt 6.2 »Fehlermeldungen >aus Compilersicht<«).

Hier die entsprechende Ausgabe (Eingabe: `Hans-Peter`):

```
Sag mir Deinen Vornamen: Hans-Peter
Hallo Hans-Peter!
```

Beachten Sie, dass die Eingabe mit dem ersten Zwischenraumzeichen zu Ende ist. Beispielsweise wird bei Eingabe von `Hans Peter` nur `Hans` in der Variablen `vname` gespeichert.

```
Sag mir Deinen Vornamen: Hans Peter
Hallo Hans!
```

Die Zeichen `P`, `e`, `t`, `e` und `r` (`Peter`) landen, wie oben dargelegt, im Eingabepuffer. Zwischenraumzeichen werden bei der Eingabe grundsätzlich ignoriert. Ob z.B. `Hans Peter` oder `Hans  Peter` (drei Leerzeichen) eingegeben wurde, macht von daher keinen Unterschied.

HINWEIS

Es gibt verschiedene Methoden bzw. Funktionen, die Zwischenraumzeichen bei der Eingabe berücksichtigen (siehe Kapitel 20 »Strings«).

Auch `cin` erlaubt es, mehrere Eingaben in einer Anweisung hintereinander zu schalten:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int z1, z2, z3;
   cout << "Geben Sie drei Zahlen ein. \n";
   cin >> z1 >> z2 >> z3;
   cout << "Summe: " << z1 + z2 + z3;
}
```

Bei der Eingabe ist zu beachten:

- Jeweils zwei Eingabewerte müssen mit einem oder mehreren Zwischenraumzeichen (↵, ⇆ oder Leertaste) getrennt werden. Es ist also nicht notwendig, jede Eingabe mit ↵ abzuschließen.
- Die gesamte Eingabe muss aber in jedem Fall mit ↵ beendet werden.
- Jedes ↵ setzt den Cursor in die nächste Zeile.

Ausgabe (Eingabe 37, 15 und 48):

```
Geben Sie drei Zahlen ein.
37   15   48
Summe: 100
```

HINWEIS

Dass vom Benutzer auch wirklich ganzzahlige Werte eingegeben werden, setzen wir hier – wie in den weiteren Beispielen dieses Buches – großzügig voraus. Später werden Sie Möglichkeiten kennen lernen, Eingaben auf ihre Korrektheit zu überprüfen.

11.5 Dreieckstausch

Zum Abschluss sei hier noch ein Problem genannt, das Ihnen in der einen oder anderen Form immer wieder begegnen wird.

Es seien `a` und `b` zwei Integervariablen, die wohldefinierte Werte besitzen. Nehmen wir für `a` den Wert `11` und für `b` den Wert `3` an:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int a = 11, b = 3;
}
```

Die Werte der Variablen sollen nun miteinander vertauscht werden.

HINWEIS

Dabei soll natürlich wieder angenommen werden, dass die aktuellen Variablenwerte nicht bekannt sind. Sonst könnten wir ja einfach schreiben

```
b = 11;
a = 3;
```

und damit wäre der Tausch vollzogen. Ganz so einfach wollen wir es uns aber nicht machen, zumal die Werte in der Regel nicht bekannt sind, wenn dieses Problem in der Praxis auftaucht. Wenn wir in einem fortgeschritteneren Stadium daran gehen, eine Sortierfunktion für Arrays selbst zu schreiben, dann werden wir dabei auf das hier vorgestellte Verfahren zurückgreifen (siehe hierzu Abschnitt 22.2 »Funktion sortiereArr()«, zu Arrays siehe Kapitel 19 »Arrays«).

Die Variable `a` soll also den Wert der Variablen `b` erhalten und umgekehrt. Nun könnte man auf den Gedanken kommen, diesen der Variablen `a` einfach zuzuweisen – was ja letzten Endes auch geschehen muss, nur eben nicht sofort, wie wir gleich sehen werden:

```
#include <iostream>
using namespace std;
```

```
void main(void)
{
   int a = 11, b = 3;
   a = b;
}
```

Das Problem liegt darin, dass mit dieser Zuweisung der alte Wert von a verloren geht. Diesen soll aber die Variable b erhalten. Die Lösung besteht nun darin, dass man vor der Zuweisung (a = b) den alten Wert von a erst einmal in einer zusätzlichen Variablen – die wir sinnigerweise temp nennen – zwischenspeichert:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int a = 11, b = 3;
   int temp;
   temp = a;
   a = b;
   b = temp;
}
```

Zuletzt erhält b den in der Variablen temp gespeicherten Wert, der nunmehr dem Ausgangswert von a entspricht. Somit ist nach der Zuweisung

```
b = temp;
```

der Tausch vollzogen. Geben wir zur Kontrolle die Variablenwerte a und b – vor dem Tausch und nach dem Tausch – auf den Bildschirm aus:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int a = 11, b = 3;
   int temp;
   cout << "Vor dem Tausch: " << endl;
   cout << "Wert von a: " << a << endl;
   cout << "Wert von b: " << b << endl;
   temp = a;
   a = b;
   b = temp;
   cout << "Nach dem Tausch: " << endl;
   cout << "Wert von a: " << a << endl;
   cout << "Wert von b: " << b << endl;
}
```

Die Ausgabe zeigt das erwartete Ergebnis (Abbildung 11.7).

Bild 11.7: Werte von Variablen vertauschen

```
"C:\Programme\Microsoft Visual Studio\MyProjects\Erster\neuesProjekt\Debug\neuesProjekt.exe"
Vor dem Tausch:
Wert von a: 11
Wert von b: 3
Nach dem Tausch:
Wert von a: 3
Wert von b: 11
Press any key to continue
```

12 Ausdrücke und Operatoren

Wie bereits die Beispiele in Verbindung mit dem Eingabe- und Ausgabeoperator (<< und >>), dem Zuweisungs- und dem Additionsoperator gezeigt haben, kommen den Operatoren funktionelle Bedeutung zu: Operatoren dienen der Verarbeitung bzw. Manipulation von Daten.

Operatoren basieren auf Operanden, die diese Daten repräsentieren. So gibt die Streamoperation – die über den Ausgabeoperator (<<) symbolisiert wird – den Operanden auf den Bildschirm aus, die durch das Pluszeichen repräsentierte Operation addiert beide Operanden, die Zuweisungsoperation manipuliert den linken Operanden usw.

Die meisten Operatoren arbeiten mit zwei Operanden, es gibt aber auch Operatoren, die nur einen Operanden erwarten. Allerdings bestehen Operanden oft aus komplexen Ausdrücken, von denen jeder wiederum weitere Operatoren enthalten darf usw.

12.1 Was ist ein Ausdruck?

Im programmiersprachlichen Sinne gilt jeder Teil einer Anweisung, der einen Wert repräsentiert, als Ausdruck. So gesehen fallen hierunter auch einzelne Variablenbezeichner und so genannte Literale.

HINWEIS

Konstante Werte wie z.B. `'g'`, `234`, `"Wie geht es Dir?"`, die direkt in den Quellcode geschrieben werden, bezeichnet man auch als unbenannte Konstanten oder Literale, um sie von den benannten Konstanten abzugrenzen (zu benannten Konstanten siehe Abschnitt 13.4 »Konstanten mit const deklarieren«).

Demnach kann in der Anweisung

```
cout << zahl + 23;
```

der Term `zahl + 23`, aber auch der Bezeichner `zahl` sowie das Literal `23` für sich alleine betrachtet als Ausdruck angesehen werden.

Bezeichner von Variablen können selbstverständlich nur dann als Ausdrücke angesehen werden, wenn sie im Lesekontext auftreten. Auf der linken Seite einer Zuweisung oder in einer Deklarationsanweisung repräsentieren sie keinen Wert, sondern den Speicherort selbst.

12.1.1 Mehrere Zuweisungen hintereinander schalten

Allerdings steht eine Zuweisung zugleich für den Wert der Variablen, an die zugewiesen wurde. Daher handelt es sich bei der ganzen Zuweisung sehr wohl um einen Ausdruck. Das wird besonders deutlich, wenn man mehrere Zuweisungen hintereinander schreibt:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int z1, z2, z3;
   cin >> z1;
   z3 = z2 = z1;
   cout << z3;
}
```

Nach der Mehrfachzuweisung `z3 = z2 = z1` besitzen alle Variablen den gleichen Wert, der zuvor vom Benutzer eingegeben wurde. Es sei darauf hingewiesen, dass nach dem oben Gesagten die Teile `z1`, `z2 = z1`, `z2`, `z3 = z2`, `z3` und auch der ganze Term `z3 = z2 = z1` als Ausdruck zu bewerten sind.

Die eben gezeigte Art der Notation mag Ihnen etwas ungewöhnlich erscheinen und letzten Endes ist sie es auch. Schreiben Sie also die Zuweisungen ruhig einzeln in den Quellcode, wenn Ihnen das lieber ist:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int z1, z2, z3;
   cin >> z1;
   z2 = z1;
   z3 = z2;
   cout << z3;
}
```

Oft dürfen Sie gar nicht anders verfahren, als einzelne Zuweisungen zu verwenden. Anweisungen wie die folgende sind z.B. fehlerhaft:

```
z3 = z2 +1 = z1;
```

Der Compiler wird sich mit der folgenden oder einer ähnliche Fehlermeldung beschweren:

```
Linker Operand muss ein L-Wert sein
```

L-Werte/R-Werte

L-Werte sind Datenobjekte, die Platz im Speicher beanspruchen, z.B. Variablen. Nur solche können auf der linken Seite einer Zuweisung auftreten. Beispiele für R-Werte sind Literale. Diese können aus bekannten Gründen ausschließlich rechts vom Zuweisungsoperator verwendet werden. Sie repräsentieren ja stets einen Wert, nie aber einen Speicherort. Anweisungen wie

```
9 = nummer + 11;  // FEHLER
```

und auch

```
z2 + 1 = z1;  // FEHLER
```

bzw.

```
1 + z2 = z1;  // FEHLER
```

sind daher ohne Sinn. Es gibt zwar einen Speicherort `z2` (vorausgesetzt, es handelt sich um den Bezeichner einer Variablen), nicht aber einen Speicherort `z2 + 1` oder `1 + z2`.

12.1.2 Komplexe Ausdrücke

Komplexe Ausdrücke wie `zahl + 23` oder auch `z3 = z2 = z1` müssen während der Programmausführung zunächst ausgewertet werden, bevor mit dem Ergebniswert weitergearbeitet werden kann.

HINWEIS

Im übertragenen Sinne gilt dies auch für einfache Werte (dargestellt durch Literale oder Bezeichner von Variablen), da diese zumindest ein Mal »angefasst« bzw. gelesen werden müssen.

In diesem Zusammenhang spricht man vom Rückgabewert eines Ausdrucks. Man sagt, ein Ausdruck gibt bzw. liefert einen Wert zurück:

```
int anzahl;
anzahl = 8 + 17;
```

So ist es durchaus üblich, bezüglich der letzten Anweisung zu sagen: »Der Ausdruck rechts vom Zuweisungsoperator gibt den Wert 25 zurück«. Ein Nicht-Programmierer würde sich natürlich ganz anders ausdrücken (»… ergibt den Wert 20«, »Das Ergebnis …«).

HINWEIS

Bedenken Sie, dass auch Strings im programmiersprachlichen Sinne Werte sind:

```
string myString = »Die Programmiersprache «;
cout << myString + »C++«;
```

Entsprechend lässt sich bezüglich des Ausdrucks `yourString + "C++"` feststellen, er besitze den Rückgabewert `"Die Programmiersprache C++"`.

Komplexe Ausdrücke werden von Operatoren und ihren Operanden gebildet. Dabei unterscheidet man binäre und unäre Operatoren. Binäre Operatoren, wie etwa der Additionsoperator (+), erfordern zwei Operanden, unäre Operatoren dagegen nur einen. Beispiele für unäre Operatoren sind die Inkrement- und Dekrementoperatoren sowie das Minusvorzeichen. Die Inkrement- und Dekrementoperatoren werden Sie gleich kennen lernen (siehe Abschnitt 12.4 »Inkrement- und Dekrementoperatoren«).

HINWEIS

Im Gegensatz zum unären Minuszeichen handelt es sich beim Subtraktionsoperator – beide Zeichen werden mit dem gleichen Symbol (-) dargestellt – um einen binären Operator (zur arithmetischen Subtraktion siehe den folgenden Abschnitt).

Nun könnte man an der Einordnung des Minusvorzeichens als Operator zweifeln, da es dem Anschein nach zum Literal (im Beispiel 33) gehört:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << -33;
}
```

Ausgabe: -33

Dass es sich beim Minusvorzeichen tatsächlich um einen Operator handelt, lässt sich leicht belegen, indem man zwischen dem »-«-Zeichen und der 33 ein oder mehrere Leerzeichen einfügt;

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << -   33;
}
```

Obiges Listing lässt sich auch in diesem Fall problemlos kompilieren und zeigt bei Ausführung die Ausgabe -33. Dies wäre nicht möglich, würde es sich bei -33 um einen einzigen Textbaustein handeln. Denn wie Sie wissen, dürfen innerhalb von Textbausteinen keine Leerzeichen eingefügt werden (siehe Abschnitt 8.4 »Leerräume«).

HINWEIS

Es ist dennoch üblich, einen Ausdruck wie -1 oder -927 als Literal bzw. konstanten Wert zu bezeichnen, obwohl es sich streng genommen um einen Operator (-) mit dem zugehörigen Operanden (1 oder 927) handelt.

HINWEIS

Wie Sie vielleicht schon bemerkt haben, gehört auch der Zuweisungsoperator (=) zur Gruppe der binären Operatoren (der rechte Operand ist ein einfacher oder komplexer Ausdruck, der linke Operand die Zielvariable).

12.2 Arithmetische Operatoren

Zur Darstellung von arithmetischen Operationen stellt C++ eine Reihe von Symbolen zur Verfügung, die Ihnen aus der Mathematik her geläufig sein dürften.

Tabelle 12.1: Arithmetische Operatoren

Operation	Symbol
Addition	+
Subtraktion	-
Multiplikation	*
Division	/
Modulo	%

Den Operator zur Darstellung der mathematischen Addition kennen Sie bereits (+). Beachten Sie, dass das »+«-Zeichen zur Darstellung zweier unterschiedlicher Operationen herangezogen wird – der mathematischen Addition und der Stringkonkatenation (siehe Abschnitt 11.3.3 »string-Variablen«). Seine Bedeutung ist also von vornherein nicht eindeutig und muss bei der Übersetzung des Quellcodes vom Compiler aus dem Kontext ermittelt werden. Entscheidend hierbei ist der Datentyp der Operanden. Handelt es sich um numerische Datentypen, repräsentiert das »+«-Zeichen die mathematische Addition. Sind die Operanden vom Datentyp `string`, wird die Konkatenation durchgeführt.

HINWEIS

Eigentlich fungiert das Symbol + sogar in dreifacher Bedeutung. Analog zum Minusvorzeichen existiert es auch als unäres Plusvorzeichen. Allerdings kommt es in dieser Funktion nur selten zum Einsatz, da numerische Literale vom Compiler per Default als positive Werte behandelt werden.

Der Operator für die Subtraktion (-) sollte Ihnen ebenfalls keine Probleme bereiten.

Die beiden verbleibenden Symbole zur Darstellung der Grundrechenarten:

- Der Stern (*) dient der Multiplikation.
- Der Schrägstrich (/) repräsentiert die Division.

Folgendes Programm nimmt zwei Zahlen vom Benutzer entgegen und gibt als Ergebnis das Produkt beider Zahlen auf den Bildschirm aus:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int zahl1, zahl2;
   cout << "1. Zahl: ";
   cin >> zahl1;
   cout << "2. Zahl: ";
   cin >> zahl2;
   cout << "Ergebnis: " << zahl1 * zahl2;
}
```

Ausgabe:

```
1. Zahl: 13
2. Zahl: 21
Ergebnis: 273
```

Für die Zahleneingaben 13 und 21 erhalten Sie als Ergebnis 273, was dem Produkt beider Zahlen entspricht.

12.2.1 Der Modulo-Operator

Der so genannte Modulo-Operator wird mit dem Prozentzeichen dargestellt (%). Wie die Operatoren für die Grundrechenarten besitzt auch der Modulo-Operator zwei Operanden.

Die Modulo-Operation gibt den Rest einer Ganzzahldivision als Wert zurück. Das bedeutet nicht, dass bei dieser Operation tatsächlich eine Division durchgeführt wird. Es wird lediglich ermittelt, wie oft der rechte Operand in dem linken vollständig enthalten ist, und der verbleibende Restwert wird zurückgegeben. Beispielsweise liefert der Ausdruck

```
9 % 4
```

den Rückgabewert 1, da nach Division beider Zahlen (9 geteilt durch 4) ein Rest von 1 verbleibt.

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << 9 % 4;
}
```

Ausgabe: 1

Weitere Beispiele:

```
cout << 17 % 3;  // Ausgabe: 2
cout << 27 % 10;  // Ausgabe: 7
cout << 2 % 7;  // Ausgabe: 2
```

Die letzte Anweisung erzeugt die Ausgabe 2, da 7 in 2 zwar 0 Mal enthalten ist, aber bei der Operation nach wie vor ein Rest von 2 übrig bleibt.

Die Modulo-Operation ist ausschließlich auf ganzzahlige Werte anwendbar.

Die Modulo-Operation wird oft angewendet, um festzustellen, ob eine Zahl durch eine andere ohne Rest teilbar ist. Auf diese Weise lässt sich z.B. ermitteln, ob eine – möglicherweise vom Anwender eingegebene – Zahl gerade oder ungerade ist (eine Zahl ist dann gerade, wenn sie durch 2 ohne Rest teilbar ist). Für solche Prüfungen benötigen wir allerdings zusätzlich die Kenntnis von Kontrollstrukturen. Mit diesen werden wir uns in Kapitel 17 »Verzweigungen« und Kapitel 18 »Wiederholungsanweisungen« beschäftigen. Wir werden im weiteren Verlauf noch des Öfteren Gelegenheit haben, den sinnvollen Einsatz der Modulo-Operation zu demonstrieren.

12.3 Zusammengesetzte Zuweisungsoperatoren

Wie Sie im letzten Kapitel in Abschnitt 11.3 »Zuweisung« gesehen haben, muss eine Variable im Rahmen einer Zuweisung auf beiden Seiten des Zuweisungsoperators genannt werden, um ihren Wert in Abhängigkeit des bereits bestehenden zu erhöhen.

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int z = 6;
   z = z + 3;
   cout << z;
}
```

Ausgabe: `9`

Die Variable `z` wird mit der Anweisung `z = z + 3;` um den Betrag von 3 erhöht, sodass die Ausgabe den Wert `9` zeigt.

Das eben Gesagte gilt natürlich grundsätzlich, wenn man einer Variablen einen neuen Wert zuweisen und dabei den aktuell gespeicherten in irgendeiner Weise berücksichtigen möchte:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int z = 6;
   z = z / 2;
   cout << z;
}
```

Ausgabe: 3

In der Zuweisung `z = z / 2;` wird der bis dato gespeicherte Wert von `z` zunächst halbiert (`z / 2`), bevor dieser mit dem Ergebnis der Division überschrieben wird.

Für solche Fälle stellt C++ eine Reihe von zusammengesetzten Operatoren bereit, die Sie Tabelle 12.2 entnehmen können.

Tabelle 12.2: Zusammengesetzte Zuweisungsoperatoren

Operator	Bedeutung
+=	Addition und Zuweisung
-=	Subtraktion und Zuweisung
*=	Multiplikation und Zuweisung
/=	Division und Zuweisung
%=	Modulo und Zuweisung

Anstelle von `z = z + 3` kann man also ebenso `z += 3` schreiben:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int z = 6;
   z += 3;
   cout << z;
}
```

Ausgabe: 9

Analog lässt sich Folgendes schreiben:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int z = 6;
   z /= 2;
   cout << z;
}
```

Ausgabe: 3

Genau genommen repräsentieren zusammengesetzte Operatoren zwei Operationen in einer. Andererseits lässt sich vereinfachend feststellen: Der Operator += addiert den Wert des rechten Operanden mit dem

Betrag der Variablen (linker Operand), der Operator /= dividiert den Wert der Variablen mit dem rechten Operanden als Divisor, der Operator *= multipliziert den Wert der Variablen mit dem des rechten Operanden usw.

Zusammengesetzte Operatoren werden vom Compiler als ein Symbol angesehen. Sie dürfen also zwischen den beiden Zeichen kein Leerzeichen einfügen.

12.4 Inkrement- und Dekrementoperatoren

Beispiele für unäre Operatoren sind der Inkrement- und der Dekrementoperator. Der Inkrementoperator (++) bewirkt eine Erhöhung des Wertes einer numerischen Variablen um den Betrag von 1. Der Dekrementoperator (`--`) verringert dagegen den Wert einer numerischen Variablen um den gleichen Betrag. Man sagt, eine Variable wird inkrementiert bzw. dekrementiert.

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int zahl = 3;
   zahl++;
   cout << zahl;
}
```

Ausgabe: `4`

Im folgenden Beispiel wird die Variable `zahl` dekrementiert:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int zahl = 3;
   zahl--;
   cout << zahl;
}
```

Ausgabe: `2`

Die Notationen `zahl++` und `zahl = zahl +1` (bzw. `zahl += 1`) sowie `zahl--` und `zahl = zahl - 1` (oder eben `zahl -= 1`) sind also einander gleichwertig.

HINWEIS

Möglicherweise haben Sie sich schon einmal gefragt, was das »++« im Namen C++ zu bedeuten hat. Ursprünglich sollte die Sprache C+ heißen, um anzugeben, dass es sich um eine verbesserte Version von C handelt. Das Pluszeichen wurde auch schon damals gerne verwendet, um eine verbesserte Version zu bezeichnen. Stroustrup, der Erfinder der Sprache, hatte aber dann den lustigen Einfall mit den zwei Pluszeichen, da man schließlich in der Programmiersprache C syntaktisch korrekt mit ++ inkrementiert. So war der Name C++ geboren. C++ ist also gewissermaßen ein inkrementiertes C (C plus 1).

Beide Operatoren kommen sowohl in der Postfix- (`zahl++`) als auch in der Präfixnotation (`++zahl`) vor. Dies macht jedoch nur dann einen Unterschied, falls der Ausdruck, den die Operatoren mit ihren Variablen bilden, nicht alleine in einer Anweisung steht. Ist Letzteres der Fall, kommen also noch andere Operatoren vor, so wird in Verbindung mit der Präfixnotation zuerst inkrementiert bzw. dekrementiert, bevor weitere Operationen mit der Variablen stattfinden. Umgekehrt haben bei der Postfixnotation die anderen Operationen Vorrang, die Inkrementierung bzw. Dekrementierung wird erst danach durchgeführt.

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int zahl = 3, nummer;
   nummer = zahl++;
   cout << "Wert von nummer: ";
   cout << nummer << endl;
   cout << "Wert von zahl: " << zahl;
}
```

Ausgabe:

```
Wert von nummer: 3
Wert von zahl: 4
```

Im obigen Beispiel wird zunächst die Zuweisung ausgeführt und danach inkrementiert. Die Variable `nummer` erhält also den Wert `3`.

Anders bei der Präfixnotation. Hier wird die Variable `zahl` vor der Zuweisung inkrementiert:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int zahl = 3, nummer;
   nummer = ++zahl;
   cout << "Wert von nummer: ";
```

```
   cout << nummer << endl;
   cout << "Wert von zahl: " << zahl;
}
```

Ausgabe:

```
Wert von nummer: 4
Wert von zahl: 4
```

Hier ein Beispiel zum Dekrement in der Postfixnotation:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int x = 10;
   cout << x--;
   cout << endl << x;
}
```

Ausgabe:

```
10
9
```

In der Anweisung `cout << x--;` wird zunächst der Wert der Variablen `x` ausgegeben, danach dekrementiert. Daher zeigt erst die darauf folgende Ausgabeanweisung den verringerten Wert von `x` an.

Anders in der Präfixnotation:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int x = 10;
   cout << --x;
   cout << endl << x;
}
```

Ausgabe:

```
9
9
```

Inkrement- bzw. Dekrementoperatoren kommen besonders häufig im Zusammenhang mit Wiederholungsanweisungen zur Anwendung.

HINWEIS

Zu Wiederholungsanweisungen siehe Kapitel 18 »Wiederholungsanweisungen«.

12.5 Priorität von Operatoren

Es liegt auf der Hand, dass es bei Ausdrücken wie

```
zahl = 20 + 12 / 4 * 3
```

irgendwie geregelt sein muss, in welcher Reihenfolge die einzelnen Operationen ausgeführt werden.

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int zahl;
   zahl = 20 + 12 / 4 * 3;
   cout << zahl;
}
```

Ausgabe: `29`

Die Ausgabe zeigt für `zahl` den Wert `29`, was Sie vermutlich vorausgesehen haben. Denn Sie wissen, dass eine Zuweisung erst nach Auswertung des rechten Operanden erfolgt (der hier von dem komplexen Ausdruck `20 + 12 / 4 * 3` gebildet wird). Außerdem ist Ihnen aus der Mathematik vermutlich die Regel »Punkt vor Strich« geläufig, die in C++ ebenfalls gilt.

Beachtung verdient die Tatsache dennoch, dass mit Ausführung der Zuweisung

```
zahl = 20 + 12 / 4 * 3;
```

insgesamt vier Operationen stattfinden: außer der Zuweisung noch eine Addition, eine Division und eine Multiplikation.

HINWEIS

Wie Sie sicher schon bemerkt haben, trägt eine Anweisung, in der ein Zuweisungsoperator vorkommt, in der Regel den Namen besagter Operation (Zuweisung), auch wenn in derselben Anweisung mehrere Operatoren genannt sind. »Zuweisungsanweisung« klingt wohl etwas umständlich, ist aber nichtsdestoweniger korrekt.

Damit die Reihenfolge der Ausführung von Operatoren festgelegt ist, sind alle C++-Operatoren in eine mehrstufige Prioritätsrangfolge eingeordnet, wobei 17 die höchste, 1 die niedrigste Prioritätsstufe bezeichnet. Es gilt:

- Operatoren mit hoher Priorität werden vor Operatoren mit niedriger Priorität ausgewertet.
- Operatoren mit gleicher Prioritätsstufe werden entsprechend ihrer Assoziativität von links nach rechts bzw. von rechts nach links ausgewertet.

Hat ein Operator eine höhere Prioritätsstufe, so bedeutet dies also, dass die durch ihn repräsentierte Operation zuerst ausgeführt wird, wenn er zusammen mit anderen Operatoren in einem Ausdruck auftritt.

Falls sich dagegen mehrere Operatoren gleicher Prioritätsstufe in einem Ausdruck befinden, entscheidet deren Assoziativität.

Da die arithmetischen Operatoren linksassoziativ sind, wird z.B. in dem Ausdruck

```
4 + 2 + 7
```

zunächst die Addition `4 + 2` durchgeführt, bevor die Addition des so erhaltenen Wertes mit `7` erfolgt – was zwar hier keine Rolle spielt, in einem anderen Kontext kann die Reihenfolge der Ausführung aber durchaus von Bedeutung sein.

Aus dem gleichen Grund wird in dem Teilausdruck

```
12 / 4 * 3
```

der oben genannten Anweisung (`zahl = 20 + 12 / 4 * 3;`) die Division vor der Multiplikation ausgeführt.

HINWEIS

Dass der Divisionsoperator `/` und der Multiplikationsoperator `*` die gleiche Priorität besitzen, können Sie auch Tabelle 12.3 entnehmen. Beiden ist die Rangstufe 13 zugeordnet, Additions- und Subtraktionsoperator haben dagegen Prioritätsstufe 12.

Anders verhält es sich dagegen beim Zuweisungsoperator. Dieser ist rechtsassoziativ.

```
zahl1 = zahl2 = 19;
```

Hier findet zunächst die Zuweisung des Wertes `19` an die Variable `zahl2` statt, im Anschluss daran die Zuweisung `zahl1 = zahl2` (dass es sich mit `zahl1` und `zahl2` um Integervariablen handelt, setzen wir natürlich voraus).

In Tabelle 12.3 sind alle bis jetzt besprochenen C++-Operatoren nach ihrer Priorität geordnet, wobei der am weitesten oben stehende Operator die höchste Priorität besitzt. Operatoren mit übereinstimmender Prioritätskennzahl befinden sich auf gleicher Prioritätsstufe.

Tabelle 12.3: Prioritätsreihenfolge der bekannten Operatoren

Priorität	Operator	Bedeutung	Assoziativität
15	++	Inkrement	keine
15	--	Dekrement	keine
15	-	unäres Minuszeichen	keine
15	+	unäres Pluszeichen	keine

Tabelle 12.3: Prioritätsreihenfolge der bekannten Operatoren (Forts.)

Priorität	Operator	Bedeutung	Assoziativität
13	*	Multiplikation	von links nach rechts
13	/	Division	von links nach rechts
13	%	Modulo	von links nach rechts
12	+	Addition	von links nach rechts
12	-	Subtraktion	von links nach rechts
2	=	Zuweisung	von rechts nach links
2	*=	Multiplikation und Zuweisung	von rechts nach links
2	/=	Division und Zuweisung	von rechts nach links
2	%=	Modulo und Zuweisung	von rechts nach links
2	+=	Addition und Zuweisung	von rechts nach links
2	-=	Subtraktion und Zuweisung	von rechts nach links

HINWEIS

Eine vollständige Tabelle aller C++-Operatoren finden Sie in Anhang A.3. Dort sind auch Operatoren mit den Prioritätsstufen 17 und 1 genannt.

HINWEIS

Bei den Streamoperatoren << und >> handelt es sich um überladene Operatoren vordefinierter Klassen. Sie gehören daher nicht unmittelbar zur Programmiersprache und sind deshalb nicht aufgeführt (zum Überladen von Operatoren siehe Kapitel 32). Beide besitzen die Prioritätsstufe 11, was den mit den gleichen Symbolen dargestellten Schiebeoperatoren entspricht (siehe Anhang A.3).

HINWEIS

Bei den Operatoren, bei denen in der Tabelle keine Assoziativität angegeben ist, spielt diese tatsächlich keine Rolle, z.B. bei unären Operatoren oder Operatoren, die grundsätzlich nicht zusammen mit anderen auftreten. Bei den bekannten Operatoren trifft dies nur auf den Inkrement- bzw. Dekrementoperator und das Minus- bzw. Plusvorzeichen zu. In der Tabelle in Anhang A.3 sind weitere solcher Operatoren aufgelistet, die meisten davon werden Sie noch kennen lernen.

Es ist nicht erforderlich, die gesamte Rangfolge aller Operatoren auswendig zu wissen. Einige Orientierungshilfen sind jedoch nützlich:

- Arithmetische Operatoren stehen in der Rangfolge weit oben.
- Wie in der Mathematik gilt: Punkt vor Strich. Das heißt, die arithmetischen Operatoren `*` (Multiplikation) und `/` (Division) binden stärker als `+` (Addition) und `-` (Subtraktion). Zu Ersteren kommt der Modulo-Operator (`%`), er hat also dieselbe Rangstufe wie `*` und `/`.
- Der Zuweisungsoperator besitzt von allen Operatoren die niedrigste Prioritätsstufe (abgesehen vom Sequenzoperator und dem Operator `throw`, siehe hierzu Anhang A.3).

Sie können in jedem Ausdruck durch Setzen von Klammern die vorgegebene Reihenfolge ändern:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int zahl;
   zahl = (20 + 12) / 4 * 3;
   cout << zahl;
}
```

Ausgabe: `24`

Im Ausdruck

```
(20 + 12) / 4 * 3
```

erfolgt demnach zuerst die Addition `20 + 12`. Der Ergebniswert dieser Operation wird dann als linker Operand in der folgenden Division verwendet (`32 / 4`). Erst dann wird der somit erzeugte Wert mit `3` multipliziert (`8 * 3`).

TIPP

Regeln Sie in Zweifelsfällen die Priorität durch Setzen von Klammern. Mitunter ist dies auch im Hinblick auf eine bessere Lesbarkeit des Quellcodes empfehlenswert.

13 Zahlen mit Nachkommastellen

In diesem Kapitel erfahren Sie, wie Zahlen mit Nachkommastellen im Quellcode dargestellt werden und welche Datentypen C++ zur Verarbeitung solcher Zahlen bereitstellt. Nebenbei lernen Sie den `sizeof`-Operator kennen, mit dem überprüft werden kann, wie viel Platz ein Datenobjekt im Arbeitsspeicher einnimmt. Im letzten Abschnitt (13.4 »Konstanten mit const deklarieren«) stellen wir mit dem Schlüsselwort `const` deklarierte Konstanten vor und zeigen, wann deren Verwendung im Quellcode sinnvoll ist.

13.1 Die Datentypen double und float

Zur Deklaration von Variablen, die Zahlen mit Nachkommastellen aufnehmen sollen, stellt C++ die Datentypen `double` und `float` zur Verfügung. Die Schlüsselwörter zur Angabe des Datentyps bei der Deklaration haben den gleichen Namen wie die Datentypen.

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   float myFloat;
   double myDouble;
}
```

Eine Variable des Typs `float` beansprucht 4 Byte im Arbeitsspeicher, eine Variable des Typs `double` 8 Byte, entsprechend höher sind bei `double` der darstellbare Wertebereich und die Genauigkeit.

HINWEIS

Tatsächlich sind die Größen von `float` und `double` compilerabhängig. Der C++-Standard schreibt für `float` eine Mindestgröße von 4 Byte vor, der Datentyp `double` muss mindestens so groß sein wie der von `float` (heißt: eine `float`-Variable darf nie größer sein als eine `double`-Variable). Als Höchstgrenze gilt für `float` der Wert von `double`, für `double` der Wert von `long double` (zu `long double` siehe Abschnitt 15.1.1 »Datentypqualifizierer«). In der Regel belegen `float` und `double` allerdings 4 bzw. 8 Byte im Arbeitsspeicher.

13.1.1 sizeof-Operator

Den Platz, den ein Datenobjekt im Arbeitsspeicher einnimmt, können Sie mithilfe des `sizeof`-Operators leicht nachprüfen. Beim `sizeof`-Operator handelt es sich um einen unären Operator. Der einzige Operand ist der Bezeichner des gewünschten Datenobjekts und ist auf der rechten Seite – am besten in Klammern – anzugeben. So gibt beispielsweise der Ausdruck

```
sizeof (myFloat)
```

die Größe der Variablen `myFloat` in Byte zurück.

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   float myFloat;
   double myDouble;
   cout << "myFloat: ";
   cout << sizeof (myFloat);
   cout << " Byte" << endl;
   cout << "myDouble: ";
   cout << sizeof (myDouble);
   cout << " Byte" << endl;
}
```

Ausgabe:

```
myFloat: 4 Byte
myDouble: 8 Byte
```

Alternativ können Sie als Operanden auch den Namen eines Datentyps angeben (in Klammern gesetzt):

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   float myFloat;
   double myDouble;
   cout << "Datentyp float: ";
   cout << sizeof (float);
   cout << " Byte" << endl;
   cout << "Datentyp double: ";
   cout << sizeof (double);
   cout << " Byte" << endl;
}
```

Ausgabe:

```
Datentyp float: 4 Byte
Datentyp double: 8 Byte
```

Der Rückgabewert eines Ausdrucks

```
sizeof (Datentyp)
```

gibt also allgemein an, wie viele Byte ein Datenobjekt des angegebenen Typs im Arbeitsspeicher beansprucht. Da das eine Mal die Datentypnamen `float` bzw. `double` angegeben wurden, das andere Mal Variablen dieser Typen, stimmen die erhaltenen Ergebnisse natürlich überein.

ACHTUNG

Wenn als Operand des `sizeof`-Operators eine Datentypbezeichnung angegeben ist, dann ist das Setzen von Klammern zwingend vorgeschrieben.

Schreiben Sie also nicht

```
cout << sizeof double;  // FEHLER
```

sondern

```
cout << sizeof (double);  // OK
```

Dagegen ist sowohl

```
cout << sizeof (myDouble);  // OK
```

als auch

```
cout << sizeof myDouble;  // OK
```

erlaubt (wobei davon ausgegangen wird, dass es sich bei `myDouble` um eine zuvor bzw. um die oben deklarierte Variable handelt).

13.2 Literale zur Darstellung von Zahlen mit Nachkommastellen

Zurück zu unseren Variablen `myFloat` und `myDouble`. Diese sollen nun mittels einfacher Zuweisung einen Wert erhalten, sagen wir 10,5 für `myFloat` und -1936,99 für `myDouble`.

Dazu müssen Sie allerdings wissen, dass im Quellcode zur Trennung von Vor- und Nachkommastellen der Punkt zu verwenden ist. Da C++ schließlich wie die meisten anderen Programmiersprachen aus den USA stammt und dort ein Dezimalpunkt und kein Dezimalkomma üblich ist, ist dies nicht weiter verwunderlich.

Um also der Variablen `myDouble` den oben genannten Wert zuzuweisen, müssen Sie diesen im Code wie folgt schreiben:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   float myFloat;
   double myDouble;
   myDouble = -1936.99;
   cout << "Wert von myDouble: ";
   cout << myDouble << endl;
}
```

Ausgabe:

```
Wert von myDouble: -1936.99
```

HINWEIS

Die meisten Compiler warnen, falls Variablen zwar deklariert, aber im weiteren Code nicht verwendet werden, was im obigen Listing auf die Variable `myFloat` zutrifft.

Warnungen des Compilers sind zwar keine Fehlermeldungen, das heißt, der Quellcode ist trotzdem kompilierbar. In der Regel deutet eine Warnung des Compilers aber darauf hin, dass etwas nicht in Ordnung ist. Sie sollten solche Warnungen im Allgemeinen ernst nehmen und der Sache auf den Grund gehen.

Im vorliegenden Fall brauchen Sie das jedoch nicht zu tun, da wir ja beabsichtigen, die Variable `myFloat` später noch zu verwenden – ihr einen Wert zuzuweisen. Sie ist also nicht überflüssig, wie Ihr Compiler vermutlich annimmt.

Zahlen mit Nachkommastellen werden »Gleitkommawerte« genannt, die Datentypen `float` und `double` entsprechend Gleitkommadatentypen (oder kürzer: Gleitkommatypen).

HINWEIS

Weitere Bezeichnungen für Gleitkommawerte sind Gleitkommazahlen, Gleitpunktwerte, Gleitpunktzahlen, Fließkommawerte und Fließkommazahlen.

Der Begriff »Gleitkommawert« kommt daher, dass der Punkt in Abhängigkeit von der Darstellung solcher Zahlen »gleitet«. So lässt sich z.B. der Wert

`234.89`

ebenso mit

$23489 * 10^{-2}$

oder z.B. mit

$0.23489 * 10^{3}$

darstellen.

HINWEIS

Tatsächlich verwendet C++ beim Speichern von Gleitkommwerten einen Teil des Speicherplatzes für die Mantisse, einen Teil für den Exponenten und ein Bit für das Vorzeichen. Bei der Mantisse handelt es sich um den Wert, mit dem die Zehnerpotenz multipliziert wird, um auf den darzustellenden Gleitkommawert zu kommen. Bei $23489 * 10^{-2}$ ist `23489` die Mantisse.

Fließkommawerte werden von C++ grundsätzlich in der so genannten »Normalform« gespeichert. Dabei wird der zu speichernde Wert in Exponentialschreibweise dargestellt und so formuliert, dass unmittelbar vor dem Dezimalpunkt eine Null steht. Für den Wert `234.89` aus dem Beispiel ergibt sich

$0.23489 * 10^{3}$

Die Mantisse beträgt hier `23489` und der Exponent `3`.

Die Speicherung erfolgt nicht im Dezimal-, sondern im binären Format. Falls es sich um einen negativen Gleitkommawert handelt, wird das Vorzeichenbit auf 1 gesetzt.

Sie wissen nun, dass es zur Darstellung von Gleitkommawerten die Datentypen `float` und `double` gibt. Wie Gleitkommawerte direkt in den Quellcode geschrieben werden, ist Ihnen auch bekannt – mit dem Punkt als Trennzeichen.

Welchen Datentyp besitzt aber nun ein Literal wie `2004.55`, ist es vom Typ `float` oder `double`? Es gilt:

- Gleitkommaliterale werden standardmäßig als `double` angenommen.
- Sie können jedoch den Datentyp `float` forcieren, indem Sie ein `F` anhängen.

Dabei darf entgegen den sonstigen Gepflogenheiten von C++ das `F` auch kleingeschrieben werden.

Folglich ist

```
2004.55
```

ein Literal vom Typ `double`. Die Literale

```
2004.55F
```

bzw.

```
2004.55f
```

sind dagegen vom Datentyp `float`.

ACHTUNG

Das `F` bzw. `f` gehört zum Literal. Sie dürfen zwischen der letzten Ziffer und dem `F` bzw. `f` kein Leerzeichen einfügen:

```
304.77 F  // FEHLER
304.77F  // OK
```

Nun soll auch die Variable `myFloat` einen Wert erhalten:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   float myFloat;
   double myDouble;
   myDouble = -1936.99;
   cout << "Wert von myDouble: ";
   cout << myDouble << endl;
   myFloat = 10.5f;
```

```
    cout << "Wert von myFloat: ";
    cout << myFloat << endl;
}
```

Ausgabe:

```
Wert von myDouble: -1936.99
Wert von myFloat: 10.5
```

Bezüglich des Wertebereichs und der Genauigkeit von `float` und `double` gilt:

- Der Datentyp `float` umfasst Zahlen mit Nachkommastellen im Wertebereich von $\pm 3.4 * 10^{-38}$ bis $\pm 3.4 * 10^{38}$ mit einer Genauigkeit von sechs Stellen.
- Der Wertebereich des Datentyps `double` erstreckt sich von $\pm 1.7 * 10^{308}$ bis $\pm 1.7 * 10^{308}$ mit einer Genauigkeit von 15 Stellen.

»Genauigkeit von sechs bzw. 15 Stellen« heißt, Rundungsfehler treten erst auf, wenn die Zahl mehr als insgesamt sechs (für `float`) bzw. 15 (für `double`) signifikante Ziffern besitzt – das Trennzeichen nicht mitgerechnet. Es spielt also bezüglich der Genauigkeit keine Rolle, ob sich die Ziffern vor oder nach dem Trennzeichen befinden.

HINWEIS

Beispielsweise besteht das Gleitkommaliteral

`00456.887`

aus sechs signifikanten Ziffern, da die führenden Nullen keinen Einfluss auf den repräsentierten Wert und damit dessen Darstellung im Speicher haben.

Ebenso besitzt das Literal

`799.5000`

vier signifikante Ziffern.

13.3 Ein Programm zur Berechnung der Mehrwertsteuer

Im Folgenden soll schrittweise ein Programm entwickelt werden, das den Benutzer zur Angabe eines Nettobetrags auffordert und anschließend die daraus resultierende Mehrwertsteuer sowie den Gesamtbetrag anzeigt.

Dies ist natürlich eine verhältnismäßig leichte Aufgabe. Dennoch ist es im Allgemeinen sinnvoll, sich zu überlegen, in welcher Reihenfolge die einzelnen Aktionen ausgeführt werden müssen, insbesondere welche Informationen in welcher Richtung auszutauschen sind.

Um aus einem Nettobetrag die Mehrwertsteuer zu errechnen, ist dieser mit dem entsprechenden Faktor zu multiplizieren. Für einen Mehrwertsteuersatz von 16 % gilt also:

*Nettobetrag * 0.16 = Mehrwertsteuerbetrag*

Der Gesamtbetrag errechnet sich damit zu

Nettobetrag + Mehrwertsteuerbetrag = Gesamtbetrag

Für den Datenfluss zwischen Programm und Benutzer heißt das:

- Allein der Nettobetrag muss eingegeben werden. Der Faktor für die Mehrwertsteuer ist bekannt.
- Auszugeben sind der Mehrwertsteuerbetrag und der Gesamtbetrag.

HINWEIS

In der Programmierung spricht man vom Entwickeln eines Algorithmus. Gewissermaßen handelt es sich dabei um das Rezept, anhand dessen anschließend die Kodierung erfolgt.

Als Erstes müssen wir dem Benutzer aber mitteilen, was er zu tun hat. Also setzen wir das Programmgerüst auf und zeigen zunächst einen Text an, der den Benutzer zur Eingabe des Nettobetrags auffordert:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << "Nettobetrag: ";
}
```

Nun muss die Benutzereingabe mit `cin` entgegengenommen werden. Allerdings ist dazu eine Variable anzugeben, die den Eingabewert aufnehmen soll.

Als Bezeichner dieser Variablen ist `netto` sicherlich gut gewählt. Was den Datentyp angeht, scheidet Integer aus, da wir ja mit Gleitkommawerten rechnen (`* 0.16`). Also ist die Wahl zwischen `float` und `double` zu treffen. Eine `float`-Variable benötigt zwar gegenüber einer `double`-Variablen weniger Speicherplatz, aber diese Überlegung soll keine Rolle spielen. Die heutigen Computersysteme sind so großzügig mit Speicher ausgestattet, dass die 8 Byte, die `double` belegt, gegenüber den 4 Byte für `float` nicht ins Gewicht fallen. Für `double` sprechen die höhere Genauigkeit und der weitaus größere Wertebereich. Wir entscheiden uns deshalb für den `double`, aber natürlich können Sie auch `float` den Vorzug geben:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   double netto;
   cout << "Nettobetrag: ";
}
```

In dieser Variablen speichern wir nun die Benutzereingabe:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   double netto;
   cout << "Nettobetrag: ";
   cin >> netto;
}
```

Nun gilt es, den Mehrwertsteuerbetrag auszuweisen bzw. erst einmal zu berechnen. Der entsprechende Ausdruck lautet:

```
netto * 0.16
```

Es gibt nun zwei Möglichkeiten.

Die erste ist, den Ausdruck direkt in der Ausgabeanweisung zu verwenden:

```
cout << netto * 0.16;
```

Die Alternative dazu ist, den Rückgabewert dieses Ausdrucks zunächst in einer Variablen zu speichern und in der Ausgabeanweisung den Bezeichner dieser Variablen zu verwenden:

```
double mbetrag;
mbetrag = netto * 0.16;
cout << mbetrag;
```

Falls ein Wert später noch einmal benötigt wird, empfiehlt es sich, der letztgenannten Variante den Vorzug zu geben. Im Beispiel muss noch einmal auf den Wert zurückgegriffen werden, um den Gesamtbetrag zu berechnen. Daher wird hier die zweite Variante eingesetzt.

HINWEIS

Die Anweisung

```
cout << »Gesamtbetrag: « << netto + mbetrag;
```

ist sicherlich etwas leichter nachzuvollziehen als die folgende, die ohne zusätzliche Variable auskommt:

```
cout << »Gesamtbetrag: « << netto + (netto * 0.16);
```

Am Ende dieses Kapitels werden wir aber auch diese Variante vorstellen.

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   double netto, mbetrag;
   cout << "Nettobetrag: ";
   cin >> netto;
```

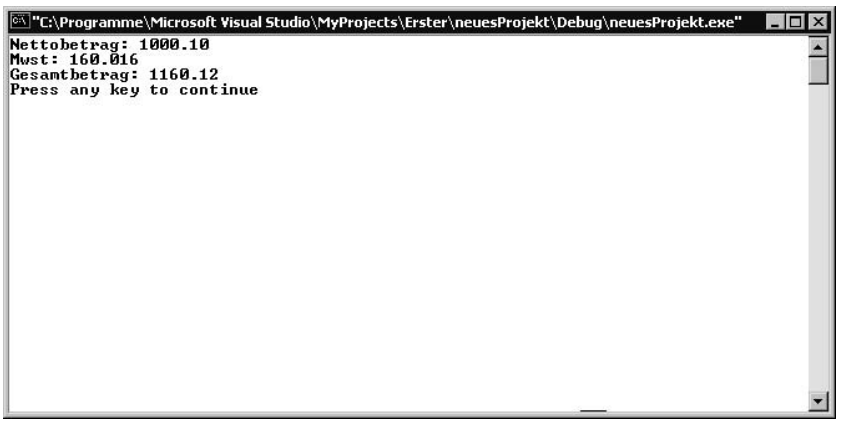
```
   mbetrag = netto * 0.16;
   cout << "Mwst: " << mbetrag;
}
```

Den Ausdruck `netto + mbetrag` für den Gesamtbetrag verwenden wir jetzt direkt in der Ausgabe:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   double netto, mbetrag;
   cout << "Nettobetrag: ";
   cin >> netto;
   mbetrag = netto * 0.16;
   cout << "Mwst: " << mbetrag;
   cout << endl << "Gesamtbetrag: ";
   cout << netto + mbetrag << endl;
}
```

Bei Eingabe eines Nettobetrags von `1000.10` weist das Programm korrekterweise für die Mehrwertsteuer den Betrag `160.016` und als Gesamtbetrag `1160.12` aus (siehe Abbildung 13.1).

Bild 13.1: Programm zur Berechnung der Mehrwertsteuer



ACHTUNG

Verwenden Sie bei der Eingabe unbedingt einen Punkt zur Trennung der Nachkommastellen, wenn Sie das Programm ausführen.

HINWEIS

Was Sie tun müssen, um die Ausgabe auf zwei oder eine andere Anzahl von Nachkommastellen zu begrenzen, erfahren Sie im nächsten Kapitel (siehe Abschnitt 14.4.2 »Anzeige von Nachkommastellen begrenzen«).

13.4 Konstanten mit const deklarieren

Wie Sie bereits wissen, nennt man Literale auch unbenannte Konstanten. Der Grund dafür ist, dass die entsprechenden Werte direkt im Code stehen, also nicht durch bestimmte Namen symbolisiert werden. Anders verhält es sich bei den benannten Konstanten. Deren Name steht jeweils für einen bestimmten – unveränderlichen – Wert.

HINWEIS

Aus diesem Grunde gehört eine Variable eben nicht zur Gruppe der benannten Konstanten. Eine Variable symbolisiert zwar im Code einen Wert, dieser ist aber im Weiteren veränderbar – variabel.

Beispiele für vordefinierte benannte Konstanten, die fest zur Programmiersprache C++ gehören, sind die Wahrheitswerte `true` und `false` (siehe Abschnitt 15.1 »Welche Datentypen gibt es noch?«).

HINWEIS

Es sei darauf hingewiesen, dass die Einordnung von `true` und `false` als benannte Konstanten nichts mit ihrer Eigenschaft als Schlüsselwörter zu tun hat. Was sie von anderen Schlüsselwörtern unterscheidet, ist eben, dass sie im Code für einen Wert stehen.

Aber auch der Programmierer kann im Quellcode benannte Konstanten selbst erzeugen. Dies kann auf zweierlei Weise geschehen:

- mit der `#define`-Anweisung (siehe dazu Abschnitt 28.2 »Symbolische Konstanten mit #define vereinbaren«)
- Deklaration mit dem Schlüsselwort `const`

Paradoxerweise handelt es sich bei solchen – mit `const` deklarierten – Konstanten eigentlich um Variablen – was genau genommen davon abhängt, wie sie vom Compiler behandelt werden (dazu gleich mehr). Entsprechend tauchen in der Literatur verschiedene Begriffe auf. Außer `const`-Konstanten werden sie mitunter auch als `const`-Variablen bzw. konstante Variablen bezeichnet.

Zumindest ihre Deklaration verläuft ähnlich der von Variablen, bis auf die Tatsache, dass dabei das Schlüsselwort `const` verwendet wird und sie noch innerhalb der Deklaration initialisiert werden müssen:

```
const int MEINEZAHL = 99;
```

HINWEIS

Es empfiehlt sich, einer guten alten Gewohnheit aus der C-Programmierung zu folgen und benannte Konstanten in Versalien zu schreiben. Man kann sie auf diese Weise im Quelltext auf einen Blick von Variablen unterscheiden.

Der Wert von solcherart deklarierten »Variablen« darf im weiteren Code nicht mehr geändert werden (was eigentlich im Widerspruch zur Bezeichnung »Variable« steht). Ein entsprechender Versuch wird als Syntaxfehler interpretiert:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   const int MEINEZAHL = 99;
   MEINEZAHL = 17;  // FEHLER
   // …
}
```

HINWEIS

Beachten Sie, dass eine mit `const` deklarierte Konstante/Variable ein R-Wert – kein L-Wert – ist, da sie ja nur auf der rechten Seite einer Zuweisung stehen kann (zu L-Werten und R-Werten siehe Abschnitt 12.1.1 »Mehrere Zuweisungen hintereinander schalten«).

Auf welche Weise der Manipulationsversuch stattfindet, ob über eine einfache Zuweisung oder eine Benutzereingabe, spielt dabei keine Rolle. Folgende Eingabeanweisung ist also ebenfalls fehlerhaft:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   const int MEINEZAHL = 99;
   cin >> MEINEZAHL;  // FEHLER
   // …
}
```

Das Schlüsselwort `const` hat zudem einen speziellen Namen. Da es den Typ eines Datenobjekts verändert, nennt man es auch Typmodifizierer.

HINWEIS

Allerdings ist die Bezeichnung »Typ« hier nur im weiteren Sinne zu verstehen. Sie ist insofern gerechtfertigt, als `const` Einfluss darauf nimmt, wie ein Datenobjekt gespeichert wird bzw. ob es überhaupt gespeichert wird, wie wir gleich sehen werden. Auch der Begriff »Datenobjekt« ist in diesem Sinne nicht ganz korrekt, da damit eigentlich nur solche Elemente bezeichnet werden, die Platz im Arbeitsspeicher beanspruchen.

Es stellt sich nun die Frage, ob eine `const`-Konstante Platz im Arbeitsspeicher belegt oder nicht. Die Antwort ist: Dies ist von Fall zu Fall verschieden. Es hängt zum einen davon ab, ob der Wert einer `const`-Konstanten zur Übersetzungszeit bekannt ist, und zum anderen von der »Intelligenz« Ihres Compilers.

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   const int XYZ = 35;
   cout << XYZ;
}
```

Der Wert von `XYZ` ist hier zur Übersetzungszeit bekannt. Wenn Ihr Compiler »schlau« genug ist, dann wird er `XYZ` wie eine Konstante behandeln – so als ob an jeder Stelle im Code, an der der Bezeichner `XYZ` verwendet wird, das Literal `35` stehen würde. Aber wie gesagt, das ist von Compiler zu Compiler verschieden.

Anders verhält es sich dagegen, falls der Wert einer `const`-Konstanten zur Übersetzungszeit nicht ermittelt werden kann. Dann bleibt Ihrem Compiler gar nichts anderes übrig, als für die Konstante Speicherplatz zu reservieren:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int zahl;
   cin >> zahl;
   const int XYZ = zahl;
   cout << XYZ;
}
```

Die Konstante `XYZ` wird hier bei der Deklaration mit dem Wert der Variablen `zahl` initialisiert. Da die Variable `zahl` ihren Wert aber erst zur Laufzeit erhält, kann der Wert von `XYZ` zur Übersetzungszeit nicht feststehen.

HINWEIS

»Der Compiler macht dies, der Compiler macht das …«. Dies ist eine in der Programmierliteratur allgemein übliche – wenngleich nicht ganz korrekte – Vereinfachung, der auch wir uns in diesem Buch bedienen. Tatsächlich erzeugt der Compiler die Maschinenbefehle, die dann beim Programmlauf besagte Aktionen bewirken. Oben müsste es also exakter heißen: »… bleibt Ihrem Compiler gar nichts anderes übrig, als Maschinencode zu erzeugen, der – wenn ausgeführt – für die Konstante Speicherplatz reserviert.«

Die Verwendung von symbolischen Konstanten erfolgt meist unter folgenden Gesichtspunkten:

- Man kann erreichen, dass Werte nicht versehentlich geändert werden. So wäre es z.B. unsinnig (und würde Berechnungsfehler zur Folge haben), wenn die Kreiszahl PI zur Laufzeit einen anderen Wert erhält.

- Bezeichner können so gewählt werden, dass sie selbsterklärend sind. Dies erhöht die Lesbarkeit des Quelltextes. So besitzen benannte Konstanten wie `MWST` oder `PI` weit mehr Aussagekraft als die Literale `16` oder `3.14`.
- Ein großer Vorteil von Konstanten ist, dass eventuelle Änderungen nur an einer einzigen Stelle im Quellcode erfolgen müssen.

Nehmen wir an, der Entwickler einer Buchhaltungssoftware müsste sein Programm überarbeiten. Der Anlass wäre eine Erhöhung der Mehrwertsteuer von 16 auf 17 Prozent. Bei Verwendung einer `const`-Konstanten müsste er den neuen Wert nur in der Deklarationsanweisung austauschen (`const int MWST = 17;`). Im weiteren Quelltext wird ja nur mehr der Bezeichner `MWST` verwendet. Andernfalls müsste das Literal `16` an jeder Stelle im Code geändert werden, an der es auftritt – was bei einem Code von mehreren hundert Zeilen bereits einen erheblichen Arbeitsaufwand bedeuten würde.

In diesem Sinne lässt sich unser Mehrwertsteuerprogramm des letzten Abschnitts wie folgt umsetzen:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   const double MWST = 0.16;
   double netto, mbetrag;
   cout << "Nettobetrag: ";
   cin >> netto;
   mbetrag = netto * MWST;
   cout << "Mwst: " << mbetrag;
   cout << endl << "Gesamtbetrag: ";
   cout << netto + mbetrag << endl;
}
```

Zum Abschluss hier noch die weiter oben genannte Alternative, ohne den Mehrwertsteuerbetrag (`netto * 0.16` bzw. `netto * MWST`) in der Variablen `mbetrag` zwischenzuspeichern – zur Verdeutlichung einmal ohne (erstes Listing) und einmal mit Verwendung der Konstanten `MWST`:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   double netto;
   cout << "Nettobetrag: ";
   cin >> netto;
   cout << "Mwst: " << netto * 0.16;
   cout << endl << "Gesamtbetrag: ";
   cout << netto + (netto * 0.16) << endl;
}
```

Hier das entsprechende Listing mit der `const`-Konstanten `MWST`:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   const double MWST = 0.16;
   double netto;
   cout << "Nettobetrag: ";
   cin >> netto;
   cout << "Mwst: " << netto * MWST;
   cout << endl << "Gesamtbetrag: ";
   cout << netto + (netto * MWST) << endl;
}
```

HINWEIS

Die Klammern im Ausdruck

```
netto + (netto * MWST)
```

sind natürlich nicht zwingend notwendig, da der Multiplikationsoperator (*) eine höhere Priorität besitzt als der Additionsoperator (+). Sie dienen hier ausschließlich der besseren Lesbarkeit.

14 Ausgabe mit Manipulatoren formatieren

Grundsätzlich sind es zwei verschiedene Dinge, wie Werte gespeichert und in welchem Format diese in der Ausgabe dargestellt werden. Falls vom Programmierer nichts anderes angegeben, verwendet `cout` bei der Ausgabe von Daten bestimmte Vorgabeeinstellungen. Diese können allerdings mittels Angabe von Manipulatoren verändert werden (zu Manipulatoren siehe auch Abschnitt 9.4 »Manipulatoren«). So können Sie z.B. im Programm zur Berechnung der Mehrwertsteuer des letzten Kapitels die Ausgabe des Mehrwertsteuerbetrags und des Gesamtbetrags auf zwei Nachkommastellen begrenzen.

HINWEIS

Der Vollständigkeit halber werden in diesem Kapitel alle Aspekte der Ausgabeformatierung – speziell auch der Exponentialschreibweise – beschrieben. Zum weiteren Verständnis sind diese Ausführungen nicht unbedingt erforderlich (und manche hier beschriebenen Dinge werden Sie nur selten brauchen), Sie können daher auch Teile überspringen und bei Kapitel 15 weitermachen. Bei Bedarf kommen Sie dann einfach noch einmal auf dieses Kapitel zurück.

14.1 Standardeinstellungen

Im Folgenden werden die Grundeinstellungen dargelegt, die bei der Ausgabe von Gleitkommawerten mit `cout` verwendet werden, falls im Code vom Programmierer nichts anderes bestimmt ist. Eine dieser Einstellungen bezieht sich auf die Genauigkeit der Darstellung.

14.1.1 Genauigkeit

Per Voreinstellung gilt die Regelung, dass Gleitkommawerte mit einer Genauigkeit von sechs signifikanten Stellen ausgegeben werden. Trennzeichen, eventuelle Vorzeichen oder der Exponent bleiben dabei außer Betracht (in welchem Zusammenhang bei der Darstellung von Gleitkommawerten Exponenten auftreten, erfahren Sie gleich weiter unten).

Der Wert

```
-12.3456
```

besitzt also in diesem Sinne sechs signifikante Stellen (`123456`) und wird somit noch ohne Rundungsfehler ausgegeben:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << -12.3456;
}
```

Ausgabe: 12.3456

Für die Genauigkeit spielt, wie gesagt, weder das Vorzeichen noch die Position des Trennzeichens eine Rolle:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << 1.23456;
}
```

Ausgabe: 1.23456

Falls der Defaultwert von sechs Stellen jedoch überschritten wird, treten in der Ausgabe Rundungsfehler auf. So besitzt z.B. der Wert `1.234567` unbestritten sieben signifikante Stellen. Daher wird bei der Ausgabe auf sechs Stellen gerundet:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << 1.234567;
}
```

Ausgabe: 1.23457

An diesem Ergebnis ändert sich natürlich auch nichts, wenn besagter Wert in einer Variablen gespeichert ist.

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   double aus = 1.234567;
   cout << aus;
}
```

Ausgabe: 1.23457

Beachten Sie, dass die Variable `aus` den Wert `1.234567` ohne Rundungsfehler speichert. Wie Sie wissen, lassen sich mit dem Datentyp `double` im positiven Bereich Werte bis $1.7 * 10^{308}$ darstellen und dies mit einer Genauigkeit von 15 Stellen. Da kann es bei der Speicherung des Wertes `1.234567` keine Probleme geben. Wie schon eingangs erwähnt, sind es prinzipiell zwei verschiedene Dinge, wie Daten gespeichert und wie diese in der Ausgabe dargestellt werden.

Nicht signifikant sind auch solche Vor- und Nachkommastellen, die keinen Einfluss auf den tatsächlichen Wert besitzen.

Demnach besitzen z.B. die Werte

-012.345600

und

000.1234560

jeweils sechs signifikante Stellen (123456).

HINWEIS

Beachten Sie, dass für den Wert 000.1234560 allein die Position des Punktes sowie die ersten sechs Ziffern nach diesem ausschlaggebend sind, keine der Nullen vor oder nach dem Punkt. Daher könnten Sie anstelle von 0.123456 – bzw. 000.1234560 – im Quellcode ebenso gut das Literal .123456 (mit Punkt – ohne Null) verwenden.

```
#include <iostream>
using namespace std;
using namespace std;
void main(void)
{
   cout << .123456;
}
```

Ausgabe: 0.123456

Die Ausgabe erfolgt jedoch wie gewohnt mit einer Null vor dem Komma.

Dementsprechend treten auch bei den genannten Werten keine Rundungsfehler auf.

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << -012.345600 << endl;
   cout << 000.1234560;
}
```

Ausgabe:

-12.3456

0.123456

Wie Sie am obigen Beispiel erkennen können, werden per Default Nullen, die für den Wert einer Gleitkommazahl ohne Bedeutung sind, nicht mit ausgegeben – abgesehen von einer allein stehenden Null vor dem Trennzeichen, was der gewohnten Darstellung entspricht.

14.1.2 Ausgabeformat

Eine weitere Vorgabeeinstellung bezieht sich auf das bei der Ausgabe verwendete Format. Insgesamt gibt es drei Ausgabeformate für Gleitkommawerte:

- Vorgabeformat
- fixed-Format
- scientific-Format

Falls im Code nicht explizit die Formate `fixed` oder `scientific` angegeben sind, gilt die Standardeinstellung, also das, was in der Aufzählung als Vorgabeformat bezeichnet ist.

Den aufgezählten Formaten liegen zwei verschiedene Schreibweisen für Zahlen mit Nachkommateil zugrunde, einmal die gewohnte in der Form

```
XXX.YYY
```

wobei `X` eine Vorkommaziffer und `Y` eine Nachkommaziffer bezeichnet – eventuell mit einem führenden Minuszeichen zur Darstellung negativer Werte.

Beispiele:

```
2749.878
0.123456
-177.52
```

Die andere ist Ihnen möglicherweise aus der Mathematik unter der Bezeichnung wissenschaftliche Schreibweise bzw. Exponentialschreibweise bekannt. In dieser Schreibweise werden die genannten Werte wie folgt dargestellt:

```
2.749878e+3
1.23456e-1
-1.7752e+2
```

`e+2` bedeutet Exponent 2 zur Basis 10, analog `e-1` Exponent -1 zur Basis 10 und `e+3` Exponent 3 zur Basis 10. In der üblichen mathematischen Schreibweise sehen die Werte so aus:

$2.749878 * 10^{3}$
$1.23456 * 10^{-1}$
$-1.7752 * 10^{2}$

Das fixed-Format bedient sich der »normalen«, das scientific-Format der wissenschaftlichen Schreibweise. In den Vorgabeeinstellungen verwendet `cout` in Abhängigkeit vom Betrag des darzustellenden Wertes eine dieser beiden Darstellungsweisen.

Dabei gilt: Ist – bezogen auf die Exponentialschreibweise mit einer Vorkommastelle – der Exponent kleiner als -4 oder größer als 5, so erfolgt die Ausgabe in dieser, andernfalls in der gewohnten Form.

HINWEIS

Mit anderen Worten: Ist der Betrag des auszugebenden Wertes (unabhängig vom Vorzeichen!) sehr groß, so erfolgt die Ausgabe in Exponentialschreibweise.

Beachten Sie, dass Gleitkommawerte in der Standardeinstellung stets mit einer Genauigkeit von sechs signifikanten Stellen ausgegeben werden. Dies gilt unabhängig davon, in welcher Form die Ausgabe erfolgt. Wie bereits erwähnt, zählen Trennzeichen, Vorzeichen und Exponent nicht zu den signifikanten Stellen.

Hierzu einige Beispiele: Der Wert

```
1.234567
```

stellt sich in der Exponentialschreibweise mit einer Stelle vor dem Komma (eigentlich müssten wir sagen »vor dem Punkt«) dar als

```
1.234567e+0
```

was gleichbedeutend ist mit `1.234567 * 10`^{0}. Der Exponent, der ja Null ist, ist weder kleiner als -4 noch größer als 5. Daher erfolgt die Ausgabe dieses Wertes in der gewohnten Form.

Andererseits hat dieser Wert sieben Stellen, das Trennzeichen nicht mitgerechnet. Gemäß der Vorgabe stehen für die Ausgabe eines Gleitkommawertes aber nur sechs Stellen zur Verfügung. Daraus ergibt sich: Der Wert wird auf sechs Stellen gerundet ausgegeben:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << 1.234567;
}
```

Ausgabe: 1.23457

Dabei spielt es selbstverständlich keine Rolle, in welcher Form einzelne Werte im Programmcode notiert sind:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << 123.4567e-2;
}
```

Ausgabe: 1.23457

Nehmen wir als weiteres Beispiel den Wert

```
-1234567.8
```

In Exponentialschreibweise sieht dieser so aus

```
-1.2345678e+6
```

was dem Wert `-1.2345678 * 10`^{6} entspricht.

Da in der Exponentialschreibweise bei einer Vorkommastelle als Exponent 6 anzugeben ist, wird also der Wert `-1234567.8` von `cout` in der Standardeinstellung in Exponentialform ausgegeben. Dabei treten allerdings ebenfalls Rundungsfehler auf, nachdem die Anzahl der auszugebenden Stellen per Default grundsätzlich auf sechs begrenzt ist:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << -1234567.8;
}
```

Ausgabe: -1.23457e+006

HINWEIS

Soweit sich `cout` der exponentiellen Darstellung bedient, ob im Vorgabeformat oder im scientific-Format, erfolgt die Anzeige des Exponenten meist dreistellig und mit Vorzeichen.

HINWEIS

Wie gesagt, bleiben Vorzeichen, Trennzeichen und Exponent außen vor. In diesem Sinne bleiben bezüglich der Exponentialdarstellung des Wertes `-1234567.8` immer noch acht Stellen.

`-1.2345678e+006`

Auf sechs Stellen gerundet ergibt dies

`-1.23457e+006`

Anders dagegen bei

`1234560.0`

Exponentialschreibweise:

`1.23456e+6`

Die Ausgabe erfolgt ebenfalls in Exponentialform, aber ohne Rundung:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << 1234560.0;
}
```

Ausgabe: 1.23456e+006

HINWEIS

Die weiter oben genannten Beispielwerte `2749.878` bzw. `0.123456` bzw. `-177.52` werden also per Default alle in der üblichen Form ausgegeben (Exponent 3, -1 bzw. 2), `2749.878` allerdings mit Rundungsfehlern, da die Anzahl der signifikanten Stellen sieben beträgt (Ausgabe: `2749.88`).

14.2 Die Manipulatoren setiosflags() und resetiosflags()

Nun zu den Formaten fixed bzw. scientific. Wie oben erwähnt, entspricht das fixed-Format der gewohnten Darstellungsweise, das scientific-Format stellt die Werte in Exponentialform dar. Allerdings gibt es einen Unterschied zur Standardeinstellung: Der Defaultwert von 6 bezüglich der Genauigkeit bezieht sich bei diesen Formaten allein auf die Nachkommastellen.

Das hat einerseits den Vorteil, dass Rundungsfehler erst sehr viel später auftreten.

Beispielsweise wird der Wert `3.123456` im fixed-Format wie im scientific-Format ohne Rundungsfehler dargestellt.

HINWEIS

Für das fixed-Format macht es bezüglich der Genauigkeit generell keinen Unterschied, wie viele Stellen sich vor dem Punkt befinden. An den Nachkommastellen ändert das ja nichts. Folglich treten im fixed-Format auch bei dem Wert

```
33.123456
```

keine Rundungsfehler auf. Anders verhält es sich aber mit dem scientific-Format, nachdem die Darstellung ja mit nur einer Stelle vor dem Trennzeichen erfolgt, also eventuell Stellen in den Nachkommateil übergehen. Aus

```
33.123456
```

wird ja in exponentieller Schreibweise

```
3.3123456e+1
```

und dieser Wert wird, da sich somit sieben signifikante Stellen im Nachkommateil befinden, auf sechs Nachkommastellen gerundet – sowie mit dreistelligem Exponenten – ausgegeben:

3.312346e+001

Andererseits erscheinen im fixed- wie im scientific-Format unter Umständen überflüssige Nullen in der Ausgabe.

So ergibt sich z.B. für den Wert `12.1` im fixed-Format die Ausgabe:

12.100000

und im scientific-Format:

1.200000e+001

HINWEIS

Dabei ist hier natürlich der Defaultwert von 6 für die Anzahl der auszugebenden Stellen vorausgesetzt. Dieser lässt sich jedoch mit `setprecision()` ändern (dazu gleich in Abschnitt 14.4 »setprecision()«).

Mit anderen Worten: Gleitkommawerte werden im fixed- und im scientific-Format mit einer konstanten Anzahl von Nachkommastellen – die den Einstellungen für die Genauigkeit entspricht – angezeigt.

Was müssen Sie nun tun, um eines der beiden Formate einzustellen? Dazu stehen Ihnen die Manipulatoren `setiosflags()`, `fixed` und `scientific` zur Verfügung. Beschäftigen wir uns zunächst mit `setiosflags()`.

Wie der Name schon andeutet, erlaubt dieser Manipulator, bestimmte Flags in Bezug auf Ein-/Ausgabeoperationen zu setzen – »ios« steht für »input output String«. Flags sind in der Regel einzelne Bits von Variablen, die einen bestimmten Zustand signalisieren, je nachdem, ob sie auf den Wert `1` oder `0` gesetzt sind. Das Objekt `cout` besitzt eine solche Variable und die Bits dieser Variablen regeln, wie `cout` Daten ausgibt. Das heißt, jedes einzelne Bit ist für eine ganz spezielle Einstellung diesbezüglich zuständig.

Der Programmierer hat zwar keine direkte Zugriffsmöglichkeit auf die besagte Variable, aber über `setiosflags()` kann auf diese Einfluss genommen werden. Um z.B. das Format scientific einzustellen, übergeben Sie `setiosflags()` den Wert `4096`:

```
setiosflags(4096)
```

Dieser Ausdruck wird nun in den Ausgabestrom von `cout` eingebaut und da es sich bei `setiosflags()` wie bei dem Ihnen schon bekannten `endl` um einen Manipulator handelt, muss dieser in einer separaten Ausgabeeinheit verwendet werden; eine separate Anweisung ist nicht notwendig (siehe Abschnitt 9.4 »Manipulatoren«). Natürlich soll dies vor der gewünschten Ausgabe eines Gleitkommawertes geschehen.

Zudem muss zusätzlich die Headerdatei *iomanip* – bei älteren Compilern *iomanip.h* – eingebunden werden. Dies gilt für alle Manipulatoren, denen bei Verwendung Werte zu übergeben sind, also z.B. für `setiosflags()`. Wir werden im Weiteren sehen, dass es sich mit `setprecision()` genauso verhält.

```
#include <iostream>
#include <iomanip>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << setiosflags(4096);
   cout << 7.53;
}
```

Ausgabe: 7.530000e+000

Denken Sie daran, dass es sich um Einstellungen handelt, die so lange bestehen bleiben, bis sie geändert werden. Nach der Angabe von `setiosflags(4096)` verwendet `cout` daher für alle folgenden Ausgaben von Gleitkommawerten das scientific-Format.

```
#include <iostream>
#include <iomanip>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << setiosflags(4096);
   cout << 7.53 << endl << 22.4;
}
```

Ausgabe:

7.530000e+000

2.240000e+001

Auf die gleiche Weise lässt sich das fixed-Format einstellen. In diesem Fall muss `setiosflags()` der Wert `8192` übergeben werden:

```
#include <iostream>
#include <iomanip>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << setiosflags(8192);
   cout << 7.53 << endl << 22.4;
}
```

Ausgabe:

7.530000

22.400000

Dass es sich hier um das fixed-Format und nicht um die Grundeinstellung handelt, können Sie an der Ausgabe daran erkennen, dass der Nachkommateil – obwohl hinsichtlich des tatsächlichen Wertes nicht notwendig – sechsstellig dargestellt wird, also mit Nullen aufgefüllt ist.

HINWEIS

Es sei darauf hingewiesen, dass sich bezüglich der angegebenen Parameter `4096` und `8192` nicht alle Compiler konform verhalten. Die Manipulatoren `fixed` und `scientific` sind in dieser Hinsicht zuverlässiger. Versuchen Sie es gegebenenfalls mit anderen Zweierpotenzen – `1024`, `2048`, `16384`.

Eine mit `setiosflags()` gesetzte Einstellung lässt sich mit dem Manipulator `resetiosflags()` wieder rückgängig machen (»reset«, deutsch »zurücksetzen«). Dabei ist `resetiosflags()` genau mit dem Wert zu verwenden, mit dem die Einstellung zuvor über `setiosflags()` getroffen wurde.

Um also im vorletzten Beispiel vom scientific-Format, das zuvor mit `setiosflags(4096)` eingestellt wurde, wieder zur Grundeinstellung zurückzukehren, ist an `resetiosflags()` ebenfalls dieser Wert zu übergeben:

```
#include <iostream>
#include <iomanip>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << setiosflags(4096);
   cout << 7.53 << endl;
   cout << resetiosflags(4096) << 22.4;
}
```

Ausgabe:

7.530000e+000

22.4

Mit `setiosflags(8192)` und `resetiosflags(8192)` verhält es sich natürlich genauso:

```
#include <iostream>
#include <iomanip>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << setiosflags(8192);
   cout << 7.53 << endl;
   cout << resetiosflags(8192) << 22.4;
}
```

Ausgabe:

7.530000

22.4

Der Versuch, ohne vorherige Verwendung von `resetiosflags()`auf das jeweils andere Format umzuschalten – per `setiosflags(4096)` (scientific-Format) oder `setiosflags(8192)` (fixed-Format) –, scheitert übrigens. Vielmehr wird die Grundeinstellung wiederhergestellt; der eine Aufruf setzt den anderen außer Kraft – im Unterschied zu den Manipulatoren `fixed` und `scientific` (mehr dazu im nächsten Abschnitt):

```
#include <iostream>
#include <iomanip>
using namespace std;
```

```
void main(void)
{
   cout << setiosflags(8192);
   cout << 7.53 << endl;
   cout << setiosflags(4096) << 22.4;
}
```

Ausgabe:

7.530000

22.4

Daher wird die Zahl `22.4` nicht im scientific-Format ausgegeben, sondern entsprechend den Standardeinstellungen. Auch eine zweimalige Verwendung von `setiosflags()` mit dem Wert `4096` ändert daran nichts:

```
#include <iostream>
#include <iomanip>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << setiosflags(8192);
   cout << 7.53 << endl;
   cout << setiosflags(4096);
   cout << setiosflags(4096) << 22.4;
}
```

Ausgabe:

7.530000

22.4

Um im obigen Beispiel das scientific-Format einzustellen, muss zunächst mit `resetiosflags(8192)` die Einstellung `setiosflags(8192)` rückgängig gemacht werden:

```
#include <iostream>
#include <iomanip>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << setiosflags(8192);
   cout << 7.53 << endl;
   cout << resetiosflags(8192);
   cout << setiosflags(4096) << 22.4;
}
```

Ausgabe:

7.530000

2.240000e+001

Hier noch ein Tipp: Es bietet sich an, für wenig aussagekräftige Werte wie 8192 und 4096 Konstanten zu definieren (siehe Abschnitt 13.4 »Konstanten mit const deklarieren«). Diese sind wesentlich leichter zu handhaben und deren Gebrauch ist auch nicht so fehlerträchtig. Denken Sie an einen seitenlangen Code, in dem immer wieder die Zahlen 4096 und 8192 auftreten. Da kann es viel leichter vorkommen, dass man einmal eine Zahl falsch eintippt, als bei Bezeichnern wie EXPO, NORM, FIX, FIXED, SCIENTIFIC usw.

Hier das letzte Beispiel mit const-Konstanten anstelle von 4096 und 8192:

```
#include <iostream>
#include <iomanip>
using namespace std;

void main(void)
{
   const int FIXED = 8192, SCIENTIFIC = 4096;
   cout << setiosflags(FIXED);
   cout << 7.53 << endl;
   cout << resetiosflags(FIXED);
   cout << setiosflags(SCIENTIFIC) << 22.4;
}
```

Ausgabe wie zuvor:

7.530000

2.240000e+001

HINWEIS

Falls Sie als Bezeichner für Ihre Konstanten wie im Beispiel FIXED bzw. SCIENTIFIC gewählt haben, schreiben Sie diese unbedingt in Versalien. Ansonsten korrelieren diese unter Umständen mit den Manipulatoren fixed und scientific (siehe nächster Abschnitt).

Die Namen von Manipulatoren sind zwar keine Schlüsselwörter, sodass sie als Bezeichner für Ihre eigenen Datenobjekte grundsätzlich in Frage kommen. Nichtsdestotrotz besitzen sie eine vordefinierte Bedeutung. Sie laufen damit Gefahr, dass sich beide Bedeutungen – die der Manipulatoren und die Ihrer Konstanten – im Code überschneiden. Dies kann unter bestimmten Umständen zu unerwünschten Effekten führen.

```
…
const int fixed = 8192, scientific = 4096;
cout << fixed;
…
```

So kommt in der zweiten Anweisung des obigen Codestücks nicht der Manipulator fixed zum Zuge, sondern es wird der Wert 8192 ausgegeben.

14.3 Die Manipulatoren fixed und scientific

Etwas einfacher als `setiosflags()` und `resetiosflags()` sind die Manipulatoren `fixed` und `scientific` zu handhaben. Sie besitzen keine Parameter (heißt: Sie müssen Ihnen bei Gebrauch keine Informationen mitteilen), daher ist auch die Einbindung der Include-Datei *iomanip* nicht erforderlich.

HINWEIS

Es sei hier gesagt, dass es grundsätzlich keine Nachteile mit sich bringt, Headerdateien einzubinden. Solange die in ihnen definierten Elemente nicht im Code verwendet werden, hat dies keinen Einfluss auf die Größe der ausführbaren Datei.

Wie der Name schon sagt, bewirkt `fixed` eine Umstellung ins fixed-Format, entsprechend `scientific` ins scientific-Format:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << fixed;
   cout << 71.99;
}
```

Ausgabe: 71.990000

Analog:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << scientific;
   cout << 71.99;
}
```

Ausgabe: 7.199000e+001

Im Unterschied zu den Manipulatoren `setiosflags()` und `resetiosflags()` bewirkt eine Verwendung des jeweils anderen Manipulators (`fixed` bzw. `scientific`) eine Umstellung auf das entsprechende Format:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << scientific;
   cout << 71.99 << endl;
   cout << fixed << 71.99 << endl;
   cout << scientific << 71.99;
}
```

Ausgabe:

7.199000e+001

71.990000

7.199000e+001

Um zur Grundeinstellung zurückzukehren, müssen Sie allerdings auf `setiosflags()` bzw. `resetiosflags()` zurückgreifen.

14.4 setprecision()

Wie schon angedeutet ist es möglich, die Voreinstellung bezüglich der Anzahl von Stellen, die für die Ausgabe verwendet wird, zu ändern. Dies geschieht mit dem Manipulator `setprecision()`. Diesem ist bei Verwendung die Anzahl der gewünschten Stellen zu übergeben:

```
#include <iostream>
#include <iomanip>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout<< 1.234567 << endl;
   cout << setprecision(7);
   cout << 1.234567;
}
```

Ausgabe:

1.23457

1.234567

Alle Manipulatoren, denen beim Aufruf Werte zu übergeben sind, sind in der Headerdatei *iomanip* definiert. Daher müssen Sie diese Headerdatei mit der `#include`-Direktive einbinden, falls Sie `setprecision()` im Code verwenden wollen.

Per Default ist eine Genauigkeit von sechs Stellen eingestellt. Daher erfolgt die erste Ausgabe des Wertes `1.234567` auf sechs Stellen gerundet. `setprecision(7)` setzt die Genauigkeit auf sieben Stellen. Das heißt, es werden nunmehr sieben Stellen für die Ausgabe verwendet. Daher treten bei der folgenden Ausgabe des Wertes `1.234567` keine Rundungsfehler auf.

Beachten Sie, dass es sich auch hier wiederum um eine Einstellung handelt, die so lange bestehen bleibt, bis explizit etwas anderes festgelegt wird:

```
#include <iostream>
#include <iomanip>
using namespace std;
```

```
void main(void)
{
   cout<< 1.234567 << endl;
   cout << setprecision(7);
   cout << 1.234567 << endl;
   cout << 1.234567 << endl;
   cout << setprecision(6);
   cout << 1.234567 << endl;
}
```

Ausgabe:

1.23457

1.234567

1.234567

1.23457

Natürlich lässt sich der Wert für die Genauigkeit auch verringern:

```
#include <iostream>
#include <iomanip>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << setprecision(2);
   cout << 1.234567;
}
```

Ausgabe: 1.2

Falls weder das Format `fixed` noch das Format `scientific` eingestellt ist, also das Vorgabeformat verwendet wird, richtet sich die Wahl bezüglich der Exponentialdarstellung nach der Einstellung für die Genauigkeit (siehe Abschnitt 14.1 »Standardeinstellungen«). Da wir diesbezüglich bis dato von der Grundeinstellung (Genauigkeit von sechs Stellen) ausgegangen sind, war die im ersten Abschnitt genannte Regel hinreichend. Sie sei zur besseren Übersicht hier noch einmal wiedergegeben:

Ist – bezogen auf die Exponentialschreibweise mit einer Vorkommastelle – der Exponent kleiner als -4 oder **größer als 5**, erfolgt die Ausgabe in dieser, andernfalls in der gewohnten Form.

Im Hinblick auf eine Änderung der Genauigkeitseinstellung müssen wir diese Regel nun wie folgt ändern:

Ist – bezogen auf die Exponentialschreibweise mit einer Vorkommastelle – der Exponent kleiner als -4 oder **größer bzw. gleich der Genauigkeit,** erfolgt die Ausgabe in dieser, andernfalls in der gewohnten Form.

HINWEIS

Wobei mit »Genauigkeit« die Anzahl von Stellen gemeint ist, die von `cout` für die Ausgabe verwendet werden.

Für eine Genauigkeit von drei Stellen, heißt das also:

… der Exponent kleiner als -4 oder **größer bzw. gleich 3**, …

bzw.

… der Exponent kleiner als -4 oder **größer als 2**, …

```
#include <iostream>
#include <iomanip>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << setprecision(3);
   cout << 9901.79;
}
```

Ausgabe: 9.9e+003

Der Wert

```
9901.79
```

besitzt in Exponentialschreibweise bei einer Vorkommastelle den Exponenten 3:

$9.90179 * 10^3$

Da die Genauigkeit zuvor mit

```
cout << setprecision(3);
```

auf 3 eingestellt wurde, wird der Wert in Exponentialschreibweise – auf drei Stellen gerundet – dargestellt und würde folglich so aussehen:

```
9.90e+003
```

Da in dieser Form die Null keine Bedeutung für den tatsächlichen Wert besitzt, wird sie bei der Ausgabe ebenfalls nicht berücksichtigt (siehe Abschnitt 14.1 »Standardeinstellungen«), sodass die Ausgabe tatsächlich folgendes Aussehen hat:

```
9.9e+003
```

14.4.1 setprecision() in Verbindung mit scientific-/fixed-Format

Im fixed- oder im scientific-Format bezieht sich die Genauigkeit allein auf die Nachkommastellen. Das heißt, mit »Genauigkeit« ist die Anzahl von Stellen gemeint, die von `cout` für die Ausgabe des Nachkommateils verwendet werden:

```
#include <iostream>
#include <iomanip>
using namespace std;
```

```
void main(void)
{
   cout << setprecision(3);
   cout << scientific << 9901.79;
}
```

Ausgabe: 9.902e+003

Daher wird hier auf drei Nachkommastellen (!) gerundet, nicht auf drei Stellen insgesamt wie im Beispiel zuvor.

Für das fixed-Format ergeben sich bezüglich des Wertes `9901.79` unter der Genauigkeitseinstellung 3 keine Rundungsfehler:

```
#include <iostream>
#include <iomanip>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << setprecision(3);
   cout << fixed << 9901.79;
}
```

Ausgabe: 9901.790

Wie im Beispiel zu erkennen, werden – im fixed- bzw. im scientific-Format – fehlende Stellen im Nachkommateil mit Nullen aufgefüllt. Ausgegeben wird also nicht

9901.79

sondern

9901.790

14.4.2 Anzeige von Nachkommastellen begrenzen

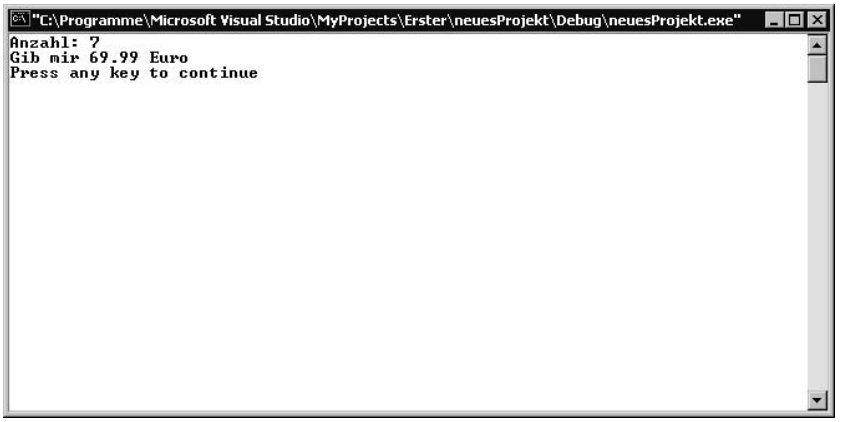
Die Anzahl der auszugebenden Nachkommastellen ist daher im fixed-Format – wie auch im scientific-Format – konstant, solange sich an der Genauigkeit nichts ändert. Dies lässt sich z.B. bei der Ausgabe von Eurobeträgen ausnutzen, die in der Regel mit zwei Stellen nach dem Komma (Punkt) erfolgen soll:

```
#include <iostream>
#include <iomanip>
using namespace std;

void main(void)
{
   const double preis = 9.999;
   int anzahl;
   cout << "Anzahl: ";
   cin >> anzahl;
```

```
   cout << setprecision(2) << fixed;
   cout << "Gib mir " << preis * anzahl
        << " Euro" << endl;
}
```

Bei einer Stückzahl von 7 verlangt das Programm 69.99 Euro (siehe Abbildung 14.1) – und nicht etwa 69.993 Euro.

Bild 14.1: Ausgabe des Eurobetrags mit zwei Nachkommastellen



An welcher Stelle und in welcher Reihenfolge die beiden Manipulatoren `fixed` und `setprecision()` im Code verwendet werden, spielt natürlich keine Rolle, solange dies vor der Ausgabe des Gesamtpreises (`preis * anzahl`) geschieht. In diesem Sinne lassen sich beide Manipulatoren sogar direkt in den letzten Ausgabestring einbauen:

```
cout << "Gib mir " << fixed << setprecision(2)
     << preis * anzahl << " Euro" << endl;
```

Nun können Sie auch die Ausgabe Ihres Mehrwertsteuerprogramms vom letzten Kapitel auf zwei Nachkommastellen beschränken:

```
#include <iostream>
#include <iomanip>
using namespace std;

void main(void)
{
   const double MWST = 0.16;
   double netto, mbetrag;
   cout << fixed << setprecision(2);
   cout << "Nettobetrag: ";
   cin >> netto;
   mbetrag = netto * MWST;
   cout << "Mwst: " << mbetrag;
   cout << endl << "Gesamtbetrag: ";
   cout << netto + mbetrag << endl;
}
```

Die Ausgabe für den Eingabewert `1000.10` ist Abbildung 14.2 zu entnehmen. Die Ausgabe unterscheidet sich von der im letzten Kapitel gezeigten allein im Mehrwertsteuerbetrag – hier `160.02` statt `160.016`.

Bild 14.2: Programm zur Berechnung der Mehrwertsteuer

So viel zu Gleitkommawerten. Denken Sie daran, dass sich die obigen Ausführungen auch nur auf solche beziehen. Ganzzahlige Datentypen – gemeint sind Werte dieser Typen, also z.B. `int`-Werte – werden z.B. nie in exponentialer Form dargestellt.

14.5 Feldbreite setzen

Hier noch einige weitere Formatierungsmöglichkeiten. Eine davon bezieht sich auf die Feldbreite. Das ist die Anzahl von Stellen, die für die Ausgabe eines Wertes vorgesehen ist. Wenn nichts anderes bestimmt ist, nimmt jeder Wert in der Ausgabe genau so viel Platz ein, wie er eben von seiner Größe her beansprucht, also die Zahl `123` exakt drei Stellen, die Zeichenkette `"C++"` ebenfalls drei Stellen (die Begrenzungszeichen erscheinen ja nicht in der Ausgabe), `123.45` genau sechs Stellen. Ebenso gut kann man sagen, die entsprechenden Felder sind drei bzw. sechs Stellen groß (breit).

Die Zeichenkette

```
"   Weiter mit C++   "
```

nimmt bei der Ausgabe 20 Stellen in Anspruch, da die drei führenden und die drei abschließenden Leerzeichen ebenfalls ausgegeben werden. In Anbetracht dessen ließe sich eine Erweiterung der Feldbreite auch mittels Leerzeichen erreichen – was allerdings etwas aufwändig bzw. umständlich erscheint.

Einfacher geht es mit dem Manipulator `setw()`. Übergeben Sie diesem die gewünschte Feldbreite als `int`-Wert. Mit

```
setw(8)
```

wird also die Feldbreite auf acht Stellen eingestellt. Die Ausgabe erfolgt rechtsbündig.

TIPP

Eine feste Feldbreite mit rechtsbündiger Ausgabe ist beispielsweise zur Ausgabe von Zahlenwerten in tabellarischer Form nützlich.

Zu berücksichtigen ist, dass sich `setw()` nur auf den nächsten auszugebenden Wert bezieht. Falls Sie die Feldbreite für darauf folgende Ausgabewerte ebenfalls neu definieren wollen, müssen Sie `setw()` für jeden Ausgabewert erneut verwenden:

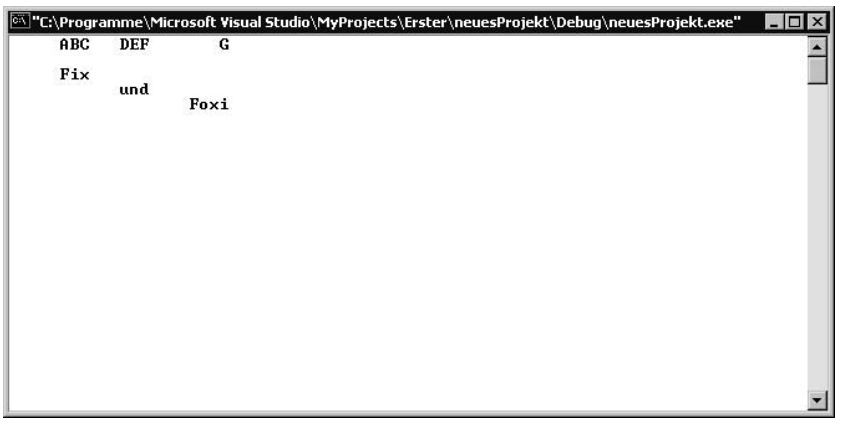
```
#include <iostream>
#include <iomanip>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << setw(8) << "ABC";
   cout << setw(6) << "DEF";
   cout << setw(8) << "G"
        << endl << endl;
   cout << setw(8) << "Fix" << endl;
   cout << setw(14) << "und" << endl;
   cout << setw(22) << "Foxi" << endl;
}
```

HINWEIS

Es sei noch einmal darauf hingewiesen, dass für Manipulatoren mit Parametern, also auch für `setw()`, die Headerdatei *iomanip* einzubinden ist.

Die Ausgabe entspricht Abbildung 14.3.

Bild 14.3: Ausgabe mit veränderter Feldbreite



Sollte die angegebene Größe für den auszugebenden Wert nicht ausreichen, werden die überzähligen Stellen nicht etwa abgeschnitten, sondern die Feldbreite wird automatisch erweitert:

```
#include <iostream>
#include <iomanip>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << setw(3) << "Donald Duck";
}
```

Ausgabe: `Donald Duck`

Obiges Listing erzeugt daher die Ausgabe `Donald Duck`, nicht etwa `Don`. Der Manipulator `setw(3)` wird praktisch ignoriert. Der Parameter `3` gibt also die Mindestbreite des Feldes an.

14.5.1 Füllzeichen festlegen mit setfill()

In diesem Zusammenhang sei ein weiterer Manipulator genannt: `setfill()`. Mit diesem lassen sich die freien Stellen eines Feldes mit Füllzeichen ausgeben. Das gewünschte Füllzeichen wird dazu `setfill()` als `char`-Wert übergeben, z.B. in der Form

```
setfill('*')
```

Hier handelt es sich dagegen um eine Einstellung, die so lange bestehen bleibt, bis im Code etwas anderes festgelegt wird, z.B. mit der Anweisung

```
cout << setfill(' ');
```

um wieder auf Leerzeichen umzuschalten. Dieses ist schließlich das Standardfüllzeichen.

```
#include <iostream>
#include <iomanip>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << setfill('.');
   cout << setw(8) << "ABC";
   cout << setw(6) << "DEF";
   cout << setw(8) << "G"
        << endl << endl;
   cout << setw(8) << "Fix" << endl;
   cout << setw(14) << "und" << endl;
   cout << setw(22) << "Foxi" << endl;
}
```

Die Ausgabe sehen Sie in Abbildung 14.4.

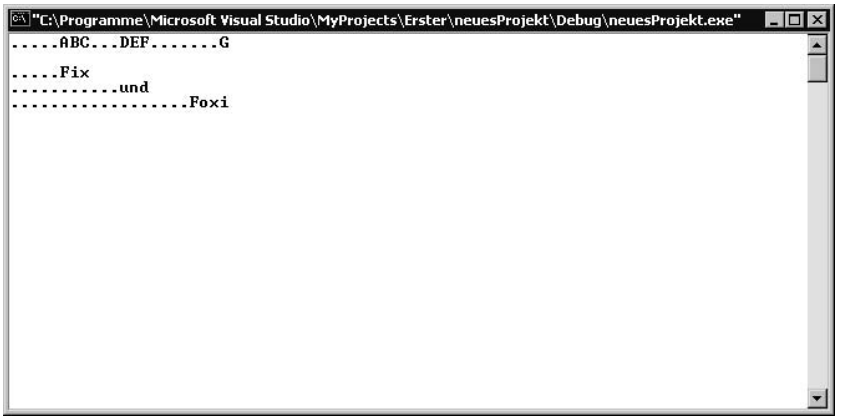


Bild 14.4: Ausgabe mit dem Punkt als Füllzeichen

14.5.2 Ausgaben linksbündig/rechtsbündig ausrichten mit left/right

Mit den Manipulatoren `left` und `right` können Sie die Ausrichtung der Ausgabe innerhalb eines Feldes bestimmen:

```
#include <iostream>
#include <iomanip>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << setfill('*') << left;
   cout << setw(15) << "A" << endl;
   cout << setw(14) << "AB" << endl;
   cout << setw(13) << "ABC" << endl;
   cout << setw(12) << "ABCD" << endl;
   cout << setw(11) << "ABCDE" << endl;
   cout << setw(10) << "ABCDEF" << endl;
   cout << setw(9) << "ABCDEFG" << endl;
   cout << "ABCDEFGH" << endl;
   cout << setw(9) << "ABCDEFG" << endl;
   cout << setw(10) << "ABCDEF" << endl;
   cout << setw(11) << "ABCDE" << endl;
   cout << setw(12) << "ABCD" << endl;
   cout << setw(13) << "ABC" << endl;
   cout << setw(14) << "AB" << endl;
   cout << setw(15) << "A" << endl;
}
```

Der Manipulator `left` bewirkt, dass alle nachfolgenden Ausgaben linksbündig ausgerichtet werden.

Eine anschließende Verwendung des Manipulators `right` würde die Ausrichtung innerhalb der Felder wieder auf rechtsbündig umstellen.

Bild 14.5: Die Ausgabe erfolgt innerhalb der Felder linksbündig

HINWEIS

Wie Sie weiter oben gesehen haben, erfolgt die Ausgabe innerhalb eines Feldes standardmäßig rechtsbündig. Insofern die Feldbreite den auszugebenden Zeichen entspricht – was in der Grundeinstellung der Fall ist –, spielt die Ausrichtung natürlich keine Rolle.

HINWEIS

Falls Ihr Compiler mit den Manipulatoren `left` und `right` nicht zurechtkommt, sei Ihnen die Methode `setf()` von `cout` empfohlen, auf die hier ansonsten nicht weiter eingegangen werden soll. Verwenden Sie diese in einer separaten Anweisung wie folgt:

Um die Ausgabe in den Feldern rechtsbündig auszurichten:

```
cout.setf(ios_base::right, ios_base::adjustfield);
```

Um die Ausgabe in den Feldern linksbündig auszurichten:

```
cout.setf(ios_base::left, ios_base::adjustfield);
```

Bei weniger aktuellen Compilern kann es sein, dass `ios` statt `ios_base` geschrieben werden muss:

```
cout.setf(ios::right, ios::adjustfield);
```

bzw.

```
cout.setf(ios::left, ios::adjustfield);
```

15 Datentypen

Sie haben in den letzten Kapiteln schon einiges über Datentypen und Konstanten erfahren. Darauf aufbauend finden Sie in diesem Kapitel eine abschließende Darstellung aller Standarddatentypen von C++ sowie noch einiges Wissenswerte zum Thema Literale.

15.1 Welche Datentypen gibt es noch?

Die Antwort lautet: Nicht mehr viele. Die meisten haben Sie bereits kennen gelernt. Vor allem ist hier noch der Datentyp `bool` – nach dem Mathematiker George Boole, man spricht auch vom booleschen Datentyp – zu nennen. Sein Wertebereich umfasst ausschließlich die beiden Wahrheitswerte `true` (für wahr) und `false` (für falsch).

Wie an anderer Stelle bereits erwähnt, sind `true` und `false` vordefinierte Konstanten, die Sie im Code bei Bedarf verwenden können, z.B. um eine boolesche Variable zu initialisieren:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   bool aktiv = true;
   cout << aktiv;
}
```

Ausgabe: `1`

Die Deklaration einer booleschen Variablen erfolgt in der gewohnten Form. Zur Angabe des Datentyps wird das Schlüsselwort `bool` verwendet, `aktiv` ist hier der Bezeichner der Variablen.

Die interne Repräsentation der beiden Wahrheitswerte ist `1` (für wahr) und `0` (für falsch). Diese Werte werden auch von `cout` bei der Ausgabe benutzt. Dementsprechend lautet die Ausgabe im obigen Beispiel `1`, nicht `true`. Tatsächlich handelt es sich bei `bool` ebenfalls um einen ganzzahligen Datentyp – der sich eben nur auf zwei Werte erstreckt.

TIPP

Daher ließe sich im Beispiel die Variable `aktiv` ebenso mit

```
bool aktiv = 1;
```

initialisieren.

Es ist jedoch ratsam, im Quellcode zur Darstellung von Wahrheitswerten die vordefinierten Konstanten `true` und `false` zu benutzen. Diese besitzen gegenüber numerischen Literalen den Vorteil der Eindeutigkeit, was sich positiv auf die Nachvollziehbarkeit des Quellcodes auswirkt.

Damit kennen Sie die fünf Grundtypen `bool`, `char`, `int`, `float` und `double`.

Tabelle 15.1: Grundtypen

Datentyp	Beschreibung
`bool`	Wahrheitswerte true (wahr) oder false (falsch)
`char`	einzelne Zeichen, z.B. 'A', '§', '\n'
`int`	ganze Zahlen
`float`	Gleitkommawerte einfacher Genauigkeit
`double`	Gleitkommawerte doppelter Genauigkeit

HINWEIS

Der Datentyp `string` ist nicht aufgeführt, da es sich bei diesem, wie Sie ja wissen, nicht um einen elementaren Datentyp, sondern um eine vordefinierte Klasse handelt.

HINWEIS

Dem booleschen Datentyp kommt im Zusammenhang mit Kontrollstrukturen eine besondere Bedeutung zu. Kontrollstrukturen bilden das Thema des 17. und 18. Kapitels.

15.1.1 Datentypqualifizierer

Alle weiteren Standarddatentypen sind von einigen der genannten Grundtypen abgeleitet und zwar mit den Qualifizierern `short`, `long` bzw. `signed` oder `unsigned`.

Als Beispiel sei der Datentyp `long double` genannt, auf den wir an anderer Stelle bereits hingewiesen haben. Es handelt sich wie bei `float` und `double` um einen Datentyp zur Darstellung von Gleitkommawerten. Wie am Attribut `long` zu erkennen ist, besitzt der Datentyp `long double` einen größeren Wertebereich und auch eine größere Genauigkeit als `double`, was allerdings vom verwendeten Compiler abhängt. Der C++-Standard (siehe hierzu Abschnitt 6.3.2 »ANSI/ISO-Standard«) schreibt lediglich vor, dass der Datentyp `long double` mindestens so groß sein muss wie der Datentyp `double`.

Tatsächlich behandeln viele Compiler `long double` genauso wie `double`, was auch auf den Visual C++-Compiler zutrifft. Dort sind Variablen des Datentyps `double` wie auch Variablen des Datentyps `long double` 8 Byte groß. Andere Compiler, z.B. der von Borland, reservieren für eine `long double`-Variable 10 Byte – im Gegensatz zu 8 Byte für `double`. Dementsprechend erstreckt sich dort der Wertebereich von `long double` von $\pm 1.2 * 10^{-4932}$ bis $\pm 1.2 * 10^{4932}$ mit einer Genauigkeit von 18 Stellen.

HINWEIS

Der Wertebereich von `double` bei einer Größe von 8 Byte:

$\pm 1.7 * 10^{-308}$ bis $\pm 1.7 * 10^{308}$ mit einer Genauigkeit von 15 Stellen (siehe auch Abschnitt 13.2 »Literale zur Darstellung von Zahlen mit Nachkommastellen«).

Die Deklaration einer Variablen vom Typ `long double` erfolgt unter Angabe von beiden Schlüsselwörtern – schließlich heißt der Datentyp ja auch `long double`.

Im folgenden Listing wird eine Variable `betrag` vom Typ `long double` deklariert und mit dem Wert `9872.789` initialisiert. Anschließend wird die Variable `betrag` an `cout` übergeben:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   long double betrag = 9872.789;
   cout << betrag;
}
```

Ausgabe: `9872.79`

Damit sind alle Standarddatentypen zur Darstellung von Gleitkommawerten genannt.

Tabelle 15.2: Gleitkommadatentypen

Datentyp	Größe	Wertebereich
`float`	4 Byte	$\pm 3.4 * 10^{-38}$ bis $\pm 3.4 * 10^{38}$
`double`	8 Byte	$\pm 1.7 * 10^{-308}$ bis $\pm 1.7 * 10^{308}$
`long double`	10 Byte	$\pm 1.2 * 10^{-4932}$ bis $\pm 1.2 * 10^{4932}$

Bei den Größenangaben handelt es sich um Regelwerte. Für `double` schreibt der C++-Standard als Mindestgröße die von `float`, als Obergrenze die Größe von `long double` vor; `float` muss mindestens so groß sein wie `int`. Das Übrige hängt vom Compiler ab. Die Datentypen `float` und `double` sind jedoch durchweg 4 bzw. 8 Byte groß. Hinsichtlich der Größe von `long double` gilt das weiter oben Gesagte (meist 8 oder 10 Byte).

Kommen wir zu den ganzzahligen Datentypen, zu denen außer `bool` und `char` – Zeichen werden ja intern ebenfalls als ganzzahlige Werte gespeichert – vor allem der Datentyp `int` zählt. In Verbindung mit dem Schlüsselwort `int` ergibt der Qualifizierer `long` den Typ `long int`. Für diesen ist eine Größe von 4 Byte vorgeschrieben.

Eine `int`-Variable ist je nach System und verwendetem Compiler 2 bzw. 4 Byte groß. In einer 32-Bit-Umgebung, die heutzutage die Regel ist,

kann man jedoch 4 Byte annehmen. Um aber ganz sicherzugehen, lässt sich auch der Datentyp `long int` verwenden. Ein Datenobjekt vom Typ `long int` ist – unabhängig vom System – immer 4 Byte groß.

Alternativ zu `long int` können Sie auch nur `long` schreiben. Die Deklaration kann also lauten:

```
long int zahl;
```

oder

```
long zahl;
```

Vielfach spricht man auch nur vom Datentyp `long`. Gemeint ist dasselbe. Wie gesagt, alles, was Sie über den Datentyp `int` wissen, gilt auch für `long` – mit dem einzigen Unterschied, dass für diesen Datentyp eine Größe von 4 Byte sichergestellt ist.

Analoges gilt für den Datentyp `short int`. Ein Datenobjekt dieses Typs ist stets 2 Byte groß, nie 4 Byte. Damit sind 65536 ganze Zahlen darstellbar. Für einen vorzeichenbehafteten Datentyp `short int` ergibt sich daraus ein Wertebereich von `-32768` bis `+32767` (auf eine nicht vorzeichenbehaftete Abwandlung dieses Datentyps wie auch anderer Integertypen bzw. des Typs `char` werden wir gleich zu sprechen kommen).

Auch hier gilt: Der Datentyp heißt `short int` oder kurz `short`. Dementsprechend können Sie eine `short`-Variable deklarieren mit

```
short int nummer;
```

oder

```
short nummer;
```

HINWEIS

Die Qualifizierer `short` und `long` treten also in folgenden Datentypbezeichnungen auf:

`short int` (alternativ: `short`)

`long int` (alternativ: `long`)

`long double`

Nun zu den Qualifizierern `signed` und `unsigned`. Falls bei der Deklaration nicht explizit `unsigned` angegeben ist, werden die Datentypen `short`, `int`, `long` und in der Regel auch `char` vom Compiler als `signed` – vorzeichenbehaftet – behandelt. Das heißt, die Hälfte des zur Verfügung stehenden Speicherplatzes wird für die Darstellung von negativen Zahlen verwendet.

HINWEIS

Die Zahl `0` wird bei dieser Betrachtung zu den positiven Zahlen gerechnet. Daher ist die kleinste darstellbare Zahl im Betrag immer um eins größer (für den Datentyp `short` ist das die Zahl `-32768`) als ihr Gegenstück im positiven Bereich (bei `short` der Wert `32767`).

Wie gesagt, gilt dies nur für ganzzahlige Datentypen – vom Datentyp `bool` einmal abgesehen, der immer `unsigned` ist (Werte `0` und `1` bzw. `true` und `false`). Gleitkommawerte (Typen `float`, `double` und `long double`) werden intern anders dargestellt als ganzzahlige Werte.

Allerdings könnten Sie das Schlüsselwort `signed` – obwohl dies nicht notwendig ist – bei der Deklaration mit angeben:

```
signed int z;
```

ebenso wie

```
int z;
```

deklariert also eine Variable `z` vom Datentyp `int`.

Analog

```
signed short int x;
```

bzw.

```
signed short x;
```

bzw.

```
short x;
```

sowie

```
signed long int y;
```

bzw.

```
signed long y;
```

bzw.

```
long y;
```

Beachten Sie, dass die Qualifizierer `signed` und `unsigned` nur in Verbindung mit Integertypen (`short`, `int`, `long`) und `char` verwendet werden dürfen.

Zwar besitzen Gleitkommatypen immer einen negativen Bereich, dennoch dürfen Sie nicht schreiben

```
signed float myFloat;  // FEHLER
```

und natürlich noch weniger

```
unsigned float myFloat;  // FEHLER
```

Der Borland-Compiler reagiert mit Fehlermeldungen. Beim Visual C++-Compiler hat dies Warnmeldungen und möglicherweise fehlerhafte Berechnungsergebnisse zur Folge – was die ungünstigere Variante darstellt.

Die Bezeichnungen `signed short`, `signed short int`, `signed int` usw. sind also lediglich alternative Namen für die entsprechenden Datentypen `short` bzw. `int`.

Anders verhält es sich dagegen mit den Datentypen `unsigned short` (entspricht `unsigned short int`), `unsigned int`, `unsigned long` (entspricht `unsigned long int`) und `unsigned char`. Diese sind nicht vorzeichenbehaftet. Das heißt, der zur Verfügung stehende Speicherplatz wird ausschließlich zur Darstellung von positiven Werten verwendet. Dementsprechend sind mit diesen Typen doppelt so viele positive Zahlen darstellbar. So besitzt der Datentyp `unsigned short` einen Wertebereich von `0` bis `65535` (zum Vergleich der Wertebereich des Datentyps `short`: `-32768` bis `32767`).

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   unsigned short zahl = 65535;
   cout << zahl;
}
```

Ausgabe: `65535`

Tabelle 15.3 enthält eine Zusammenstellung aller ganzzahligen Datentypen mit alternativen Namen für einen Datentyp (z.B. `short int` bzw. `signed short` bzw. `signed short int` für `short`). Die alternativen Namen beziehen sich jeweils auf die obere Zeile.

Tabelle 15.3: Ganzzahlige Datentypen

Datentyp	Größe	Wertebereich
`bool`	1 Byte	Wahrheitswerte `true` bzw. 1, `false` bzw. 0
`char`	1 Byte	-128 bis 127
`signed char`		
`unsigned char`	1 Byte	0 bis 255
`short`	2 Byte	-32768 bis 32767
`short int, signed short, signed short int`		
`unsigned short`	2 Byte	0 bis 65535
`unsigned short int`		
`int`	2 bzw. 4 Byte	wie `short` bzw. `long`
`signed int`		
`unsigned int`	2 bzw. 4 Byte	wie `unsigned short` bzw. `unsigned long`

Tabelle 15.3: Ganzzahlige Datentypen (Forts.)

Datentyp	Größe	Wertebereich
`long`	4 Byte	-2147483648 bis 2147483647
`long int, signed long, signed long int`		
`unsigned long`	4 Byte	0 bis 4294967295
`unsigned long int`		

HINWEIS

Es sei noch erwähnt, dass einige wenige Compiler den Datentyp `char` auch als `unsigned` behandeln – was weder auf den Borland- noch auf den Visual C++-Compiler zutrifft.

15.2 Literale

Literale sind Konstanten, die auf direkte Weise – nicht in symbolischer Form – im Quellcode einen Wert repräsentieren (siehe auch Abschnitt 12.1 »Was ist ein Ausdruck?«). Auch jedem Literal ist einer der oben angegebenen Datentypen zuzuordnen – wie grundsätzlich jedem Wert, unabhängig davon, wie dieser im Code repräsentiert ist.

Das Wesentliche diesbezüglich ist Ihnen inzwischen bekannt, z.B. dass `char`-Literale vom Compiler an den einfachen Anführungszeichen (z.B. `'A'`) und Zeichenketten an den doppelten Anführungszeichen (`"ABC"`) erkannt werden.

HINWEIS

In Abschnitt 20.1 »Wie Zeichenketten dargestellt werden« werden Sie erfahren, dass Zeichenketten eigentlich `char`-Arrays mit dem Endezeichen `\0` sind.

Erwähnung verdient noch die Tatsache, dass zwischen den doppelten Anführungszeichen auch nur ein einziges Zeichen stehen darf. Das Literal

```
"A"
```

ist also ebenfalls eine Zeichenkette. Entscheidend sind allein die Begrenzungszeichen (`""`). Genau genommen handelt es sich um zwei Zeichen, da zur internen Darstellung noch das Endezeichen `\0` angefügt wird. Aus dem gleichen Grund besteht die Ihnen bekannte leere Zeichenkette (`""`, siehe Abschnitt 10.1 »Die Escape-Sequenzen \", \' und \\«) tatsächlich aus einem Zeichen. Wie gesagt, dazu mehr in Kapitel 20.

Was die Ausgabe angeht, macht es keinen Unterschied, ob Sie ein einzelnes Zeichen als `char`-Literal oder als Zeichenkette in der Ausgabeanweisung schreiben:

```
#include <iostream>
using namespace std;
```

```
void main(void)
{
   cout << 'G' << endl;
   cout << "G" << endl;
}
```

Ausgabe:

```
G
G
```

15.2.1 Literale zur Darstellung von ganzzahligen Werten

Ganzzahlige Literale bestehen aus einer Folge von Ziffern, wobei es sich, nebenbei gesagt, nicht nur um dezimale, sondern auch um hexadezimale (Basis 16) und sogar oktale (Basis 8) Ziffern handeln kann. In der Regel werden Sie jedoch in Ihren Quelltexten dezimale Ziffern verwenden.

Beachten Sie aber, dass jede Zahl, die mit einer `0` beginnt, von Ihrem Compiler als oktale Zahl angesehen wird.

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << 08;  // FEHLER
}
```

Obiges Listing ist nicht kompilierbar. Ihr Compiler wird einen entsprechenden Versuch mit der Fehlermeldung beantworten, dass `8` keine gültige Ziffer für eine Oktalzahl ist.

Oktalsystem

Das Oktalsystem ist ein Zahlensystem zur Basis 8 und wird häufig als Alternative zum Hexadezimalsystem (Basis 16) verwendet. Da 8 eine direkte Zweierpotenz ist (2^3), harmoniert das Oktalsystem ebenso wie das Hexadezimalsystem (auch 16 ist eine direkte Zweierpotenz, konkret 2^4) hervorragend mit der binären Arbeitsweise des Computers. Ein Vorteil des Oktalsystems ist, dass es nur acht Ziffern (0 bis 7) kennt und daher im Unterschied zum Hexadezimalsystem ohne die Einführung zusätzlicher Buchstaben (A-F) auskommt. Ein Nachteil ist, dass längere Zahlwerte entstehen: So lässt sich jeder 1-Byte-Wert im Hexadezimalsystem mit maximal zwei Ziffern ausdrücken (0 bis FF), im Oktalsystem benötigt man dagegen bis zu drei (0 bis 377) wie auch übrigens im Dezimalsystem (0 bis 255). Zum Hexadezimalsystem siehe auch Abschnitt 10.3 »Darstellung von Zeichen mittels Escape-Sequenzen«.

In anderen Fällen, falls die Zahl als gültige Oktalzahl interpretierbar ist, führt dies meist zu unerwünschten Ergebnissen – es sei denn, die Notation in oktaler Form ist beabsichtigt:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << 071;
}
```

Ausgabe: `57`

Da der Oktalzahl 71 der dezimale Wert 57 entspricht, erscheint dieser in der Ausgabe.

Möglicherweise haben Sie sich schon gefragt, welchen Datentyp ein ganzzahliges Literal hat. Schließlich stehen ja drei zur Auswahl: `short`, `int` und `long`. Mit `unsigned short`, `unsigned int` und `unsigned long` sind es sogar sechs. Es gilt:

- Solange eine ganzzahlige Konstante von der Größe her in den Datentyp `int` passt, hat sie diesen Datentyp.
- Passt sie nicht in den Datentyp `int`, aber in den Datentyp `unsigned int` (weil es sich um eine etwas größere, positive Zahl handelt), besitzt sie den Datentyp `unsigned int`.
- Passt sie weder in `int` noch in `unsigned int`, hat sie den Datentyp `long`.
- Handelt es sich um eine positive Zahl und ist deren Wert so groß, dass er auch nicht vom Datentyp `long` darstellbar ist, so besitzt die Konstante den Datentyp `unsigned long`.

Die Reihenfolge ist also `int` -> `unsigned int` -> `long` -> `unsigned long`. In der Regel haben Sie es jedoch mit `int`-Literalen zu tun, da dieser Datentyp in der 4-Byte-Variante schließlich einen Wertebereich besitzt, der mit dem von `long` identisch ist.

Die Literale

```
-3
2147483647
0
-99898765
25
```

sind z.B. alle vom Datentyp `int`. Dagegen besitzt das Literal

```
3147411649
```

den Datentyp `unsigned int`.

Demzufolge treten in dieser Form Literale vom Typ `long` im Code überhaupt nicht auf, falls der `int`-Datentyp 4 Byte groß ist. Es ist jedoch mög-

lich, durch Anhängen des Suffixes `L` oder `l` den Datentyp `long` zu erzwingen. Die Literale

```
-3L
0L
25l
-3l
```

sind also alle vom Datentyp `long`:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   long zahl = 12L;
   cout << zahl;
}
```

Ausgabe: `12`

Das Suffix `U` bzw. `u` forciert den Datentyp `unsigned int`, gegebenenfalls den Datentyp `unsigned long`, falls der Wert nicht in den Datentyp `unsigned int` passt:

```
unsigned int zahl = 2004U;
```

Die Suffixe `L` bzw. `l` und `U` bzw. `u` können auch in beliebiger Kombination auftreten. Die Literale

```
3ul
177782lu
0Lu
99898765UL
25uL
```

besitzen somit alle den Datentyp `unsigned long`.

HINWEIS

Natürlich ergibt es keinen Sinn, das Suffix `U` bzw. `u` auf ein vorzeichenbehaftetes Literal anzuwenden.

```
-2005U  // ???
```

In der Regel wird das Suffix `U` bzw. `u` im Zusammenhang mit negativen Zahlen vom Compiler einfach ignoriert. Der Borland-Compiler tut dies mit einer Warnmeldung kund.

15.2.2 Gleitkommaliterale

Was Gleitkommaliterale angeht, haben Sie das meiste schon gehört (siehe Abschnitt 13.2 »Literale zur Darstellung von Zahlen mit Nachkommastellen«). Entscheidend für die Qualifizierung als Gleitkommaliteral ist allein der Dezimalpunkt. Daher handelt es sich bei den Literalen

```
2.0
2.
.11
0.11
```

durchgehend um Gleitkommaliterale, von denen die ersten beiden (`2.0` und `2.`) genauso wie die letzten beiden (`.11` und `0.11`) jeweils denselben Wert repräsentieren. Erwähnenswert ist die Tatsache, dass `2.0` bzw. `2.` Gleitkommaliterale sind, obwohl diese für einen ganzzahligen Wert stehen. Ausschlaggebend hierfür ist, wie gesagt, allein der Punkt.

Gleitkommaliterale besitzen den Datentyp `double`, unter bestimmten Voraussetzungen `long double` (falls der Wert zu groß für `double` und der Datentyp `long double` entsprechend groß ist).

Durch Anhängen des Suffixes `F` bzw. `f` kann allerdings der Datentyp `float` forciert werden (siehe Abschnitt 13.2 »Literale zur Darstellung von Zahlen mit Nachkommastellen«).

```
6739.22F
-75.656f
```

So viel zu Literalen bzw. deren Zuordnung zu einem bestimmten Datentyp. Zur Verdeutlichung des oben Dargelegten hier noch ein paar Beispiele:

```
"1"
'1'
1
1L
1.
1.0
1.f
1.0f
```

Das erste Literal ist eine Zeichenkette (`"1"`), das zweite besitzt den Datentyp `char` (`'1'`), das dritte `int` (`1`), das vierte `long` (`1L`), das fünfte (`1.`) und sechste (`1.0`) sind vom Datentyp `double`, das siebte (`1.f`) und auch das achte (`1.0f`) weisen den Datentyp `float` auf.

16 Typumwandlungen

Dass C++ eine stark typisierte Programmiersprache ist, ist Ihnen mittlerweile hinreichend bekannt und im Wesentlichen wissen Sie auch, wie mit den elementaren Datentypen umzugehen ist. In diesem Kapitel geht es um Typumwandlungen. Diese können sowohl implizit als auch explizit erfolgen. Was das zu bedeuten hat, erfahren Sie jetzt.

16.1 Implizite Typumwandlungen

Wie Ihnen bekannt ist, kann eine Variable entsprechend ihrer Vereinbarung nur Werte eines bestimmten Typs aufnehmen. Daher dürfen z.B. in einer Variablen des Datentyps `double` ausschließlich Werte dieses Typs gespeichert werden, und eine `char`-Variable ist allein zur Aufnahme von einzelnen Zeichen vorgesehen, also von Werten des Typs `char`.

Demnach ist z.B. bei einer Zuweisung grundsätzlich darauf zu achten, dass der Wert rechts vom Zuweisungsoperator den Datentyp der Zielvariablen besitzt:

```
double x;
x = 275.99
```

Dennoch lässt sich folgendes Listing problemlos kompilieren und ausführen, obwohl der Variablen `zahl`, die vom Typ `double` ist, scheinbar ein `int`-Wert zugewiesen wird:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   double zahl = 19;
   cout << zahl;
}
```

Ausgabe: `19`

Es ist so, dass in bestimmten Fällen, in denen C++ es als vertretbar ansieht, automatische Typumwandlungen stattfinden. C++ ist diesbezüglich allerdings sehr großzügig – die Verantwortung liegt daher beim Programmierer.

HINWEIS

Eine Umwandlung eines Datentyps in einen anderen wird auch »Konvertierung« genannt. Falls diese automatisch erfolgt, spricht man von »impliziter Typkonvertierung«. Das Gegenstück dazu ist die »explizite Konvertierung«, die der Programmierer im Code forcieren kann (siehe dazu Abschnitt 16.4 »Explizite Typumwandlungen«).

Die Variable `zahl` hat also nicht etwa ihren Datentyp geändert, sondern der Integerwert `19` wurde vor der eigentlichen Zuweisung in den `double`-Wert `19.0` umgewandelt.

Falls auf der rechten Seite der genannten Zuweisung anstelle des Literals eine Variable steht, verhält sich das nicht anders:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int myInt = 19;
   double zahl = myInt;
   cout << zahl;
}
```

Ausgabe: `19`

Bei Ausführung der Zuweisung

```
double zahl = myInt;
```

wird die Variable `myInt` zunächst gelesen. Anschließend wird der somit erhaltene Wert (`19`) in den passenden Datentyp (`19.0`) umgewandelt.

In der Regel sind solche Konvertierungen unproblematisch, wenn der Wertebereich des Zieldatentyps größer ist als der des Quelldatentyps. Für das obige Beispiel trifft dies zu (Quelldatentyp ist `int`, Zieldatentyp ist `double`). Dennoch sollten Sie sich im Allgemeinen nicht auf implizite Typumwandlungen verlassen. In der Regel sind diese vermeidbar. Niemand hindert Sie schließlich daran, im Code anstelle von

```
double zahl = 19;
```

gleich den passenden Datentyp zu verwenden:

```
double zahl = 19.0;
```

HINWEIS

Allerdings stehen keine Literale des Datentyps `short` zur Verfügung, sodass Sie sich nötigenfalls mit Literalen des Datentyps `int` behelfen müssen – was aber gänzlich unproblematisch ist.

```
short kleineZahl = 45;
```

Außerdem können Sie dem Compiler auch ausdrücklich mitteilen, was Sie tun wollen (dazu gleich mehr in Abschnitt 16.4 »Explizite Typumwandlungen«):

```
short kleineZahl = static_cast<short> (45);
```

16.1.1 Konvertierung von char nach int

Besondere Erwähnung verdient die Konvertierung zwischen `char` und `int`. Wie Sie ja wissen, zählt `char` ebenfalls zu den ganzzahligen Datentypen. Der Grund dafür ist, dass Zeichen intern als ganzzahlige Werte repräsentiert werden. Nach der Zuweisung

```
char c = 'A';
```

landet z.B. nicht der Buchstabe `'A'` in der Variablen `c`, sondern der numerische Wert `65`, der der Ordnungszahl des Zeichens `'A'` im ASCII-Code entspricht. Beim Zugriff auf die Variable im Zuge von Ausgabe- oder anderen Operationen wird der gespeicherte Zahlenwert nötigenfalls wieder in das korrespondierende Zeichen umgewandelt.

Andererseits ist es durchaus möglich, mit einer `char`-Variablen Rechenoperationen durchzuführen (dazu mehr im nächsten Abschnitt) oder ihren Wert z.B. einer Integervariablen zuzuweisen:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   char c = 'B';
   int ord = c;
   cout << ord;
}
```

Ausgabe: `66`

Nach der Zuweisung `ord = c` enthält `ord` den Zahlenwert, der dem Zeichen `'B'` entspricht. Letzteres ist zu diesem Zeitpunkt in der Variablen `c` enthalten. Da in der Ausgabeanweisung die Integervariable `ord` verwendet wird, wird dieser Wert als Zahl angezeigt. Gibt man dagegen dort die Variable `c` an, erscheint dieser Wert in der Ausgabe als Zeichen.

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   char c = 'B';
   int ord = c;
   cout << c;
}
```

Ausgabe: `B`

Es stellt sich die Frage, wie `cout` Kenntnis darüber erlangt, dass die Variable `ord` bzw. deren Wert als Zahl, der Wert von `c` dagegen als Zeichen behandelt werden muss. Letzten Endes sind ja alle Werte in binärer Form gespeichert, also mit einer Folge aus einzelnen Bits, von denen jedes entweder den Wert `0` oder `1` annehmen kann.

Für die Interpretation eines Wertes als Zeichen, als Ganzzahl oder als Gleitkommazahl ist letztlich dessen Bitmuster entscheidend. So besteht z.B. eine `char`-Variable aus 8 Bit (entspricht 1 Byte), eine `int`-Variable in der Regel aus 32 Bit (4 Byte). Eine `float`-Variable beansprucht ebenfalls 32 Bit, von denen ein Teil als Mantisse, ein Teil als Exponent und ein Bit als Vorzeichen verwendet wird. Im Unterschied dazu wird bei ganzzahligen Datentypen die gesamte Bitfolge als ein numerischer Wert interpretiert.

HINWEIS

Ergänzend sei gesagt, dass bei `signed`-Datentypen das linke Bit, wenn es auf `1` gesetzt ist, einen negativen Wert anzeigt. Für `unsigned`-Typen steht dieses Bit zusätzlich zur Verfügung. Daher besitzen `unsigned`-Typen einen doppelt so großen positiven Wertebereich wie ihre entsprechenden `signed`-Typen.

Wenn ein Wert konvertiert wird, bedeutet das eigentlich, dass sich die Interpretation seines Bitmusters ändert. Das heißt in Bezug auf die Anweisung

```
int ord = c;
```

nichts anderes, als dass die in der `char`-Variablen `c` enthaltene Information auf eine Weise in der Variablen `ord` (an dem entsprechenden Speicherort im Arbeitsspeicher) abgelegt wird, die der Datentyp `int` vorschreibt. Wenn Ihr Compiler das für vertretbar hält, wird er die Zuweisung durchführen. Das heißt, er wird das Bitmuster des zuzuweisenden Wertes in einer Weise interpretieren, die dem Datentyp der Zielvariablen entspricht. Mit anderen Worten: Ihr Compiler wird die Typkonvertierung durchführen und zwar implizit, das heißt ohne dass Sie ihm dies durch entsprechende Sprachmittel im Code ausdrücklich mitgeteilt hätten.

Hier ein kleines Programm, das den Benutzer zur Eingabe eines Zeichens auffordert und ihm anschließend die Ordnungsnummer anzeigt, die diesem Zeichen im ASCII-Code entspricht:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   char c;
   int ord;
   cout << "Geben Sie ein Zeichen ein: ";
   cin >> c;
   ord = c;
   cout << "Ordnungsnummer: " << ord << endl;
}
```

Bei Eingabe des Zeichens »A« gibt das Programm die Ordnungsnummer `65`, bei Eingabe des Zeichens »9« die Ordnungsnummer `57` aus. Beides ist korrekt, da dem Zeichen `'9'` tatsächlich die Ordnungsnummer `57` im ASCII-Code entspricht.

Jedoch sollte obiges Programm auf die Eingabe des Zeichens »ß« hin eigentlich die Ordnungszahl 225 anzeigen, was leider nicht der Fall ist. Hingegen weist das Programm für dieses Zeichen den Wert -31 aus.

Das kommt daher, dass der char-Datentyp standardmäßig als signed behandelt wird. Somit werden die Zeichen des erweiterten ASCII-Codes als negative Werte abgelegt (zum ASCII-Code bzw. erweiterten ASCII-Code siehe Abschnitt 10.2 »ASCII-Code« sowie Abschnitt 10.3.1 »Ausgabe von Umlauten sowie des Zeichens ß«). Um das zu ändern, reicht es aus, bei der Deklaration der char-Variablen das Schlüsselwort unsigned zu verwenden:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   unsigned char c;
   int ord;
   cout << "Geben Sie ein Zeichen ein: ";
   cin >> c;
   ord = c;
   cout << "Ordnungsnummer: " << ord << endl;
}
```

Nach Eingabe des Zeichens »ß« weist das Programm nun richtigerweise die Ordnungszahl 225 aus.

Selbstverständlich sind auch Konvertierungen in die andere Richtung möglich, von int nach char. In Abwandlung des obigen Beispiels erwartet folgendes Programm die Eingabe der Ordnungszahl und gibt im Anschluss das zugehörige Zeichen aus:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   unsigned char c;
   int ord;
   cout << "Geben Sie die ASCII-Code-Nummer an: ";
   cin >> ord;
   c = ord;
   cout << "Das Zeichen mit der Ordnungsnummer "
        << ord << " ist " << c << endl;
}
```

Ausgabe:

```
Geben Sie die ASCII-Code-Nummer an: 65
Das Zeichen mit der Ordnungsnummer 65 ist A
```

Nach Eingabe von 65 gibt das Programm erwartungsgemäß das Zeichen A aus (bei 225 das Zeichen ß).

HINWEIS

Hier wird vorausgesetzt, dass der Benutzer nur Zahlen eingibt, die darstellbaren Zeichen des ASCII-Codes entsprechen.

16.2 Wann gehen bei der Konvertierung Informationen verloren?

Nicht alle Konvertierungen verlaufen jedoch so problemlos wie die eben gezeigten. Häufig kommt es dabei zu Informationsverlusten. Dies ist z.B. bei der Konvertierung von `double` bzw. `float` nach `int` der Fall, da eine Integervariable bekanntlich keine Nachkommastellen aufnehmen kann:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int num = 2.9;
   cout << num;
}
```

Ausgabe: `2`

Die Konvertierung findet zwar statt, eventuelle Nachkommastellen werden dabei aber abgeschnitten. Es wird also nicht etwa gerundet. Demzufolge wird der Gleitkommawert `2.9` vor der eigentlichen Zuweisung in den `int`-Wert `2` konvertiert.

Falls der Zieldatentyp größer ist als der Quelldatentyp, ist sichergestellt, dass der zuzuweisende Wert tatsächlich in den Zieldatentyp passt. Auf der anderen Seite führt C++ Konvertierungen auch dann durch, wenn der Quelldatentyp größer ist als der Zieldatentyp, was z.B. in der Richtung von `int` nach `short` oder von `double` nach `float`, aber auch von `double` oder `float` nach `int` zutrifft.

HINWEIS

Sowohl `double` als auch `float` besitzen bekanntlich einen weitaus größeren Wertebereich als `int`.

Hier ist besondere Vorsicht geboten, da eine implizite Konvertierung sogar dann erfolgt, wenn der zuzuweisende Wert den Wertebereich des Zieldatentyps tatsächlich überschreitet:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   short kleineZahl = 65539;
   cout << kleineZahl;
}
```

Ausgabe: `3`

Der Wert 65539 wird also in den Wert 3 konvertiert und dieser dann der Variablen kleineZahl zugewiesen.

Eine short-Variable kann im positiven Bereich Werte bis 32767 aufnehmen (siehe Tabelle 15.3). Falls diese Grenze wie im obigen Beispiel überschritten wird, beginnt die Zählung wieder von vorn, das heißt beim kleinsten Wert dieses Datentyps. Eine Zuweisung des Wertes 32768 hat demnach die Konvertierung dieses Wertes zu -32768 zur Folge, 32769 wird zu -32767 konvertiert, 32770 zu -32766 usw.

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   short kleineZahl = 32768;
   cout << kleineZahl;
}
```

Ausgabe: -32768

16.3 Welchen Datentyp hat ein bestimmter Ausdruck?

In Abschnitt 12.1.2 »Komplexe Ausdrücke« haben Sie erfahren, dass grundsätzlich jeder Ausdruck – also auch jeder Teilausdruck – einen Rückgabewert besitzt. Dieser entspricht dem Wert, den der besagte Ausdruck nach Auswertung besitzt. So ist in der Zuweisung

```
x = 17 + 3;
```

einmal die ganze Zuweisung als Ausdruck anzusehen (wir setzen voraus, dass es sich bei x um eine Integervariable handelt); Rückgabewert ist der Wert, den die Variable x nach der Zuweisung besitzt (siehe Abschnitt 12.1.1 »Mehrere Zuweisungen hintereinander schalten«). Aber auch der Term 17 + 3 und im weiteren Sinne sogar die Literale 17 und 3 als solche sind definitionsgemäß Ausdrücke mit den Rückgabewerten 20 bzw. 17 bzw. 3.

HINWEIS

Jeder Teil einer Anweisung, der einen Wert repräsentiert, ist ein Ausdruck (siehe Abschnitt 12.1 »Was ist ein Ausdruck?«). Mitunter fällt darunter auch die ganze Anweisung selbst, wie es etwa in der obigen Zuweisung der Fall ist (genau genommen ohne das abschließende Semikolon, das allein als Trennzeichen zwischen Anweisungen fungiert).

Aus dem Gesagten ergibt sich, dass auch jeder Ausdruck einen Datentyp besitzt, nämlich den Datentyp seines Rückgabewertes. So besitzen in der Anweisung

```
x = 17 + 3;
```

die Ausdrücke

```
x = 17 + 3
```

und

```
17 + 3
```

beide den Datentyp `int`, was dem Datentyp aller auftretenden Operanden entspricht. Beide Operanden der arithmetischen Addition (`17 + 3`) sind vom Datentyp `int`, daher besitzt der Ergebniswert dieses Ausdrucks den gleichen Datentyp. Genauso verhält es sich mit den Operanden der Zuweisung. Die Variable `x` ist vom Datentyp `int` (was wir vorausgesetzt haben) und der rechte Operand (`17 + 3`) ebenfalls, wie wir gerade festgestellt haben.

HINWEIS

Beachten Sie, dass der Term

```
17 + 3
```

für sich betrachtet ein Ausdruck ist, da er ja für einen Wert steht. Auf der anderen Seite bildet er den rechten Operanden der Zuweisung

```
x = 17 + 3
```

ist also wiederum Teil eines komplexeren Ausdrucks.

Was geschieht nun aber, falls die Operanden eines Ausdrucks unterschiedlichen Datentyps sind? Dann wird der Compiler versuchen, die entsprechenden Datentypen umzuwandeln, wie es in den Beispielen des letzten Abschnitts gezeigt wurde. So wird in der Zuweisung

```
double zahl = 19;
```

zunächst der rechte Operand konvertiert (von `19` nach `19.0`), also dem Datentyp des linken Operanden (der Zielvariablen `zahl`) angepasst.

Der genannte Sachverhalt lässt sich mit anderen Worten wie folgt wiedergeben: Operationen können grundsätzlich nur mit Operanden gleichen Datentyps durchgeführt werden. Gegebenenfalls müssen die Datentypen einander angepasst werden.

HINWEIS

Wenn eine solche Anpassung allerdings nicht möglich ist, wird der Compiler die Arbeit verweigern:

```
double zahl = »Ich darf nicht rein«;  // FEHLER
```

Dies ist ebenso der Fall, wenn er die Konvertierung für sehr kritisch hält:

```
double zahl = »19«;  // FEHLER
```

Obwohl der String `"19"` als Zahl interpretierbar ist, von daher eine Konvertierung also möglich wäre, wird eine solche nicht durchgeführt. C++ bzw. Ihr Compiler nimmt in diesem Fall nicht mehr an, dass Sie wissen, was Sie tun, und will Sie so vor eventuellen Fehlern schützen.

Einige der Regeln, nach denen die Anpassung (Konvertierung) geschieht, haben Sie im letzten Abschnitt bereits erfahren. Hier einige weitere Beispiele:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int zahl;
   zahl = 17 + 3.3;
   cout << zahl;
}
```

Ausgabe: `20`

In der Zuweisung

```
zahl = 17 + 3.3;
```

wird zunächst der Ausdruck rechts vom Zuweisungsoperator ausgewertet.

Dieser besteht aus zwei Operanden, die an der durch das »+«-Zeichen symbolisierten arithmetischen Addition beteiligt sind. Die Operanden besitzen verschiedene Datentypen, der linke (`17`) den Typ `int`, der rechte (`3.3`) den Typ `double`. Also sollte eine Konvertierung erfolgen, entweder des linken Operanden von `int` (`17`) nach `double` (`17.0`) oder des rechten von `double` (`3.3`) nach `int` (`3`), wobei im letzten Fall die Nachkommastellen verloren gehen (siehe Abschnitt 16.2 »Wann gehen bei der Konvertierung Informationen verloren?«).

Es gilt die Regel:

Abgesehen von der Zuweisung, in der sich die Konvertierung stets nach der Zielvariablen zu richten hat, und einigen weiteren Ausnahmen, die noch zu nennen sind, erfolgt in Ausdrücken die Konvertierung in den größten Datentyp.

HINWEIS

Ausnahmen von der genannten Regel treten unter anderem in Verbindung mit Funktionsaufrufen auf (zu Funktionen siehe Kapitel 21). Soweit beim Funktionsaufruf die Argumente im Datentyp nicht mit den formalen Parametern übereinstimmen, erfolgt gegebenenfalls eine Konvertierung der Argumente nach dem Datentyp der formalen Parameter. Dasselbe gilt für den Rückgabewert einer Funktion, der gegebenenfalls dem in der Definition angegebenen Datentyp angepasst wird. Da es sich bei formalen Parametern von Funktionen wie bei Funktionsrückgabewerten um Variablen handelt – bei Funktionsrückgabewerten um temporäre –, verläuft die Konvertierung analog dem bereits bekannten Prinzip, sie richtet sich nach dem Datentyp der Zielvariablen.

Nach dem Gesagten erfolgt im Ausdruck

```
17 + 3.3
```

die Konvertierung des linken Operanden nach `double`, von `17` zu `17.0`, sodass der Rückgabewert dieses Ausdrucks (`20.3`) – und damit der Ausdruck als solcher – ebenfalls vom Typ `double` ist.

HINWEIS

Man sagt also, der Ausdruck `17 + 3.3` ist vom Datentyp `double`. Denken Sie daran, dass der Datentyp eines Ausdrucks vom Datentyp seines Rückgabewertes bestimmt wird.

Nach erfolgter Auswertung des Ausdrucks `17 + 3.3` ergibt sich für die Zuweisung

```
zahl = 20.3;
```

wobei der rechte Wert dem Datentyp der Zielvariablen angepasst werden muss. Dieser ist `int`, also erfolgt die Konvertierung des `double`-Wertes `20.3` nach `int` (`20`), wobei die Nachkommastelle verloren geht. Daher lautet die Ausgabe `20`.

HINWEIS

Der Datentyp des Ausdrucks `zahl = 17 + 3.3` ist also `int`, ebenso der Datentyp seines Rückgabewertes.

16.3.1 Ausdrücke als Operanden des sizeof-Operators

In Abschnitt 13.1.1 haben Sie den `sizeof`-Operator kennen gelernt. Dort wurde diesem der Name eines Datentyps bzw. der Bezeichner einer Variablen übergeben. Rückgabewert ist die Größe des Datentyps bzw. die Größe der bezeichneten Variablen. Es ist auch möglich, dem `sizeof`-Operator beliebige Ausdrücke zu übergeben, also z.B. den Ausdruck `17 + 3.3`. Der `sizeof`-Operator liefert dann die Größe des Ausdrucks als Wert zurück, wobei die Größe eines Ausdrucks wiederum dem Datentyp seines Rückgabewertes entspricht.

Somit können Sie leicht nachprüfen, dass die Konvertierung tatsächlich in der oben beschriebenen Weise stattfindet und nicht etwa zunächst nach `int`, also `17 + 3.3` zu `17 + 3`, wonach eine erneute Anpassung in Bezug auf die folgende Zuweisung des Ergebniswertes an die Variable `zahl` gar nicht mehr notwendig wäre. Denn wäre der Ausdruck `17 + 3.3` vom Typ `int`, würde `sizeof(17 + 3.3)` den Wert `4` (Byte) zurückliefern, andernfalls `8` für `double`. Letzteres ist der Fall, was die obigen Ausführungen bestätigt:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << sizeof(17 + 3.3);
}
```

Ausgabe: 8

Ebenfalls in Übereinstimmung mit dem oben Dargelegten erhält man den Wert 4, falls der ganze Ausdruck `zahl = 17 + 3` an `sizeof` übergeben wird:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int zahl;
   cout << sizeof(zahl = 17 + 3.3);
}
```

Ausgabe: 4

Beachten Sie, dass `sizeof` allein einen ihm übergebenen Ausdruck bewertet, jedoch die symbolisierten Operationen nicht tatsächlich durchführt. Bezogen auf obiges Listing sollten Sie also die Variable `zahl` nicht in einer Ausgabeanweisung verwenden, solange diese keinen wohldefinierten Wert besitzt:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int zahl;
   cout << sizeof(zahl = 17 + 3.3);
   cout << endl;
   cout << zahl;  // ???(PROBLEMATISCH)
}
```

Dass `sizeof` die Zuweisung tatsächlich nicht durchführt, lässt sich nachweisen, indem man die Variable `zahl` mit einem Anfangswert versieht und nach der `sizeof`-Operation (der Bewertung des übergebenen Ausdrucks) wieder ausgibt:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int zahl = 0;
   cout << sizeof(zahl = 17 + 3.3);
   cout << endl;
   cout << "Wert von zahl: " << zahl;
   cout << endl;
}
```

Ausgabe: `Wert von zahl: 0`

Ausgegeben wird also der Initialisierungswert `0` und nicht etwa das Ergebnis einer eventuellen Zuweisung `zahl = 17 + 3.3`.

Es sei darauf hingewiesen, dass eine Variable ihren Datentyp grundsätzlich nicht ändern kann. Allenfalls erfolgt die Konvertierung einer Kopie:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int zahl, ganzeZahl = 17;
   zahl = ganzeZahl + 3.3;
   cout << zahl;
}
```

Ausgabe: `20`

Die Konvertierung in den Ausdrücken

```
ganzeZahl + 3.3
```

und

```
zahl = ganzeZahl + 3.3
```

findet wie oben beschrieben statt. Dass hier anstelle eines Literals (`17`) der Bezeichner einer Variablen steht, macht insofern keinen Unterschied. Außerdem wird nicht die Variable `ganzeZahl` selbst konvertiert, sondern eine Kopie dieser Variablen.

HINWEIS

Im Zuge eines Lesezugriffs auf eine Variable wird der in ihr enthaltene Wert kopiert. Alle weiteren Operationen finden dann mit diesem kopierten Wert statt, die Variable selbst ist daran nicht beteiligt.

Die Variable `ganzeZahl` besitzt daher auch nach der Konvertierung (ihrer Kopie) den Datentyp `int` und nimmt somit im Arbeitsspeicher weiterhin 4 Byte in Anspruch, nicht etwa 8 Byte, was dem Speicherbedarf einer `double`-Variablen entsprechen würde.

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int zahl, ganzeZahl = 17;
   zahl = ganzeZahl + 3.3;
   cout << "Wert von zahl: " << zahl << endl;
   cout << "Wert von ganzeZahl: " << ganzeZahl << endl;
   cout << "Gr\x94\xE1" << "e von ganzeZahl: ";
   cout << sizeof(ganzeZahl) << " Byte" << endl;
}
```

Ausgabe:

```
Wert von zahl: 20
Wert von ganzeZahl: 17
Größe von ganzeZahl: 4 Byte
```

HINWEIS

Beachten Sie, dass in der Anweisung

```
cout << »Gr\x94\xE1« << »e von ganzeZahl: «;
```

die Ausgabe auf zwei Einheiten verteilt ist, da ansonsten `E1e` und nicht wie beabsichtigt `E1` als Hexadezimalwert interpretiert wird – die Escape-Sequenz `\xE1` steht für das Zeichen `ß`, `\x94` für das Zeichen `ö` (siehe dazu Abschnitt 10.3.1 »Ausgabe von Umlauten sowie des Zeichens ß«).

Anders als im oben gezeigten Beispiel ist es für das Ergebnis eines Ausdrucks häufig entscheidend, in welcher Reihenfolge die Konvertierungen stattfinden. Hier ist besonders bei der Integerdivision Vorsicht geboten:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int z1 = 7, z2 = 2;
   double ergebnis, gleit = 2.0;
   ergebnis = z1 / z2 * gleit;
   cout << ergebnis;
}
```

Ausgabe: `6`

Die Variable `ergebnis` bekommt nicht etwa den Wert `7.0` zugewiesen, wie Sie möglicherweise erwartet haben, sondern den Wert `6.0`, wie an der Ausgabe zu sehen ist. Das kommt daher, dass zunächst der Teilausdruck

```
z1 / z2
```

ausgewertet wird, da Division und Multiplikation gleiche Priorität besitzen und linksassoziativ sind (siehe Abschnitt 12.5 »Priorität von Operatoren«). In diesem Ausdruck (`z1 / z2`) sind keine Konvertierungen nötig, da beide Operanden gleichen Datentyps – `int` – sind. Infolgedessen wird die Integerdivision

```
7 / 2
```

durchgeführt, wobei die Nachkommastellen wegfallen. Der Ergebniswert dieser Operation ist also `3` – nicht `3.5`. Dieser Wert (`3`) ist anschließend an der Multiplikation

```
3 * gleit
```

beteiligt. Hier wird `3` zunächst nach `3.0` konvertiert, was für den Betrag des Rückgabewertes (`6.0`) bezüglich des Ausdrucks

```
z1 / z2 * gleit
```

aber keine Bedeutung mehr hat.

Anders verläuft die Konvertierung, wenn man im Code – durch entsprechende Klammerung – festlegt, dass die Multiplikation zuerst ausgeführt wird:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int z1 = 7, z2 = 2;
   double ergebnis, gleit = 2.0;
   ergebnis = z1 / (z2 * gleit);
   cout << ergebnis;
}
```

Ausgabe: `1.75`

Nun wird zunächst der Ausdruck

```
z2 * gleit
```

ausgewertet, dabei vor der eigentlichen Multiplikation `z2` von `int` nach `double` konvertiert (`2` zu `2.0`), der Regel folgend, dass in Ausdrücken mit Operanden unterschiedlichen Datentyps in den größeren Datentyp konvertiert wird. Das Ergebnis, das ebenfalls vom Typ `double` ist, bildet nun den rechten Operanden der folgenden Division:

```
7 / 4.0
```

Hier wird der linke Operand ebenfalls in den größeren Datentyp – `double` – umgewandelt. Beachten Sie, dass es dabei nicht auf den tatsächlichen Wert der Operanden ankommt – die hier ja beide ganzzahlig sind –, sondern allein auf deren Datentyp. Somit wird die Division mit `double`-Werten durchgeführt, wodurch keine Daten verloren gehen:

```
7.0 / 4.0
```

Dementsprechend erhält die Variable `ergebnis` mit der Zuweisung den Wert `1.75`.

HINWEIS

Dies entspricht natürlich ebenfalls nicht dem Ergebnis von 7 / 2 * 2, da durch die Klammerung – berechnet wurde 7 / (2 * 2) – die Ausführungsreihenfolge verändert wurde. Was Sie tun müssen, um diese Operationen in der gewöhnlichen Reihenfolge (von links nach rechts) ohne Datenverluste durchzuführen, erfahren Sie unten in Abschnitt 16.4 »Explizite Typumwandlungen«.

Wir hatten weiter oben bereits angedeutet, dass eine `char`-Variable auch an arithmetischen Operationen beteiligt sein kann. Hierzu ein Beispiel:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   char zeich = 'A';
   cout << 35.7 + zeich;
}
```

Ausgabe: 100.7

Die Ausgabe entspricht der Summe aus der Ordnungszahl des Zeichens 'A' im ASCII-Code und dem Wert 35.7. Der char-Wert 'A' wird vor der Addition nach double umgewandelt, dem Datentyp des linken Operanden.

Wenn man in der Ausgabeanweisung statt der Variablen zeich das Literal 'A' verwendet, erhält man das gleiche Ergebnis:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << 35.7 + 'A';
}
```

Ausgabe: 100.7

Eine Ausnahme bzw. Ergänzung zu der Regel, dass in Ausdrücken die Konvertierung in den größten Datentyp erfolgt, bezieht sich auf Datentypen, die kleiner sind als int, was auf die Datentypen char und short zutrifft. Diese werden auf jeden Fall in den Datentyp int konvertiert:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   char c = 'A', zeich = 'B';
   cout << c + zeich;
}
```

Ausgabe: 131

Die Ausgabe entspricht der Summe aus den Ordnungszahlen der Zeichen 'A' (Ordnungszahl 65) und 'B' (Ordnungszahl 66) des ASCII-Codes. Beide char-Werte werden vor der Addition nach int umgewandelt, obwohl es sich hier um Operanden gleichen Datentyps handelt.

16.4 Explizite Typumwandlungen

Explizite Typumwandlungen werden vom Programmierer bewusst ausgelöst. Dabei kann man diese sowohl dort anbringen, wo der Compiler selbst keine Typumwandlung durchführen kann, als auch an Stellen, an denen der Compiler eine automatische – implizite – Typumwandlung vornehmen würde. Sie teilen auf diese Weise dem Compiler – und im letzteren Fall auch Programmierern, die Ihren Quellcode lesen (was in jedem Fall einem guten Programmierstil entspricht) – mit, dass die Umwandlung beabsichtigt ist und es sich nicht um ein Versehen handelt.

Zur expliziten Typumwandlung steht Ihnen zum einen der herkömmliche cast-Operator aus der Programmiersprache C zur Verfügung. Dieser ist einfach zu handhaben – Sie schreiben den gewünschten Datentyp in runde Klammern vor den zu konvertierenden Wert:

```
(Datentyp) Ausdruck
```

Wie angedeutet darf *Ausdruck* auch ein komplexer Ausdruck sein, der dann allerdings entsprechend geklammert werden muss. Vielfach empfiehlt sich die Klammerung allein wegen der Deutlichkeit:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << (double) (7) / 2 * 2.0;
}
```

Ausgabe: `7`

Hier ist die Ausgabe `7`, da der Wert `7` zunächst nach `double` konvertiert wird – cast-Operatoren besitzen eine höhere Priorität als arithmetische Operatoren.

```
7.0 / 2
```

Der rechte Operand der Division (`2`) wird nunmehr nach der bekannten Regel ebenfalls nach `double` umgewandelt, dem Datentyp des linken Operanden (`7.0`).

```
7.0 / 2.0
```

Daher gehen bei der Division keine Nachkommastellen verloren. Andernfalls erhielte man die Ausgabe `6`, da eine Integerdivision beider Operanden als `3` gewertet wird (siehe Beispiel weiter oben).

Die Klammern um das Literal `7` sind, wie gesagt, optional, hier aber wegen der Deutlichkeit zu empfehlen. Lässt man sie weg, ändert das am Ergebnis nichts:

```
#include <iostream>
using namespace std;
```

```
void main(void)
{
   cout << (double) 7 / 2 * 2.0;
}
```

Ausgabe: 7

Vorsicht ist jedoch bei der expliziten Konvertierung von komplexen Ausdrücken geboten. Hier wird allein der Rückgabewert in den angegebenen Datentyp konvertiert, nicht etwa jeder einzelne Operand für sich:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << (double) (7 / 2) * 2.0;
}
```

Ausgabe: 6

Im obigen Beispiel wird demnach zunächst die Integerdivision durchgeführt:

```
7 / 2
```

Erst anschließend wird der sich daraus ergebende Wert (der 3 beträgt, da die Nachkommastellen wegfallen) nach double konvertiert (zu 3.0). Dies wäre – wie Sie vermutlich erkannt haben – auch ohne Casting geschehen. Daher ist die Ausgabe hier 6 und nicht 7.

Neben dem cast-Operator des alten Stils gibt es mehrere neuere cast-Operatoren. Insgesamt sind es vier, von denen der static_cast dem herkömmlichen cast-Operator am nächsten kommt. Seine Anwendung ist ebenso problemlos wie die des oben gezeigten cast-Operators:

```
static_cast<Datentyp> (Ausdruck)
```

Der gewünschte Datentyp ist in spitzen Klammern anzugeben und *Ausdruck* muss stets geklammert werden, auch wenn es sich nur um einen einfachen Wert handelt:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << static_cast<double> (7) / 2 * 2.0;
}
```

Ausgabe: 7

HINWEIS

Unter dem Gesichtspunkt, dass der static_cast-Operator eben zu den Neuerungen des ANSI/ISO-Standards gehört, sollte diesem der Vorzug gegeben werden. Allerdings werden wohl viele Programmierer weiterhin den alten cast-Operator verwenden, zumal dieser kürzer ist und damit schneller eingegeben werden kann.

17 Verzweigungen

Wenn nichts anderes bestimmt ist, werden die einzelnen Anweisungen beim Programmlauf – so wie sie im Code stehen – von oben nach unten abgearbeitet. Oft ist es aber notwendig, in diesen Ablauf einzugreifen. Dies ist der Fall, wenn Anweisungen nur unter bestimmten Bedingungen, alternativ oder mehrere Male hintereinander auszuführen sind, so z.B. wenn das weitere Geschehen von einer Auswahl des Benutzers, einem bestimmten Eingabewert oder einer anderen Entscheidung abhängig gemacht werden soll.

Zur Steuerung (»Kontrolle«) des Programmflusses stehen dem Programmierer eine Reihe von Kontrollstrukturen zur Verfügung. Dazu gehören sowohl Verzweigungs- als auch Wiederholungsanweisungen. Erstere bilden das Thema dieses Kapitels, Wiederholungsanweisungen – Schleifen genannt – werden Sie in Kapitel 18 kennen lernen.

17.1 Logische Ausdrücke

Bevor wir uns mit den Kontrollstrukturen an sich beschäftigen, soll zunächst auf die Formulierung von Bedingungen eingegangen werden. Diesen kommt in allen Kontrollstrukturen – von der `switch`-Anweisung abgesehen – eine entscheidende Bedeutung zu.

Bedingungen im programmiersprachlichen Sinne sind logische Ausdrücke, die in Verbindung mit besagten Kontrollstrukturen auftreten. Was sind nun aber logische Ausdrücke?

Wie Sie bereits erfahren haben, wird jeder Teil einer Anweisung, der für einen Wert steht, als Ausdruck bezeichnet. Und wie Sie ebenfalls wissen, besitzt jeder Ausdruck einen Rückgabewert. Ist dieser Rückgabewert vom Datentyp `bool`, so handelt es sich um einen logischen Ausdruck. Dieser ist also ein spezieller Fall von dem, was Sie bisher gemeinhin als Ausdruck kennen gelernt haben.

17.1.1 Vergleichsoperatoren

Für die Formulierung von logischen Ausdrücken stellt C++ verschiedene Vergleichsoperatoren (weitere Bezeichnung: relationale Operatoren) zur Verfügung, die Sie Tabelle 17.1 entnehmen können.

Tabelle 17.1: Vergleichsoperatoren

Operator	Bedeutung
<	kleiner als
<=	kleiner als oder gleich
>	größer als
>=	größer als oder gleich

Tabelle 17.1: Vergleichsoperatoren (Forts.)

Operator	Bedeutung
==	gleich
!=	ungleich

Ausdrücke, die mit Vergleichsoperatoren gebildet werden, ergeben nach ihrer Auswertung immer einen booleschen Wert, also entweder `true` (für wahr) oder `false` (für falsch).

Vergleichsoperatoren gehören zu den binären Operatoren. Das heißt, sie erfordern einen linken und einen rechten Operanden. Diese werden in Form einer logischen Aussage einander gegenübergestellt. Über die Art des Vergleichs entscheidet dabei das verwendete Symbol.

```
1 < 2
```

Der logische Ausdruck »1 kleiner 2« ist wahr. Dementsprechend ergibt die Auswertung dieses Ausdrucks den Wert `true`, der, wie Sie wissen, intern mit `1` dargestellt wird. Auch `cout` verwendet für die Ausgabe boolescher Werte `0` bzw. `1`:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   bool myBool = 1 < 2;
   cout << myBool;
}
```

Ausgabe: `1`

HINWEIS

Logische Ausdrücke werden wegen ihres Datentyps auch »boolesche Ausdrücke« genannt.

Wie in allen Ausdrücken dürfen natürlich auch als Operanden eines logischen Vergleichs wiederum beliebige Ausdrücke stehen, also z.B. auch Variablenbezeichner. Um einen Ausdruck zu formulieren, der `true` ergibt, wenn eine Integervariable mit dem Bezeichner `alter` den Wert `30` hat, schreiben Sie also

```
alter == 30
```

ACHTUNG

Achten Sie darauf, beim logischen Vergleich auf Gleichheit unbedingt zwei Gleichheitszeichen zu verwenden (==). Andernfalls handelt es sich um eine Zuweisung.

17.1.2 Logische Operatoren

Folgender Ausdruck wird als `true` bewertet, falls die Variable `alter` einen Wert enthält, der größer als `20` ist, andernfalls ergibt die Auswertung `false`:

```
alter > 20
```

Wie verhält es sich aber, wenn Sie einen Ausdruck formulieren müssen, der nur dann `true` ergibt, falls der in der Variablen `alter` gespeicherte Wert sich im Bereich zwischen `20` und `80` bewegt (jeweils exklusive).

Dann muss der Wert von `alter` größer sein als `20`

```
alter > 20
```

und er muss kleiner sein als `80`

```
alter < 80
```

Das heißt, beide Bedingungen müssen gleichzeitig erfüllt sein. Um zwei logische Ausdrücke zu einem einzigen Gesamtausdruck zusammenzufassen, gibt es die so genannten »logischen Operatoren« (siehe Tabelle 17.2).

Tabelle 17.2: Logische Operatoren

Operator	Bedeutung
`&&`	logisches Und
`||`	logisches Oder
`!`	logische Negation

Eine Verknüpfung mit `&&` (logisches Und) ergibt nur dann einen wahren Gesamtausdruck, wenn beide Teilausdrücke wahr sind. Also lautet der passende zusammengesetzte Ausdruck im obigen Fall

```
alter > 20 && alter < 80
```

Das heißt, der ganze Ausdruck ist nur dann `true`, wenn sowohl der Teilausdruck

```
alter > 20
```

als auch der Teilausdruck

```
alter < 80
```

als `true` gewertet wird:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int alter = 39;
   bool myBool = alter > 20 && alter < 80;
   cout << myBool;
}
```

Ausgabe: 1

Im folgenden Beispiel gibt der Benutzer des Programms den zu überprüfenden Wert selbst ein:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int alter;
   cin >> alter;
   bool myBool = alter > 20 && alter < 80;
   cout << myBool;
}
```

Für Eingabewerte von 21 bis 79 erhalten Sie die Ausgabe 1, andernfalls 0 (für false).

Beim logischen Oder (||) genügt es, wenn nur einer der verknüpften Teilausdrücke wahr ist. Dann ergibt die Auswertung des logischen Gesamtausdrucks den Wert true. Das logische Oder ist einschließend. Das heißt, der Ergebniswert des Gesamtausdrucks ist ebenfalls true, wenn nicht nur einer, sondern beide Teilausdrücke wahr sind.

TIPP

Das Zeichen | wird mit Alt Gr + < eingefügt.

```
2 < 1 || 12 > 5
```

Obiger Ausdruck ergibt demnach den Wert true, da der rechte Teilausdruck (»12 größer 5«) wahr ist. Ebenso true ergibt

```
3 > 2 || 2 > 1
```

Beide Teilausdrücke – »3 größer 2« und »2 größer 1« – sind wahr, also ist der Gesamtausdruck ebenfalls wahr.

Hier eine kleine »Wahrheitstabelle«, in der A und B für logische Teilausdrücke stehen (Tabelle 17.3).

Tabelle 17.3: »Wahrheitstabelle«

A	B	A && B	A || B
true	true	true	true
true	false	false	true
false	true	false	true
false	false	false	false

Einziger Operand der logischen Negation (!) – es handelt sich also um einen unären Operator – ist ein beliebiger logischer Ausdruck, dessen Wahrheitswert umgedreht wird. Daher sind z.B. die Ausdrücke

```
!false
```

und

```
true
```

äquivalent, beide geben den Wert `true` zurück.

Das Gleiche gilt für

```
alter != 30  // alter ungleich 30
```

und

```
!(alter == 30)  // nicht alter gleich 30
```

ACHTUNG

Im letzten Ausdruck ist die Klammerung notwendig, da sich der Operator `!` nicht auf die Variable `alter`, sondern auf den gesamten logischen Ausdruck `alter == 30` beziehen soll.

Selbstverständlich lassen sich mit den logischen Operatoren `&&` und `||` nicht nur zwei, sondern auch mehr Teilausdrücke beliebig zusammenfassen, da zwei verknüpfte Teilausdrücke als *ein* logischer Ausdruck angesehen werden, der wiederum mit einem weiteren logischen Ausdruck verknüpft werden kann:

```
alter > 20 && alter < 80 && alter != 40
```

Obiger Ausdruck ergibt nach wie vor genau dann `true`, wenn das Alter zwischen `21` und `79` liegt (jeweils inklusive), nun aber mit einer Ausnahme – es darf nicht `40` sein (letzter Teilausdruck »alter ungleich 40«).

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int alter = 40;
   bool myBool = alter > 20 && alter < 80 && alter != 40;
   cout << myBool;
}
```

Ausgabe: `0`

Der genannte logische Ausdruck ist zwar etwas komplexer, dennoch dürfte Ihnen die Interpretation kaum Schwierigkeiten bereitet haben. Sobald nur ein Teilausdruck falsch ist, trifft dies auch für den logischen Gesamtausdruck zu. Für das Ergebnis spielt es keine Rolle, welche von den beiden `&&`-Verknüpfungsoperationen zuerst ausgeführt wird.

Anders verhält es sich aber mit dem logischen Ausdruck

```
alter > 100 || alter >= 20 && alter <= 30
```

Es soll davon ausgegangen werden, dass `alter` den Wert `101` aufweist. Dann ist der erste Teilausdruck (»alter größer 100«) wahr, der zweite

(»alter größer gleich 20«) ebenfalls wahr und der dritte (»alter kleiner gleich 30«) falsch.

```
true || true && false
```

Angenommen, der Ausdruck wird von links nach rechts ausgewertet:

```
true || true
```

würde als `true` bewertet und

```
true && false
```

ergibt anschließend den Wert `false` für den obigen Gesamtausdruck.

Zu einem anderen Ergebnis gelangt man, falls der rechte Teilausdruck

```
true && false
```

als Erstes ausgewertet wird. Dieser ergibt `false` und eine Verknüpfung

```
true || false
```

ergibt für den Gesamtausdruck den Wahrheitswert `true`.

Bezogen auf den Ausdruck

```
alter > 100 || alter >= 20 && alter <= 30
```

erhebt sich also die Frage, ob die Reihenfolge der Auswertung

```
(alter > 100 || alter >= 20) && alter <= 30
```

oder

```
alter > 100 || (alter >= 20 && alter <= 30)
```

entspricht. Zeit, sich über die Prioritätsrangfolge von logischen Operatoren – und in diesem Zusammenhang natürlich auch von Vergleichsoperatoren – zu unterhalten.

HINWEIS

Zur Priorität von Operatoren siehe auch Abschnitt 12.5 »Priorität von Operatoren«.

17.1.3 Priorität von logischen und Vergleichsoperatoren

Bezüglich der Rangfolge von Vergleichs- und logischen Operatoren gilt:

- Vergleichsoperatoren besitzen eine höhere Priorität als logische Operatoren.
- Sowohl Vergleichsoperatoren als auch logische Operatoren sind linksassoziativ.
- Der Operator `&&` (logisches Und) bindet stärker als der Operator `||` (logisches Oder).

Danach entspricht die Reihenfolge der Auswertung im Ausdruck

```
alter > 100 || alter >= 20 && alter <= 30
```

der Klammerung

```
alter > 100 || (alter >= 20 && alter <= 30)
```

Für den Wert `101` von `alter` ergibt sich somit ein »wahrer« Gesamtausdruck.

TIPP

Denken Sie daran, dass Sie in jedem Ausdruck durch Setzen von Klammern auf die Reihenfolge der Ausführung Einfluss nehmen können. Dies verhält sich mit logischen Ausdrücken nicht anders.

In Ergänzung zu Tabelle 12.3 sehen Sie in Tabelle 17.4 eine Zusammenstellung der bis jetzt besprochenen Operatoren nach Prioritätsstufe geordnet, wobei der am weitesten oben stehende Operator die höchste Priorität (16) besitzt. Operatoren mit übereinstimmender Prioritätskennzahl sind gleichrangig (eine vollständige Tabelle aller C++-Operatoren finden Sie in Anhang A.3).

Tabelle 17.4: Prioritätsreihenfolge der C++-Operatoren

Priorität	Operator	Bedeutung	Assoziativität
16	`static_cast <Typ>`	zur Übersetzungszeit geprüfte Konvertierung	keine
15	`++`	Inkrement	keine
15	`--`	Dekrement	keine
15	`!`	logische Negation	keine
15	`-`	unäres Minuszeichen	keine
15	`+`	unäres Pluszeichen	keine
15	`sizeof`	Größe in Byte	keine
15	`(Typ)`	Cast (Typkonvertierung)	von rechts nach links
13	`*`	Multiplikation	von links nach rechts
13	`/`	Division	von links nach rechts
13	`%`	Modulo	von links nach rechts
12	`+`	Addition	von links nach rechts
12	`-`	Subtraktion	von links nach rechts

Tabelle 17.4: Prioritätsreihenfolge der C++-Operatoren (Forts.)

Priorität	Operator	Bedeutung	Assoziativität
10	<	kleiner als	von links nach rechts
10	<=	kleiner gleich	von links nach rechts
10	>	größer als	von links nach rechts
10	>=	größer gleich	von links nach rechts
9	==	Gleichheit	von links nach rechts
9	!=	Ungleichheit	von links nach rechts
5	&&	logisches Und	von links nach rechts
4	||	logisches Oder	von links nach rechts
3	? :	Bedingungsoperator	von rechts nach links
2	=	Zuweisung	von rechts nach links
2	*=	Multiplikation und Zuweisung	von rechts nach links
2	/=	Division und Zuweisung	von rechts nach links
2	%=	Modulo und Zuweisung	von rechts nach links
2	+=	Addition und Zuweisung	von rechts nach links
2	-=	Subtraktion und Zuweisung	von rechts nach links

HINWEIS

Der Operator für die bedingte Zuweisung (? :) wird weiter unten in diesem Kapitel in Abschnitt 17.4 »Bedingungsoperator« behandelt.

17.2 Die if-Anweisung

Eine einfach zu handhabende und zugleich sehr effektive Möglichkeit, Programmverzweigungen einzurichten, bietet die `if`-Anweisung. Sie gestattet die Ausführung einer oder mehrerer Anweisungen in Abhängigkeit von einer Bedingung. Bei der Bedingung handelt es sich um einen logischen Ausdruck, der nach dem Schlüsselwort `if` in Klammern anzugeben ist. Die Syntax der `if`-Anweisung in ihrer einfachsten Form lautet:

```
if (Bedingung)
   Anweisung
```

bzw.

```
if (Bedingung)
{
   Anweisung(en)
}
```

Falls es sich nur um eine einzelne Anweisung handelt, können Sie zwischen beiden Formen wählen. Mehrere Anweisungen müssen zu einem Block zusammengefasst werden (`{…}`).

Die Funktionsweise des `if`-Konstrukts ist schnell erklärt. Bei Eintritt in dieses während des Programmlaufs wird zunächst die Bedingung geprüft. Es gilt:

- Ist die Bedingung wahr (ergibt die Auswertung des logischen Ausdrucks den Wert `true`), dann wird (werden) die zugehörige(n) Anweisung(en) ausgeführt. Danach wird das Programm mit der nächsten Anweisung fortgesetzt, die im Code unterhalb des `if`-Konstrukts steht.
- Ist die Bedingung falsch (ergibt die Auswertung des logischen Ausdrucks den Wert `false`), so werden alle zum `if`-Konstrukt gehörigen Anweisungen ignoriert und es wird unmittelbar mit der Anweisung fortgefahren, die im Code unterhalb des `if`-Konstrukts steht.

Die Ausführung der zum `if`-Konstrukt gehörigen Anweisung(en) ist also abhängig von der `if`-Bedingung. Ist die Bedingung falsch, verhält es sich daher so, als wäre das `if`-Konstrukt gar nicht vorhanden:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int punkte;
   cout << "Wie viele Punkte hast Du? ";
   cin >> punkte;
   if (punkte > 10)
   {
      cout << "So viele!" << endl;
      cout << "Gratuliere!" << endl;
   }
```

```
   cout << "Hier geht's \"normal\" weiter" << endl;
}
```

Ausgabe:

```
Wie viele Punkte hast Du? 12
So viele!
Gratuliere!
Hier geht's "normal" weiter
```

bzw.

```
Wie viele Punkte hast Du? 7
Hier geht's "normal" weiter
```

Im obigen Beispiel wird der Benutzer nur dann beglückwünscht, wenn er mehr als 10 Punkte hat, andernfalls erfolgt keine Reaktion.

TIPP

Wie bereits erwähnt, empfiehlt es sich, die Anweisungen innerhalb eines Blocks (`{…}`) um eine konstante Anzahl von Stellen einzurücken. Auf diese Weise wird die Struktur des Quellcodes sehr viel deutlicher. Beachten Sie, dass der `if`-Block einen inneren Block zum Rumpf der Funktion `main()` darstellt.

HINWEIS

Viele Programmierer bevorzugen es, die erste geschweifte Klammer an das Ende der Zeile zu setzen, die ein bestimmtes Konstrukt einleitet:

```
…
if (punkte > 10) {
   cout << »So viele!« << endl;
   cout << »Gratuliere!« << endl;
}
…
```

Gelegentlich werden auch wir uns dieser Schreibweise bedienen.

Falls es sich um genau eine bedingungsabhängige Anweisung handelt, besteht keine syntaktische Notwendigkeit, diese in `{}` einzuschließen:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int punkte;
   cout << "Wie viele Punkte hast Du? ";
   cin >> punkte;
   if (punkte > 10)
      cout << "So viele!" << endl
           << "Gratuliere!" << endl;
   cout << "Hier geht's \"normal\" weiter" << endl;
}
```

Ausgabe wie zuvor.

HINWEIS

Lassen Sie sich nicht irritieren. Obwohl auf zwei Zeilen verteilt, handelt es sich natürlich um nur eine bedingungsabhängige Anweisung:

```
cout << »So viele!« << endl
     << »Gratuliere!« << endl;
```

TIPP

Auch wenn nur eine – nicht geklammerte – Anweisung zum `if`-Konstrukt vorhanden ist, sollten Sie diese einrücken. Man erkennt dann besser, dass die Anweisung zur Kontrollstruktur gehört:

```
if (Bedingung)
   Anweisung  // bedingungsabhängig
Anweisung  // nicht bedingungsabhängig
```

Ferner sei angemerkt, dass das Setzen von Klammern in jedem Fall davor schützt, dies nachträglich zu vergessen, falls bei eventuellen Änderungen weitere bedingungsabhängige Anweisungen hinzukommen.

Der Compiler rechnet automatisch die unmittelbar folgende Anweisung zum `if`-Konstrukt, sofern nicht – wie weiter oben der Fall – mehrere Anweisungen zu einem Block zusammengefasst sind. Dies führt zu unerwünschten Ergebnissen, falls der Programmierer versehentlich hinter die `if`-Bedingung ein Semikolon setzt:

```
if (Bedingung);  // ???
{
   Anweisung(en)
}
```

Ein Semikolon allein wird vom Compiler ebenfalls als vollständige Anweisung angesehen (siehe dazu Abschnitt 8.2 »Anweisungsende«). Deshalb rechnet er nun dieses zur Kontrollstruktur. Alle folgenden Anweisungen werden daher in jedem Fall ausgeführt, unabhängig von der `if`-Bedingung – was vom Programmierer vermutlich nicht so beabsichtigt war:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int punkte;
   cout << "Wie viele Punkte hast Du? ";
   cin >> punkte;
   if (punkte > 10);  // ???
   {
      cout << "So viele!" << endl;
      cout << "Gratuliere!" << endl;
   }
   cout << "Hier geht's \"normal\" weiter" << endl;
}
```

Ausgabe:

```
Wie viele Punkte hast Du? 0
So viele!
Gratuliere!
Hier geht's "normal" weiter
```

17.2.1 Verschachteln von Kontrollstrukturen

Man spricht bei Kontrollstrukturen von Anweisungen (z.B. `if`-Anweisung und `switch`-Anweisung), nachdem sie im Code überall dort eingesetzt werden dürfen, wo auch eine einfache Anweisung stehen darf. So gesehen werden Kontrollstrukturen vom Compiler tatsächlich wie einfache Anweisungen behandelt. Nun enthält jede Kontrollstruktur selbst wiederum eine oder mehrere Anweisungen. Daraus folgt, dass Kontrollstrukturen untereinander beliebig verschachtelt werden können:

```
if (Bedingung)
{
   …
   if (Bedingung)
   {
      Anweisung(en)
   }
   …
}
```

Wie gesagt, die Möglichkeit der Verschachtelung gilt für alle Kontrollstrukturen und ist auch nicht auf ein und dieselbe Kontrollstruktur beschränkt.

HINWEIS

Allgemein gilt zwischen einzelnen Anweisungen und Anweisungsblöcken folgende Beziehung: An jeder Stelle im Code, an der eine einfache Anweisung verwendet werden kann, darf auch ein Anweisungsblock stehen. Daraus ergibt sich, dass Blöcke grundsätzlich verschachtelt werden dürfen.

Dazu ein kleines Beispiel unter Anwendung des Modulo-Operators (zu diesem Operator siehe Abschnitt 12.2.1 »Der Modulo-Operator«).

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int zahl;
   cout << "Gib eine Zahl ein: ";
   cin >> zahl;

   if (zahl > 0)
   {
      cout << "Die Zahl ist positiv";
```

```
      if (zahl % 2 == 0)
      {
         cout << " und gerade";
      }
      cout << '.' << endl;
   }
   cout << "Tschau" << endl;
}
```

Ausgabe:

```
Gib eine Zahl ein: -32
Tschau
```

bzw.

```
Gib eine Zahl ein: 99
Die Zahl ist positiv.
Tschau
```

bzw.

```
Gib eine Zahl ein: 100
Die Zahl ist positiv und gerade.
Tschau
```

Eine Zahl ist gerade, wenn sie durch 2 ohne Rest teilbar ist. Um im Programm festzustellen, ob die zuvor vom Benutzer eingegebene Zahl gerade ist, ist es daher ausreichend, den Ausdruck `zahl % 2` mit `0` zu vergleichen:

```
zahl % 2 == 0
```

Ist diese Bedingung wahr, so ist der in `zahl` gespeicherte Wert gerade, und die Ausgabe wird mit der Anweisung

```
cout << "und gerade";
```

um den Text

```
und gerade
```

ergänzt. Das Programm führt diesen Vergleich ausschließlich für positive Zahlen durch, da der Programmlauf bei Eingabe von negativen Zahlen die innere `if`-Anweisung nicht erreicht.

17.2.2 Konvertierung in logischen Ausdrücken

Wie weiter oben festgestellt, liefern logische Ausdrücke immer einen Wahrheitswert zurück: `true` oder `false`. Zudem gilt, dass es sich bei Bedingungen stets um logische Ausdrücke handeln muss. Dennoch ist es in C++ erlaubt, Bedingungen zu formulieren, die einen numerischen Wert ergeben. Dies ist darin begründet, dass C++ in Bedingungen gegebenenfalls eine implizite Konvertierung in den booleschen Datentyp durchführt, wobei der Wert `0` zu `false`, alle anderen numerischen Werte zu `true` konvertiert werden.

Statt

```
if (zahl != 0)
```

kann man unter Ausnutzung des beschriebenen Konvertierungsverhaltens auch kürzer schreiben:

```
if (zahl)
```

Ebenso lässt sich die Bedingung

```
if (zahl == 0)
```

auch als

```
if (!zahl)
```

formulieren.

HINWEIS

Ob dies nun einem guten Programmierstil entgegensteht, sei dahingestellt. Vor allem unter C-Programmierern war und ist es weit verbreitet, von der kürzeren Notation Gebrauch zu machen. Dem Programmierneuling sei auf jeden Fall empfohlen, Bedingungen auszuformulieren.

Vorsicht ist in diesem Zusammenhang beim Vergleich von Variablenwerten auf Gleichheit geboten:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int z;
   cin >> z;
   if (z == 8)
      cout << "Die Acht!";
}
```

Bei Eingabe des Wertes `8` soll das Programm den Text

```
Die Acht!
```

ausgeben. Für alle anderen Eingabewerte soll nichts geschehen, was in Bezug auf obiges Listing auch der Fall ist.

Falls der Programmierer jedoch in der Bedingung versehentlich ein Gleichheitszeichen vergisst, handelt es sich eben nicht um einen logischen Vergleich, sondern um eine Zuweisung:

```
if (z = 8)
```

Das Schlimme daran ist, dass dieses Versehen nicht etwa eine Fehlermeldung zur Folge hat. Vielmehr wird die Zuweisung durchgeführt, die Variable `z` erhält den Wert `8` und anschließend erfolgt die Konvertierung in den booleschen Datentyp gemäß der oben genannten Regel. Und da `8` eben eine Zahl ungleich `0` ist, ist diese Bedingung immer wahr:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int z;
   cin >> z;
   if (z = 8)
      cout << "Die Acht!";
}
```

Ausgabe:

```
11
Die Acht!
```

ACHTUNG

Die Verwechslung von = und == ist einer der häufigsten und teilweise tückischsten Fehler, da er vom Compiler in den meisten Fällen nicht als syntaktischer Fehler erkannt wird (wie es oben der Fall ist).

Nur wenn links vom Gleichheitszeichen ein Literal oder eine `const`-Konstante steht, wird der Fehler vom Compiler moniert, da einer solchen natürlich kein Wert zugewiesen werden kann.

TIPP

Manche Programmierer bevorzugen daher die umgekehrte Schreibweise, das Literal in diesem Fall links vom »==«-Operator:

```
if (8 == z) // enstpricht z == 8
   cout << "Die Acht!";
```

Die Wirkung bei diesem Vergleich ist dieselbe. Schreibt man jedoch versehentlich ein Gleichheitszeichen, moniert der Compiler einen syntaktischen Fehler. Da sich das Programm gar nicht erst kompilieren lässt, findet man den Fehler erheblich leichter:

```
if (8 = z) // SYNTAKTISCHER FEHLER!
   cout << "Die Acht!";
```

17.2.3 if else

Bei Bedarf kann man das `if`-Konstrukt um einen `else`-Zweig erweitern. Dieser besteht aus dem Schlüsselwort `else` und einem zugehörigen Anweisungsteil, der nur dann ausgeführt wird, wenn die `if`-Bedingung den Wert `false` ergibt. Die Syntax lautet:

```
if (Bedingung)
{
   Anweisung(en)
}
else
{
   Anweisung(en)
}
```

Dabei kann es sich jeweils um eine beliebige Anzahl von Anweisungen handeln. Ist nur eine Anweisung zum `else`-Zweig zugehörig, ist das Setzen von Klammern optional. Das Gleiche gilt natürlich für den `if`-Zweig.

Ist die `if`-Bedingung wahr, werden die Anweisungen des `if`-Zweiges ausgeführt, andernfalls die Anweisungen des `else`-Zweiges. Es kommt also – alternativ – in jedem Fall ein Anweisungsteil zum Zuge:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int zahl;
   cout << "Gib eine Zahl ein: ";
   cin >> zahl;
   if (zahl % 2 == 0)
      cout << "Die Zahl ist gerade.";
   else
      cout << "Die Zahl ist ungerade.";
   cout << endl;
}
```

Ausgabe:

```
Gib eine Zahl ein: 12
Die Zahl ist gerade.
```

bzw.

```
Gib eine Zahl ein: 9
Die Zahl ist ungerade.
```

Beachten Sie:

- Das Konstrukt `if else` wird wie die einfache `if`-Anweisung vom Compiler als Einheit, gewissermaßen wie eine Anweisung, behandelt (siehe weiter oben).
- Auch im `else`-Zweig eines `if else`-Konstrukts ist eine Schachtelung von weiteren Kontrollstrukturen möglich.
- Ein `else` darf niemals alleine (ohne zugehöriges `if`) im Code stehen.
- Durch Einrücken der Anweisungen innerhalb eines Blocks wird deutlich, welcher `else`-Teil zu welchem `if` gehört.

HINWEIS

Wenn Sie einen Quellcode lesen müssen, bei dem die Strukturen nicht durch Einrücken erkennbar sind, verfahren Sie nach folgender Regel:

Ein `else` gehört jeweils zum letzten `if` ohne `else`.

Gehen Sie im Code von oben nach unten, bis Sie auf das erste `else` treffen. Dieses rechnen Sie zum letzten `if`. Dann gehen Sie weiter, bis Sie auf das nächste `else` treffen, und rechnen dieses zum letzten `if`, das noch ohne `else` ist usw.

17.2.4 Stringvergleiche

Die Vergleichsoperatoren == und != lassen sich auch auf Strings anwenden. Damit steht Ihnen eine einfache Möglichkeit zum Vergleich von Zeichenketten bzw. Stringvariablen zur Verfügung:

```
#include <iostream>
#include <string>
using namespace std;

void main(void)
{
   string vorname;
   cout << "Sag mir Deinen Vornamen: ";
   cin >> vorname;
   if (vorname == "Walter")
      cout << "Du schon wieder!" << endl;
   else
      cout << "Willkommen!" << endl;
   // …
}
```

Ausgabe:

```
Sag mir Deinen Vornamen: Walter
Du schon wieder!
```

bzw.

```
Sag mir Deinen Vornamen: Hans
Willkommen!
```

17.2.5 else if

Oft ist es notwendig, auf mehrere Bedingungen zu testen. Dies kann geschehen, indem man mehrere `if`-Anweisungen im Code hintereinander setzt. Dabei kann es durchaus erwünscht sein, dass für bestimmte Fälle mehrere Anweisungsteile zur Ausführung gelangen:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int zahl;
   cout << "Gib mir eine Zahl: ";
   cin >> zahl;
   if (zahl > 0)
   {
      cout << "Die Zahl ist positiv." << endl;
   }
   if (zahl % 2 == 0)
   {
      cout << "Die Zahl ist gerade." << endl;
   }
}
```

Ausgabe:

```
Gib mir eine Zahl: 8
Die Zahl ist positiv.
Die Zahl ist gerade.
```

In anderen Fällen erfordert es die Programmlogik, dass sich die einzelnen Bedingungen gegenseitig ausschließen. Dann ist bei der Formulierung der `if`-Bedingungen besondere Aufmerksamkeit geboten:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int punkte;
   cout << "Wie viele Punkte hast Du? ";
   cin >> punkte;
   if (punkte < 5)
   {
      cout << "So wenig! - Tut mir Leid!";
   }
   if (punkte >= 5 && punkte <= 10)
   {
      cout << "Ist doch ganz gut!";
   }
   if (punkte > 10)
   {
      cout << "So viele! - Gratuliere!";
   }
   cout << endl;
}
```

Ausgabe:

```
Wie viele Punkte hast Du? 7
Ist doch ganz gut!
```

So ist für die Bedingung der zweiten `if`-Anweisung eine logische Und-Verknüpfung notwendig.

```
punkte >= 5 && punkte <= 10
```

Die Anweisung

```
cout << "Ist doch ganz gut!";
```

soll ja nur für eine Punktzahl, die im Bereich zwischen 5 und 10 (inklusive) liegt, ausgeführt werden. Lautet die Bedingung dagegen `punkte >= 5`, dann kommt für eine Punktzahl, die über 10 liegt, sowohl diese Anweisung als auch die Anweisung des letzten `if`-Konstrukts zur Ausführung:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int punkte;
   cout << "Wie viele Punkte hast Du? ";
   cin >> punkte;
   if (punkte < 5)
   {
      cout << "So wenig! - Tut mir Leid!";
   }
   if (punkte >= 5)  // ???
   {
      cout << "Ist doch ganz gut!";
   }
   if (punkte > 10)
   {
      cout << "So viele! - Gratuliere!";
   }
   cout << endl;
}
```

Ausgabe:

```
Wie viele Punkte hast Du? 11
Ist doch ganz gut!So viele! - Gratuliere!
```

Falls sich mehrere Bedingungen gegenseitig ausschließen sollen, lassen sich die Verzweigungen auch sehr elegant mit einer `else if`-Konstruktion erzeugen. Die entsprechende Syntax lautet:

```
if (Bedingung_1)
{
   Anweisung(en)
}
else if (Bedingung_2)
{
   Anweisung(en)
}
…

else if (Bedingung_n)
{
   Anweisung(en)
}
```

Sobald entweder der Anweisungsteil des `if`-Zweiges oder einer der `else if`-Zweige zur Ausführung gelangt – weil die entsprechende Bedingung wahr ist –, landet die Programmausführung außerhalb des ganzen Konstrukts. Es ist also sichergestellt, dass nicht mehr als ein Anweisungsteil abgearbeitet wird.

HINWEIS

Im Grunde genommen handelt es sich bei dieser Konstruktion um nichts anderes als um eine Verschachtelung von `if else`-Zweigen:

```
if (Bedingung)
{
   Anweisung(en)
}
else
   if (Bedingung 2)
   {
      Anweisung(en)
   }
   else
      if (Bedingung n)
      {
         Anweisung(en)
      }
      …
```

Denken Sie daran, dass ein `if else`-Konstrukt gewissermaßen als eine einzige Anweisung anzusehen ist. Da hier jedem `else` nur eine einzige (`if else`-)Anweisung folgt, ist das Setzen von Klammern (`{}`) für die jeweiligen `else`-Zweige nicht erforderlich.

Hier die entsprechende Konstruktion auf unser obiges Beispiel angewendet. Für die zweite Bedingung ist der logische Ausdruck `punkte >= 5` nunmehr ausreichend:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int punkte;
   cout << "Wie viele Punkte hast Du? ";
   cin >> punkte;
   if (punkte > 10)
   {
      cout << "So viele! - Gratuliere!";
   }

   else if (punkte >= 5)
   {
      cout << "Ist doch ganz gut! ";
   }
   else if (punkte < 5)
   {
      cout << "So wenig! - Tut mir Leid! ";
   }
   cout << endl;
}
```

Ausgabe:

```
Wie viele Punkte hast Du? 15
So viele! - Gratuliere!
```

HINWEIS

Beachten Sie, dass es bei `else if`-Anweisungen auf die Reihenfolge der einzelnen Bedingungen ankommen kann. Oben wird als Erstes auf `punkte > 10` und als Zweites auf `punkte >= 5` überprüft. Würde dagegen die ursprüngliche Reihenfolge verwendet, nämlich dass der Vergleich `punkte >= 5` vor dem von `punkte > 10` erfolgen würde, träfe `punkte >= 5` auch auf einen Punktestand von über 10 zu und die dann dritte Bedingung `punkte > 10` würde nicht mehr abgefragt. Man erhielte dann grundsätzlich ab einem Punktestand von 5 (inklusive) die Ausgabe `Ist doch ganz gut!`, aber niemals den Bewertungstext `So viele! - Gratuliere!`. Es ist also bei solchen Abfragen zu beachten, dass sie von oben nach unten abgearbeitet werden; man darf daher keine Fälle »aussortieren«, die man später noch abfragen möchte.

Selbstverständlich hat es keine negativen Auswirkungen, wenn Sie für die entsprechende Bedingung dennoch

```
if (punkte >= 5 && punkte <= 10)
```

formulieren.

Da es sich bei dieser Konstruktion eben eigentlich um eine Verschachtelung von `if else`-Zweigen handelt (siehe Hinweis weiter oben), lässt sich bei Bedarf auch noch ein abschließender `else`-Zweig hinzufügen:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int note;
   cout << "Welche Note hast Du bekommen? ";
   cin >> note;
   if (note == 1)
   {
      cout << "Sehr gut!";
   }

   else if (note == 2)
   {
      cout << "Gut!";
   }
   else if (note == 3)
   {
      cout << "In Ordnung";
   }
```

```
    else if (note == 4)
    {
       cout << "So lala";
    }
    else if (note == 5)
    {
       cout << "Nicht gut!";
    }
    else if (note == 6)
    {
       cout << "Schlecht!";
    }
    else
    {
       cout << "Diese Note gibt es nicht!";
    }
    cout << endl;
}
```

Ausgabe:

```
Welche Note hast Du bekommen? 2
Gut!
```

Der abschließende `else`-Zweig wird immer dann ausgeführt, wenn dies für keinen der übrigen Zweige zutrifft:

```
Welche Note hast Du bekommen? 9
Diese Note gibt es nicht!
```

17.3 Die switch-Anweisung

Speziell zur Implementation von Mehrfachverzweigungen bietet C++ als weitere Möglichkeit die `switch`-Anweisung. Zwar können Sie jede Aufgabenstellung auch unter Anwendung von `if`-Anweisungen bzw. `if else`-Konstrukten umsetzen. Für den Benutzer Ihres Programms macht das keinen Unterschied. Dennoch besitzt die `switch`-Anweisung ihre Existenzberechtigung, da diese in gewisser Weise geradlinig und gut überschaubar ist.

HINWEIS

Viele Kontrollstrukturen sind letzten Endes untereinander austauschbar – was insbesondere für Schleifen gilt (zu Schleifen siehe Kapitel 18 »Wiederholungsanweisungen«). Lassen Sie sich von dieser Tatsache nicht verwirren. Wie an anderer Stelle bereits erwähnt, gibt es in der Programmierung in den seltensten Fällen nur eine Lösung für ein Problem.

Die `switch`-Anweisung eignet sich besonders dann, wenn mehrere Anweisungsteile alternativ ausgeführt werden sollen. Von daher entspricht sie weitgehend der im letzten Abschnitt vorgestellten `else if`-Konstruktion. Es erfolgt jedoch keine Bedingungsprüfung, sondern ein direkter Werte-

vergleich, was den Anwendungsbereich der `switch`-Anweisung etwas einschränkt.

Die Syntax lautet

```
switch (Ausdruck)
{
   case Konstante_1:
      Anweisung(en)
      break;
   case Konstante_2:
      Anweisung(en)
      break;
   …
   case Konstante_n:
      Anweisung(en)
      break;
   default:
      Anweisung(en)
}
```

Der dem einleitenden Schlüsselwort `switch` folgende Ausdruck muss in runde Klammern gesetzt werden. Grundsätzlich darf es sich dabei um einen beliebigen Ausdruck handeln, mit der Einschränkung, dass dieser einen ganzzahligen Datentyp besitzen muss. Meist wird dort der Bezeichner einer Variablen vom Datentyp `int` oder `char` stehen.

Die einzelnen Programmzweige werden jeweils mit dem Schlüsselwort `case` und der Angabe eines konstanten Wertes, gefolgt von einem Doppelpunkt, eingeleitet.

HINWEIS

Demnach darf in den `case`-Marken kein Variablenname angegeben werden, wohl aber der Bezeichner einer `const`-Konstanten.

Die `case`-Konstante muss vom selben Datentyp sein wie der oben nach dem Schlüsselwort `switch` angegebene Ausdruck. Daraus folgt, dass auch für die `case`-Konstanten ausschließlich ganzzahlige Datentypen in Frage kommen. Gleitkommawerte sowie Strings sind nicht erlaubt.

Nach dem Doppelpunkt schließt sich der Anweisungsteil des entsprechenden `case`-Zweiges an. Eine Klammerung ist hier nicht erforderlich, da die `case`-Marken bzw. die `default`-Marke gleichfalls als Begrenzer zwischen den einzelnen Anweisungsteilen fungieren (für den Anweisungsteil des letzten Zweiges gilt natürlich die schließende geschweifte Klammer des `switch`-Konstrukts als unterer Begrenzer).

Bei Eintritt in die `switch`-Anweisung während des Programmlaufs wird zunächst der Ausdruck ausgewertet. Der Rückgabewert wird der Reihe nach mit den einzelnen `case`-Konstanten verglichen. Sobald eine Übereinstimmung auftritt, wird der zugehörige Programmzweig ausgeführt.

Der `default`-Zweig ist optional. Ist er vorhanden, so werden die Anweisungen dieses Zweiges ausgeführt, falls keine der `case`-Konstanten mit

dem Rückgabewert des `switch`-Ausdrucks übereinstimmt. Ansonsten wird in diesem Fall die `switch`-Anweisung ohne Aktion verlassen, und die Programmausführung setzt mit der nächsten Anweisung nach dem Konstrukt fort.

Hier das letzte Beispiel, jetzt mit der `switch`-Anweisung umgesetzt:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int note;
   cout << "Welche Note hast Du bekommen? ";
   cin >> note;
   switch (note)
   {
      case 1:
         cout << "Sehr gut!";
         break;
      case 2:
         cout << "Gut!";
         break;
      case 3:
         cout << "In Ordnung";
         break;
      case 4:
         cout << "So lala";
         break;
      case 5:
         cout << "Nicht gut!";
         break;
      case 6:
         cout << "Schlecht!";
         break;
      default:
         cout << "Diese Note gibt es nicht!";
   }
   cout << endl;
}
```

Ausgabe:

```
Welche Note hast Du bekommen? 1
Sehr gut!
```

Vermutlich fragen Sie sich, was es mit den `break`-Anweisungen (`break;`) auf sich hat. Dazu Folgendes: Die Stelle vom Schlüsselwort `case` bis zum Doppelpunkt (`case` *Konstante*:) definiert eine so genannte Sprungmarke. Dabei handelt es sich um eine Position im Quellcode, die benannt ist. Diese Marke wird angesprungen, wenn der Wert der Konstanten mit dem Ergebniswert des `switch`-Ausdrucks übereinstimmt. Sobald ein

Sprungziel erreicht ist, werden alle folgenden Anweisungen bis zum Ende des `switch`-Konstrukts abgearbeitet, weitere `case`-Marken praktisch ignoriert:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int note;
   cout << "Welche Note hast Du bekommen? ";
   cin >> note;
   switch (note)
   {
      case 1:
         cout << "Sehr gut!";
      case 2:
         cout << "Gut!";
      case 3:
         cout << "In Ordnung";
      case 4:
         cout << "So lala";
      case 5:
         cout << "Nicht gut!";
      case 6:
         cout << "Schlecht!";
      default:
         cout << "Diese Note gibt es nicht!";
   }
   cout << endl;
}
```

Ausgabe:

```
Welche Note hast Du bekommen? 3
In OrdnungSo lalaNicht gut!Schlecht!Diese Note gibt es nicht!
```

Die Anweisung

```
break;
```

bewirkt nun, dass ein `switch`-Konstrukt sofort verlassen wird, was im obigen Fall von der Logik her jeweils am Ende eines `case`-Zweiges erwünscht ist.

Sie dürfen die `break`-Anweisung übrigens auch an anderen Stellen des `switch`-Konstrukts einsetzen, etwa in inneren `if else`-Zweigen. Sie muss nicht zwangsläufig die am weitesten unten stehende Anweisung innerhalb eines Zweiges sein.

```
…
int note, letzteNote;
…
switch (note)
{
…
   case 3:
      if (letzteNote > 3)
      {
         cout << "Immer besser!";
         break;
      }
      else
      {
         cout << "In Ordnung";
         break;
      }
   case 4:
…
```

ACHTUNG

Beachten Sie, dass die Verwendung der `break`-Anweisung ausschließlich im Zusammenhang mit der `switch`-Anweisung sowie mit Schleifen erlaubt ist (zu Schleifen siehe Kapitel 18 »Wiederholungsanweisungen«). Im obigen Codestück steht die `break`-Anweisung zwar innerhalb eines `if else`-Konstrukts, sie bezieht sich aber auf die äußere `switch`-Anweisung.

Wie am obigen Beispiel zu erkennen, darf die `switch`-Anweisung – wie jede andere Kontrollstruktur – beliebig verschachtelt werden. Das heißt auch, dass jeder `case`-Zweig – und natürlich auch der `default`-Zweig – wiederum weitere `switch`-Anweisungen enthalten darf.

HINWEIS

Über die Verschachtelungstiefe brauchen Sie sich keine Gedanken zu machen. Falls Ihr Compiler diesbezüglich eine Grenze setzt, liegt diese nicht unter 256.

Des Weiteren müssen die einzelnen `case`-Konstanten innerhalb der `switch`-Anweisung keine besondere Reihenfolge haben. Es ist also nicht erforderlich, diese aufsteigend anzugeben:

```
…
switch (note)
{
   case 5:
      cout << "Nicht gut!";
      break;
   case 2:
      cout << "Gut!";
      break;
```

```
   case 4:
      cout << "So lala";
      break;
…
```

Ferner sei darauf hingewiesen, dass in den einzelnen `case`-Zweigen – wie grundsätzlich in jedem Block – beliebig viele Anweisungen stehen dürfen.

Beachten Sie aber, dass die Verwendung der `switch`-Anweisung folgenden Beschränkungen unterworfen ist:

- Sie ist nur auf ganzzahlige Datentypen anwendbar. Der Vergleich von Gleitkommawerten oder Zeichenketten ist nicht erlaubt.
- Es sind keine Bereichsprüfungen möglich (z.B. `note > 3`).

Für die genannten Fälle bleibt Ihnen nichts anderes übrig, als auf die `if`- bzw. `if else`-Konstrukte zurückzugreifen.

Häufig wird die `switch`-Anweisung eingesetzt, um ein Auswahlmenü zu realisieren. Der Anwender erhält zunächst ein Menü und entscheidet dann durch Eingabe einer Zahl oder eines Zeichens, welche Aktion ausgeführt werden soll.

Als Beispiel hierzu ein kleines Rechenprogramm. Der Benutzer soll zwei Zahlen eingeben und dann entscheiden, welche Rechenoperation mit diesen Zahlen stattfindet:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   double zahl1, zahl2;
   char auswahl;
   cout << "Geben Sie 2 Zahlen ein: ";
   cin >> zahl1 >> zahl2;
   cout << "\n(A)ddition" << endl;
   cout << "(S)ubtraktion" << endl;
   cout << "(M)ultiplikation" << endl;
   cout << "(D)ivision\n\n";
   cout << "Auswahl: ";
   cin >> auswahl;
   // …
   cout << endl;
}
```

Ausgabe:

```
Geben Sie 2 Zahlen ein: 17.9  29.11

(A)ddition
(S)ubtraktion
(M)ultiplikation
(D)ivision

Auswahl: A
```

Die Anfangsbuchstaben der zur Verfügung stehenden Rechenoperationen sind in Klammern gesetzt, um dem Benutzer deutlich zu machen, wie er zwischen diesen wählen kann. So soll er sich z.B. durch Drücken der Taste A für die Addition entscheiden können. Ober- und unterhalb des Menüs wurde eine zusätzliche Leerzeile eingefügt (`\n`). Die Variable `auswahl` dient dazu, die Benutzerauswahl festzuhalten. Als Datentyp wird `char` eingesetzt, da es sich bei der entsprechenden Eingabe um ein Zeichen handelt.

Nun muss sich das Programm in Abhängigkeit von der Benutzerauswahl verzweigen. Zur Implementation der verschiedenen Programmzweige eignet sich die `switch`-Anweisung mit `auswahl` als Prüfvariable:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   double zahl1, zahl2;
   char auswahl;
   cout << "Geben Sie 2 Zahlen ein: ";
   cin >> zahl1 >> zahl2;
   cout << "\n(A)ddition" << endl;
   cout << "(S)ubtraktion" << endl;
   cout << "(M)ultiplikation" << endl;
   cout << "(D)ivision\n\n";
   cout << "Auswahl: ";
   cin >> auswahl;
   cout << endl;
   switch (auswahl)
   {
      case 'A':
         cout << zahl1 << " + " << zahl2
              << " = " << zahl1 + zahl2;
         break;
      case 'S':
         cout << zahl1 << " - " << zahl2
              << " = " << zahl1 - zahl2;
         break;
      case 'M':
         cout << zahl1 << " * " << zahl2
              << " = " << zahl1 * zahl2;
         break;
      case 'D':
         cout << zahl1 << " / " << zahl2
              << " = " << zahl1 / zahl2;
   }
   cout << endl;
}
```

Beachten Sie, dass für den letzten `case`-Zweig kein `break`-Befehl erforderlich ist, da das `switch`-Konstrukt hier ohnehin endet. Falls Sie jedoch für

eine ungültige Auswahl einen `default`-Zweig einrichten, sollten Sie das nachträgliche Setzen der `break`-Anweisung in diesem `case`-Zweig nicht vergessen:

```
…
case 'D':
   cout << zahl1 << " / " << zahl2
        << " = " << zahl1 / zahl2;
   break;
default:
   cout << "Ung\x81ltige Auswahl (A, S, M oder D)";
}  // Ende von switch
…
```

Die Ausgabe des obigen Programms für die Addition der Eingabezahlen `37.31` und `73.69` ist Abbildung 17.1 zu entnehmen.

Bild 17.1: Rechenprogramm

Achten Sie bitte nach dem Start des Programms darauf, bei der Auswahl für die Rechenoperation den entsprechenden Großbuchstaben (z.B. `A`) einzugeben, da nur auf diesen überprüft wird.

Genau hier liegt ein Verbesserungspotenzial. Dabei bietet es sich an, dem Benutzer die Auswahl auch mit den entsprechenden Kleinbuchstaben zu gestatten. Es sollen also für zwei Werte (Groß- und Kleinbuchstabe) die gleichen Aktionen durchgeführt werden, z.B. Addition bei Eingabe von `A` und `a`. Solche Fälle – dass bei zwei oder mehr Werten dasselbe geschehen soll – kommen in der Praxis häufig vor.

Wir hatten oben dargelegt, dass, nachdem ein Sprungziel erreicht ist, mit der Programmausführung so lange sequenziell weitergemacht wird, bis das nächste `break`; oder das Ende der `switch`-Anweisung erreicht ist – ungeachtet, ob dabei die Anweisungen mehrerer `case`-Zweige ausgeführt werden. Dieses Verhalten lässt sich ausnutzen, um für zwei oder mehr `case`-Marken denselben Anweisungsteil zur Ausführung zu bringen. Man setzt die entsprechenden `case`-Marken einfach untereinander, wobei nur die letzte `case`-Marke einen Anweisungsteil besitzt.

Wenn Sie im obigen Rechenprogramm erreichen möchten, dass die Addition sowohl für die Eingabe `A` als auch für die Eingabe `a` durchgeführt wird, dann schreiben Sie:

```
…
case 'a':
case 'A':
   cout << zahl1 << " + " << zahl2
        << " = " << zahl1 + zahl2;
   break;
…
```

Hier das entsprechend erweiterte Listing:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   double zahl1, zahl2;
   char auswahl;
   cout << "Geben Sie 2 Zahlen ein: ";
   cin >> zahl1 >> zahl2;
   cout << "\n(A)ddition" << endl;
   cout << "(S)ubtraktion" << endl;
   cout << "(M)ultiplikation" << endl;
   cout << "(D)ivision\n\n";
   cout << "Auswahl: ";
   cin >> auswahl;
   cout << endl;
   switch (auswahl)
   {
      case 'a':
      case 'A':
         cout << zahl1 << " + " << zahl2
              << " = " << zahl1 + zahl2;
         break;
      case 's':
      case 'S':
         cout << zahl1 << " - " << zahl2
              << " = " << zahl1 - zahl2;
         break;
      case 'm':
      case 'M':
         cout << zahl1 << " * " << zahl2
              << " = " << zahl1 * zahl2;
         break;
      case 'd':
      case 'D':
         cout << zahl1 << " / " << zahl2
              << " = " << zahl1 / zahl2;
   }
```

```
   cout << endl;
}
```

Ausgabe:

```
Geben Sie 2 Zahlen ein: 17  39

(A)ddition
(S)ubtraktion
(M)ultiplikation
(D)ivision

Auswahl: m

17 * 39 = 663
```

Beachten Sie, dass es sich trotz mehrerer `case`-Marken um jeweils nur einen Programmzweig handelt – `case`-Marken dienen als Sprungziel, ansonsten werden sie ignoriert.

Enthält die Variable `auswahl` also den Wert `'m'` (weil der Benutzer bei der Auswahl ein kleines »m« eingegeben hat), so wird die zugehörige `case`-Marke (`case 'm':`) angesprungen und der nächstliegende Anweisungsteil ausgeführt. Dieser beginnt hier unmittelbar nach der Marke `case 'M':`. Die Programmausführung »rutscht« gewissermaßen vom Sprungziel bis zum nächsten `break`; bzw. bis zum Ende der `switch`-Anweisung durch. Etwaige weitere `case`-Marken, auf die getroffen wird, werden dabei nicht beachtet.

17.4 Bedingungsoperator

Der Bedingungsoperator (`?:`) arbeitet ähnlich wie die `if else`-Anweisung, hat aber gegenüber dieser einige Vorteile. So lassen sich Abfragen kürzer schreiben und es ist eine Einbettung in bestimmte Konstruktionen möglich, z.B. in Funktionsaufrufe, ohne dass zusätzliche (Hilfs-)Variablen eingeführt werden müssen.

Beim Bedingungsoperator handelt es sich um den einzigen tertiären Operator der Programmiersprache C++. Das heißt, er besitzt drei Operanden:

`Ausdruck_1 ? Ausdruck_2 : Ausdruck_3`

Der am weitesten links stehende Operand (*Ausdruck1*) ist ein logischer Ausdruck. Dieser wird ausgewertet, woraufhin entschieden wird, welchen Rückgabewert der gesamte, mit dem Bedingungsoperator gebildete Ausdruck besitzt. Ist *Ausdruck1* wahr, so entspricht der Wert des Gesamtausdrucks dem Rückgabewert von *Ausdruck2*, andernfalls dem von *Ausdruck3*. Mit anderen Worten: Ist *Ausdruck1* `true`, wird *Ausdruck2* ausgewertet, ansonsten *Ausdruck3*.

Man kann den ganzen Ausdruck demzufolge lesen als

wenn zutreffend ? *dann* : *sonst*

Dazu ein Beispiel:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << (1 < 2 ? "ja" : "nein");
}
```

Ausgabe: `ja`

Die Bedingung

```
1 < 2
```

ist `true`, daher besitzt der gesamte Ausdruck

```
1 < 2 ? "ja" : "nein"
```

den Wert `"ja"`, was dem Wert des zweiten Ausdrucks (*Ausdruck2*) entspricht.

HINWEIS

Der Ausdruck

```
1 < 2 ? »ja« : »nein«
```

muss in der Anweisung

```
cout << (1 < 2 ? »ja« : »nein«);
```

geklammert werden, da der Ausgabeoperator (`<<`) eine höhere Priorität als der Bedingungsoperator (`?:`) besitzt.

Häufig wird der Bedingungsoperator in Verbindung mit einer Zuweisung verwendet:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   double z1, z2, groesser;
   cin >> z1 >> z2;
   groesser = z1 > z2 ? z1 : z2;
   cout << "Wert von groesser: " << groesser;
}
```

Ausgabe:

```
15
20
Wert von groesser: 20
```

Mit der Zuweisung

```
groesser = z1 > z2 ? z1 : z2;
```

erhält die Variable `groesser` die größtmöglichste der eingegebenen Zahlen. Falls der in `z1` gespeicherte Wert größer ist als der in `z2`, bekommt

die Variable `groesser` den Wert der Variablen `z1` zugewiesen, ansonsten den Wert der Variablen `z2`.

HINWEIS

Die Kombination von Bedingungsoperator und Zuweisung wird auch *bedingte Zuweisung* genannt.

Betrachten wir nun das Beispiel mithilfe eines `if else`-Konstrukts umgesetzt. Hier zeigen sich die Gemeinsamkeiten – beim Bedingungsoperator handelt es sich letztendlich – wie vorhin angedeutet – um eine Kurzform der `if else`-Anweisung. Der Bedingungsoperator ist aber dieser gegenüber eingeschränkt, da er nur einen Wert zurückgibt, aber nicht die Ausführung von weiteren Aktionen – realisiert über Anweisungen – erlaubt.

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   double z1, z2, groesser;
   cin >> z1 >> z2;
   if(z1 > z2)
      groesser = z1;
   else
      groesser = z2;
   cout << "Wert von groesser: " << groesser;
}
```

Ausgabe wie zuvor.

17.5 Zufallszahlen auslosen

Zum Abschluss dieses Kapitels wollen wir Ihnen eine Funktion (eigentlich sind es zwei, mit der Funktion `time()` sogar drei) vorstellen, die es ermöglicht, im Programm Zufallszahlen zu generieren. Die Funktion heißt `rand()`. Sie liefert eine Zufallszahl im Bereich `0` bis `RAND_MAX`, wobei `RAND_MAX` eine vordefinierte symbolische Konstante ist, deren Wert vom verwendeten Compiler abhängt. Der C++-Standard (gemeint ist der ANSI/ISO-Standard) schreibt diesbezüglich keinen bestimmten Wert vor. Bei den meisten Compilern – so bei dem von Borland wie auch beim Visual C++-Compiler – entspricht dieser Wert `32767`, sodass ein Aufruf von `rand()` eine Zufallszahl zwischen `0` und `32767` liefert.

HINWEIS

Wenn man eine Funktion verwendet, sagt man: »Die Funktion wird aufgerufen«. Dementsprechend spricht man von einem Funktionsaufruf.

Falls eine Funktion, die einen Rückgabewert besitzt, im Code verwendet – aufgerufen – wird, so steht der Funktionsaufruf als solcher zugleich für den Rückgabewert der aufgerufenen Funktion. Das heißt nichts anderes, als dass der Ausdruck

```
rand()
```

im Code so zu behandeln ist wie etwa ein Literal, das im Wert dem Rückgabewert der aufgerufenen Funktion entspricht. Demnach kann man diesen Ausdruck einfach `cout` übergeben, um die geloste Zufallszahl anzeigen zu lassen.

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << rand();
}
```

Ausgabe ist eine Zahl zwischen `0` und `32767` – wobei wir hier voraussetzen, dass `RAND_MAX` dem Wert `32767` entspricht.

HINWEIS

Möglicherweise müssen Sie die Headerdatei *cstdlib* – bei älteren Compilern *stdlib.h* – einbinden, um die Funktion `rand()` verwenden zu können:

```
#include <cstdlib>
```

bzw.

```
#include <stdlib.h>
```

Beachten Sie, dass es sich bei dem Funktionsaufruf `rand()` definitionsgemäß um einen Ausdruck handelt, da dieser ja für einen Wert – eben den Rückgabewert der bezeichneten Funktion – steht. Man könnte also bezüglich des obigen Listings anstelle von »die Funktion `rand()` besitzt den Rückgabewert …« genauso gut »der Ausdruck `rand()` besitzt den Rückgabewert …« sagen (zu Ausdrücken siehe Abschnitt 12.1 »Was ist ein Ausdruck?«).

HINWEIS

Dies gilt natürlich für alle Funktionen, insofern diese einen Rückgabewert besitzen.

Um den Rückgabewert der Funktion `rand()` – die geloste Zahl – dauerhaft festzuhalten, können Sie diesen auch in einer Variablen speichern. Dem oben Gesagten zufolge muss in diesem Fall der Funktionsaufruf – der Ausdruck `rand()` – auf der rechten Seite der Zuweisung stehen:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int glueck;
   glueck = rand();
   cout << glueck;
}
```

Ausgabe wie zuvor.

Beachten Sie, dass jede erneute Verwendung von `rand()` eine weitere Zufallszahl erzeugt:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << rand() << endl;
   cout << rand() << endl;
   cout << rand() << endl;
   cout << rand() << endl;
   cout << rand() << endl;
}
```

Ausgabe:

```
41
18467
6334
26500
19169
```

Ausgegeben werden fünf Zufallszahlen im Bereich von `0` bis `32767`. Falls Sie das Programm wiederholt ausführen, werden Sie feststellen, dass immer die gleiche Folge von Zufallszahlen ausgelost wird. Dies liegt daran, dass der Zufallsgenerator mit einem Algorithmus arbeitet, der auf einem Startwert basiert, wobei sich aus einem bestimmten Startwert auch stets die gleiche Folge von Zufallszahlen ergibt. Der Zufallsgenerator benutzt permanent den Startwert `1`, falls ihm nicht durch einen Aufruf der Funktion `srand()` ein anderer Ausgangswert übermittelt wird. Der Funktion `srand()` ist beim Aufruf der gewünschte Startwert zu übergeben. Der Aufruf

```
srand(5)
```

initialisiert den Zufallsgenerator folglich mit dem Wert `5`. Allerdings führt dies auch nicht zum gewünschten Ergebnis, da sich nun zwar eine andere, jedoch sich ebenfalls stets wiederholende Folge von Zufallszahlen ergibt.

Das Problem lässt sich lösen, indem man `srand()` den Rückgabewert der Funktion `time()` übergibt und zwar in der Form

```
srand(time(NULL))
```

wobei der Ausdruck

```
time(NULL)
```

die seit dem 1. Januar 1970 vergangenen Sekunden als Integerwert zurückliefert. Somit ist sichergestellt, dass sich dieser Wert von Programmstart zu Programmstart ändert.

Denken Sie daran, dass ein Funktionsaufruf gleichzeitig für den Rückgabewert der aufgerufenen Funktion steht, `time(NULL)` also für den besagten Integerwert. Daher ist es möglich, einer anderen Funktion – hier `srand()` – einen Wert in Form eines Funktionsaufrufs zu übergeben.

Über den Parameter `NULL` brauchen Sie sich hier noch keine Gedanken zu machen – es handelt sich um einen so genannten Nullzeiger (zum Thema Zeiger siehe Kapitel 29). Im Übrigen gilt das auch für Funktionen. Diese sind Gegenstand des 21. Kapitels. Dort werden Themen wie Funktionsaufrufe, Rückgabewerte von Funktionen, Parameter von Funktionen usw. ausführlich behandelt. Schaden kann es aber nichts, an dieser Stelle schon einmal etwas davon gehört zu haben. Wenn Sie in Ihren Programmen Zufallszahlen benötigen, initialisieren Sie den Zufallsgenerator einfach mit der Anweisung

```
srand(time(NULL));
```

Um die Funktion `rand()` sinnvoll verwenden zu können, muss diese Initialisierung vor dem ersten Aufruf von `rand()` erfolgen, und zwar nur ein einziges Mal. Für die Funktion `time()` ist es erforderlich, die Headerdatei *ctime* (bei älteren Compilern *time.h*) einzubinden.

```
#include <iostream>
#include <ctime>
using namespace std;

void main(void)
{
   // …
   srand(time(NULL));
   cout << rand() << endl;
   //…
   cout << rand() << endl;
   // …
}
```

Hier ein kleines Programm, das den Benutzer eine Zufallszahl raten lässt. Die mittels der Funktion `rand()` ausgeloste Zufallszahl wird in der Variablen `glueck` und der Rateversuch des Benutzers in der Variablen `rate` festgehalten. Anschließend werden beide Zahlen miteinander verglichen (`rate == glueck`).

```
#include <iostream>
#include <ctime>
using namespace std;

void main(void)
{
   int glueck, rate;
   srand(time(NULL));
   glueck = rand();
   cout << "Raten Sie mal! ";
   cin >> rate;
```

```
   if (rate == glueck)
   {
      cout << "Richtig geraten!";
   }
   else
   {
      cout << "Daneben! - Die Zahl war "
           << glueck;
   }
   cout << endl;
}
```

Ausgabe:

```
Raten Sie mal! 7
Daneben! - Die Zahl war 3882
```

Allerdings ist bei einem Chancenverhältnis von 1:32768 das Programm gegenüber dem Benutzer allzu sehr im Vorteil. Von daher ist es wünschenswert, die Auslosung der Zufallszahl auf einen kleineren Bereich einzugrenzen. Hierzu bietet sich der Modulo-Operator an, wobei zu beachten ist, dass ein Ausdruck

```
A % B
```

der ja dem Restwert einer Integerdivision `A / B` entspricht, nie größer sein kann als `B - 1`. Oder genauer: Die möglichen Werte, die dieser Ausdruck annehmen kann, liegen im Bereich von `0` bis `B - 1`. Um also eine Zufallszahl im Bereich von `0` bis `10` zu erhalten, kann `rand()` wie folgt verwendet werden:

```
rand() % 11
```

Dieser Ausdruck liefert stets Werte im Bereich von `0` bis `10` (einschließlich). Möchte man eine Zufallszahl im Bereich von `1` bis `10`, lautet der entsprechende Ausdruck:

```
(rand() % 10) + 1
```

Die äußeren Klammern sind von der Priorität her nicht notwendig. Sie dienen hier allein der Verdeutlichung.

HINWEIS

Um eine Lottozahl auszulosen, die ja im Bereich von `1` bis `49` liegt, verwenden Sie demnach den Ausdruck

```
(rand() % 49) + 1
```

Hier das entsprechend modifizierte Listing – die Zufallszahl liegt nun im Bereich von `1` bis `10`:

```
#include <iostream>
#include <ctime>
using namespace std;
```

```
void main(void)
{
   int glueck, rate;
   srand(time(NULL));
   glueck = (rand() % 10) + 1;
   cout << "Raten Sie mal! ";
   cin >> rate;
   if (rate == glueck)
   {
      cout << "Richtig geraten!";
   }
   else
   {
      cout << "Daneben! - Die Zahl war "
           << glueck;
   }
   cout << endl;
}
```

Ausgabe:

```
Raten Sie mal! 5
Richtig geraten!
```

18 Wiederholungsanweisungen

Vielfach ist es notwendig, bestimmte Anweisungen wiederholt auszuführen. Dann müssen Sie diese nicht etwa erneut in den Quellcode schreiben. Zudem ist die Anzahl der erforderlichen Wiederholungen zum Zeitpunkt der Programmentwicklung oft gar nicht vorhersehbar, da sie der Logik entsprechend von einer Entscheidung oder einem bestimmten Verhalten des Benutzers abhängt. Ein Beispiel ist, dass dem Benutzer angeboten wird, eine bestimmte Folge von Aktionen erneut auszuführen oder an dieser Stelle abzubrechen.

Zur Einrichtung von Wiederholungsabläufen stellt C++ spezielle Anweisungen zur Verfügung. Diese zählen wie die im letzten Kapitel besprochenen Verzweigungsanweisungen zu den Kontrollstrukturen, da sie ebenfalls eine Steuerung des Programmflusses ermöglichen. Wegen ihres kreisförmigen Ablaufs werden sie als »Schleifen« bezeichnet.

18.1 Die while-Schleife

Die `while`-Schleife erlaubt es, in Abhängigkeit von einer Bedingung zu entscheiden, ob bzw. wie viele Male eine Anweisung bzw. ein Anweisungsblock ausgeführt werden soll. Ihre Syntax lautet:

```
while (Bedingung)
{
   Anweisung(en)
}
```

Falls genau eine Anweisung verwendet werden soll, muss diese nicht als Block gekennzeichnet werden. Folglich können die geschweiften Klammern weggelassen werden. Die Syntax lautet entsprechend:

```
while (Bedingung)
   Anweisung
```

Beginnend mit dem Schlüsselwort `while` schließt sich eine Bedingung an, gefolgt vom Anweisungsteil. Beachten Sie die syntaktische – und auch funktionale – Ähnlichkeit mit der `if`-Anweisung.

Bei Eintritt in die `while`-Schleife wird zunächst die Schleifenbedingung geprüft. Hierbei handelt es sich wie bei der `if`-Anweisung um einen logischen Ausdruck, der wahr oder falsch sein kann. Ist er wahr, wird der zugehörige Anweisungsteil ausgeführt. Nach jedem Schleifendurchgang wird die Bedingung erneut geprüft. Der Anweisungsteil der `while`-Schleife wird also so lange wiederholt, wie die Auswertung der Schleifenbedingung den Wert `true` ergibt. Andernfalls wird die Schleife verlassen und die Ausführung mit der nächsten Anweisung außerhalb der `while`-Schleife fortgesetzt.

HINWEIS

Der Anweisungsteil von Schleifen wird auch »Schleifenrumpf« genannt. Analog spricht man mitunter vom Kopf einer Schleife. Letzteres allerdings vorwiegend im Zusammenhang mit der `for`-Schleife, nie im Zusammenhang mit der `do while`-Schleife, da diese praktisch keinen »Kopf« besitzt (zu den Schleifenarten siehe Abschnitt 18.2 »Die do while-Schleife« und Abschnitt 18.3 »Die for-Schleife«).

Beispiel:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int zahl = 9;
   while (zahl > 0)
   {
      cout << zahl << "-";
      zahl--;
   }
   cout << "ZERO";
}
```

Ausgabe: `9-8-7-6-5-4-3-2-1-ZERO`

Die Variable `zahl` erhält bei ihrer Deklaration den Startwert `9`. Die Auswertung der Schleifenbedingung ergibt `true` (`9 > 0`), und die Anweisungen des Schleifenrumpfes werden ausgeführt: Es wird der aktuelle Wert von `zahl`, der ja bei Schleifeneintritt `9` ist, zusammen mit dem Zeichen »-« ausgegeben (`9-`), anschließend die Variable dekrementiert, das heißt der Wert von `zahl` um den Betrag von `1` verringert. Die anschließende Prüfung der Schleifenbedingung ergibt wiederum `true` (`8 > 0`), also wird der Anweisungsteil der `while`-Schleife zum zweiten Mal ausgeführt: Die Ausgabe ist nun `8-`, danach wird `zahl` dekrementiert. Nun wird die Schleifenbedingung erneut geprüft (`7 > 0`) usw. Dies setzt sich so lange fort, bis die Variable `zahl` den Wert `0` besitzt. Für diesen Wert von `zahl` ergibt die Auswertung der Schleifenbedingung `false` (`0 > 0`), und die `while`-Schleife wird verlassen.

Die `while`-Schleife ist eine *abweisende* Schleife. Das heißt, es kann vorkommen, dass der zugehörige Anweisungsteil kein einziges Mal ausgeführt wird. Dieser Fall tritt ein, wenn die erste Auswertung der Schleifenbedingung bereits den Wert `false` ergibt – was für obiges Beispiel dann zutrifft, wenn die Variable `zahl` mit einem Initialisierungswert versehen wird, der kleiner ist als `1`.

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int zahl = 0;
```

```
   while (zahl > 0)
   {
      cout << zahl << "-";
      zahl--;
   }
   cout << "ZERO";
}
```

Ausgabe: `ZERO`

Dieses Listing dient natürlich nur der Anschauung. Vom praktischen Standpunkt ist die `while`-Schleife hier sinnlos, da ja von vornherein feststeht, dass diese nie durchlaufen wird. Anders verhält es sich, wenn die Anzahl der Schleifendurchgänge vom Verhalten des Benutzers bei der Programmausführung abhängt. Dann wird diese in der Regel von Programmlauf zu Programmlauf variieren, wobei es durchaus vorkommen kann, dass eine `while`-Schleife in bestimmten Fällen überhaupt nicht zur Ausführung gelangt:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int zahl;
   cin >> zahl;
   while (zahl > 0)
   {
      cout << zahl << "-";
      zahl--;
   }
   cout << "ZERO";
}
```

Gibt der Benutzer hier eine Zahl ein, die kleiner ist als `1`, ergibt die Bedingungsprüfung der `while`-Schleife schon bei der ersten Auswertung den Wert `false`, und der zugehörige Anweisungsteil wird kein einziges Mal ausgeführt. In allen anderen Fällen – wenn die eingegebene Zahl `1` oder größer als `1` ist – kommt der Schleifenrumpf zumindest ein Mal zur Ausführung, wobei sich die Wiederholungszahl wiederum nach der Größe der Eingabezahl richtet.

18.1.1 Endlosschleifen

Einen meist unerwünschten Sonderfall stellt die so genannte »Endlosschleife« dar. So werden Schleifen genannt, die nie abbrechen, da die Auswertung der Schleifenbedingung stets den Wert `true` ergibt. Die Endlosschleife beruht in der Regel auf einem Versehen des Programmierers.

Unterlässt man es z.B. in den obigen Listings, die Variable `zahl` im Schleifenrumpf zu dekrementieren (`zahl--`), entsteht eine Endlosschleife, da sich in diesem Fall das Ergebnis der Schleifenbedingung `(zahl > 0)` nach der

ersten Auswertung nicht mehr ändern kann. Das heißt, die Programmausführung bleibt in der Schleife »hängen«.

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int zahl = 9;
   while (zahl > 0)
   {
      cout << zahl << "-";
   }
   cout << "ZERO";
}
```

Ausgabe: `9-9-9-9-9-9-9-9-9-9-9-9-...`

TIPP

Falls Sie mit einem Kommandozeilen-Compiler arbeiten und Sie es mit einer Endlosschleife zu tun haben, versuchen Sie, mit einer der Tastenkombinationen Strg+C oder Strg+Pause das Programm zu beenden. Wenn das nichts hilft, schließen Sie das Konsolenfenster mit dem Schließen-Button rechts oben in der Titelleiste. Falls Sie sich in der Visual C++-Umgebung befinden, ist Letzteres wohl der einfachste Weg. Die Programmierumgebung wird dadurch ja nicht verlassen (siehe auch Abschnitt 5.1 »Kompilierung unter Visual C++«).

Wie gesagt, in den seltensten Fällen sind Endlosschleifen vom Programmierer beabsichtigt. Achten Sie also stets darauf, den Schleifenrumpf so einzurichten, dass sich die Schleifenbedingung nach einer Wiederholung auch wirklich ändern kann. Diese Aussage gilt im Übrigen für alle Schleifenkonstrukte.

18.1.2 Fakultät berechnen

Es gilt:

- Die Fakultät *n* einer Zahl – geschrieben `n!` – ist das Produkt aller möglichen ganzzahligen Faktoren von *n* bis 1.
- Die Fakultät der Zahl 0 ist definitionsgemäß 1.

Beispiele:

5! = 5 * 4 * 3 * 2 * 1

4! = 4 * 3 * 2 * 1

3! = 3 * 2 * 1

2! = 2 * 1

1! = 1

0! = 1

Hier ein Programm, das die Fakultät einer vom Benutzer einzugebenden Zahl berechnet. Die eigentliche Berechnung erfolgt in einer `while`-Schleife:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int fakul = 1, zahl, hilf;
   cin >> zahl;
   hilf = zahl;
   while (hilf > 0)
   {
      fakul *= hilf--;
   }
   cout << zahl << "! = " << fakul;
}
```

Ausgabe:

```
7
7! = 5040
```

In der zusammengesetzten Zuweisung

```
fakul *= hilf--;
```

wird `hilf` jeweils nach der Zuweisung dekrementiert (Postfixnotation). Der Operator *= multipliziert den aktuellen Wert der Variablen `fakul` mit dem Wert der Variablen `hilf`. Diese nimmt im Verlauf der Wiederholungen nacheinander alle Werte von `zahl` bis `0` an, wobei die Multiplikation für den Wert `0` nicht mehr ausgeführt wird, da die `while`-Schleife vorher abbricht.

Falls die eingegebene Zahl `0` ist, kommt die `while`-Schleife kein einziges Mal zur Ausführung. Das Programm arbeitet auch in diesem Fall korrekt, da der Initialisierungswert `1` von `fakul` dem Ergebnis von 0! (lies »Null Fakultät«) entspricht.

Beachten Sie, dass die in der Variablen `zahl` gespeicherte Eingabezahl der Hilfsvariablen `hilf` zugewiesen wird, damit `zahl` im Zuge der folgenden Berechnung nicht verändert wird. Was die Berechnung an sich betrifft, ließe sich in der `while`-Schleife genauso gut die Variable `zahl` verwenden:

```
…
while (zahl > 0)
{
   fakul *= zahl--;
}
…
```

Allerdings ist es auf diese Weise nicht mehr möglich, `zahl` in der Ausgabe zu verwenden, da diese nun bei Schleifenaustritt in jedem Fall den Wert `0` besitzt. So hätte dann z.B. bei Eingabe der Zahl `5` die Anweisung

```
cout << zahl << "! = " << fakul;
```

nicht die korrekte Ausgabe

```
5! = 120
```

sondern die Ausgabe

```
0! = 120
```

zur Folge.

Es sei angemerkt, dass das obige Programm nur für Eingabezahlen bis einschließlich 12 korrekte Ergebnisse liefert, vorausgesetzt der Datentyp `int` ist 4 Byte groß.

HINWEIS

Andernfalls empfiehlt es sich, die Variable als `long` (`int`) zu deklarieren:

```
long fakul = 1, zahl, hilf;
```

Man könnte nun etwa mit einer `if`-Bedingung verhindern, dass Berechnungen mit Werten, die größer als 12 sind, überhaupt durchgeführt werden:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int fakul = 1, zahl, hilf;
   cin >> zahl;
   if (zahl <= 12)
   {
      hilf = zahl;
      while (hilf > 0)
      {
         fakul *= hilf--;
      }
      cout << zahl << "! = " << fakul;
   }
   else
   {
      cout << "Bei " << zahl;
      cout << "! muss ich passen";
   }
}
```

Ausgabe:

```
12
12! = 479001600
```

bzw.

```
13
Bei 13! muss ich passen
```

Allerdings lässt sich die Rechenkapazität auch erhöhen, indem man mit `double`-Werten arbeitet:

```
#include <iostream>
#include <iomanip>
using namespace std;

void main(void)
{
   double fakul = 1, zahl, hilf;
   cin >> zahl;
   hilf = zahl;
   while (hilf > 0)
   {
      fakul *= hilf--;
   }
   cout << fixed << setprecision(0);
   cout << zahl << "! = " << fakul;
}
```

Ausgabe:

```
16
16! = 20922789888000
```

Natürlich sind auch dem Grenzen gesetzt, da die Berechnungsergebnisse allzu schnell ansteigen, wie an dem Ergebnis von 16! zu erkennen ist.

HINWEIS

Die Manipulatoren `fixed` und `setprecision(0)` sind notwendig, um die Ausgabe von `zahl` und `fakul` in der gewohnten Form – also nicht in Exponentialschreibweise – und ohne Nachkommastellen anzuzeigen (siehe dazu Kapitel 14 »Ausgabe mit Manipulatoren formatieren«).

Hier noch ein letztes Beispiel zur `while`-Schleife: das Ratespiel des letzten Kapitels in modifizierter Form. Der Benutzer darf bzw. er muss so lange raten, bis er die Zufallszahl getroffen hat. Da diese im Bereich von `1` bis `10` liegt, ist die Gefahr einer »praktischen« Endlosschleife wohl sehr gering:

```
#include <iostream>
#include <ctime>
using namespace std;

void main(void)
{
   int glueck, rate;
   srand(time(NULL));
   glueck = (rand() % 10) + 1;
   cout << "Rate mal! ";
   cin >> rate;
```

```
   while (rate != glueck)
   {
      cout << "Versuch's nochmal: ";
      cin >> rate;
   }
      cout << "Richtig geraten!" << endl;
}
```

Ausgabe:

```
Rate mal! 3
Versuch's nochmal: 8
Versuch's nochmal: 4
Versuch's nochmal: 9
Versuch's nochmal: 7
Versuch's nochmal: 1
Versuch's nochmal: 10
Versuch's nochmal: 6
Richtig geraten!
```

18.2 Die do while-Schleife

Die `do while`-Schleife funktioniert im Wesentlichen wie die `while`-Schleife, mit dem Unterschied, dass die Prüfung der `do while`-Schleife erst nach dem Schleifendurchgang erfolgt. Das hat zur Folge, dass die Schleife auf jeden Fall zumindest ein Mal durchlaufen wird. Man spricht daher in diesem Zusammenhang auch von einer *annehmenden* Schleife. Die Syntax der `do while`-Schleife lautet:

```
do
{
   Anweisung(en)
} while (Bedingung);
```

bzw.

```
do
   Anweisung
while (Bedingung);
```

Falls es sich um nur eine Anweisung handelt, sind beide Varianten möglich. Mehrere Anweisungen müssen zu einem Block zusammengefasst werden. Beachten Sie, dass die `do while`-Schleife mit einem Semikolon abgeschlossen wird.

Ein Einsatz der `do while`-Schleife ergibt vor allem dann Sinn, wenn die Anweisungen des Schleifenrumpfes zumindest ein Mal ausgeführt werden müssen. Im folgenden Beispiel wird die `do while`-Schleife verwendet, um eine Eingabe gegebenenfalls so lange zu wiederholen, bis der Benutzer eine positive Zahl angibt:

```
#include <iostream>
using namespace std;
```

```
void main(void)
{
   int zahl;
   cout << "Gib mir eine positive Zahl: ";
   do
   {
      cin >> zahl;
   }while (zahl < 0);
   cout << endl;
}
```

Die erste Eingabe wird auf jeden Fall entgegengenommen (`cin >> zahl;`), danach in der Schleifenbedingung geprüft, ob die eingegebene Zahl negativ ist (`zahl < 0`). Ist das der Fall, ist die Schleifenbedingung wahr und die Schleife wird erneut durchlaufen, das heißt, die Eingabe wird wiederholt. Dies setzt sich so lange fort, bis der Benutzer eine positive Zahl eingibt.

HINWEIS

Beachten Sie, dass es sich so verhält, als stehe die Anweisung

```
cin >> zahl;
```

alleine – ohne Schleife – im Code, falls schon die erste Eingabe, wie vom Programm gefordert, positiv ist. Die `do while`-Schleife hat in diesem Fall keinerlei äußere Wirkung.

Da der Benutzer unseres Ratespiels auf jeden Fall ein Mal tippen soll, bietet sich auch hier eine Umsetzung mit der `do while`-Schleife an:

```
#include <iostream>
#include <ctime>
using namespace std;

void main(void)
{
   int glueck, rate;
   srand(time(NULL));
   glueck = (rand() % 10) + 1;
   do
   {
      cout << "Dein Tipp: ";
      cin >> rate;
   } while (rate != glueck);
      cout << "Richtig!" << endl;
}
```

Ausgabe:

```
Dein Tipp: 3
Dein Tipp: 5
Dein Tipp: 9
Richtig!
```

18.3 Die for-Schleife

Was den Einsatz von Schleifen betrifft, lassen sich grob zwei Fälle unterscheiden:

- Die Anzahl der Schleifendurchläufe ist zum Zeitpunkt der Programmentwicklung nicht bekannt, da sie von bestimmten äußeren Bedingungen abhängt.
- Die Wiederholungszahl steht bei Programmentwicklung bereits fest.

Während für die Lösung von Problemen der ersten Kategorie überwiegend die `while`- und die `do while`-Schleife zum Einsatz kommen, eignet sich die `for`-Schleife besonders dann, wenn die Gesamtzahl der Wiederholungen von vornherein feststeht. Dementsprechend ist die `for`-Schleife als typische Zählschleife vorgesehen. Ihre Syntax lautet

```
for(Initialisierung; Bedingung; Aktualisierung)
{
   Anweisung(en)
}
```

wobei die geschweiften Klammern wiederum optional sind, soweit es sich um eine einzige Anweisung handelt.

Etwas ungewöhnlich gegenüber den beiden anderen Schleifenarten präsentiert sich der Kopf der `for`-Schleife:

```
for(Initialisierung; Bedingung; Aktualisierung)
```

Die Schleifenbedingung entspricht der `while`-Schleife. Sie wird vor jedem Schleifendurchlauf geprüft. Der Initialisierungsteil kommt nur ein einziges Mal – bei Eintritt in die `for`-Schleife, noch vor der ersten Bedingungsprüfung –, der Aktualisierungsteil nach jedem Schleifendurchgang zur Ausführung.

HINWEIS

Beachten Sie, dass die Bedingung mit einem Semikolon abgeschlossen wird, der Aktualisierungsteil aber nicht. Letzteres ist insofern bemerkenswert, als dort in der Regel Anweisungen – gewöhnlich eine – stehen. Die Semikola fungieren hier ausnahmsweise als Trennzeichen zwischen den genannten Teilen, nicht zwischen Anweisungen.

Die Bezeichnungen »Initialisierungsteil« und »Aktualisierungsteil« beziehen sich bereits auf eine sinnvolle Verwendung der `for`-Schleife. Tatsächlich darf an den entsprechenden Stellen jeweils eine beliebige Anzahl von Anweisungen stehen, wobei C++ auch über die Art der Anweisungen nichts vorschreibt. Mit »beliebige Anzahl« ist gemeint, dass entweder genau eine Anweisung oder mehrere, durch Kommata voneinander getrennte Anweisungen oder auch gar keine Anweisung verwendet werden kann. Die beiden folgenden Beispiele stellen daher syntaktisch fehlerfreie `for`-Schleifen dar:

```
int x;
for (cout << "Hi", cout << "lfe"; true; cin >> x)
   cout << "???";
```

oder

```
for (;true;)
   cout << "Endlosschleife";
```

Das ist aber auch schon das Einzige, denn diese beiden `for`-Schleifen sind nicht nur zweckentfremdet gestaltet, sondern bilden – aufgrund der Schleifenbedingungen `true` – auch Endlosschleifen.

Hierzu muss gesagt werden: C++ gibt dem Programmierer viele Freiheiten, was auch dazu führen kann, dass die gebotenen Möglichkeiten nicht sinnvoll eingesetzt werden. Gedacht ist die `for`-Schleife, wie gesagt, als eine Art Zählschleife. Initialisierungs- und Aktualisierungsteil werden in Verbindung mit der Schleifenbedingung aufeinander abgestimmt, um die Anzahl der Wiederholungen zu steuern. Dazu wird eine zusätzliche Variable – Schleifenvariable oder Laufvariable genannt – herangezogen. In der Regel wird diese im Initialisierungsteil auf einen Startwert gesetzt, im Aktualisierungsteil wird der Wert der Variablen verändert und in der Schleifenbedingung wird diese Variable auf ihren aktuellen Wert hin geprüft. Meist wird sich also im Initialisierungsteil und im Aktualisierungsteil jeweils genau eine Anweisung befinden:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int i;
   for (i = 1; i < 4; i++)
   {
      cout << "Wiederholung ";
   }
}
```

Ausgabe:

```
Wiederholung Wiederholung Wiederholung
```

Die Anweisung im Initialisierungsteil wird nur ein einziges Mal ausgeführt, und zwar vor dem ersten Schleifendurchgang:

```
i = 1;
```

Damit wird die Schleifenvariable `i` auf den Anfangswert `1` gesetzt.

HINWEIS

Wie alle anderen Variablen muss auch die Schleifenvariable der `for`-Schleife vor Gebrauch vereinbart werden. Gebräuchliche Bezeichner sind `i`, `j` und `k`.

Im Aktualisierungsteil wird `i` mit der Anweisung

```
i++;
```

um `1` hochgezählt. Dies geschieht nach jedem Schleifendurchlauf, also nach jeder Ausführung des Anweisungsteils, der hier allein aus einer Anweisung besteht. Vor jedem Schleifendurchgang erfolgt die Bedingungsprüfung

```
i < 4
```

sodass die Schleife abbricht, sobald `i` den Wert `4` besitzt. Im Ergebnis kommt die Anweisung

```
cout << "Wiederholung ";
```

drei Mal zur Ausführung, für die Werte `1`, `2`, `3` von `i`.

Beachten Sie, dass die Schleifenbedingung auch schon vor dem ersten Schleifendurchlauf ausgewertet wird. So kommt der Anweisungsteil in der folgenden `for`-Schleife gar nicht zur Ausführung, da bereits die erste Bedingungsprüfung den Wert `false` ergibt:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int i;
   for (i = 1; i < 1; i++)
   {
      cout << "Wiederholung ";
   }
   cout << "ENDE";
}
```

Ausgabe: `ENDE`

HINWEIS

Es ist auch möglich, die Schleifenvariable im Kopf der `for`-Schleife zu deklarieren:

```
for (int i = 1; i < 4; i++)
{
   cout << »Wiederholung «;
}
```

Oft wird die Schleifenvariable im Anweisungsteil der `for`-Schleife zu Berechnungen herangezogen oder für die Ausgabe verwendet:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int i;
```

```
   for (i = 1; i <= 9; i++)
   {
      cout << "Quadrat von "<< i << ": "
           << i * i << endl;
   }
}
```

Ausgabe:

```
Quadrat von 1: 1
Quadrat von 2: 4
Quadrat von 3: 9
…
Quadrat von 8: 64
Quadrat von 9: 81
```

Vermeiden Sie es jedoch, die Schleifenvariable im Schleifenrumpf zu manipulieren. Der Wert der Schleifenvariablen sollte ausschließlich im Aktualisierungsteil des Schleifenkopfes verändert werden. Führen Sie also im Schleifenrumpf keine Zuweisungen an die Laufvariable durch. Dies bringt nicht nur eine erhöhte Anfälligkeit für logische Fehler mit sich, es verschlechtert auch die Lesbarkeit Ihres Quellcodes erheblich.

```
for (i = 0; i < 10; i++)
{
   …
   i *= 2;  // PROBLEMATISCH
   …
}
```

Selbstverständlich können Sie die Schleifenvariable mit jedem beliebigen Startwert versehen. Gegebenenfalls müssen natürlich Bedingung und Aktualisierung entsprechend angepasst werden, um ein bestimmtes Resultat zu erzielen wie die drei Schleifendurchgänge aus dem letzten Beispiel:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int i;
   for (i = -10; i > -16; i -= 2)
   {
      cout << "Wiederholung ";
   }
}
```

Ausgabe:

```
Wiederholung Wiederholung Wiederholung
```

Die Laufvariable i wird hier mit dem Wert -10 initialisiert und nach jedem Schleifendurchlauf um den Wert 2 verringert – die Aktualisierung muss also nicht notwendig in Einer-Schritten erfolgen. Die Schleifenbedingung wurde entsprechend angepasst, sodass die Schleife wie im Einführungsbeispiel dreimal durchlaufen wird.

Hier eine Implementation des Programms zur Berechnung der Fakultät mit der for-Schleife:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int fakul = 1, zahl, i;
   cin >> zahl;
   for(i = zahl; i > 0; i--)
   {
      fakul *= i;
   }
   cout << zahl << "! = " << fakul;
}
```

Ausgabe:

```
8
8! = 40320
```

Falls die Zahl 0 eingegeben wird, wird die for-Schleife überhaupt nicht durchlaufen. Da fakul bei der Deklaration mit dem Wert 1 initialisiert wird, gibt das Programm in diesem Fall das korrekte Ergebnis – 1 – aus. Beachten Sie, dass hier die Laufvariable i die Funktion der Hilfsvariablen hilf bezüglich des Programms mit der while-Schleife übernimmt. Somit ist sichergestellt, dass die Variable zahl in der for-Schleife nicht verändert wird und daher für die Ausgabe verwendet werden kann (cout << zahl ...).

Folgendes Programm gibt die Zeichen des ASCII-Codes auf den Bildschirm aus:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   for (int i = 0; i < 256; i++)
   {
      if (i % 25 == 0)
         cout << endl << endl;
      cout << ' ' << static_cast<char> (i) << ' ';
   }
   cout << endl;
}
```

Die Schleifenvariable `i` nimmt nacheinander alle Ordnungsnummern des ASCII-Codes von `0` bis `255` an. Für die Ausgabe wird der Zahlenwert in das entsprechende Zeichen umgewandelt:

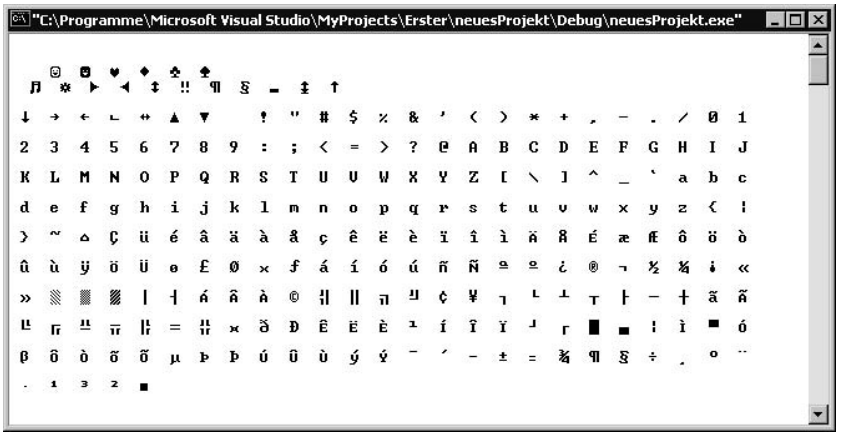
```
static_cast<char> (i)
```

Die in die `for`-Schleife geschachtelte `if`-Bedingung bewirkt, dass jeweils nach Ausgabe von 25 Zeichen zwei Zeilenvorschübe erfolgen:

```
if (i % 25 == 0)
   cout << endl << endl;
```

Die Ausgabe ist Abbildung 18.1 zu entnehmen. Bei den leeren Stellen in den ersten zwei Zeilen handelt es sich um nicht druckbare Zeichen.

Bild 18.1: Zeichen des ASCII-Codes



18.3.1 Sequenzoperator

Wir hatten oben erwähnt, dass im Initialisierungs- und im Aktualisierungsteil einer `for`-Schleife auch mehrere Anweisungen stehen dürfen und dass diese in diesem Fall durch Kommata zu trennen sind:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int i, k;
   for (i = 0, k = 0; i < 5; i++, k = 2 * i)
      cout << i << ' ' << k << endl;
}
```

Ausgabe:

```
0 0
1 2
2 4
3 6
4 8
```

Bei den Kommata im Kopf der `for`-Schleife handelt es sich um den Sequenzoperator, mitunter auch Kommaoperator genannt. Er besitzt von allen Operatoren die niedrigste Priorität (Prioritätsstufe 1, siehe Anhang A.3 »Prioritätsreihenfolge der C++-Operatoren«).

Grundsätzlich kann der Sequenzoperator in jeder Anweisung verwendet werden. Das heißt, Sie dürfen in einer Anweisung mehrere Ausdrücke unterbringen, wenn Sie diese mit Kommata voneinander trennen. Wobei dies oft Ausdrücke sein werden, die in der gleichen Form auch als einzelne Anweisungen im Code stehen dürften:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int z1, z2, z3;
   z1 = 19, z2 = 3, z3 = 2;
   cout << z1 + z2+ z3;
}
```

Ausgabe: `24`

Vorsicht jedoch bei Deklarationsanweisungen. In diesen darf grundsätzlich nur ein Datentypbezeichner auftreten. Hier steht das Komma nicht für einen Sequenzoperator, sondern fungiert als einfaches Trennzeichen.

```
double z1, char z2;  // FEHLER
```

Der Sequenzoperator ist binär und linksassoziativ, das heißt, von seinen beiden Operanden – den Ausdrücken links und rechts vom Komma – wird der linke zuerst ausgewertet. Der Rückgabewert mehrerer, durch Kommata getrennter Ausdrücke entspricht dem am weitesten rechts stehenden:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int z1, z2, z3;
   cout << (z1 = 1, z2 = ++z1, z3 = ++z2);
}
```

Ausgabe: `3`

Der Sequenzoperator wird in der Regel nur dort eingesetzt, wo aufgrund syntaktischer Vorgaben ansonsten nicht mehr als ein Ausdruck bzw. eine Einzelanweisung erlaubt wäre, wie etwa im Kopf einer `for`-Schleife.

18.4 Die Anweisungen break und continue

Die break-Anweisung haben Sie bereits im Zusammenhang mit der switch-Anweisung kennen gelernt. Ebenso wie diese beendet break auch jede Schleife.

In der folgenden Kennwortabfrage wird ein vom Benutzer einzugebendes Passwort auf Übereinstimmung mit der Zeichenfolge "xyz" geprüft. Der Benutzer hat drei Versuche, um das richtige Kennwort einzugeben. Für den Fall, dass er dies schon beim ersten oder zweiten Versuch tut, darf die Anweisung

```
cin >> kennwort;
```

natürlich nicht mehr ausgeführt werden. Daher wird die for-Schleife mit der break-Anweisung vorzeitig verlassen, wenn die Bedingung

```
(kennwort == "xyz")
```

wahr ist:

```
#include <iostream>
#include <string>
using namespace std;

void main(void)
{
   string kennwort;
   for(int i = 0; i < 3; i++)
   {
      cin >> kennwort;
      if (kennwort == "xyz")
         break;
   }
   if (kennwort != "xyz")
      return;  // beendet das Programm
   cout << "Willkommen im Programm!";

   // …
}
```

Beachten Sie, dass der Fall zu berücksichtigen ist, dass erst beim dritten Versuch das richtige Kennwort angegeben wird. Das heißt, bei Austritt aus der for-Schleife lässt sich keine Aussage darüber treffen, ob diese vorzeitig verlassen wurde – weil das eingegebene Kennwort richtig war – oder nach drei erfolglosen Versuchen. Daher muss die Bedingung nach der for-Schleife erneut geprüft werden:

```
if (kennwort != "xyz")
```

Ist diese Bedingung wahr, so bedeutet dies, dass der Benutzer dreimal ein falsches Kennwort eingegeben hat. In diesem Fall wird das Programm mit

```
return;
```

beendet.

HINWEIS

Genauso wie `break` eine Schleife beendet, führt `return` zur Beendigung einer Funktion. Da es sich hier um die Funktion `main()` handelt, ist dies gleichbedeutend mit dem Ende der Programmausführung (mehr zur `return`-Anweisung erfahren Sie in Abschnitt 21.4 »Rückgabewerte von Funktionen«).

Bei verschachtelten `switch`- bzw. Schleifenkonstruktionen ist zu beachten, dass mit der `break`-Anweisung nur die innerste dieser Kontrollstrukturen verlassen wird:

```
while (Bedingung)
{
   …
   for(Initialisierung; Bedingung; Aktualisierung)
   {
      …
      if (Bedingung)
         break; // for-Schleife wird beendet
      …
   }
   …
}
```

Die `break`-Anweisung in der `for`-Schleife beendet diese, nicht aber die `while`-Schleife. Die Programmausführung setzt mit der ersten Anweisung nach der `for`-Schleife fort.

Die Tatsache, dass die `break`-Anweisung wie hier innerhalb eines `if`-Konstrukts steht, wirkt sich zwar dahingehend aus, dass sie nur dann ausgeführt wird, wenn die entsprechende `if`-Bedingung wahr ist, hat aber sonst keine weitere Bedeutung. Wie gesagt, kann sich ein `break`-Befehl allein auf eine `switch`-Anweisung oder auf ein Schleifenkonstrukt beziehen, nicht aber auf eine `if`-Anweisung. Mit anderen Worten: Eine `break`-Anweisung muss auf jeden Fall im Kontext einer `switch`-, `while`-, `do while`- oder `for`-Anweisung verwendet werden. Unter dieser Voraussetzung darf es selbstverständlich auch innerhalb einer `if`-Anweisung platziert werden.

Anders als `break` beendet die Anweisung

```
continue;
```

nur den aktuellen Schleifendurchlauf:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   for (int i = 1; i <= 5; i++)
   {
      if (i == 3)
         continue;
```

```
        cout << i << ' ';
    }
}
```

Ausgabe: `1 2 4 5`

Wenn `i` den Wert `3` erreicht, wird die `if`-Bedingung wahr und der aktuelle Schleifendurchgang abgebrochen, das heißt, die Anweisung

```
cout << i << ' ';
```

kommt für diesen Wert von `i` nicht zur Ausführung. Die `for`-Schleife wird jedoch nicht verlassen, sondern die Programmausführung wird mit dem nächsten Schleifendurchgang fortgesetzt.

18.5 Gültigkeitsbereich von Variablen

Sie haben nun die Kontrollanweisungen von C++ kennen gelernt. Mit diesen sind in Ihren Programmen auch sehr komplexe Strukturen denkbar. Dass Variablen grundsätzlich an jeder Stelle im Code deklariert werden dürfen, ist Ihnen ebenso bekannt wie die Tatsache, dass dies vor ihrer ersten Verwendung geschehen muss. Was im Hinblick auf verschachtelte Blockstrukturen des Weiteren zu beachten ist, bezieht sich auf den Gültigkeitsbereich einer Variablen.

Es gilt:

- Eine Variable ist gültig in dem Block, in dem sie deklariert ist, sowie in allen inneren Blöcken.
- Eine Variable kann nur innerhalb ihres Gültigkeitsbereichs angesprochen werden.

Außerhalb ihres Gültigkeitsbereichs kann auf eine Variable nicht zugegriffen werden. Es verhält sich dann so, als sei die Variable gar nicht existent.

Solange Programme nur aus einem Block – dem von `main()` – bestehen, gibt es in dieser Hinsicht nichts zu berücksichtigen. Eine einmal vereinbarte Variable besitzt in diesem Block und damit im gesamten Code Gültigkeit. Mit anderen Worten: Nach ihrer Deklaration kann an jeder Stelle im Code auf sie zugegriffen werden:

```
…
void main(void)
{
    double meineVariable;
    …
    cin >> meineVariable;  // OK
    …
    cout << meineVariable;  // OK
    …
}
```

Ist eine Variable jedoch in einem inneren Block deklariert, so kann diese nur in diesem Block – sowie in eventuell weiteren darin geschachtelten Blöcken – angesprochen werden:

```
…
void main(void)
{
   double meineVariable;
   …
   while (Bedingung)
   {
      int inside = 1;
      meineVariable = inside;  // OK
   }
   …
   cout << meineVariable;  // OK
   cout << inside;  // FEHLER
   …
}
```

Die Zuweisung

```
meineVariable = inside;  // OK
```

ist korrekt, da im Block der `while`-Schleife beide Variablen gültig sind. Die Variable `inside` ist in diesem Block vereinbart. Der Gültigkeitsbereich der Variablen `meineVariable` erstreckt sich ebenfalls auf den Block der `while`-Schleife, da dieser ja in den Block von `main()` geschachtelt, also ein innerer Block zu dem von `main()` ist.

Der Zugriff auf die Variable `inside` in der Anweisung

```
cout << inside;  // FEHLER
```

dagegen ist fehlerhaft, da diese Variable hier nicht bekannt ist. Die Anweisung befindet sich ja in einem äußeren Block zu demjenigen, in dem `inside` deklariert ist.

Wie oben beschrieben, darf die Schleifenvariable auch im Kopf der `for`-Schleife deklariert werden. Der C++-Standard schreibt vor, dass eine so vereinbarte Variable auch nur innerhalb der `for`-Schleife gültig ist. Der Visual C++-Compiler hält sich aber nicht daran, sodass auf die Variable `i` im folgenden Beispiel auch außerhalb der `for`-Schleife zugegriffen werden kann:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   for (int i = 1; i <= 3; i++)
   {
      cout << i << ' ';
   }
```

```
   cout << i;  // beim Visual C++-Compiler OK
}
```

Ausgabe: `1 2 3 4`

HINWEIS

Die Laufvariable `i` geht – in Verbindung mit dem Visual C++-Compiler und etwaigen weiteren Compilern, die hier vom Standard abweichen – mit dem Wert `4` aus der Schleife, da sie nach dem letzten Schleifendurchgang noch ein Mal hochgezählt wird. Die Aktualisierung findet also auch nach dem letzten Schleifendurchgang statt.

Falls Ihr Compiler einen Syntaxfehler in der Zeile

```
cout << i;  // beim Visual C++-Compiler OK
```

ausgibt, ist bei diesem diese Feinheit des Standards in puncto Gültigkeitsbereich richtig umgesetzt.

Wenn eine Variable im Block der `for`-Schleife vereinbart ist, hat diese – auch beim Visual C++-Compiler – nur innerhalb des Schleifenblocks Gültigkeit:

```
…
void main(void)
{
   int i;
   for (i = 1; i <= 3; i++)
   {
      int innen;
      …
   }
   …
   cout << innen;  // FEHLER
   …
}
```

HINWEIS

Variablen, deren Gültigkeitsbereich sich auf einen Block erstreckt, bezeichnet man als lokal zu diesem Block, wobei jeweils der äußerste Block gemeint ist. Beispielsweise ist hier `innen` lokal zum Block der `for`-Schleife, die Variable `i` lokal zum Block von `main()`.

18.5.1 »Lebensdauer« von Variablen

Neben ihrem Gültigkeitsbereich kennzeichnet eine Variable deren »Lebensdauer«. Diese endet, wenn der vom Programm reservierte Speicherbereich wieder freigegeben wird. Der Programmierer sagt lapidar, die Variable wird gelöscht. Dies geschieht bei gewöhnlichen Variablen, wenn der Block, in dem sie deklariert sind, endgültig verlassen wird.

HINWEIS

Das Attribut »endgültig« ist insofern bedeutsam, als es vorkommen kann, dass von Block A nach Block B gesprungen wird und anschließend wieder zurück. In diesem Fall werden die zu A lokalen Variablen nicht gelöscht, wenn die Anweisungen in B ausgeführt werden, sondern erst, wenn – nach dem Rücksprung – alle Anweisungen in Block A abgearbeitet sind (mehr darüber erfahren Sie in Kapitel 21 »Funktionen«).

HINWEIS

Die lokalen Variablen, die Sie bisher verwendet haben, besitzen die Speicherklasse `auto`. Im Gegensatz zu diesen sind Variablen der Speicherklasse `static` während der gesamten Programmlaufzeit existent. Beide unterscheiden sich unter anderem dadurch, dass sie in verschiedenen Bereichen des Arbeitsspeichers verwaltet werden: Lokale Variablen werden dabei auf dem so genannten Stack (Stapelspeicher) angelegt, Variablen, die die Speicherklasse `static` besitzen, dagegen in einem globalen Namensbereich. Ein Beispiel für solche Variablen werden Sie gleich kennen lernen (siehe Abschnitt 18.5.2 »static-Variablen«).

```
…
void main(void)
{
   int a;
   …
   {
      int b;
   }
   …
}
```

Nach dem oben Gesagten endet hier die Lebensdauer der Variablen `b` mit dem Verlassen des – willkürlich gesetzten – inneren Blocks, das heißt, der für diese Variable reservierte Speicherbereich wird freigegeben. Die Variable `a` wird erst gelöscht, wenn alle Anweisungen in `main()` abgearbeitet sind, also das Programmende erreicht ist.

Im obigen Codesegment ist es ausgeschlossen, dass der Block, in dem `b` deklariert ist, ein zweites Mal durchlaufen wird. Anders verhält es sich z.B. bei Schleifenblöcken. Diese können während eines Programmlaufs mehrere Male wiederholt werden. Hier ist zu berücksichtigen, dass nach einem Schleifendurchgang der Schleifenblock – endgültig – verlassen und mit jeder Wiederholung aufs Neue betreten wird. Das bedeutet für Variablen, die lokal zum Schleifenblock sind, dass diese nach jedem Schleifendurchgang gelöscht und wieder neu angelegt werden, wenn dieser Block mit dem nächsten Schleifendurchgang erneut betreten wird.

HINWEIS

Beachten Sie, dass in diesem Sinne die Bedingungsprüfung außerhalb des Schleifenblocks erfolgt. Folglich darf eine im Schleifenblock deklarierte Variable dort nicht verwendet werden.

```
…
void main(void)
{
   …
   while (zahl > 0)  // FEHLER
   {
      int zahl;
      cin >> zahl;
   }
   …
}
```

Demgemäß arbeitet folgendes Programm, das dazu gedacht sein soll, die eingegebenen Zahlen aufzuaddieren und jeweils die Zwischensumme anzuzeigen, logisch nicht korrekt:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   double zahl;
   for (int i = 0; i < 4; i++)
   {
      double sum = 0;
      cin >> zahl;
      sum += zahl;
      cout << "Summe: " << sum << endl;
   }
}
```

Ausgabe:

```
30
Summe: 30
10
Summe: 10
33
Summe: 33
27
Summe: 27
```

Als Endsumme wird nicht etwa `100`, sondern `27` angezeigt, abgesehen davon, dass die Ausgabe der Zwischensummen ebenfalls fehlerhaft ist.

Die Ursache liegt einfach darin, dass die Variable `sum` nach jedem Schleifendurchgang gelöscht wird. Der zuvor gespeicherte Wert geht damit

verloren. Mit jeder Wiederholung wird eine neu Variable `sum` angelegt und mit dem Wert `0` initialisiert.

```
double sum = 0;
```

Somit besitzt diese Variable nach der Zuweisung

```
sum += zahl;
```

genau den Wert von `zahl`, was dem zuletzt eingegebenen Zahlenwert entspricht.

HINWEIS

Es ist notwendig, die Variable `sum` mit `0` zu initialisieren, da ansonsten mit der Anweisung

```
sum += zahl;
```

auf einen undefinierten Wert zugegriffen wird (siehe Abschnitt 11.3 »Zuweisung«).

Das Problem lässt sich nun auf zweierlei Weise beheben. Die naheliegendste Lösung ist die, dass man die Variable `sum` im Block von `main()` deklariert. Dann behält sie nicht nur ihre Gültigkeit, sondern auch ihre Lebensdauer während der Ausführung der `while`-Schleife. Der Block von `main()` wird ja erst nach Programmende verlassen:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   double zahl, sum = 0;
   for (int i = 0; i < 4; i++)
   {
      cin >> zahl;
      sum += zahl;
      cout << "Summe: " << sum << endl;
   }
}
```

Ausgabe:

```
30
Summe: 30
10
Summe: 40
33
Summe: 73
27
Summe: 100
```

HINWEIS

Auch bei dieser Implementation ist die Initialisierung der Variablen `sum` notwendig, da diese ansonsten bei der ersten Ausführung der Anweisung `sum += zahl;` keinen definierten Wert besitzt.

18.5.2 static-Variablen

Eine zweite Möglichkeit zur Lösung des genannten Problems besteht darin, die lokale Variable `sum` als `static` zu vereinbaren. Dies geschieht, indem man das Schlüsselwort `static` in der Deklarationsanweisung vor den Datentypbezeichner schreibt:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   double zahl;
   for (int i = 0; i < 4; i++)
   {
      static double sum = 0;
      cin >> zahl;
      sum += zahl;
      cout << "Summe: " << sum << endl;
   }
}
```

Ausgabe:

```
30
Summe: 30
10
Summe: 40
33
Summe: 73
27
Summe: 100
```

Der Gültigkeitsbereich einer so deklarierten Variablen beschränkt sich zwar nach wie vor auf den Block, in dem sie deklariert ist, die Lebensdauer einer `static`-Variablen erstreckt sich jedoch auf das ganze Programm. Das heißt, eine `static`-Variable wird erst gelöscht, wenn das Programm beendet wird. Sie behält somit ihren Wert bei – es sei denn, dieser wird durch Neuzuweisungen verändert, was ja im Programm beabsichtigt ist.

Demzufolge wird bei jeder Ausführung der Anweisung

```
sum += zahl;
```

zu dem aktuellen Wert von `sum` der Wert von `zahl` hinzuaddiert.

HINWEIS

Im Gegensatz zu Variablen der Speicherklasse `auto` werden `static`-Variablen bei ihrer Vereinbarung automatisch mit dem Anfangswert `0` versehen. Von daher ist eine Initialisierung der Variablen `sum` in diesem Beispiel nicht notwendig. Sie dient hier nur der Verdeutlichung.

HINWEIS

Das Schlüsselwort `static` bewirkt unter anderem, dass die Deklarationsanweisung

```
static double sum = 0;
```

tatsächlich nur ein einziges Mal ausgeführt wird, beim ersten Schleifendurchgang und dann nie wieder.

HINWEIS

Im Normalfall decken sich Lebensdauer und Gültigkeitsbereich von Variablen, was auf `static`-Variablen, wie gesagt, nicht zutrifft. So ist die Lebensdauer der Variablen `sum` zwar global, ihr Gültigkeitsbereich aber lokal zum Block der `for`-Schleife. Außerhalb dieser kann `sum` daher nicht angesprochen werden.

```
…
void main(void)
{
   double zahl;
   for (int i = 0; i < 4; i++)
   {
      static double sum = 0;
      …
   }
   …
   cout << sum;  // FEHLER
   …
}
```

18.5.3 Namensgleichheit

In Kapitel 11 »Variablen« haben Sie erfahren, dass Bezeichner eindeutig sein müssen. Daher ist folgendes Codestück fehlerhaft, da mit der Vereinbarung von zwei Variablen gleichen Namens die Eindeutigkeit verloren ginge. Dass es sich dabei um Variablen unterschiedlichen Datentyps handelt, ändert an diesem Sachverhalt nichts:

```
…
void main(void)
{
   char eineVar;
   int eineVar;  // FEHLER
   …
}
```

Die genannte Regel bezieht sich allerdings nur auf ein und denselben Gültigkeitsbereich. Das heißt, Sie dürfen im Code Datenobjekte mit gleich lautenden Bezeichnern vereinbaren, sofern sich diese in verschiedenen Gültigkeitsbereichen befinden.

So kann jede C++-Funktion ihre eigenen lokalen Variablen besitzen, wobei es keine Rolle spielt, ob die gleichen Bezeichner für lokale Variablen anderer Funktionen gewählt sind (zu Funktionen siehe Kapitel 21).

Dies ist auch unproblematisch, da in diesem Fall die beiden Funktionsblöcke – also die beiden Gültigkeitsbereiche – völlig voneinander getrennt liegen:

```
…
void func(void)
{
   int zahl;
   …
}
void main(void)
{
   int zahl;  // OK
   …
}
```

Allerdings kann es vorkommen, dass sich zwei Gültigkeitsbereiche überschneiden. So sind z.B. in Abänderung des vorletzten Codestücks folgende Deklarationen zulässig, da jeder Block ja einen eigenen Gültigkeitsbereich beschreibt:

```
…
void main(void)
{
   char eineVar;
   {
      int eineVar;  // OK
   }
   …
}
```

Hier beanspruchen beide Variablen mit dem Bezeichner `eineVar` für den inneren Block Gültigkeit. Die eine, da sie in diesem Block deklariert ist, die andere, weil sich deren Gültigkeitsbereich grundsätzlich auf alle in den Funktionsblock von `main()` geschachtelten Blöcke erstreckt.

Für solche Fälle – wenn der eine Gültigkeitsbereich den anderen enthält – muss es irgendwie geregelt sein, welche Variable gültig ist – das heißt welche Variable angesprochen wird –, wenn der entsprechende Bezeichner im Code des sich überschneidenden Teils verwendet wird:

```
…
void main(void)
{
   char eineVar = 7;
   {
      int eineVar = 11;
      cout << eineVar;
   }
   …
}
```

HINWEIS

In Bezug auf derartige Namenskonflikte spricht der C++-Programmierer von Namensgleichheit.

Es gilt:

- Bei Namensgleichheit hat die im inneren Gültigkeitsbereich deklarierte Variable Vorrang.
- Die im äußeren Gültigkeitsbereich deklarierte Variable verliert für den inneren Gültigkeitsbereich vorübergehend ihre Gültigkeit.

Dass bedeutet hier, dass die zu `main()` lokale Variable `eineVar` im ganzen Funktionsblock gültig ist – bis auf den inneren Block. Was den Gültigkeitsbereich der im inneren Block vereinbarten Variablen `eineVar` angeht, ändert sich nichts. Demzufolge wird mit der Anweisung

```
cout << eineVar;
```

diese Variable angesprochen, daher die Ausgabe `11`:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   char eineVar = 7;
   {
      int eineVar = 11;
      cout << eineVar;
   }
}
```

Ausgabe: `11`

HINWEIS

Es sei darauf hingewiesen, dass es zu einem guten Programmierstil gehört, solche Namenskonflikte zu vermeiden. Für deren Auftreten besteht in der Regel keine Notwendigkeit.

19 Arrays

Bis jetzt ging es in unseren Beispielprogrammen meist um die Eingabe zweier oder auch nur eines Wertes seitens des Benutzers. Oft ist es in Programmen jedoch notwendig, eine Vielzahl von Daten zu verarbeiten. Dann erweist sich der ausschließliche Gebrauch von Variablen sehr schnell als unbequem, und ab einer bestimmten Anzahl von Variablen verliert man im Code vermutlich gänzlich den Überblick, sofern sich diese in ein und demselben Gültigkeitsbereich befinden. Wobei in diesem Fall noch dafür zu sorgen ist, dass sich die einzelnen Variablenbezeichner voneinander unterscheiden.

Bestimmte Aufgabenstellungen lassen sich mit gewöhnlichen Variablen ohnehin nicht sinnvoll realisieren, z.B. wenn sehr viele Datenelemente verarbeitet werden sollen. Sie müssten dann für jedes Datenelement eine Variable deklarieren und dieser einen eindeutigen Namen geben, bei Tausenden zu speichernden Datenelementen ein hoffnungsloses Unterfangen.

Doch auch hierfür gibt es eine Lösung: Zur Verwaltung von größeren Datenmengen stellt C++ eine spezielle Datenstruktur zur Verfügung, das so genannte »Array«, das häufig auch als »Feld« oder »Variablenfeld« bezeichnet wird. Arrays erlauben es, mehrere Werte gleichen Datentyps unter einem einzigen Bezeichner anzusprechen.

19.1 Deklaration von Arrays

Eigentlich ist ein Array bereits ein komplexer Datentyp und – wenn man es ganz theoretisch betrachtet – eine Datenstruktur.

HINWEIS

Zu den komplexen Datentypen zählen auch die Strukturen und die Klassen. Schon jetzt der Hinweis: Alle komplexen Datentypen sind mehr oder weniger aus einfachen Datentypen zusammengesetzt.

Vom praktischen Standpunkt aus gesehen, ist ein Array eine Ansammlung von Variablen gleichen Datentyps, die nebeneinander im Speicher liegen. Allerdings werden diese »Elemente« genannt, was aber am Sachverhalt nichts ändert. Man spricht also nicht etwa von den Variablen eines Arrays, sondern von den Elementen eines Arrays.

Die Deklaration eines Arrays entspricht der einfacher Variablen, mit dem Unterschied, dass nach dem Bezeichner für das Array die Anzahl der Elemente in eckigen Klammern anzugeben ist.

Demzufolge vereinbart man mit der Anweisung

```
int meinArr[5];
```

ein Array aus fünf Elementen, die vom Datentyp `int` sind. Es können also fünf `int`-Werte gespeichert werden, die über den Bezeichner `meinArr` angesprochen werden. Beachten Sie aber, dass die einzelnen Elemente des soeben vereinbarten Arrays noch keinen definierten Wert besitzen.

Zur Angabe der Elementzahl kann jede Integerkonstante herangezogen werden, nicht aber eine Variable.

```
…
void main(void)
{
   int a;
   cin >> a;
   int meinArr[a];  // FEHLER
   …
}
```

Erlaubt sind aber symbolische Konstanten:

```
…
void main(void)
{
   const int ANZAHL = 5;
   int meinArr[ANZAHL];  // OK
}
```

19.2 Mit Arrays arbeiten

Der Zugriff auf die einzelnen Elemente eines Arrays erfolgt, indem man hinter den Bezeichner des Arrays – ebenfalls in eckige Klammern – eine Indexangabe setzt, wobei der Index bei `0` beginnt. Das erste Element des Arrays `meinArr` wird also mit

```
meinArr[0]
```

das letzte Element mit

```
meinArr[4]
```

angesprochen.

ACHTUNG

Beachten Sie, dass bei der Deklaration eines Arrays die Elementzahl, nicht die Indexobergrenze anzugeben ist.

```
int meinArr[5];
```

Da der Index stets bei `0` beginnt, ist der letzte gültige Index eines Arrays, das aus `n` Elementen besteht, `n-1`. Hier im Beispiel ist es `4`.

Um beispielsweise dem dritten Element des Arrays den Wert `99` zuzuweisen, schreiben Sie:

```
meinArr[2] = 99;
```

und um eine Benutzereingabe im ersten Element zu speichern

```
cin >> meinArr[0];
```

Wenn Sie nun die Summe der im ersten und im dritten Element enthaltenen Werte ausgeben möchten, notieren Sie einfach

```
cout << meinArr[0] + meinArr[2];
```

Zur Verdeutlichung hier das entsprechende Listing:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int meinArr[5];
   meinArr[2] = 99;
   cout << "Bitte eine Zahl: ";
   cin >> meinArr[0];
   cout << meinArr[0] + meinArr[2];
}
```

Ausgabe:

```
Bitte eine Zahl: 1
100
```

Beachten Sie, dass die Elemente `meinArr[1]`, `meinArr[3]` und `meinArr[4]` hier immer noch keinen wohldefinierten Wert besitzen. Ein Lesezugriff auf diese wäre demnach problematisch:

```
cout << meinArr[1];  // ???
```

TIPP

Dem Leser sei nach wie vor empfohlen, sich das Bild von – hier fünf – Variablen vor Augen zu halten:

```
meinArr[0]
meinArr[1]
meinArr[2]
meinArr[3]
meinArr[4]
```

In diesem Sinne behält alles Gültigkeit, was Sie bis jetzt über Zuweisungen, Ausgaben, Eingaben usw. gehört haben.

Anders als bei Angabe der Elementzahl im Zuge der Deklaration eines Arrays (siehe oben), ist beim Zugriff auf ein Arrayelement die Verwendung von Variablenbezeichnern erlaubt:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int meinArr[5], nummer = 3;
   meinArr[nummer] = 979;
   cout << meinArr[3];
}
```

Ausgabe: `979`

19.3 Arrays in for-Schleifen durchlaufen

Arrays lassen sich bequem in `for`-Schleifen durchlaufen. Zum Zugriff auf die einzelnen Elemente des Arrays wird dabei die Schleifenvariable verwendet:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int deinArr[1000];
   for (int i = 0; i <= 999; i++)
   {
      deinArr[i] = 1;
   }
}
```

Nach Austritt aus der `for`-Schleife besitzt jedes Arrayelement den Wert `1`.

Beachten Sie, dass der letzte erlaubte Elementzugriff `deinArr[999]` ist. Die Schleifenbedingung muss daher

```
i <= 999
```

oder

```
i < 1000
```

lauten, nicht aber

```
i <= 1000  // unerlaubter Elementzugriff
```

Da in diesem Fall die `for`-Schleife für den Wert `1000` von `i` durchlaufen wird, würde das den Zugriff auf ein 1001. Element des Arrays bedeuten.

```
deinArr[1000] = 1;
```

ACHTUNG

Das Gefährliche an solchen Zugriffen liegt darin, dass sie vom Compiler nicht als Syntaxfehler erkannt werden. In der Regel erfolgt auch keine Warnmeldung. Dafür stellt sich beizeiten ein Laufzeitfehler ein (Programmabsturz).

In folgendem Beispiel wird das Array `meinArr` mit Benutzereingaben gefüllt und anschließend wieder ausgegeben:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int meinArr[5];
   int i = 0;
```

```
   for (i = 0; i < 5; i++)
   {
      cin >> meinArr[i];
   }
   cout << "Du hast die Zahlen";
   for (i = 0; i < 5; i++)
   {
      cout << ' ' << meinArr[i];
      if (i < 3)
         cout << ',';
      if (i == 3)
         cout << " und";
   }
   cout << " eingegeben." << endl;
}
```

Ausgabe:

```
2007
-59
1999
44
-23
Du hast die Zahlen 2007, -59, 1999, 44 und -23 eingegeben.
```

ACHTUNG

Wie Sie im letzten Kapitel erfahren haben, wird eine im Kopf einer `for`-Schleife deklarierte Variable beim Visual C++-Compiler dem Gültigkeitsbereich der `for`-Schleife zugerechnet. Damit das Programm in Verbindung mit allen Compilern übersetzt werden kann, wurde die Deklaration im obigen Beispiel vor die `for`-Schleife gesetzt. Bei Compilern, die sich hier an den C++-Standard halten, können Sie auch Folgendes schreiben:

```
…
   for (int i = 0; i < 5; i++)
   {
      cin >> meinArr[i];
   }
   …
   for (int i = 0; i < 5; i++)  // EIGENTLICH RICHTIG, ABER
                                // FEHLER BEI VISUAL C++
   …
```

Folgendes Programm berechnet den Durchschnittswert der Eingaben:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   double noten[5], sum = 0;
   cout << "Noten: " << endl;
```

```
   int i;
   for (i = 0; i < 5; i++)
   {
      cin >> noten[i];
   }
   for (i = 0; i < 5; i++)
   {
      sum += noten[i];
   }
   cout << "Durchschnittsnote: " << sum / 5 << endl;
}
```

Ausgabe:

```
Noten:
3
5
3
3
2
Durchschnittsnote: 3.2
```

19.4 Initialisierung von Arrays

Es ist auch möglich, Arrays bei der Deklaration zu initialisieren, indem man die einzelnen Werte durch Kommata getrennt in geschweifte Klammern setzt:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   char buchstaben[7] = {'A', 'B', 'C', 'D', 'E', 'F', 'G'};
   for (int i = 0; i < 7; i++)
   {
      cout << buchstaben[i];
   }
}
```

Ausgabe: `ABCDEFG`

In diesem Fall ist es sogar erlaubt, die Elementzahl in den eckigen Klammern wegzulassen. Diese ergibt sich dann aus der Anzahl der Initialisierungswerte. So wird beispielsweise mit der Deklarationsanweisung

```
double zahlen[] = {2.34, 45.0, -99.7, 75.3, 421.99};
```

ein Array aus fünf Elementen mit dem Bezeichner `zahlen` vom Datentyp `double` vereinbart:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   double zahlen[] = {2.34, 45.0, -99.7, 75.3, 421.99};
   for (int i = 0; i < 5; i++)
   {
      cout << zahlen[i] << ' ';
   }
}
```

Ausgabe: `2.34 45 -99.7 75.3 421.99`

Falls – vorausgesetzt, Sie geben die Elementzahl in den eckigen Klammern an – die Anzahl der in der Initialisierungsliste notierten Werte kleiner ist als die Elementzahl des Arrays, wird der Rest bei numerischen Werten mit `0` initialisiert, bei `char`-Werten mit dem Nullbyte (`'\0'`), das im ASCII-Code die Ordnungsnummer 0 besitzt:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int nummern[5] = {1, 2, 3};
   for (int i = 0; i < 5; i++)
   {
      cout << nummern[i] << ' ';
   }
}
```

Ausgabe: `1 2 3 0 0`

Auf diese Weise ist es möglich, auch sehr große Arrays in einer sehr kurzen Schreibweise zu initialisieren. So besitzen nach der Anweisung

```
int vieleZahlen[32000] = {0};
```

alle 32000 Elemente des Arrays `vieleZahlen` den Wert `0`:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int vieleZahlen[32000] = {0};
   cout << vieleZahlen[31997];
}
```

Ausgabe: `0`

HINWEIS

Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass der C++-Standard dieses Verhalten nicht vorschreibt. Von daher ist es besser, diese Initialisierung in einer `for`-Schleife durchzuführen, um ganz sicherzugehen:

```
for (int i = 0; i < 32000; i++)
   vieleZahlen[i] = 0;
```

Falls ein anderer Initialisierungswert gewünscht ist als `0` – beispielsweise `1` –, müssen Sie auf jeden Fall so verfahren.

19.4.1 Die Größe eines Arrays bestimmen mit dem sizeof-Operator

Mit »Größe eines Arrays« ist im Allgemeinen – wie auch hier – nicht die Größe in Byte, sondern die Anzahl der Elemente gemeint. Falls erforderlich, können Sie diese mit dem `sizeof`-Operator im Code feststellen. Dies kann vor allem im Zusammenhang mit dynamischen Arrays von Nutzen sein. Was zu tun ist, um Speicher dynamisch anzufordern, das heißt zur Laufzeit, erfahren Sie in Kapitel 29 »Zeiger«.

HINWEIS

Zum `sizeof`-Operator siehe auch Abschnitt 13.1.1 »sizeof-Operator« sowie Abschnitt 16.3.1 »Ausdrücke als Operanden des sizeof-Operators«.

Die Methode ist denkbar einfach:

Um die Gesamtgröße eines Arrays in Byte zu erhalten, ist dem `sizeof`-Operator der Bezeichner dieses Arrays zu übergeben, also z.B.

```
sizeof(arr)
```

Dass es sich mit `arr` um den Bezeichner eines Arrays handelt, setzen wir hier voraus. Nehmen wir des Weiteren an, der Datentyp des Arrays sei *datentyp*, wobei für *datentyp* natürlich der tatsächliche Datentyp einzusetzen ist. Dann ist ein einzelnes Element dieses Arrays

```
sizeof(datentyp)
```

groß. Um die Elementzahl des Arrays zu erhalten, müssen Sie die Gesamtgröße des Arrays durch die Elementgröße teilen:

```
sizeof(arr) / sizeof(datentyp)
```

Beispiel:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   double meineZahlen[] = {12.2, 999.7, -22.3,
                           312.765, 11.8, 543.77,
                           -96537.002, 55.8};
   cout << "Das Array meineZahlen hat "
```

```
        << sizeof(meineZahlen) / sizeof(double)
        << " Elemente";
}
```

Ausgabe:

```
Das Array meineZahlen hat 8 Elemente
```

19.5 Mehrdimensionale Arrays

Es ist auch möglich, mehrdimensionale Arrays zu erzeugen. In diesem Fall ist für jede Dimension die entsprechende Größe anzugeben. Beispielsweise vereinbart man mit der Anweisung

```
int dreiD[10][9][10];
```

ein dreidimensionales Array von der Größe 10 x 9 x 10 zur Aufnahme von insgesamt 900 Integerwerten. Um ein bestimmtes Element des Arrays anzusprechen, ist es natürlich erforderlich, für jede Dimension einen Index anzugeben:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int dreiD[10][9][10];
   dreiD[0][0][1] = 77;
   cout << dreiD[0][0][1];
}
```

Ausgabe: `77`

Vermutlich werden Sie Arrays mit drei oder mehr Dimensionen weniger häufig benötigen. Die Verwendung von zweidimensionalen Arrays kann jedoch mitunter sehr nützlich sein. So z.B., wenn Sie in Ihren Programmen eine Tabelle oder – für Spiele – ein Schach- bzw. Damebrett wiedergeben wollen.

```
int schachbrett[8][8];
```

So könnten Sie für ein Damespiel im Programm für weiße Steine den Wert `1`, für schwarze den Wert `2` und für leere Felder den Wert `0` vergeben. Angenommen, die erste Dimension gibt die Zeilen wieder und die zweite die Spalten, wobei die Zählung jeweils bei `0` beginnt. Das heißt, die erste Zeile soll mit dem Index `0` bezeichnet werden. Ebenso wird das jeweils ganz links befindliche Feld innerhalb einer Zeile über den Index `0` adressiert.

Entsprechend setzen Sie z.B. mit der Anweisung

```
schachbrett[7][7] = 2;
```

einen schwarzen Stein in die rechte obere Ecke des Brettes.

Um ein entsprechendes zweidimensionales Array mit Null zu initialisieren, bietet sich eine verschachtelte `for`-Schleife an:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int schachbrett[8][8];
   for (int i = 0; i < 8; i++)
   {
      for (int k = 0; k < 8; k++)
      {
         schachbrett[i][k] = 0;
      }
   };
}
```

Beachten Sie, dass für jeden Wert von `i` die innere `for`-Schleife einmal vollständig durchlaufen wird. Natürlich müssen in den beiden Schleifen zwei verschiedene Laufvariablen verwendet werden, im Beispiel `i` und `k`.

Allerdings ist es ebenso wie bei eindimensionalen Arrays erlaubt, mehrdimensionale Arrays durch eine in `{}` zu setzende Liste von Werten zu initialisieren:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int zahlen[3][2][2] = {-11, 66, 0, -9044, 5, 6, 1,
                          -7, 9, 10, 101, -23};
   cout << zahlen[0][1][1];
}
```

Ausgabe: `-9044`

Um die Deklaration übersichtlicher zu gestalten, dürfen Sie sogar – allerdings nur in Bezug auf die erste Dimension – zusätzliche Klammern (`{}`) verwenden. Die Elemente der ersten Dimension stehen dann jeweils in eigenen Klammernpaaren:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int zahlen[3][2][2] = {
       {-11, 66, 0, -9044},
       {5, 6, 1,-7},
       {9, 10, 101, -23}
   };
```

```
   cout << zahlen[0][1][1];
}
```

Ausgabe: `-9044`

Auch bei mehrdimensionalen Arrays werden freie Stellen mit `0` (bei Integerarrays) bzw. mit dem Nullbyte `'\0'` (bei `char`-Arrays) aufgefüllt, falls nur ein Initialisierungswert angegeben ist. So wird mit der Deklarationsanweisung

```
int zahlen[3][2][2] = {1};
```

das Element `zahlen[3][2][2]` mit dem Wert `1` versehen, alle anderen mit dem Wert `0`.

Falls die Initialisierungswerte der ersten Dimension explizit in weitere `{}` gefasst sind, gilt dies sogar speziell für eine bestimmte Zeile:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int zahlen[3][2][2] = {
       {-11, 66},
       {-499, 6, 1,-7},
       {9, 10, 101, -23}
   };
   cout << zahlen[0][1][1] << endl;
   cout << zahlen[1][0][0];
}
```

Ausgabe:

```
0
-499
```

Beachten Sie, dass bei der Deklaration von mehrdimensionalen Arrays allenfalls die Größenangabe für die erste Dimension unterbleiben darf:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int tabelle[][3] = {
   {17, 99, 48},
   {91, 55, 84},
   {48, 97, 19},
   };
   int i, k;
```

```
   for (i = 0; i < 3; i++)
      for (k = 0; k < 3; k++)
      {
         if (k % 3 == 0)
            cout << endl;
         cout << tabelle[i][k] << ' ';
      }
}
```

Ausgabe:

```
17 99 48
91 55 84
48 97 19
```

Dementsprechend würde sich Ihr Compiler weigern, den Quellcode zu übersetzen, falls im Beispiel die Klammern für die zweite Dimension oder gar für beide Dimensionen leer bleiben:

```
…
void main(void)
{
   int tabelle[3][] = {  // FEHLER
   {17, 99, 48},
   {91, 55, 84},
   {48, 97, 19},
   };
   …
}
```

20 Strings

Da Ihnen Arrays inzwischen bekannt und Strings eigentlich spezielle `char`-Arrays sind, ist es an der Zeit, sich mit diesem Thema zu beschäftigen. Sie erfahren in diesem Kapitel einiges über den Gebrauch von Strings im Allgemeinen sowie darüber, was es mit C-Strings auf sich hat bzw. worin sich diese von Variablen der Klasse `string` unterscheiden. Praktisch nebenbei lernen Sie eine Reihe nützlicher Funktionen kennen.

HINWEIS

Es sei an dieser Stelle daran erinnert, dass die Bezeichnung Strings ein Sammelbegriff sowohl für Zeichenketten als auch für `string`-Variablen ist.

20.1 Wie Zeichenketten dargestellt werden

Wie Stringliterale im Code aussehen, ist Ihnen natürlich inzwischen geläufig. Wie werden diese nun aber im Computer dargestellt? Dazu müssen Sie wissen, dass Strings immer Platz im Arbeitsspeicher beanspruchen, auch wenn diese als konstante Werte in Form von Literalen im Code auftreten. Das heißt, mit einer Anweisung wie

```
cout << "C++";
```

sorgt der Compiler dafür, dass im Arbeitsspeicher des Computers tatsächlich eine entsprechende Folge von Zeichen abgelegt wird – dies natürlich in binärer Form –, und teilt `cout` im Anschluss daran mit, wo sich die auszugebenden Zeichen befinden (dazu gleich mehr im nächsten Abschnitt).

Nun, wir haben an anderer Stelle bereits angedeutet, dass es sich bei Zeichenketten eigentlich um `char`-Arrays handelt. Das Besondere daran ist, dass die eigentliche Zeichenkette mit dem Nullzeichen (`\0`) – auch Nullbyte genannt – abgeschlossen wird. Dieses wird automatisch angefügt.

Demnach wird der String

```
"C++"
```

im Speicher wie folgt dargestellt:

Bild 20.1: Interne Darstellung der Zeichenkette »C++«

'C'	'+'	'+'	'\0'

Das vom Compiler implizit erzeugte `char`-Array mit dem Endezeichen `'\0'` ist in diesem Fall namenlos. Natürlich lässt sich der gleiche String auch in einem vom Programmierer vereinbarten `char`-Array speichern:

```
...
void main(void)
{
   char meinString[4];
```

```
   meinString[0] = 'C';
   meinString[1] = '+';
   meinString[2] = '+';
   meinString[3] = '\0';
   …
}
```

bzw.

```
…
void main(void)
{
   char meinString[4] = {'C', '+', '+', '\0'};
   …
}
```

Wobei man im letzten Fall die Angabe der Elementzahl, wie gesagt, auch weglassen darf:

```
char meinString[] = {'C', '+', '+', '\0'};
```

Es geht sogar noch bequemer, indem man das Array einfach mit der Zeichenkette initialisiert:

```
…
void main(void)
{
   char meinString[4] = "C++";
   …
}
```

Achten Sie in diesem Fall aber darauf – unter Berücksichtigung des Endezeichens `'\0'` –, genügend Platz für das Array bzw. die Zeichenkette zu reservieren. Allerdings kann auch hier die Angabe der Elementzahl unterbleiben, sodass z.B. mit der Anweisung

```
char comic[] = "Asterix";
```

ein `char`-Array mit acht Elementen erzeugt wird, wobei das letzte Element das Zeichen `'\0'` enthält.

Auf die einzelnen Elemente des Arrays kann danach in der gewohnten Weise mittels Indexangabe zugegriffen werden:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   char comic[] = "Asterix";
   cout << comic[0] << comic[1];
   cout << comic[2] << comic[3];
}
```

Ausgabe: `Aste`

20.2 Arrays und Adressen

Wie ist es nun aber, wenn Sie die im Array gespeicherte Zeichenkette nicht Zeichen für Zeichen, sondern auf einmal ausgeben wollen? Die besondere Art der internen Darstellung mit dem Endezeichen `'\0'` deutet schließlich irgendwie darauf hin, dass dies möglich ist.

In diesem Fall übergeben Sie dem Objekt `cout` bzw. dem Operator `<<` einfach die Adresse des Arrays. Dazu müssen Sie zum einen wissen, dass Arrays grundsätzlich über ihre Adressen verwaltet werden, zum anderen, dass der Name eines Arrays für dessen Adresse steht. Wobei mit Adresse die erste Speicherzelle des ersten Elements gemeint ist. Um dies deutlich zu machen, könnte man auch von der Anfangsadresse eines Arrays sprechen.

```
int arr[5] = {12, 32, 44, 19, 7};
```

Dementsprechend bezeichnet

```
arr
```

die Anfangsadresse des mit der obigen Anweisung vereinbarten Arrays. Tatsächlich lässt sich diese bzw. der entsprechende Hexadezimalwert auch im Programm anzeigen, indem man `cout` diesen Ausdruck übergibt:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int arr[5] = {12, 32, 44, 19, 7};
   cout << arr;
}
```

Ausgabe: 0012FF6C

Die Ausgabe wird natürlich von Fall zu Fall unterschiedlich ausfallen, je nachdem, an welcher Speicheradresse das Array während des aktuellen Programmlaufs gerade angelegt wurde.

Somit heißt ein Ausdruck wie z.B.

```
arr[2]
```

nichts anderes als

»gehe zur Adresse `arr`, dann 2 * 4 Bytes weiter und greife auf den dortigen Inhalt zu«.

Dabei bezeichnet man die Entfernung eines Elements in Byte von der Anfangsadresse des Arrays als den Offset dieses Elements. Der Offset des dritten Arrayelements (`arr[2]`) beträgt bei dem oben deklarierten Integerarray also 2 * 4 = 8 Byte, wobei wir hier für den Datentyp `int` eine Größe von 4 Byte voraussetzen.

HINWEIS

Ist der Datentyp `int` 2 Byte groß, dann ist der Offset des dritten Elements entsprechend 2 * 2 = 4 Byte. Entsprechendes gilt natürlich, falls das Array als `short` deklariert ist. Verallgemeinernd gilt für den Offset eines Arrayelements:

*Offset = Index * Datentypgröße*

Oben genannte Möglichkeit, mithilfe des `cout`-Objekts die Adresse eines Arrays auszugeben, gilt natürlich auch für alle anderen Datentypen, mit Ausnahme von `char`-Arrays. Was diese angeht, verläuft die Kommunikation mit dem `cout`-Objekt in anderer Weise. Wenn Sie `cout` die Adresse eines `char`-Arrays übergeben, weisen Sie das Objekt damit an, alle Zeichen, die sich ab dieser Adresse befinden, bis zum ersten Nullbyte auszugeben:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   char comic[] = "Asterix und Obelix";
   cout << comic;
}
```

Ausgabe: Asterix und Obelix

Dabei macht es keinen Unterschied, ob das Array tatsächlich größer ist als für die Aufnahme eines bestimmten Strings notwendig:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   char comic[77] = "Asterix und Obelix";
   cout << comic;
}
```

Ausgabe: Asterix und Obelix

Ebenfalls keine Rolle spielt es, ob sich im Array nach dem ersten Nullbyte noch weitere Zeichen befinden, sogar wenn es sich dabei um weitere Nullbytes handelt. Wenn also in der Zeichenkette

```
"C++"
```

beispielsweise das zweite Zeichen mit dem Wert `'\0'` überschrieben wird, dann lautet die Ausgabe

C

falls `cout` die Adresse des Arrays übergeben wird:

```
#include <iostream>
using namespace std;
```

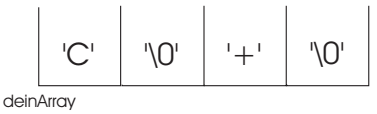
```
void main(void)
{
   char deinArray[] = "C++";
   cout << deinArray << endl;
   deinArray[1] = '\0';
   cout << deinArray << endl;
}
```

Ausgabe:

C++

C

Bild 20.2: Zwei Nullbytes im char-Array



Natürlich ist der Elementzugriff mittels Index nach wie vor auf alle Zeichen des Arrays möglich:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   char deinArray[] = "C++";
   cout << deinArray << endl;
   deinArray[1] = '\0';
   cout << deinArray << endl;
   cout << deinArray[2];
}
```

Ausgabe:

C++

C

+

Prinzipiell ist es zwar ebenfalls möglich, `cin` die Adresse eines `char`-Arrays zu übergeben. Das Nullbyte wird auch in diesem Fall der Eingabe automatisch hinzugefügt:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   char deinArray[30];
   cin >> deinArray;
   cout << deinArray;
}
```

Ausgabe:

Asterix

Asterix

Allerdings können sich Laufzeitfehler einstellen, wenn die Eingabe größer ist, das heißt mehr Zeichen enthält, als das Array aufnehmen kann. Aus diesem Grunde sollten Sie es vorziehen, `cin` in dieser Form mit `string`-Variablen zu verwenden:

```
#include <iostream>
#include <string>
using namespace std;

void main(void)
{
   string eingabe;
   cin >> eingabe;
   cout << eingabe;
}
```

Ausgabe:

Asterix und Obelix

Asterix

Wobei zu berücksichtigen ist, dass die Eingabe nur bis zum ersten Zwischenraumzeichen eingelesen wird, wie in der Ausgabe des obigen Beispiels zu sehen – die überzähligen Zeichen landen im Eingabepuffer. Dies gilt natürlich auch, falls `cin` die Adresse eines `char`-Arrays übergeben wird.

20.2.1 cin.get()

Um eine Eingabe zeichenweise und unter Berücksichtigung von Zwischenraumzeichen in ein `char`-Array einzulesen, eignet sich die Methode `get()` des `cin`-Objekts. Aufgerufen wird sie mit

```
cin.get()
```

wobei dieser Ausdruck für den Rückgabewert – das eingelesene Zeichen – steht. Folglich kann man

```
char c;
c = cin.get();
```

bzw.

```
char arr[11];
arr[0] = cin.get();
```

schreiben, um ein eingegebenes Zeichen einer `char`-Variablen bzw. dem Element eines `char`-Arrays zuzuweisen. Im folgenden Beispiel wird eine Benutzereingabe Zeichen für Zeichen in ein `char`-Array mit dem Bezeichner `name` eingelesen:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   char name[51];
   int i = 0;
   do
   {
     name[i] = cin.get();
   } while (name[i++] != '\n' && i < 50);
   name[i-1] = '\0';
   cout << name << endl;
}
```

Ausgabe:

Hans Meier

Hans Meier

Die Eingabe findet in der `while`-Schleife statt, wobei die Variable `i` zur Indizierung der einzelnen Arrayelemente herangezogen wird. Die Schleife bricht nach Eingabe von 50 Zeichen oder nach Drücken von ↵ ab:

```
…
} while (name[i++] != '\n' && i < 51);
…
```

Beachten Sie, dass die Variable `i` erst nach Auswertung der Schleifenbedingung hochgezählt wird (Postfixnotation). Nach Austritt aus der Schleife muss an die eingegebenen Zeichen noch ein Nullbyte angehängt werden. Hierbei ist zu beachten, dass das zuletzt eingegebene Zeichen im Normalfall das Zeilenvorschubzeichen `'\n'` ist. Um dieses zu überschreiben, muss das entsprechende Arrayelement mit `i-1` indiziert werden:

```
name[i-1] = '\0';
```

Falls die `while`-Schleife abbricht, weil der Benutzer mehr als 50 Zeichen eingegeben hat, wird natürlich auf diese Weise das 51. Zeichen mit dem Nullbyte überschrieben.

Der Benutzer wird jedoch nicht daran gehindert, mehr als 51 Zeichen einzugeben. Diese erscheinen auch als Echo auf dem Bildschirm. Mit dem zweiten Teilausdruck der Schleifenbedingung (`i < 51`) wird lediglich unterbunden, dass mehr Zeichen in das Array geschrieben werden, als für dieses Speicherplatz reserviert ist.

Wie gesagt, liest jedes `cin.get()` ein Zeichen ein. Die Eingabe mit `cin.get()` endet jedoch wie bei `cin >>` grundsätzlich erst mit dem Drücken von ↵. Falls der Benutzer mehrere Zeichen eingegeben hat, verbleiben die übrigen Zeichen im Eingabepuffer und werden gegebenenfalls vom nächsten `cin.get()` dort abgeholt. In diesem Fall erhält der Benutzer keine Möglichkeit zur Eingabe. `cin.get()` liest also – wie das bei `cin >>` ja auch der Fall ist – entweder direkt vom Eingabepuffer oder

– falls dieser leer ist – von der Tastatur (wobei allerdings jede Benutzereingabe nach Drücken von ↵ zunächst einmal im Eingabepuffer landet).

Auf unser Beispiel bezogen heißt das:

Nach dem Drücken der ↵-Taste seitens des Benutzers werden die zuvor eingegebenen Zeichen mit wiederholter Ausführung von

```
name[i] = cin.get();
```

nacheinander vom Eingabepuffer abgeholt und im Array `name` gespeichert. Der erste Teilausdruck der Schleifenbedingung (`name[i++] != '\n'`) sorgt dafür, dass der Benutzer nach einmaligem Drücken der ↵-Taste keine weitere Möglichkeit zur Eingabe erhält. Überzählige Zeichen verbleiben im Eingabepuffer.

Das eben Dargelegte wird besonders deutlich, wenn Sie `cin.get()` im Code zweimal hintereinander verwenden:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   char zeichen;
   zeichen = cin.get();
   zeichen = cin.get();
   cout << zeichen;
}
```

Ausgabe:

xy

y

bzw.

x

Wenn Sie bei der ersten Eingabemöglichkeit die Zeichen »x« und »y« nacheinander eingeben, also in der Form

xy

dann nimmt sich das erste `cin.get()` das erste Zeichen – also `'x'` – aus dem Eingabepuffer. Dieses wird mit der ersten Anweisung

```
zeichen = cin.get();
```

in der Variablen `zeichen` gespeichert. Da sich im Eingabepuffer nunmehr das Zeichen `'y'` – sowie das Zeichen `'\n'` – befindet, erhält der Benutzer keine weitere Möglichkeit zur Eingabe. Mit der nächsten Anweisung

```
zeichen = cin.get();
```

wird nun das Zeichen `'y'` aus dem Eingabepuffer geholt, der Variablen `zeichen` zugewiesen und damit der zuvor gespeicherte Wert `'x'` überschrieben.

Falls vom Benutzer nur genau ein Zeichen – nehmen wir wiederum das Zeichen »x« an – eingegeben wird, erhält er dennoch keine zweite Eingabemöglichkeit. Der Grund dafür ist, dass nach Eingabe von »x« und dem die Eingabe abschließenden ↵, wie oben angedeutet, zwei Zeichen im Eingabepuffer landen – nämlich `'x'` und das mit der Taste ↵ verbundene Zeilenvorschubzeichen `'\n'`. Folglich holt sich das erste `cin.get()` das `'x'`, das zweite das `'\n'`. Dieses wird dann in der Variablen `zeichen` gespeichert. Daher bewirkt in diesem Fall die Anweisung

```
cout << zeichen;
```

allein einen Zeilenvorschub.

HINWEIS

Während `cin >>` Zwischenraumzeichen ignoriert, berücksichtigt `cin.get()` diese beim Einlesen der Zeichen.

Übrigens können Sie eine Funktion oder eine Methode auch verwenden, ohne deren Rückgabewert weiterzuverarbeiten. So liest die Anweisung

```
cin.get();
```

ein Zeichen von der Tastatur bzw. dem Eingabepuffer, ohne etwas damit zu machen, also z.B. einer Variablen zuzuweisen. Dies lässt sich hier ausnutzen, um überschüssige Zeichen vom Eingabepuffer zu entfernen. Zuverlässig geschieht dies mit folgender Konstruktion:

```
while (cin.get() != '\n');
```

Die einzige Anweisung der `while`-Schleife ist die leere Anweisung (`;`). Dies ist aus syntaktischen Gründen notwendig, da die `while`-Schleife mindestens eine Anweisung benötigt. Die Methode `cin.get()`, um die es hier eigentlich geht, wird in der Schleifenbedingung notiert – was an und für sich nichts ungewöhnliches ist, da diese ja einen Rückgabewert besitzt. Dieser wird auf Ungleichheit mit dem Zeilenvorschubzeichen geprüft. Das bedeutet, die Schleife wird so lange ausgeführt, also Zeichen vom Eingabepuffer gelesen, bis dieser vollständig geleert ist – `'\n'` ist ja logischerweise das zuletzt in den Puffer gelangende Zeichen.

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   char zeichen;
   zeichen = cin.get();
   while (cin.get() != '\n');
   zeichen = cin.get();
   cout << zeichen;
}
```

Ausgabe:

xyzabc123

V

V

Nun erhält der Benutzer auf jeden Fall eine zweite Eingabemöglichkeit.

20.2.2 cout.put()

Das Gegenstück zur `get()`-Methode des `cin`-Objekts ist die `put()`-Methode des `cout`-Objekts. Diese gibt ein einzelnes Zeichen aus, das der Methode beim Aufruf zu übergeben ist:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   char name[] = "Hans Meier";
   int i = 0;
   while (name[i] != ' ')
      cout.put(name[i++]);
}
```

Ausgabe:

Hans

In der `while`-Schleife werden die im Array `name` enthaltenen Zeichen bis zum ersten Leerzeichen (exklusive) ausgegeben. Das im Array enthaltene Nullbyte spielt hier natürlich keine Rolle.

20.2.3 Die Funktionen getch(), getche(), kbhit()

Da wir gerade dabei sind, hier noch einige weitere Funktionen, die zwar aus alten C-Zeiten stammen, jedoch sehr nützlich sind. Die Funktion `getch()` liest ein Zeichen direkt von der Tastatur, also ungepuffert. Rückgabewert der Funktion ist das eingelesene Zeichen.

Weitere Besonderheiten:

- Die Eingabe endet automatisch, ohne Bestätigung durch ↵.
- Es erfolgt kein Widerhall auf dem Bildschirm. Der Benutzer bekommt also von seiner Eingabe nichts zu sehen.

Sie können den Rückgabewert von `getch()` natürlich wie gewohnt einer Variablen zuweisen.

```
char zeich;
zeich = getch();
```

Vielfach wird `getch()` aber schlicht eingesetzt, um einen Haltepunkt zu programmieren:

```
#include <iostream>
#include <conio.h>
using namespace std;

void main(void)
{
   // …
   cout << "Weiter mit beliebiger Taste";
   getch();
   cout << endl << "Weiter geht's";
   // …
}
```

Um die Funktionen `getch()`, `getche()` und `kbhit()` verwenden zu können, müssen Sie die Headerdatei *conio.h* mit der `#include`-Direktive einbinden.

Der einzige Unterschied der Funktion `getche()` gegenüber der Funktion `getch()` ist, dass `getche()` ein Echo des eingegebenen Zeichens auf dem Bildschirm wiedergibt.

Die Funktion `kbhit()` prüft, ob irgendeine Taste gedrückt wurde. Ist das der Fall, gibt die Funktion einen Integerwert ungleich `0` zurück, ansonsten `0`:

```
#include <iostream>
#include <conio.h>
using namespace std;

void main(void)
{
   int k = 0, i;
   while (kbhit() == 0)
   {
      for (i=0; i< 100000000; i++) ;
      cout << ++k << ' ';
   }
}
```

Ausgabe: `1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 …`

Das Programm schreibt so lange fortlaufende Zahlen auf den Bildschirm, bis der Benutzer durch Drücken einer beliebigen Taste diesen Vorgang abbricht. Die innere `for`-Schleife

```
for (i=0; i< 100000000; i++) ;
```

erfüllt dabei die Funktion einer Warte- bzw. Verzögerungsschleife.

HINWEIS

Statt

```
kbhit() == 0
```

lässt sich in der Bedingung der `while`-Schleife auch kürzer

```
!khbit()
```

formulieren, da numerische Werte in Ausdrücken implizit in den Datentyp `bool` konvertiert werden (siehe Abschnitt 17.2.2 »Konvertierung in logischen Ausdrücken«).

20.3 Funktionen zur Stringverarbeitung

Für den C++-Programmierer gibt es grundsätzlich zwei Wege, mit Zeichenketten umzugehen: mit `char`-Arrays oder mit `string`-Variablen. Da es in der Programmiersprache C nur Erstere gibt, werden Zeichenketten, die in `char`-Arrays gespeichert sind, auch als »C-Strings« bezeichnet, um den Unterschied zu den `string`-Variablen deutlich zu machen.

HINWEIS

Gemäß dieser Definition handelt es sich bei Zeichenkettenliteralen ebenfalls um C-Strings, da deren Auftreten im Code regelmäßig mit Reservierung von Speicher verbunden ist. So wird z.B. mit Ausführung der Anweisung

```
cout << »XYZ«;
```

die Zeichenkette `"XYZ"` gleichfalls in einem – wenn auch temporären, namenlosen und damit im weiteren Code nicht zugreifbaren – `char`-Array mit dem Nullbyte als Endezeichen gespeichert (siehe Abschnitt 20.1 »Wie Zeichenketten dargestellt werden«).

C++ stellt zur Verarbeitung von C-Strings eine Reihe von Funktionen bereit. Die wichtigsten davon sollen im Folgenden besprochen werden.

20.3.1 strcmp()

Die Funktion `strcmp()` vergleicht zwei C-Strings miteinander. Rückgabewert ist `0`, falls die Zeichenketten übereinstimmen. Andernfalls zeigt ein Rückgabewert größer als Null an, dass die erste der beiden zu übergebenden Zeichenketten lexikographisch größer ist als die zweite. Bei einem Rückgabewert kleiner als Null verhält es sich genau umgekehrt – die zweite Zeichenkette ist lexikographisch größer als die erste.

Eine Zeichenfolge ist lexikographisch größer als eine andere, wenn die Ordnungsnummer des ersten nicht übereinstimmenden Zeichens im ASCII-Code größer ist. Dabei ist zu berücksichtigen, dass den Zeichen `'0'` bis `'9'` bzw. `'A'` bis `'Z'` bzw. `'a'` bis `'z'` im ASCII-Code fortlaufende Nummern zugeordnet sind. Demnach ist z.B. das Zeichen `'B'` »größer« als das Zeichen `'A'` und die Zeichenkette `"Wand"` »größer« als `"Hand"`. In gleicher Weise ist der String `"Hanf"` kleiner als `"Hans"`, da eben das erste nicht übereinstimmende Zeichen – hier `'f'` bzw. `'s'` – im ASCII-Code eine kleinere Ordnungsnummer besitzt.

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   char meineZ[] = "Dagobert Duck";
   char deineZ[] = "Donald";
   int vgl = strcmp(meineZ, deineZ);
   if (vgl == 0)
      cout << "Beide Strings sind gleich";
   else if (vgl > 0)
      cout << "\"Dagobert Duck\" ist "
           << "lexikographisch gr\x94\xE1" << "er";
   else if (vgl < 0)
      cout << "\"Donald\" ist lexikographisch"
           << " gr\x94\xE1" << "er";
}
```

Ausgabe:

»Donald« ist lexikographisch größer

Es sei darauf hingewiesen, dass die Anzahl der Zeichen bei dieser Betrachtung nur dann ausschlaggebend ist, falls ansonsten alle Zeichen übereinstimmen. Demgemäß ist die Zeichenkette `"Donald Duck"` tatsächlich größer als `"Donald"`. Ebenso wenig kommt es auf die Größe der entsprechenden Arrays an, entscheidend ist allein die in ihnen enthaltene Zeichenkette.

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   char meineZ[23] = "Daisy";
   char deineZ[6] = "Daisy";
   if (strcmp(meineZ, deineZ) == 0)
      cout << "Beide Strings sind gleich";
   else
      cout << "Die Strings sind nicht gleich";
}
```

Ausgabe:

Beide Strings sind gleich

HINWEIS

Im Funktionsnamen von `strcmp()` steht das »cmp« für das englische Wort »compare«, zu Deutsch »vergleichen«. Das »str« steht für »String(s)«.

20.3.2 strcpy()

Mit der Funktion `strcpy()` – das »cpy steht für »copy« – können Sie einen C-String in einen anderen kopieren. Als erstes Argument beim Funktionsaufruf wird der Zielstring erwartet, als zweites der Quellstring:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   char erstes[] = "Asterix", zweites[] = "Idefix";
   strcpy(erstes, zweites);
   cout << erstes;
}
```

Ausgabe: Idefix

ACHTUNG

Achten Sie darauf, dass das entsprechende Array (im Beispiel `erstes`) groß genug ist, um den zu kopierenden String aufzunehmen.

Zeichen, die nicht überschrieben werden, verbleiben im Array. Im Beispiel werden die darstellbaren Zeichen `'A'`, `'s'`, `'t'`, `'e'`, `'r'`, `'i'`, `'x'` des Arrays `erstes` sämtlich mit den Zeichen `'I'`, `'d'`, `'e'`, `'f'`, `'i'`, `'x'` sowie `'\0'` überschrieben. Ein weiteres `'\0'`, das sich an der Position mit dem Index 7 befindet, bleibt davon unberührt. Das Array `zweites` wird im Zuge des Kopiervorgangs nicht verändert.

TIPP

Man kann sich die Reihenfolge der Argumente *Zielstring*, *Quellstring* übrigens leicht einprägen, da sie sich wie eine Zuweisung lesen. Bei einer solchen steht das Ziel ja auch als Erstes, und danach folgt der zuzuweisende Wert.

20.3.3 Die Konvertierungsfunktionen atoi(), itoa(), atof()

Zwar versagt bei der Konvertierung numerischer Werte in Strings bzw. von Strings in numerische Werte auch der cast-Operator:

```
int zahl;
zahl = static_cast<int> ("77");  // FEHLER
```

Dennoch sind solche Konvertierungen möglich. Dazu dienen die Funktionen `atoi()`, `itoa()` und `atof()`.

HINWEIS

`atoi` bedeutet »ascii to int«, `itoa` »int to ascii« und `atof` »ascii to float«.

Die Umwandlung von C-Strings nach Integer erfolgt mit der Funktion `atoi()`. Der zu konvertierende String ist ihr beim Aufruf zu übergeben:

```
#include <iostream>
```

```
using namespace std;

void main(void)
{
   int zahl;
   zahl = atoi("77");
   cout << zahl + 23;
}
```

Ausgabe: 100

bzw.

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   char meinStr[] = "77";
   int zahl;
   zahl = atoi(meinStr);
   cout << zahl + 23;
}
```

Ausgabe: 100

HINWEIS

Möglicherweise müssen Sie die Headerdatei *cstdlib* – bei älteren Compilern *stdlib.h* – einbinden, um die Funktionen `atoi()`, `itoa()` und `atof()` verwenden zu können:

```
#include <cstdlib>
```

bzw.

```
#include <stdlib.h>
```

Natürlich ist Voraussetzung, dass der umzuwandelnde String überhaupt als Zahl interpretiert werden kann. Dabei ist entscheidend, dass der String mit einer Ganzzahl beginnt. Weitere Zeichen werden gegebenenfalls ignoriert:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   char deinStr[] = "997abc";
   cout << atoi(deinStr);
}
```

Ausgabe: 997

Verwenden Sie die Funktion `atof()`, falls ein String in einen Gleitkommawert konvertiert werden soll:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   char ihrStr[] = "7.85";
   double z = atof(ihrStr);
   cout << z * 2;
}
```

Ausgabe: 15.7

Auch hier gilt wiederum, dass die ersten Zeichen als Gleitkommawert bzw. als ein Wert, der in einen solchen konvertierbar ist, angesehen werden können. Demnach verlaufen auch die Konvertierungen

```
atof("7.85 Euro")  // ergibt 7.85
```

bzw.

```
atof("7ab44xy")  // ergibt 7.0
```

erfolgreich.

In der umgekehrten Richtung wandelt die Funktion `itoa()` Integerwerte in Strings um:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   int num = 2077;
   char seinStr[20];
   itoa(num, seinStr, 10);
   cout << seinStr;
}
```

Ausgabe: 2077

Der Funktion `itoa()` sind beim Aufruf drei Parameter zu übergeben: der umzuwandelnde Integerwert, die Adresse eines `char`-Arrays, in dem der konvertierte Wert als Zeichenkette gespeichert werden soll, und die Basis für das gewünschte Zahlensystem – für das gewohnte Dezimalsystem also `10`.

```
itoa(num, seinStr, 10);
```

Gibt man als dritten Parameter z.B. `16` an, dann wird die Zahl `2077` als hexadezimaler Wert interpretiert.

Beim Aufruf von Funktionen muss die Reihenfolge der zu übergebenden Werte stets beachtet werden. Speziell bei `itoa()` ist zu beachten, dass erst die Quelle (der Integerwert) und dann das Ziel (der String) angegeben werden muss.

20.4 string-Variablen

Wie an anderer Stelle schon erwähnt, sollten Sie es im Zweifel vorziehen, Zeichenketten mithilfe der `string`-Klasse zu verarbeiten, was schließlich dem C++-Stil entspricht. Die `string`-Klasse ist eine bedeutende Erweiterung gegenüber C und sie besitzt zahlreiche Vorteile, nicht nur was ihre Handhabung und ihr Zusammenspiel mit den Datenströmen `cout` und `cin` angeht.

Die `string`-Klasse baut letzten Endes ebenfalls auf Zeichenketten in Form eines `char`-Arrays mit einem abschließenden Nullbyte auf, wovon der Programmierer aber so gut wie nichts mitbekommt. Das heißt, es wird automatisch dafür gesorgt, dass ein Endezeichen (`'\0'`) angehängt wird, dass ausreichend Platz für die gerade aufzunehmende Zeichenkette reserviert wird usw. Entsprechend bequemer lässt sich in Abwandlung des obigen Beispiels zur Methode `cin.get()` die zeichenweise Eingabe mit einer `string`-Variablen umsetzen:

```
#include <iostream>
#include <string>
using namespace std;

void main(void)
{
   string name;
   char c;
   do
   {
      c = cin.get();
      name += c;
   } while (c != '\n');
   cout << name << endl;
}
```

Ausgabe:

Hans Meier

Hans Meier

Beachten Sie, dass Sie sich hier weder um die Größe der Zeichenkette noch um das Stringendezeichen `'\0'` kümmern müssen. Beides erledigt die `string`-Klasse bzw. die Variable `name`, die eigentlich ein Objekt dieser Klasse ist.

Die `char`-Variable `c` ist hier für die Bedingungsprüfung notwendig. Ansonsten könnte man mit der Anweisung

```
name += cin.get();
```

das eingelesene Zeichen direkt dem String hinzufügen.

HINWEIS

Beachten Sie, dass mit Ausführung der zusammengesetzten Zuweisung

```
name += c;
```

dem in `name` enthaltenen String ein Zeichen an der vorletzten Position – zwischen Nullbyte und dem zuletzt gespeicherten Zeichen – hinzugefügt wird.

Im Übrigen ist es auch möglich, mittels Indexangabe auf einzelne Zeichen einer `string`-Variablen zuzugreifen:

```
#include <iostream>
#include <string>
using namespace std;

void main(void)
{
   string name = "Hans Meier";
   cout << name[0] << ". "
        << name[5] << '.';
}
```

Ausgabe: H. M.

Berücksichtigen Sie aber, dass die Werte von `string`-Variablen dynamisch verwaltet werden. Das bedeutet, dass nach einer Neuzuweisung für die Variable bzw. für deren Zeichenkette unter Umständen weniger Platz im Speicher zur Verfügung steht als zuvor. So wird im Beispiel für die `string`-Variable `name` nach der Zuweisung der Zeichenkette `"Hans Meier"` ein `char`-Array zur Aufnahme von elf Zeichen angelegt. Dies geschieht, wie gesagt, automatisch, sozusagen vom Programmierer verborgen. Die Ursache liegt in der Funktionalität der `string`-Klasse begründet. Weist man nun der Variablen die Zeichenkette `"Udo"` zu, so reduziert sich der reservierte Speicherbereich entsprechend. Das heißt, der alte Speicherbereich wird freigegeben und ein neuer zur Aufnahme von nunmehr vier Zeichen angelegt:

```
#include <iostream>
#include <string>
using namespace std;

void main(void)
{
   string name = "Hans Meier";
   name[7] = 'y';  // OK
   name = "Udo";
   name[6] = 'a';  // FEHLER
}
```

Demzufolge ist der letzte Zugriff auf ein siebtes Element (`name[6]`) nicht mehr korrekt, da zum Zeitpunkt für den Wert der Variablen `name` nur vier Elemente – für vier Zeichen – zur Verfügung stehen (Laufzeitfehler).

ACHTUNG

Ein Überschreiben des vierten Elements, in dem sich ja nach Zuweisung von "Udo" das Nullbyte befindet, wäre jedoch ebenfalls fatal.

20.4.1 Die Methode c_str()

Grundsätzlich sind die in Abschnitt 20.3 »Funktionen zur Stringverarbeitung« genannten Funktionen nur auf C-Strings, nicht auf string-Variablen anwendbar. Dies ist zwar nicht problematisch, da die string-Klasse ihre eigene Funktionalität besitzt.

In verschiedenen Situationen kann es aber dennoch erforderlich bzw. vorteilhaft sein, auf C-String-Funktionen zurückzugreifen. Was die Funktionen atoi(), atof() und itoa() angeht, bleibt dem C++-Programmierer beispielsweise gar nichts anderes übrig, da es in der string-Klasse keine Pendants zu diesen gibt.

Um nun die genannten C-String-Funktionen bei Bedarf dennoch nutzen zu können, bietet die Klasse string die Methode c_str() an, mit der string-Variablen bzw. deren Werte in C-Strings konvertiert werden können:

```
#include <iostream>
#include <string>
using namespace std;

void main(void)
{
   string preisangabe = "55.49 Euro";
   double preis = atof(preisangabe.c_str());
   cout << preis;
}
```

Ausgabe: 55.49

Im Ausdruck

```
atof(preisangabe.c_str())
```

wird zunächst der Wert der string-Variablen preisangabe in eine Zeichenkette umgewandelt, was die Methode c_str() bewirkt. Der C-String wird dann von der Funktion atof() nach double konvertiert.

HINWEIS

Im Gegensatz zu Funktionen, die gewissermaßen unabhängig sind, bezieht sich ein Methodenaufruf gewöhnlich auf ein bestimmtes Objekt einer Klasse. Eine Methode wird daher unter Angabe des Objektnamens in der Form

```
Objekt.Methode()
```

aufgerufen. Daher erfolgt der Aufruf der Methode c_str() für das Objekt preisangabe – jede string-Variable ist, wie gesagt, ein Objekt der Klasse string – in der entsprechenden Weise:

```
preisangabe.c_str()
```

Die Konvertierung in der entgegengesetzten Richtung verläuft automatisch, wofür wiederum die `string`-Klasse verantwortlich ist:

```
#include <iostream>
#include <string>
using namespace std;

void main(void)
{
   char uderzo[] = "Asterix und Obelix";
   string comic = uderzo;
   cout << comic;
}
```

Ausgabe: Asterix und Obelix

Wie am Beispiel zu sehen, kann man einer `string`-Variablen einfach die Adresse eines C-Strings zuweisen.

HINWEIS

Dazu muss gesagt werden, dass ein Zeichenkettenliteral ebenfalls für die Adresse eines – namenlosen – Arrays steht. Wie bereits erwähnt, wird z.B. mit Ausführung der Anweisung

```
cout << "C++";
```

ein `char`-Array angelegt und `cout` dessen Adresse mitgeteilt. Der Befehl an `cout` lautet also nicht etwa

»gib die Zeichen `'C'`, `'+'`, `'+'` aus«,

sondern

»gehe an die Speicherzelle *xy* und gib ab dieser Stelle alle Zeichen bis zum `'\0'` nacheinander aus«.

21 Funktionen

Jeder ausführbare Code in einem C++-Programm befindet sich innerhalb von Funktionen und Methoden. Letztere unterscheiden sich von Funktionen dadurch, dass sie zu einer Klasse gehören (dazu mehr in Kapitel 25 »Klassen und Objekte«). Die Aufteilung des Codes in Funktionen erlaubt es, bestimmte Teilaufgaben in separate Einheiten auszulagern. Dadurch wird der Code übersichtlicher, wartungsfreundlicher und weniger fehleranfällig.

Nach ihrer Verfügbarkeit lassen sich zwei Gruppen von Funktionen unterscheiden: vordefinierte und benutzerdefinierte. Vordefinierte Funktionen werden von Ihrem Compilersystem zur Verfügung gestellt, Sie können diese bei Bedarf einfach verwenden, wie wir das in unseren Beispielprogrammen bereits verschiedentlich getan haben.

HINWEIS

Vordefinierte Funktionen sind z.B. `itoa()`, `atoi()`, `atof()`, `getch()`, um einige zu nennen. Im Unterschied dazu handelt es sich z.B. bei `cin.get()` und `cin.put()` um Methoden, wobei die eigentlichen Methoden `get()` bzw. `put()` heißen – `cin` ist das Objekt, auf das sie sich beziehen.

Benutzerdefinierte Funktionen werden dagegen vom Programmierer nach eigenem Gutdünken selbst definiert.

HINWEIS

Mit »Benutzer« ist hier also nicht etwa der zukünftige Benutzer eines Programms, sondern der Programmierer gemeint.

21.1 Funktionen definieren und aufrufen

Wie man Funktionen definiert, lässt sich am Beispiel von `main()` ersehen. Wie diese gliedert sich jede Funktion in einen Funktionskopf und einen Funktionsrumpf, womit der Funktionsblock, in dem die Anweisungen stehen, gemeint ist. Um eine erste Funktion – mit Blick auf `main()` sollten wir eigentlich sagen, eine weitere Funktion – selbst zu definieren, können wir uns, was den Funktionskopf angeht, fürs Erste ebenfalls an `main()` halten. Allerdings müssen wir der neuen Funktion aus bekannten Gründen einen anderen Namen geben; nennen wir sie einfach `fun()`. Dann sieht das Funktionsgerüst von `fun()` wie folgt aus:

```
void fun(void)
{
}
```

Damit auch etwas geschieht, wenn die Funktion verwendet wird, muss der Funktionsblock natürlich Anweisungen enthalten. Zur Demonstration soll es ausreichen, wenn sich die Funktion nur in irgendeiner Weise nach außen hin bemerkbar macht. Daher begnügen wir uns zunächst mit einer simplen Ausgabeanweisung:

```
void fun(void)
{
   cout << "Hallo von fun()" << endl;
}
```

Somit kann die Definition der Funktion `fun()` als abgeschlossen betrachtet werden. Natürlich muss `fun()` bzw. deren Definition irgendwie in den Quellcode integriert werden. Dies darf auf keinen Fall innerhalb der Funktion `main()` geschehen, da es in C++ nicht erlaubt ist, Funktionen verschachtelt zu definieren:

```
…
void main(void)
{
   void fun(void)  // FEHLER
   {
      cout << "Hallo von fun()" << endl;
   }
   …
}
```

HINWEIS

Die entsprechende Fehlermeldung des Visual C++-Compilers ist in dieser Hinsicht sehr präzise:

»'fun': Lokale Funktionsdefinitionen sind unzulaessig«

Platzieren wir die Definition von `fun()` einfach oberhalb von `main()`:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void fun(void)
{
   cout << "Hallo von fun()" << endl;
}
void main(void)
{
   cout << "In main()" << endl;
}
```

Ausgabe: In main()

Beim Ausführen des obigen Programms macht sich `fun()` in keiner Weise bemerkbar. Wie an der Ausgabe erkennbar, wird nur die Anweisung von `main()` abgearbeitet, nicht die von `fun()`.

Dies sollte Sie auch nicht zu sehr verwundern, da `fun()` in `main()` ja nirgendwo erwähnt ist. Es sei daran erinnert, dass die Funktion `main()` den Einstiegspunkt der Programmausführung bildet. Von daher steht eindeutig fest, dass die erste Anweisung im Rumpf von `main()` beim Programmlauf zuerst ausgeführt wird, dann die nächste usw., bis das Ende des Funktionsblocks erreicht ist. Die Reihenfolge des Programmablaufs ist nach den Ihnen bekannten Regeln vorgegeben. Dabei spielt es zunächst

einmal keine Rolle, wie viele Funktionsdefinitionen sich im Code befinden. Solange die Programmausführung auf ihrem Weg nichts von einer anderen Funktion erfährt, bleibt diese unberücksichtigt.

HINWEIS

Ebenso wenig hat eine Funktionsdefinition Einfluss auf die Größe der ausführbaren Datei, solange die Funktion im Code nicht verwendet wird.

Wenn Sie also wollen, dass eine bestimmte Funktion zur Ausführung gelangt, dann müssen Sie diese an einer Stelle im Code verwenden – aufrufen –, die vom Programmlauf erreicht wird.

Mit anderen Worten: Die Schnittstelle zwischen einzelnen Funktionen bilden die Funktionsaufrufe. Sobald der Compiler auf einen Funktionsaufruf trifft, springt er zu der aufgerufenen Funktion und arbeitet die Anweisungen dieses Funktionsblocks ab. Im Anschluss daran erfolgt der Rücksprung in die aufrufende Funktion.

HINWEIS

Oft wird eine Funktion, aus der heraus eine andere aufgerufen wird, schlicht als »Aufrufer« bezeichnet. Dementsprechend sagt man von dieser Funktion (dem Aufrufer): Sie ruft die andere Funktion auf. Mitunter spricht man auch von der aufrufenden Umgebung.

Was die Verwendung einer Funktion angeht, macht es keinen Unterschied, ob es sich um eine vordefinierte oder um eine benutzerdefinierte Funktion handelt. Voraussetzung ist allein, dass eine aufgerufene Funktion existent, das heißt definiert ist. Selbst definierte Funktionen werden also in der gleichen Weise wie vordefinierte aufgerufen – das heißt unter Angabe des Funktionsnamens gefolgt von runden Klammern. Wobei die Klammern bei unseren ersten selbst definierten Funktionen zunächst einmal leer bleiben, wie das z.B. beim Aufruf der vordefinierten Funktionen `getch()`, `getche()`und `kbhit()` ebenso der Fall ist. Somit lautet ein Aufruf der Funktion `fun()` einfach

```
fun()
```

Dieser Funktionsaufruf darf selbstverständlich nicht in einem komplexen Ausdruck stehen, da die Funktion `fun()` ja keinen Wert zurückliefert (zu Rückgabewerten von Funktionen siehe Abschnitt 21.4). Somit muss der Funktionsaufruf von `fun()` in einer eigenen Anweisung erfolgen:

```
fun();
```

Schließlich wollen wir ja auch nicht mehr, als dass die im Funktionsblock von `fun()` stehende Anweisung beim Programmlauf zur Ausführung gelangt:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void fun(void)
{
```

```
   cout << "Hallo von fun()" << endl;
}
void main(void)
{
   cout << "In main()" << endl;
   fun();
   cout << "Wieder in main()";
}
```

Ausgabe:

In main()

Hallo von fun()

Wieder in main()

Die Anweisung

```
cout << "Wieder in main()";
```

haben wir hinzugefügt, um den Rücksprung nach `main()` deutlich zu machen.

Grundsätzlich gilt, dass jede Funktion jede andere aufrufen kann.

HINWEIS

Falls eine Funktion sich selbst aufruft, spricht man von einer Rekursion (siehe dazu unten Abschnitt 21.6 »Rekursionen«).

Zur Demonstration definieren wir eine weitere Funktion `mehr_fun()` und rufen diese aus `fun()` heraus auf.

HINWEIS

Die Namen von Funktionen unterliegen wie die von Variablen den Regeln der Bezeichnerwahl (siehe dazu Abschnitt 11.2 »Regeln zur Bezeichnerwahl«).

```
#include <iostream>
using namespace std;

void mehr_fun(void)
{
   cout << "Hallo von mehr_fun()" << endl;
}
void fun(void)
{
   cout << "Hallo von fun()" << endl;
   mehr_fun();
   cout << "Wieder in fun()" << endl;
}
```

```
void main(void)
{
   cout << "In main()" << endl;
   fun();
   cout << "Wieder in main()";
}
```

Ausgabe:

In main()

Hallo von fun()

Hallo von mehr_fun()

Wieder in fun()

Wieder in main()

Hier eine Beschreibung des Ablaufs. Die Programmausführung beginnt mit der ersten Anweisung in `main()`:

cout << »In main()« << endl;

Mit dem Funktionsaufruf

```
fun();
```

wird in die bezeichnete Funktion verzweigt und dort zunächst die Anweisung

```
cout << "Hallo von fun()" << endl;
```

ausgeführt. Die Anweisung

```
mehr_fun();
```

bewirkt den Sprung in diese Funktion. Nach Ausführung der einzigen Anweisung im Rumpf von `mehr_fun()`

```
cout << "Hallo von mehr_fun()" << endl;
```

erfolgt der Rücksprung in die aufrufende Umgebung, also zur Funktion `fun()`, und zwar an die Stelle, die unmittelbar dem Funktionsaufruf folgt, mit dem die Funktion verlassen wurde. Daher wird als Nächstes die Anweisung

```
cout << "Wieder in fun()";
```

ausgeführt. Damit ist der Funktionsblock von `fun()` abgearbeitet und die Programmausführung landet wieder in `main()`, dem Aufrufer von `fun()`. Hier ist noch die Anweisung

```
cout << "Wieder in main()";
```

abzuarbeiten. Damit endet die Programmausführung.

Beachten Sie, dass Bezeichner auch zwischen Funktionen und Variablen eindeutig bleiben müssen. Das heißt, eine lokale Variable einer Funktion darf nicht den Namen einer im Code dieser Funktion aufgerufenen anderen Funktion tragen.

```
…
void fun(void)
{
   …
}
void main(void)
{
   int fun;
   fun();  // FEHLER
}
```

21.2 Funktionsprototypen

Bevor eine Funktion verwendet werden kann, muss sie definiert sein. Falls etwa die Definition von `mehr_fun()` im obigen Beispiel unterhalb von `fun()` stünde, ließe sich die Funktion `mehr_fun()` in `fun()` nicht aufrufen – wohl aber in `main()`:

```
…
void fun(void)
{
   cout << "Hallo von fun()" << endl;
   mehr_fun();  // FEHLER
   cout << "Wieder in fun()" << endl;
}
void mehr_fun(void)
{
   cout << "Hallo von mehr_fun()" << endl;
}
void main(void)
{
   …
}
```

Das Gleiche gilt natürlich für die Funktion `fun()` in Bezug auf `main()`, falls `fun()` im Code unterhalb von `main()` definiert ist:

```
…
void main(void)
{
   cout << "In main()" << endl;
   fun();  // FEHLER
   cout << "Wieder in main()";
}
```

```
void fun(void)
{
   …
}
```

Dies würde natürlich erhebliche Probleme mit sich bringen, falls im Code eine Vielzahl von Funktionsdefinitionen vorhanden ist, zumal wenn sich die Funktionen gegenseitig aufrufen.

Eine Lösung besteht darin, die betreffenden Funktionen am Anfang der Quellcodedatei mittels so genannter Prototypen zu deklarieren. Ein Funktionsprototyp besteht ganz einfach aus dem Funktionskopf plus abschließendes Semikolon:

```
void fun(void);
void mehr_fun(void);
```

HINWEIS

Wie an anderer Stelle schon erwähnt, dürfen Sie das `void` in den Klammern auch weglassen, sowohl bei den Prototypen als auch im Kopf der Funktionsdefinitionen.

Die Reihenfolge der Funktionsdeklarationen spielt keine Rolle. Stellen Sie sich einfach vor, dass Ihr Compiler sich die Prototypen ein Mal anschaut und dann über die deklarierten Funktionen ausreichend Bescheid weiß. Das heißt, sobald Ihr Compiler einen Prototyp antrifft, ist es egal, an welcher Stelle im Code sich die entsprechende Funktionsdefinition befindet.

```
#include <iostream>
using namespace std;

void fun(void);
void mehr_fun(void);

void main(void)
{
   cout << "In main()" << endl;
   fun();
   cout << "Wieder in main()";
}
void fun(void)
{
   cout << "Hallo von fun()" << endl;
   mehr_fun();
   cout << "Wieder in fun()" << endl;
}
void mehr_fun(void)
{
   cout << "Hallo von mehr_fun()" << endl;
}
```

Ausgabe:

In main()
Hallo von fun()
Hallo von mehr_fun()
Wieder in fun()
Wieder in main()

Warum sich Ihr Compiler mit Prototypen zufrieden gibt

Wie wir im Weiteren noch sehen werden, kann man am Kopf einer Funktion ablesen, ob eine Funktion einen Wert zurückgibt bzw. welchen Datentyp der Rückgabewert besitzt. Das Gleiche gilt für Werte, die an eine Funktion beim Aufruf zu übergeben sind.

Nun ist es so, dass der eigentliche Compiler nicht die *.exe*-Datei erzeugt, das Endprodukt des gesamten Übersetzungsvorgangs, sondern eine oder mehrere *.obj*-Dateien – so genannte Objektdateien –, und zwar für jede Quellcodedatei eine *.obj*-Datei. Mehrere *.obj*-Dateien entstehen also für den Fall, dass der Quellcode auf mehrere Dateien verteilt ist. Bei den Objektdateien handelt es sich bereits um Maschinencode.

Funktionsaufrufe im Code werden vom eigentlichen Compiler jedoch nicht aufgelöst, dies besorgt anschließend der Linker. Was der Compiler jedoch durchführt, ist eine Typüberprüfung. Das heißt, er kontrolliert, ob die Werte, die einer Funktion beim Aufruf übergeben werden, in Anzahl und Datentyp mit den Angaben in der Funktionsdefinition übereinstimmen. Das Gleiche geschieht in Bezug auf einen eventuellen Funktionsrückgabewert. Das heißt, der Compiler überprüft, ob an der Stelle des Funktionsaufrufs ein Wert dieses Datentyps stehen darf.

```
cout << fun();  // FEHLER
```

In der obigen Anweisung kann `cout` mit dem Ausdruck `fun()` (der ja eigentlich aus folgend genanntem Grunde keiner ist) nichts anfangen, da die Funktion `fun()` keinen Wert zurückgibt. Als Folge davon wird der Compiler mit einer Fehlermeldung reagieren. Der Compiler stellt dabei über den Funktionskopf fest, dass `fun()` keinen Rückgabewert aufweist. Dort legt das erste `void` fest, dass die Funktion keinen Wert zurückgibt. Alle Informationen, die der Compiler für seine Arbeit benötigt, kann er also ebenso gut über einen Funktionsprototyp erhalten.

21.2.1 Den Quellcode auf mehrere Dateien verteilen

Entscheidende Bedeutung kommt den Funktionsprototypen bei der Modularisierung von Programmen zu, das heißt, wenn es darum geht, den Quellcode auf mehrere Dateien zu verteilen. Dazu geht man gewöhnlich wie folgt vor:

- Man schreibt die Funktionsdefinitionen in eine separate Quellcodedatei.
- Die Prototypen dieser Funktionen schreibt man in eine so genannte Headerdatei mit der Endung *.h*. Der Name »Header« bezieht sich auf die Funktionsköpfe (englisch »head«, deutsch »Kopf«). Schließlich besteht ein Funktionsprototyp ja aus dem Kopf einer Funktion plus Semikolon. Die Headerdatei sollte möglichst den Namen der Funktionsdatei tragen, für eine Quelldatei *function.cpp* also *function.h*.
- Diese Headerdatei bindet man in den Quelldateien des Projekts, die im Code eine oder mehrere der in der Headerdatei deklarierten Funktionen verwenden, mit der `#include`-Direktive ein.

Dabei ist zu beachten, dass vom Programmierer bearbeitete Headerdateien nicht mit spitzen Klammern (<>), sondern mit doppelten Anführungszeichen angegeben werden:

```
#include "function.h"
```

Der Unterschied liegt im Suchpfad Ihres Compilers. Falls Sie eine Headerdatei mit <> einbinden, erwartet er, dass sich diese auf der Festplatte im Include-Verzeichnis der Compilerinstallation befindet. Setzen Sie dagegen die Headerdatei innerhalb der `#include`-Direktive in Anführungszeichen ("…"), so sucht Ihr Compiler in dem Verzeichnis, in dem sich die Quelldateien des Projekts befinden.

Wie gesagt, ist eine Headerdatei in jeder Quelldatei einzubinden, in der eine oder mehrere der in ihr deklarierten Funktionen verwendet werden. Dies sollte auch in der Quelldatei geschehen, in der sich die zugehörigen Funktionsdefinitionen befinden, für den Fall, dass sich die Funktionen gegenseitig aufrufen.

Denken Sie daran, dass jede Quellcodedatei zunächst separat in Objektcode übersetzt wird und alle Funktionen, die im Code einer Quelldatei verwendet werden, Ihrem Compiler aus den weiter oben genannten Gründen bekannt sein müssen. Und falls die Funktionsdefinitionen in einer eigenen Quelldatei stehen, ist es der einzige Weg, dem Compiler die notwendigen Informationen über besagte Funktionen mitzuteilen, diese vor der ersten Verwendung zu deklarieren – was idealerweise am Anfang der Quelldatei geschehen sollte. Wenn Sie nun die entsprechende Headerdatei einbinden, dann ersetzt der Präprozessor die `#include`-Direktive mit dem Inhalt der angegebenen Headerdatei. Im Ergebnis stehen dann die erforderlichen Funktionsdeklarationen im Code, wenn der eigentliche Compiler diesen zur Übersetzung erhält.

HINWEIS

Aus dem gleichen Grund ist es notwendig, die Headerdatei *iostream* in allen Quelldateien einzubinden, in deren Code z.B. `cout` bzw. `cin` verwendet wird.

Wenn wir nun auf unser obiges Beispiel bezogen den Code in der eben beschriebenen Weise aufteilen, dann ergeben sich drei Dateien folgenden Inhalts:

function.h:

```
void fun(void);
void mehr_fun(void);
```

function.cpp:

```
#include <iostream>
#include "function.h"
using namespace std;

void fun(void)
{
   cout << "Hallo von fun()" << endl;
   mehr_fun();
   cout << "Wieder in fun()" << endl;
}
void mehr_fun(void)
{
   cout << "Hallo von mehr_fun()" << endl;
}
```

haupt.cpp:

```
#include <iostream>
#include "function.h"
using namespace std;

void main(void)
{
   cout << "In main()" << endl;
   fun();
   cout << "Wieder in main()";
}
```

HINWEIS

Die Namen der Dateien – hier *function* und *haupt* – sind natürlich beliebig wählbar. In der Regel fasst man Funktionen hinsichtlich ihrer Verwendbarkeit zusammen und wählt den Namen der Quell- bzw. Headerdatei entsprechend. Als Beispiel sei hier die in Ihrem Compilersystem enthaltene Headerdatei *math.h* genannt, in der eine Reihe von mathematischen Funktionen deklariert ist.

HINWEIS

Um im Visual C++-Compiler eine Headerdatei zu erstellen, wählen Sie wie gewohnt die Befehlsfolge DATEI/NEU und wählen in der Liste der Registerkarte DATEIEN den Eintrag C/C++-HEADER-DATEI. Beachten Sie, dass in dem Dropdown-Listenfeld rechts oben der Name des aktuellen Projekts ausgewählt sein muss (unter DEM PROJEKT HINZUFÜGEN:).

21.2.2 Prototypen von vordefinierten Funktionen

Wie Sie ja bereits wissen, stellt jedes Compilersystem eine Vielzahl von vordefinierten Funktionen und anderen Elementen zur Verfügung. Diese sind in so genannten Bibliotheken nach ihrem Verwendungszweck aufgeteilt, wobei man sich eine Bibliothek als eine Zusammenfassung von mehreren Dateien vorzustellen hat. So stellt Visual C++ neben der so genannten Standardbibliothek z.B. eine Bibliothek mit vordefinierten Funktionen, Klassen etc. zur Programmierung von grafischen Benutzeroberflächen zur Verfügung – die wir aus bereits genannten Gründen in diesem Buch nicht nutzen. Darüber hinaus ist es auch möglich, nach dem im letzten Abschnitt beschriebenen Verfahren eigene Bibliotheken zu erstellen, indem man z.B. mehrere Funktionen in einer oder auch mehreren Quelldateien nach einem Aufgabengebiet zusammenfasst.

HINWEIS

Von einer Bibliothek wird man womöglich erst dann sprechen, wenn es sich tatsächlich um eine Vielzahl von Funktionsdefinitionen handelt, die dann auf mehrere Quelldateien verteilt sind.

Der Code von vordefinierten Funktionen bleibt jedoch im Verborgenen, Ihr Compilersystem schleppt ihn sozusagen ständig mit sich herum. Dies ist ja auch nicht problematisch, sofern Sie nur wissen, wie eine bestimmte Funktion zu verwenden ist. Was allerdings greifbar ist, sind die zugehörigen Headerdateien. Diese befinden sich im Verzeichnis *Include* Ihrer Compilerinstallation. Falls Sie im Code ein bestimmtes vordefiniertes Element verwenden, müssen Sie die entsprechende Headerdatei nach dem bekannten Muster einbinden.

HINWEIS

Neben Funktionsdeklarationen finden sich in Headerdateien in der Regel weitere Präprozessor-Direktiven, mitunter Klassendefinitionen und auch Vereinbarungen von Variablen bzw. Objekten.

Die vom Compilersystem mitgelieferten Headerdateien lassen sich, an der Endung erkennbar, in drei bzw. vier Kategorien einteilen:

- Aus der Programmiersprache C übernommene Headerdateien tragen die Endung *.h* (z.B. *stdio.h*, *math.h*, *conio.h* usw.).
- Dies gilt auch für C++-Headerdateien im alten Stil, wie z.B. *iostream.h*.
- Headerdateien ohne Erweiterung, die mit einem »c« beginnen, sind neuere Entsprechungen alter C-Headerdateien; so ist etwa *cmath* das Gegenstück der älteren, aus C stammenden Headerdatei *math.h*. Das Gleiche gilt für *ctime* und das Gegenstück *time.h* sowie etliche weitere Headerdateien.
- C++-Headerdateien im neuen Stil haben keine Erweiterung, wie z.B. *iostream*, *iomanip* etc.

Die letzten beiden Kategorien beschreiben in der Regel die Standardbibliothek von C++. Weiter oben ist das Wort »Standardbibliothek« ja

bereits gefallen. So wird der Teil vordefinierter bzw. »vorzudefinierender« Elemente bezeichnet, der vom C++-Standard vorgegeben ist. Das heißt, ein Compilerhersteller, der sich am ANSI/ISO C++-Standard orientiert, wird diejenigen Funktionen, Klassen etc. zur Verfügung stellen, die eben dieser Standard vorschreibt. Was darüber hinausgeht, kann sozusagen als Zugabe angesehen werden. Somit kann jeder Programmierer, der bei der Kodierung ausschließlich diejenigen Elemente verwendet, die in der Standardbibliothek definiert sind, davon ausgehen, dass sein Programm auch in Verbindung mit anderen Compilern übersetzt werden kann – unter der Voraussetzung natürlich, dass diese sich an den C++-Standard halten.

Elemente der Standardbibliothek sind im Namensbereich `std` definiert. Das bedeutet, bei jeder Verwendung eines Elements aus der Standardbibliothek müssen Sie dem Compiler mitteilen, dass Sie dieses bestimmte Element aus dem Namensbereich `std` meinen. Dies können Sie tun, indem Sie die Bezeichnung des Namensraums dem Element voranstellen, verknüpft durch den Bereichsauflösungsoperator `::`.

```
#include <iostream>

void main(void)
{
   double z;
   std::cin >> z;
   std::cout << z;
}
```

HINWEIS

Für den »::«-Operator existieren mehrere Bezeichnungen. Er ist als »Bereichszugriffsoperator«, »Bereichsauflösungsoperator«, »scope-Operator« und »global resolution-Operator« bekannt.

Die wohl bequemere Variante ist es, dem Compiler gleich zu Beginn mitzuteilen, dass mit allen verwendeten Elementen grundsätzlich solche des Namensbereichs `std` gemeint sind.

```
#include <iostream>
using namespace std;

void main(void)
{
   double z;
   cin >> z;
   cout << z;
}
```

21.3 Funktionsparameter

Ein wesentlicher Vorteil des Auslagerns von Teilaufgaben in Funktionen besteht darin, dass Funktionen wiederholt verwendet werden können. Das heißt, die zur Erfüllung einer bestimmten Routine erforderlichen

Anweisungen müssen nur ein Mal kodiert werden und können danach – mittels Funktionsaufruf – nach Bedarf immer wieder – gegebenenfalls auch in weiteren Programmen – verwendet werden.

Eine gegenüber den weiter oben zur reinen Demonstration erstellten Funktionen `fun()` und `mehr_fun()` vorerst wohl nur geringfügig nützlichere Funktion wäre z.B. eine Funktion `sternchen()`, die – sagen wir drei – Sternchen ausgibt:

```
void sternchen(void)
{
   cout << "***";
}
```

Immerhin ließe sich mit dieser Funktion auf etwas bequemere Weise die Ausgabe

```
***

C++

***
```

erzeugen.

```
…
void main(void)
{
   sternchen();
   cout << endl << "C++" << endl;
   sternchen();
}
```

Natürlich wird man sich des Verfahrens, Code in Methoden auszulagern, nur unter der Voraussetzung bedienen, dass es sich entweder um eine sehr komplexe Teilaufgabe handelt oder unter dem Aspekt der Wiederverwendbarkeit. Aus letzterem Gesichtspunkt wäre es in Bezug auf die Funktion `sternchen()` wünschenswert, diese in ihrer Verwendbarkeit flexibler zu gestalten. Hätte man eine Funktion zur Verfügung, der sich beim Aufruf die Anzahl der auszugebenden Sternchen mitteilen lässt, dann könnte sich diese Funktion in manchen Situationen durchaus als nützlich erweisen. Noch schöner wäre es, wenn die Funktion hinsichtlich des auszugebenden Zeichens ebenfalls flexibel wäre. Das heißt, es muss ein Datenaustausch zwischen Funktion und Aufrufer erfolgen.

HINWEIS

Beachten Sie, dass die Funktion `sternchen()` in der obigen Fassung keiner Information von außen – das heißt von der aufrufenden Funktion – bedarf. Sie weiß auch so, was sie zu tun hat, nämlich genau drei Sternchen auszugeben.

Sie haben bereits eine Vielzahl von Funktionen verwendet – genauer aufgerufen. Daher haben Sie vermutlich eine Vorstellung davon, wie dies in Bezug auf eine dementsprechend eingerichtete Funktion `sternchen()` auszusehen hat. Angenommen, der Funktion ist bei Verwendung als erster

Wert ein Zeichen und als zweiter ein Integerwert für die Anzahl zu übergeben, dann könnte ein Aufruf von `sternchen()` wie folgt aussehen:

```
sternchen('*', 45);
```

Mit obiger Anweisung würde man dann die Ausgabe

```
*********************************************
```

erzielen – vorausgesetzt, die Funktion würde bereits in der gewünschten Fassung existieren, das heißt, eine entsprechende Definition der Funktion `sternchen()` wäre bereits vorhanden. Da das nicht der Fall ist, werden wir dies nun nachholen.

Wie Sie wissen, benötigt man zum Speichern von Daten Variablen. Die Funktion `sternchen()` erfordert also eine Variable zur Aufnahme eines Zeichens und eine weitere, um die Information festzuhalten, wie oft dieses Zeichen ausgegeben werden soll. Die passenden Datentypen sind demnach `char` für die erste Variable und `int` für die zweite. Nennen wir sie `zeichen` und `anzahl`.

Wenn man die oben genannten Variablen im Rumpf der Funktion deklariert, erreicht man jedoch keinesfalls das gewünschte Resultat:

```
void sternchen(void)
{
   char zeichen;
   int anzahl;
   for (int i = 0; i < anzahl; i++)
      cout << zeichen;
}
```

Eigentlich ist man dem Ziel aber schon ziemlich nahe gekommen. Man muss nur wissen, dass Variablen, die mit den Übergabewerten eines Funktionsaufrufs initialisiert werden sollen, im Kopf der aufgerufenen Funktion deklariert werden müssen, und zwar zwischen den runden Klammern. Falls es sich, wie vorliegend der Fall, um mehrere handelt, werden diese durch Kommata voneinander getrennt:

```
void sternchen(char zeichen, int anzahl)
{
   for (int i = 0; i < anzahl; i++)
      cout << zeichen;
}
```

Dabei fällt das Schlüsselwort `void` in den Klammern im Unterschied zur ersten Definition von `sternchen()` weg. Das Schlüsselwort `void` in der Klammer hinter dem Funktionsnamen – im ursprünglichen Beispiel `void sternchen(void)` – gibt an, dass eine Funktion bei ihrem Aufruf keine Werte erwartet – und man ihr natürlich auch keine mitgeben darf. Eine so definierte Funktion besitzt ja keine Variablen, die in der Lage sind, Übergabewerte aufzunehmen. Statt `(void)` hinter dem Funktionsnamen kann man übrigens auch eine Leerklammer schreiben (im Beispiel `void sternchen()`).

HINWEIS

Die Bedeutung von `void` am Anfang des Funktionskopfes erfahren Sie im nächsten Abschnitt.

Die Definition der Funktion `sternchen()` ist nun abgeschlossen und wir können sie verwenden. Beachten Sie, dass auch hier die Variablen `zeichen` und `anzahl` lokal zur Funktion `sternchen()` sind, das heißt, sie können im Block der Funktion angesprochen werden. Von daher besteht kein Unterschied zu einer Variablen, die im Block der Funktion deklariert ist, wie hier z.B. die Schleifenvariable `i`.

```
#include <iostream>
using namespace std;

void sternchen(char zeichen, int anzahl)
{
   for (int i = 0; i < anzahl; i++)
      cout << zeichen;
}
void main(void)
{
   sternchen('Y', 8);
   sternchen('\n', 2);
   sternchen('$', 9);
}
```

Ausgabe:

YYYYYYYY

$$$$$$$$$

Hier einige Begriffserklärungen:

- Die im Funktionskopf deklarierten Variablen einer Funktion bezeichnet man als »formale Parameter« – oder einfach nur Parameter – dieser Funktion.
- Die im Funktionsaufruf angegebenen Werte – hier `'Y'` und `8` bzw. `'\n'` und `2` bzw. `'$'` und `9` – nennt man ebenfalls Parameter oder – um den Unterschied zu den formalen Parametern deutlich zu machen – Argumente bzw. aktuelle Parameter.
- Die Gesamtheit der in Klammern angegebenen Parameter heißt Parameterliste. Diese Bezeichnung wird nicht nur für die formalen Parameter der Funktionsdefinition gebraucht, sondern auch bezüglich der aktuellen Parameter eines Funktionsaufrufs.

Beachten Sie:

In der Parameterliste der Funktionsdefinition ist für jeden formalen Parameter ein Typbezeichner anzugeben. Das gilt nicht nur für den Fall, dass die Parameter wie im obigen Beispiel unterschiedlichen Datentyps sind, sondern auch für Parameter gleichen Datentyps.

```
void function(int a, int b)
{
   cout << a * b;
}
```

Fehlerhaft wäre es demnach, den Kopf der Funktion wie folgt zu schreiben:

```
void function(int a, b)  // FEHLER
```

Beim Aufruf einer Funktion ist zu beachten, dass die Argumente in der Reihenfolge anzugeben sind, die der formalen Parameterliste in der Definition der aufgerufenen Funktion entspricht. Das heißt, der erste Formalparameter wird mit dem Wert des ersten Arguments initialisiert, der zweite mit dem Wert des zweiten Arguments usw. Das bedeutet auch, dass sich der Datentyp des ersten Arguments nach dem Datentyp des ersten Formalparameters richten muss, der Datentyp des zweiten Arguments nach dem Datentyp des zweiten Formalparameters usw. Ist dies nicht der Fall, wenn also der im Funktionsaufruf angegebene Datentyp nicht mit dem Datentyp des entsprechenden Formalparameters übereinstimmt, so muss er zumindest implizit in den richtigen Datentyp konvertierbar sein. Andernfalls wird dies als Syntaxfehler erkannt, da der Compiler für jeden Funktionsaufruf ja eine entsprechende Typüberprüfung durchführt, wobei er sich entweder an der Definition der aufgerufenen Funktion orientiert oder an einer entsprechenden Deklaration (siehe Abschnitt 21.2 »Funktionsprototypen«, Kasten »Warum sich Ihr Compiler mit Prototypen zufrieden gibt«).

HINWEIS

Da Ihren Compiler an den Funktionsprototypen allein die Datentypen der Parameter interessieren, dürfen Sie in der Funktionsdeklaration die Bezeichner der Parameter auch weglassen. Demnach können Sie die obige Funktion `function()` alternativ zu

```
void function(int a, int b);
```

auch wie folgt deklarieren:

```
void function(int, int);
```

Das geht so weit, dass sich die Bezeichner der Parameter – falls Sie diese angeben – sogar von denen in der Funktionsdefinition unterscheiden dürfen:

```
void function(int z1, int z2);
```

Wenn also der Kopf einer Funktion wie folgt aussieht

```
void f(char zeich, int nummer, double betrag, char c)
{
   ...
}
```

dann ist der Funktion, wenn sie verwendet wird, ein `char`-Wert, ein `int`-Wert, ein `double`-Wert und wieder ein `char`-Wert – bzw. Werte, die entsprechend konvertiert werden können – in dieser Reihenfolge zu übergeben:

```
f('Z', 6, 3.11, '$');
```

Natürlich dürfen beim Funktionsaufruf als aktuelle Parameter auch die Bezeichner von Variablen verwendet werden:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void sternchen(char zeichen, int anzahl)
{
   for (int i = 0; i < anzahl; i++)
      cout << zeichen;
}
void main(void)
{
   char c;
   cout << "Gib mir ein Zeichen: ";
   cin >> c;
   sternchen(c, 7);
}
```

Ausgabe:

```
Gib mir ein Zeichen: ?

???????
```

21.3.1 Wertübergabe

Beachtung verdient die Tatsache, dass die Funktionsblöcke von `sternchen()` und `main()` zwei verschiedene Gültigkeitsbereiche beschreiben. Das heißt, Variablen der einen Funktion können in der anderen nicht angesprochen werden.

HINWEIS

Zu Gültigkeitsbereich und Lebensdauer von Variablen siehe Abschnitt 18.5 »Gültigkeitsbereich von Variablen«.

Mit dem Aufruf

```
sternchen(c, 7);
```

wird also an die Funktion `sternchen()` nicht etwa die Variable `c` selbst übergeben, sondern nur der in ihr enthaltene Wert bzw. eine Kopie davon. Es handelt sich somit um eine bloße Wertübergabe, auch *call by value* genannt.

Demnach hat es keine Auswirkung auf die aufrufende Umgebung, wenn ein Parameter in der aufgerufenen Funktion verändert wird. Dies wird besonders deutlich, wenn die formalen und aktuellen Parameter gleichnamig sind:

```
#include <iostream>
using namespace std;
```

```
void f(int a)
{
   a = 999;
   cout << a << endl;
}
void main(void)
{
   int a = 70;
   cout << "Wert von a vor Aufruf von f(): ";
   cout << a << endl;
   f(a);
   cout << "Wert von a nach Aufruf von f(): ";
   cout << a << endl;
}
```

Ausgabe:

Wert von a vor Aufruf von f(): 70

999

Wert von a nach Aufruf von f(): 70

Wie gesagt, müssen Bezeichner innerhalb eines Gültigkeitsbereichs eindeutig sein. Da die Funktion `f()` und die Funktion `main()` zwei sich nicht überschneidende Gültigkeitsbereiche darstellen, ist die Verwendung des Bezeichners `a` in beiden Funktionen gänzlich unproblematisch. Beachten Sie, dass es sich tatsächlich um zwei verschiedene Variablen handelt – die eine Variable ist lokal zur Funktion `f()`, die andere lokal zur Funktion `main()`. Die einzige Schnittstelle zwischen beiden Funktionen ist der Aufruf von `f()` in `main()` mit dem aktuellen Wert der lokalen Variablen `a` von `main()`.

Dabei geschieht Folgendes: Der Programmlauf beginnt in `main()`. Eine zu dieser Funktion lokale Variable `a` wird angelegt und mit dem Wert `70` initialisiert. Zur Kontrolle wird der Wert dieser Variablen ausgegeben:

Wert von a vor Aufruf von f(): 70

Mit dem Funktionsaufruf

```
f(a);
```

wird die Ausführung von `main()` angehalten und in die Funktion `f()` gesprungen. Dabei wird an die Funktion `f()` eine Kopie des Wertes der zu `main()` lokalen Variablen `a` übergeben. Nun wird für die Funktion `f()` eine lokale Variable `a` angelegt und mit dem Übergabewert initialisiert. Somit sind nunmehr zwei Variablen `a` existent. Beide besitzen zu diesem Zeitpunkt den Wert `70`.

Mit der Zuweisung

```
a = 999;
```

erhält die lokale Variable `a` von `f()` einen neuen Wert, der im Anschluss daran ausgegeben wird. Die lokale Variable `a` von `main()` bleibt davon unberührt, sodass der Wert dieser Variablen nach wie vor `70` beträgt.

Nach Ausführung der letzten Anweisung im Funktionsrumpf von `f()` (`cout << a << endl;`) erfolgt der Rücksprung nach `main()`. Die lokale Variable `a` von `f()` wird mit dem Verlassen dieser Funktion gelöscht. Würde die Funktion `f()` ein zweites Mal aufgerufen, so würde für die Funktion eine neue Variable `a` angelegt – und mit dem in diesem Funktionsaufruf aktuell angegebenen Wert initialisiert.

In `main()` wird mit der dem Aufruf von `f()` unmittelbar folgenden Anweisung fortgefahren:

```
cout << "Wert von a nach Aufruf von f(): ";
```

Da die lokale Variable `a` von `main()` mit Ausführung der Funktion `f()`, wie oben dargelegt, nicht verändert wurde, lautet die Ausgabe nach wie vor `70`.

```
cout << a << endl;
```

21.3.2 Arrays an Funktionen übergeben

Wie bereits erwähnt, werden Arrays über ihre Anfangsadressen verwaltet, wobei der Bezeichner eines Arrays für diese Anfangsadresse steht (siehe Abschnitt 20.2 »Arrays und Adressen«). Dementsprechend erfolgt die Übergabe eines Arrays an eine aufgerufene Funktion nicht by value (als Wert), sondern by reference. Das heißt, es wird die Adresse des Arrays übergeben. Das Array wird damit der aufgerufenen Funktion tatsächlich bekannt gemacht. Das hat zur Folge, dass Manipulationen, die im Rumpf der aufgerufenen Funktion am Array stattfinden, sich auch in der aufrufenden Umgebung auswirken. Dies ist nicht weiter verwunderlich, da es sich ja um ein und dasselbe Array handelt:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void zunull(int *arr)
{
   int i;
   for (i = 0; i < 5; i++)
      arr[i] = 0;
}
void main(void)
{
   int meinArray[5] = {11, 22, 33, 44, 55}, i;
   cout << "Vorher: ";
   for (i = 0; i < 5; i++)
      cout << meinArray[i] << ' ';
   zunull(meinArray);
   cout << endl << "Nachher: ";
   for (i = 0; i < 5; i++)
      cout << meinArray[i] << ' ';
}
```

Ausgabe:

Vorher: 11 22 33 44 55
Nachher: 0 0 0 0 0

Eine Funktion, die beim Aufruf die Adresse eines Arrays erhalten soll, muss als entsprechenden Formalparameter einen so genannten »Zeiger« besitzen. Das ist eine spezielle Variable, die in der Lage ist, die Adresse eines Datenobjekts aufzunehmen. Um einen Zeiger zu deklarieren, gibt man den Datentyp dieses Datenobjekts an – hier also `int`, da es sich ja um ein Integerarray handelt – plus eines Sternchens (`*`). Dabei kann das Sternchen entweder am Ende des Typbezeichners oder am Anfang des Bezeichners für das Datenobjekt stehen, also

```
int* arr
```

oder

```
int *arr
```

Falls es sich z.B. um ein `char`-Array handelt, schreibt man entsprechend

```
char* arr
```

bzw.

```
char *arr
```

Mit Zeigern werden wir uns in Kapitel 29 beschäftigen. Um Arrays an Funktionen zu übergeben bzw. entsprechende Funktionen zu definieren, ist es fürs Erste ausreichend zu wissen, wie Zeigervariablen vereinbart werden.

Es sei darauf hingewiesen, dass die Zeigervariable `arr` nach Aufruf von `zunull()` zwar die Adresse des Arrays `meinArray` enthält, jedoch keine weiteren Informationen. Diesbezüglich unterscheiden sich die Zeigervariable `arr` und der Bezeichner `meinArray`. Letzterer steht nicht nur für die Anfangsadresse des Arrays, sondern in gewisser Weise auch für das Array als solches. So lässt sich beispielsweise in der Funktion `main()` mit

```
sizeof(meinArray)
```

die Größe des Arrays `meinArray` in Byte bestimmen, nicht aber in der Funktion `zunull()` mit

```
sizeof(arr)
```

Letzter Ausdruck besitzt den Rückgabewert `4`, da eine Zeigervariable in der Regel 4 Byte groß ist, dagegen liefert der erste Ausdruck den Wert `20`, also die Größe des Integerarrays `meinArray` (das aus fünf Elementen besteht) in Byte.

HINWEIS

Tatsächlich erfolgt vor der eigentlichen Übergabe der Adresse im Zuge des Funktionsaufrufs

```
zunull(meinArray);
```

eine Konvertierung des Parameters `meinArray` in einen Zeiger auf das erste Element des Arrays, nämlich vom Typ `int[5]` nach `int *`.

21.4 Rückgabewerte von Funktionen

Ihnen ist mittlerweile bekannt, dass Funktionen einen Wert zurückgeben können. Sie haben solche Funktionen ja bereits verwendet, wie z.B. die Funktion `rand()`. Was Sie noch nicht wissen ist, wie solche Funktionen definiert werden. Nehmen wir als einfaches Beispiel eine Funktion, die das Produkt von zwei ganzen Zahlen ausrechnet. Mit den jetzigen Mitteln könnten Sie es lediglich erreichen, dass die Funktion – nennen wir sie `prod()` – das Berechnungsergebnis ausgibt:

```
#include<iostream>
using namespace std;

void prod(int a, int b)
{
   cout << a * b;
}
void main(void)
{
   prod(4, 5);
}
```

Ausgabe: `20`

In einigen Fällen kann das auch den gewünschten Zweck erfüllen. Allerdings ist eine Funktion, die Ausgaben produziert, nur sehr eingeschränkt verwendbar. Dies gilt sogar für den Fall, dass die Funktion – zusätzlich – einen Rückgabewert liefert. Wenn man eine Funktion innerhalb komplexer Berechnungen einsetzt, dann möchte man in der Regel nicht, dass dies mit Ausgaben verbunden ist. In diesem Fall ist es erforderlich, dass die Funktion die gewünschte Information per Rückgabewert an den Aufrufer übermittelt, ansonsten aber keine weiteren Nebeneffekte produziert. Falls erforderlich, steht es dem Programmierer ja frei, den Rückgabewert der Funktion mit `cout` auszugeben.

Um für eine Funktion einen Rückgabewert festzulegen, müssen zwei Dinge beachtet werden:

- Im Kopf der Funktion ist zu Beginn der Datentyp des Rückgabewertes mit dem entsprechenden Typbezeichner anzugeben – `void` bedeutet, dass eine Funktion keinen Wert zurückliefert.
- Die Funktion muss mit der `return`-Anweisung unter Angabe eines Wertes, der im Datentyp mit dem im Funktionskopf angegebenen übereinstimmt bzw. in diesen konvertiert werden kann, beendet werden. Natürlich darf anstelle eines einfachen Wertes auch ein komplexer Ausdruck stehen.

Für unsere Funktion `prod()` ergibt sich somit folgende Definition:

```
int prod(int a, int b)
{
   return (a * b);
}
```

Die Klammern um den Ausdruck `a * b` dienen hier nur der Verdeutlichung, sind ansonsten jedoch nicht notwendig. Die Funktion liefert nun das Produkt beider Parameter als Rückgabewert:

```
#include<iostream>
using namespace std;

int prod(int a, int b)
{
   return (a * b);
}
void main(void)
{
   cout << prod(3, 5);
}
```

Ausgabe: 15

Die `return`-Anweisung bewirkt das sofortige Verlassen einer Funktion. Beachten Sie, dass sie gegebenenfalls für mehrere Programmzweige verwendet werden muss:

```
double absolut(double betrag)
{
   if (betrag < 0)
      return (-betrag);
   else
      return betrag;
}
```

Bezüglich der Verwendung einer Funktion, die einen Wert zurückgibt, gilt:

Der Funktionsaufruf steht gleichzeitig für den Rückgabewert der Funktion. Das heißt, Sie dürfen ihn im Code überall dort verwenden, wo auch ein einfacher Wert dieses Datentyps stehen dürfte, also z.B. auf der rechten Seite einer Zuweisung, als Operand einer arithmetischen Operation und sogar als Argument für andere Funktionen. So könnte z.B. ein verschachtelter Funktionsaufruf von `prod()` wie folgt aussehen:

```
prod(3, prod(5, 4))
```

Obiger Ausdruck ergibt den Wert `60`, was dem Rückgabewert des Funktionsaufrufs

```
prod(3, 20)
```

entspricht. Wobei der zweite Parameter von der inneren Funktion

```
prod(5, 4)
```

als Rückgabewert geliefert wird.

```
#include<iostream>
using namespace std;
```

```
int prod(int a, int b)
{
   return (a * b);
}
void main(void)
{
   cout << prod(3, prod(5, 4));
}
```

Ausgabe: 60

Tatsächlich handelt es sich bei dem Rückgabewert einer Funktion um eine temporäre, namenlose Variable, die im Programm daher nur vorübergehend genutzt werden kann, nämlich in der Anweisung, in der der Funktionsaufruf steht.

HINWEIS

Anders als es in vielen anderen Programmiersprachen der Fall ist, müssen Rückgabewerte von Funktionen in C++ nicht zwingend verarbeitet werden. Dementsprechend wäre eine Anweisung wie

```
prod(53, 15);
```

denkbar, obwohl diese natürlich keinerlei Nutzen hat – der Ausdruck wird zwar ausgewertet, es geschieht jedoch nichts damit.

Falls eine Funktion mit `void` definiert ist, ist die Verwendung der `return`-Anweisung optional. Erlaubt ist also

```
void f()
{
   // …
}
```

oder

```
void f()
{
   // …
   return;
}
```

Allerdings dürfen Sie `return` in diesem Fall keinen Wert mitgeben:

```
void f()
{
   // …
   return 23;  // FEHLER
}
```

Häufig ist der Einsatz der `return`-Anweisung notwendig, um eine Funktion in bestimmten Programmzweigen unverzüglich zu verlassen:

```
void spiel()
{
   char cancel;
```

```
   // …
   cout << "(A)bbrechen?";
   cin >> cancel;
   if (cancel == 'A')
      return;
   // …
}
```

21.4.1 Rückgabewert von main()

Eigentlich schreibt der C++-Standard vor, dass die Funktion `main()` einen Integerwert zurückgeben muss. Obwohl dies praktisch jeder Compiler erlaubt, ist es insofern nicht ganz korrekt, für `main()` als Rückgabetyp `void` zu verwenden, wie wir das bis jetzt getan haben. Dies hatte rein didaktische Gründe, da wir Sie zu Beginn nicht zusätzlich mit der `return`-Anweisung belasten wollten. Wir werden uns jedoch in den folgenden Beispielen auch diesbezüglich an die Vorgabe des C++-Standards halten und die Funktion `main()` einen Wert zurückgeben lassen. Es hat sich eingebürgert, dass der Rückgabewert `0` standardmäßig eine fehlerfreie Programmausführung anzeigt:

```
int main(void)
{
   // …
   return 0;
}
```

Genau genommen legt der C++-Standard die Definition von `main()` in der Weise fest, dass die `return`-Anweisung nicht zwingend notwendig ist. Danach gibt eine mit dem Rückgabetyp `int` definierte Funktion `main()` auch dann einen Wert – und zwar `0` – zurück, wenn sie nicht explizit mit der `return`-Anweisung beendet wird. Da jedoch einige Compiler damit Schwierigkeiten haben, ist es besser, die `return`-Anweisung zu verwenden.

Wie gesagt, betrifft diese Besonderheit ausschließlich die Funktion `main()`. Für andere Funktionen gilt: Wenn Sie im Kopf einer Funktion festlegen, dass diese einen Wert zurückgibt, dann muss die Funktion mit einer `return`-Anweisung unter Angabe eines passenden Rückgabewertes beendet werden. Andernfalls beschwert sich Ihr Compiler mit einer Fehlermeldung.

Es sei darauf hingewiesen, dass es sich beim Rückgabewert von `main()` gewöhnlich um eine reine Formsache handelt. Der »Empfänger« ist ja nicht eine andere C++-Funktion, sondern das Betriebssystem. Unter Windows-Betriebssystemen gibt es z.B. überhaupt keine Möglichkeit, in irgendeiner Weise auf den Rückgabewert von `main()` zuzugreifen.

21.4.2 Standardparameter

Es ist möglich, für einzelne Parameter Standardwerte festzulegen. Dann werden beim Funktionsaufruf für nicht angegebene Argumente die entsprechenden Standardwerte eingesetzt:

```
#include<iostream>
using namespace std;

double kubik(double a, double b = 1, double c = 1)
{
   return (a * b * c);
}
int main(void)
{
   cout << kubik(17, 2);
   return 0;
}
```

Ausgabe: 34

Die obige Funktion `kubik()` lässt sich also entweder mit einem, mit zwei oder mit drei Parametern aufrufen. Für jedes Argument, das in der Aufrufliste nicht angegeben wird, setzt der Compiler den entsprechenden Standardwert ein, im obigen Beispiel für den dritten Parameter den Wert `1`.

Erlaubt ist das Setzen von Standardwerten für Parameter sowohl in der Definition als auch in der Deklaration einer Funktion, jedoch nicht in beiden zugleich. Falls Funktionsprototypen verwendet werden, ist es jedoch üblich, die Standardwerte in diesen anzugeben:

```
double kubik(double a, double b = 1, double c = 1);
```

bzw.

```
double kubik(double, double = 1, double = 1);
```

Zwar steht es dem Programmierer grundsätzlich frei, für welche Parameter er Standardwerte vergibt. Falls jedoch für einen Parameter ein Standardwert gesetzt ist, muss dies für alle folgenden ebenfalls geschehen.

```
double func(double a = 2, double b)  // FEHLER
```

Bezüglich obiger Deklaration wird Ihr Compiler das Fehlen eines Standardwertes für den zweiten Parameter anmahnen.

21.5 Überladen von Funktionen

Angenommen, Sie möchten eine Funktion erstellen, die verschiedene Datentypen verarbeiten kann. Denkbar ist eine Berechnungsfunktion, der Integerwerte, aber auch Fließkommawerte, gegebenenfalls auch Datentypen, bei denen keine implizite Konvertierung möglich ist, z.B. `char`-Werte, übermittelt werden können.

Die einzige Möglichkeit besteht darin, mehrere Funktionen zu definieren. Da eine Funktion normalerweise einen eindeutigen Namen haben muss (schließlich muss Ihr Compiler diese auseinander halten können), ist es denkbar, dass der Datentyp mit in den Funktionsnamen integriert wird, um zu dokumentieren, welcher Datentyp erwartet wird.

Die Funktionen könnten dann z.B. `func_int()`, `func_double()` und `func_char()` heißen. Besonders elegant ist diese Lösung aber nicht, und doch war es in C die einzige Möglichkeit, eine universelle – datentyp-unabhängige – Funktion zu erzeugen (streng genommen handelt es sich natürlich weiterhin um mehrere Funktionen, aber für den Programmierer haben sie den Charakter einer einzigen Funktion).

Schöner wäre es aber, nur genau einen Funktionsnamen zu haben, um den Charakter zu unterstreichen, dass jede dieser Funktionen den gleichen Zweck erfüllt, nur eben für verschiedene Datentypen. Genau dies erlaubt C++: Unter bestimmten Voraussetzungen dürfen Sie mehrere Funktionen gleichen Namens definieren. In diesem Zusammenhang spricht man vom »Überladen« dieser Funktionen.

HINWEIS

Wie gesagt, ist es eigentlich der Bezeichner der Funktion, der überladen wird.

Dabei müssen sich die überladenen Funktionen in ihrer Parameterliste voneinander unterscheiden, sei es in Anzahl oder Datentyp der einzelnen Parameter. Ein bloßer Unterschied im Rückgabetyp ist nicht ausreichend, wenngleich es nicht notwendig ist, dass überladene Funktionen im Rückgabetyp übereinstimmen.

Als Beispiel einige Prototypen für eine überladene Funktion `fname()`. Wie gesagt, spielen die Bezeichner von Parametern bei der Betrachtung keine Rolle. Um dies deutlich zu machen, sind sie in den folgenden Deklarationen nicht genannt:

```
int fname(int, int);
int fname(int, int, char);
int fname(int, double);
int fname(double, int);
```

Wie an den letzten zwei Deklarationen zu sehen ist, genügt es, wenn nur ein Parameter im Datentyp abweicht.

HINWEIS

Bezeichner plus Parameterliste werden als »Signatur« einer Funktion bezeichnet, da beide zusammen eine Funktion eindeutig identifizieren. Der Rückgabewert der Funktion sowie die Bezeichner der Parameter zählen demnach nicht dazu.

Ein gültiger Aufruf der Funktion `fname()` – eigentlich müsste man sagen »einer der Funktionen `fname()`«, da es sich ja tatsächlich um mehrere handelt – könnte nun wie folgt aussehen:

```
fname(2, 4);
fname(33, -2, 'A');
fname(49, 0.57);
fname(-1.99, 103);
```

Beachten Sie, dass sich der Programmierer im Grunde nicht darum zu kümmern braucht, wie viele Funktionen `fname()` tatsächlich definiert sind, wenn er sie verwendet. Er muss nur wissen, mit welchen Argumenten er die Funktion aufrufen darf. In diesem Sinne kann eine überladene Funktion tatsächlich wie eine einzige behandelt werden.

HINWEIS

Aus dem gleichen Grund kann der <<-Operator von `cout` jeden beliebigen elementaren Datentyp bzw. `string` übernehmen. Wie an anderer Stelle schon erwähnt, handelt es sich bei diesem eigentlich um eine so genannte Operatorfunktion – für die entsprechend viele Variationen definiert sind.

Besondere Aufmerksamkeit erfordert das Setzen von Standardwerten bei überladenen Funktionen. Hier muss sichergestellt sein, dass die Zuordnung eindeutig bleibt. Bei Funktionsdefinitionen wie

```
void f(int a, int b = 3)
{
   // …
}
```

und

```
void f(int zahl)
{
   // …
}
```

würde man spätestens beim Aufruf

```
f(27)
```

eine Fehlermeldung erhalten, da der Compiler in diesem Fall nicht ermitteln kann, welche der beiden Funktionen `f()` gemeint ist.

21.6 Rekursionen

Man spricht von einer Rekursion, wenn eine Funktion sich selbst aufruft. Dabei muss allerdings gewährleistet sein, dass die Rekursion irgendwann abbricht. Als Beispiel hierzu eine rekursive Variante einer Funktion zur Berechnung der Fakultät einer Zahl:

```
#include <iostream>
using namespace std;

int fakul(int n)
{
   if (n == 0)
      return 1;
```

```
   else
      return n * fakul(n - 1);
}
int main(void)
{
   int f;
   cin >> f;
   cout << f << "! = " << fakul(f);
   return 0;
}
```

Ausgabe:

5

5! = 120

HINWEIS

Eine nicht rekursive Implementation dieses Programms finden Sie in Abschnitt 18.1.2 »Fakultät berechnen«.

Lassen Sie uns zur Verdeutlichung den Geschehensablauf für den Eingabewert `2` durchspielen:

```
cin >> f;
```

Dann wird die Funktion `fakul()` in `main()` mit Ausführung der Anweisung

```
cout << f << "! = " << fakul(f);
```

mit diesem Wert aufgerufen.

```
fakul(2)
```

Nun erhält der Parameter `n` diesen Wert und die Bedingungsprüfung

```
if (2 == 0)
```

ergibt `false`. Daher wird die Anweisung des `else`-Zweiges ausgeführt, in dem die Funktion sich selbst aufruft und zwar mit dem Argument `n - 1`, in diesem Fall also mit dem Wert `1`.

```
return 2 * fakul(1);
```

Das heißt, die Ausführung der obigen Anweisung wird angehalten und es erfolgt der Sprung in eine weitere Funktion `fakul()` mit dem Übergabewert `1`. Deren Parameter `n` wird mit diesem Wert initialisiert, die Bedingungsprüfung

```
if (1 == 0)
```

ergibt `false` und die Programmausführung landet im `else`-Zweig dieser Funktion `fakul()`. Mit der Anweisung

```
return 1 * fakul(0);
```

wird auch die Abarbeitung in der zweiten Funktion `fakul()` angehalten und eine dritte Funktion `fakul()` aufgerufen mit dem Parameter `n - 1`,

nunmehr `0`. Mithin existieren zu diesem Zeitpunkt drei Funktionen `fakul()`, von denen zwei – ebenso wie `main()` – in Warteposition sind.

In der zuletzt aufgerufenen Funktion `fakul()` ergibt die Bedingungsprüfung `true` – der Parameter `n` dieser Funktion wurde ja bei Aufruf mit dem Übergabewert `0` initialisiert:

```
if (0 == 0)
```

Daher wird mit

```
return 1;
```

die Funktion mit dem Rückgabewert `1` beendet. Es erfolgt der Rücksprung in die aufrufende Umgebung, also in die zweite Funktion `fakul()`. Dort wird der Ausdruck `1 * fakul(0)` in der Anweisung

```
return 1 * fakul(0);
```

zu `1` ausgewertet und mit

```
return 1;
```

auch diese zweite Funktion `fakul()` beendet. Der Rücksprung in den Aufrufer – die Funktion `fakul()`, die als allererste von `main()` aufgerufen wurde – mit dem Rückgabewert `1` ergibt für die Anweisung

```
return 2 * fakul(1);
```

den Rückgabewert `2`. Dieser Wert wird nun von `main()` in der Anweisung

```
cout << f << "! = " << fakul(f);
```

als Ergebnis der Berechnung ausgegeben.

Hier die entsprechende Ausgabe:

```
2

2! = 2
```

HINWEIS

Es sei darauf hingewiesen, dass sich rekursive Lösungen mitunter zwar sehr elegant kodieren lassen, wie am obigen Beispiel zu sehen, oft aber bezüglich Ausführungsgeschwindigkeit und vor allem Speicherbedarf sehr ineffizient sind. Zwar lässt sich jedes Problem theoretisch auch ohne Rekursion lösen, aber es gibt Fälle, bei denen man immer auf Rekursionen zurückgreifen wird, da eine alternative Lösung zu kompliziert wäre. Beispielsweise werden Rekursionen eingesetzt, um Verzeichnisbäume (z.B. die Verzeichnisstruktur der Festplatte) einzulesen. Da Verzeichnisse Unterverzeichnisse enthalten können, die gegebenenfalls wiederum Unterverzeichnisse aufweisen usw., bietet sich eine Rekursion geradezu an. Man wird dann eine Funktion zum Lesen genau eines Verzeichnisses erstellen, die sich selbst aufruft, wenn sie auf ein Unterverzeichnis trifft. Die Abbruchbedingung wäre dann, dass ein Verzeichnis kein weiteres Unterverzeichnis aufweist.

21.7 inline-Funktionen

Sie können eine Funktion mit dem entsprechenden Schlüsselwort als `inline` definieren und Ihrem Compiler damit empfehlen, diese gar nicht als solche zu behandeln. Ihr Compiler wird dann – falls er der Empfehlung folgt – an jeder Stelle im Code, an der die `inline`-Funktion aufgerufen wird, den Aufruf durch die im Block der Funktion stehenden Anweisungen in einer dem Kontext angepassten Form ersetzen. Es verhält sich dann gewissermaßen so, als ob die Anweisungen der aufgerufenen `inline`-Funktion in der aufrufenden Funktion kodiert sind.

```
#include<iostream>
using namespace std;

inline double func(double a, double b)
{
   return (a * b);
}

int main(void)
{
   cout << func(2.5, 1.5) << endl;
   cout << func(1.3, 1.9) + func(0.5, 3.9);
   return 0;
}
```

Falls Ihr Compiler die Funktion `func()` als `inline` behandelt – wovon hier auszugehen ist –, wird er die entsprechenden Funktionsaufrufe in `main()` wie folgt ersetzen:

```
…
int main(void)
{
   cout << (2.5 * 1.5);
   cout << (1.3 * 1.9) + (0.5 * 3.9);
   return 0;
}
```

Die Verwendung von `inline`-Funktionen bringt in der Regel eine – meist jedoch nur geringe – Steigerung der Ausführungsgeschwindigkeit mit sich. Der Grund ist folgender: Ohne `inline` erzeugt der Compiler für jede Funktion nur genau einen Satz von Anweisungen. Als Folge davon muss für jeden Funktionsaufruf an die Stelle im Speicher, an der sich die Funktion befindet, gesprungen und auch wieder zum Aufrufer zurückgesprungen werden. Diese Sprünge kosten ein klein wenig Zeit. Bei sehr vielen Aufrufen ein und derselben Funktion kann dies durchaus ins Gewicht fallen, also mit einer geringeren Geschwindigkeit verbunden sein. Bei `inline` entfallen diese Sprünge, wodurch gegebenenfalls die Ausführungsgeschwindigkeit steigt.

Allerdings vergrößern die beschriebenen Ersetzungen im Allgemeinen den Umfang der ausführbaren Datei und deren Speicherverbrauch. Der wesentlich höhere Speicherverbrauch steht dann möglicherweise in kei-

nem Verhältnis mehr zum – eher bescheidenen – Gewinn an höherer Ausführungsgeschwindigkeit.

Dieser negative Effekt macht sich umso stärker bemerkbar, je größer die als `inline` behandelte Funktion ist, das heißt je mehr Anweisungen diese im Funktionsrumpf enthält. Die Spezifizierung mit dem Schlüsselwort `inline` eignet sich daher in der Regel nur für sehr kleine Funktionen mit ein oder zwei Anweisungen.

Ein weiterer Nachteil von `inline`-Funktionen besteht darin, dass Ihrem Compiler deren Definition beim Aufruf bekannt sein muss – sonst kann er die zugehörigen Anweisungen ja nicht kopieren. Die reine Deklaration einer `inline`-Funktion ist in dieser Hinsicht daher nicht ausreichend.

HINWEIS

Bedenken Sie, dass es sich mit der Spezifizierung als `inline` lediglich um einen Empfehlung handelt. Sehr große oder komplizierte Funktionen, die z.B. Schleifenkonstrukte enthalten, wird Ihr Compiler vermutlich nicht als `inline` akzeptieren. Das bedeutet, das Schlüsselwort `inline` wird ignoriert und die Funktion wird so behandelt wie eine gewöhnliche Funktion.

HINWEIS

Die Kenntnis von `inline`-Funktionen soll für Sie vor allem im Hinblick auf Klassen und deren Methoden von Bedeutung sein. Diesbezüglich ist es wichtig zu wissen, dass Methoden, die innerhalb von Klassen definiert sind, automatisch als `inline` spezifiziert angesehen werden (zu Klassen und Methoden siehe Kapitel 25 »Klassen und Objekte«).

21.8 Globale Variablen

Der Arbeitsspeicher ist in verschiedene Bereiche unterteilt, von denen uns vor allem der so genannte Heap, der Stack sowie ein globaler Namensbereich interessieren sollen. Die einzelnen Bereiche unterscheiden sich in Bezug auf die Verwaltung von Datenobjekten.

Datenobjekte auf dem Heap werden dynamisch verwaltet. Mehr dazu erfahren Sie in Abschnitt 29.6 »Speicherplatz dynamisch anfordern«. Lokale Variablen der Speicherklasse `auto` werden auf dem Stack angelegt. Dieser funktioniert nach dem so genannten LIFO-Prinzip, was für »Last In First Out« steht und auf den Sachverhalt hinweist, dass Datenobjekte, die zuletzt angelegt werden, als Erstes wieder entfernt werden.

```
{
   int a;
   {
      int b;
   }
}
```

So wird, bezogen auf obiges Codefragment, die Variable `b` nach der Variablen `a` angelegt. Das heißt, `b` wird dem Stack als Letztes hinzugefügt. Mit Verlassen des inneren Blocks endet auch die Lebensdauer der Vari-

ablen b, diese wird vom Stack (zu Deutsch »Stapel(speicher)«) wieder entfernt. Erst danach, mit Verlassen des äußeren Blocks, trifft a dasselbe Schicksal.

Variablen mit der Speicherklasse static werden im globalen Namensbereich verwaltet. Ihre Lebensdauer erstreckt sich über das ganze Programm. Außerdem werden sie bei ihrer Vereinbarung automatisch mit dem Anfangswert 0 versehen, char-Variablen mit dem Nullbyte. Ein Beispiel für Variablen dieser Speicherklasse haben Sie in Abschnitt 18.5.2 »static-Variablen« kennen gelernt. Dabei handelte es sich zwar aufgrund der Speicherklasse static hinsichtlich ihrer Lebensdauer um globale, bezüglich ihres Gültigkeitsbereichs jedoch um lokale Variablen.

Nun ist es möglich, Variablen dieser Speicherklasse global zu vereinbaren. Dies geschieht außerhalb von Funktionen, am besten zu Beginn der Quelldatei. Die Variable ist dann in allen folgenden Funktionen bekannt:

```
#include<iostream>
using namespace std;

int ueberall;

void f(void)
{
   ueberall = 11;
   // …
}
int main(void)
{
   f();
   cout << ueberall;
   return 0;
}
```

Ausgabe: 11

In den Funktionen f() und main() kann somit auf die globale Variable ueberall direkt zugegriffen werden.

HINWEIS

Natürlich dürfen Sie eine globale Variable auch selbst initialisieren:

```
int ueberall = 99;
```

Der Gültigkeitsbereich einer so deklarierten Variablen erstreckt sich per Default auf die ganze Quellcodedatei. Um diesen auf etwaige weitere Quelldateien desselben Programms zu erweitern, ist es erforderlich, die Variable dort unter Angabe des Schlüsselwortes extern bekannt zu machen:

```
extern int ueberall;
```

Angenommen, Ihr Programm besteht aus drei Quellcodedateien und in einer davon ist eine Variable x wie folgt vereinbart:

```
double x = 22.37;
```

Dann machen Sie die Variable in den anderen beiden Quelldateien jeweils am Anfang mit

```
extern double x;
```

bekannt. Nun können alle Funktionen dieser drei Dateien auf die Variable `x` zugreifen.

Wobei es natürlich für diese Überlegung keine Rolle spielt, ob `x` bei der Deklaration initialisiert wird oder nicht. Allerdings dürfen Sie bei der bloßen Bekanntmachung keine Zuweisung durchführen:

```
extern double x = 56.2;  // FEHLER
```

Beachten Sie, dass eine globale Variable die Speicherklasse `static` besitzt, ohne dass bei ihrer Vereinbarung das entsprechende Schlüsselwort angegeben werden muss. Vielmehr besitzt das Schlüsselwort `static` in diesem Kontext eine ganz andere Bedeutung: Es würde den Geltungsbereich der Variablen ausdrücklich auf eine Quelldatei beschränken, sodass eine wie folgt deklarierte globale Variable nicht mehr in anderen Quelldateien bekannt gemacht werden kann:

```
static double x = 56.2;  // Variable kann
// nur in dieser Datei angesprochen werden
```

Die Tatsache, dass die Variable `x` außerhalb von Funktionen vereinbart ist, bewirkt also, dass diese Variable die Speicherklasse `static` erhält. Das bei der Deklaration verwendete Schlüsselwort `static` hat hier zur Folge, dass der Gültigkeitsbereich der globalen Variablen ein für alle Mal auf die Datei beschränkt ist, in der sie vereinbart ist. Demnach kann die so vereinbarte Variable `x` in anderen Dateien nicht mit `extern` bekannt gemacht werden.

TIPP

Obwohl der Gebrauch von globalen Variablen auf den ersten Blick sehr bequem und damit vorteilhaft erscheint, sollten Sie globale Variablen möglichst vermeiden bzw. auf das absolut erforderliche Minimum reduzieren. Denken Sie daran, dass es bei einer Vielzahl von Funktionen nur sehr schwer nachzuvollziehen ist, wie eine Variable in den einzelnen Funktionen verändert wird. Ein mit globalen Elementen durchsetzter Code wird damit sehr schnell fehlerträchtig. Bemühen Sie sich dagegen, beim Programmieren in abgeschlossenen Einheiten zu denken. Dieser Gedanke liegt letzten Endes der Aufteilung des Codes in Funktionen sowie dem ganzen Konzept der objektorientierten Programmierung zugrunde.

22 Eine Funktionsbibliothek

Wir werden nun im Hinblick auf ein im nächsten Kapitel zu programmierendes Lottospiel einige nützliche Funktionen definieren. Es bietet sich an, diese in einer separaten Quelldatei zu speichern.

HINWEIS

Es sei darauf hingewiesen, dass mit einer Funktionsbibliothek in der Regel nicht nur eine, sondern eine Vielzahl von Quelldateien, in denen sich jeweils mehrere Funktionsdefinitionen befinden, assoziiert wird.

22.1 Funktion ArrMinIndex()

Als Erstes wollen wir eine Funktion `ArrMinIndex()` einrichten, die aus einem Array von ganzen Zahlen den Index desjenigen Elements zurückgibt, das den kleinsten Wert enthält.

Rückgabewert ist also nicht der kleinste Wert selbst, sondern die Position dieses Wertes im Array, also der entsprechende Index.

Wir werden die Funktion im Weiteren so ändern, dass sie auch auf beliebige Teilausschnitte von Arrays angewendet werden kann. Im Moment setzen wir jedoch voraus, dass es sich bei der Übergabe um ganze Arrays handelt, der Index also bei `0` beginnt. Die Funktion muss natürlich wissen, um welches Array es sich handelt und wie groß dieses ist. Als Parameter ergeben sich daher einmal die Adresse eines Arrays sowie entweder die Elementzahl oder die Indexobergrenze dieses Arrays. Entscheiden wir uns für die Indexobergrenze. Der Datentyp des Rückgabewertes ist `int`. Somit ergibt sich als Funktionsgerüst:

```
int ArrMinIndex(int *arr,int ogrenze)
{
  // …
}
```

Vorausgesetzt, die Implementation wäre bereits erfolgt, dann würde sich ein Aufruf der Funktion `ArrMinIndex()` wie folgt darstellen:

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main(void)
{
   int meinArray[5] = {237, 0, 22, -44, 7};
   cout << ArrMinIndex(meinArray, 4);
   return 0;
}
```

Ausgabe: `3`

Die kleinste Zahl des Arrays (`-44`) befindet sich an der Position mit dem Index `3`, daher die Ausgabe `3`.

TIPP

Es empfiehlt sich, eine neue Funktion in einer entsprechenden Testumgebung zu entwickeln und erst im Anschluss daran in ein dafür vorgesehenes Modul zu kopieren.

Um einen passenden Algorithmus zu finden, ist es sinnvoll, sich ganz einfach vorzustellen, wie man bei der Lösung einer entsprechenden Aufgabe selbst vorgehen würde. Angenommen Sie haben z.B. eine Zahlenfolge wie

```
33    45    392    -3    44    -23    9633    -4
```

vor sich und müssten daraus den kleinsten Wert bzw. dessen Index bestimmen. Dann würden Sie vermutlich intuitiv die erste Zahl betrachten und diese zunächst mit der zweiten vergleichen. Da die erste Zahl hier kleiner ist, würden Sie sich diese bzw. deren Index `0` merken. Danach würden Sie die `33` mit der dritten Zahl vergleichen. Da die erste Zahl wiederum kleiner als diese Zahl (`392`) ist, bleibt alles beim Alten. Sie halten nach wie vor Index und Größe der ersten Zahl fest. Die beiden anderen sind ja nicht mehr von Interesse, da bereits festgestellt wurde, dass sie größer sind. Im nächsten Schritt vergleichen Sie die bis dato festgehaltene Zahl – also die erste – mit der vierten (`-3`). Diese ist nun kleiner als `33`. Das heißt, Sie verwerfen die `33` samt Index `0` und halten jetzt die Zahl `-3` zusammen mit der Indexangabe `3` fest. Dann vergleichen Sie `-3` mit der folgenden Zahl usw. Wenn Sie die Zahlenreihe auf diese Weise vollständig betrachtet haben, halten Sie automatisch die kleinste Zahl bzw. deren Index in Händen.

Allein durch diese Überlegung ist bereits ein passender Algorithmus gefunden. Nun gilt es, dieses Rezept in Programmcode umzusetzen. Dazu durchlaufen wir das zu betrachtende Array in einer `for`-Schleife und ziehen eine Hilfsvariable `min_index` hinzu, um den jeweils kleinsten Index festzuhalten:

```
int ArrMinIndex(int *arr, int ogrenze)
{
   int min_index = 0;
   for(int i = 1; i <= ogrenze; i++)
   {
      if(arr[i] < arr[min_index])
      {
         min_index = i;
      }
   }
   return min_index;
}
```

Die Variable `min_index` wird mit dem Index des ersten Arrayelements, also mit `0`, initialisiert. Danach wird das Array in der oben beschriebenen Weise durchlaufen, wobei in der `if`-Bedingung die Elemente des Arrays – beginnend mit dem zweiten Element – der Reihe nach mit dem jeweils aktuell kleinsten Wert verglichen werden. Ist der Wert des betrachteten Elements (`arr[i]`) kleiner als der bis dato kleinste Wert (`arr[min_index]`),

so erhält die Variable min_index den Index des kleineren Elements, also i.

Die Funktion in der obigen Fassung ist nun anwendbar auf Arrays, aber auch auf Ausschnitte davon, je nachdem, welchen Wert man für ogrenze beim Aufruf übergibt:

```
#include <iostream>
using namespace std;

int ArrMinIndex(int *arr, int ogrenze)
{
   int min_index = 0;
   for(int i = 1; i <= ogrenze; i++)
   {
      if(arr[i] < arr[min_index])
      {
         min_index = i;
      }
   }
   return min_index;
}
int main(void)
{
   int meinArray[5] = {237, 0, 22, -44, 7};
   cout << ArrMinIndex(meinArray, 2);
   return 0;
}
```

Ausgabe: 1

Mit dem Aufruf

```
ArrMinIndex(meinArray, 2)
```

wird nicht das ganze Array ausgewertet, sondern nur die ersten drei Elemente des Arrays. Dementsprechend ist die Ausgabe 1, da sich an dieser Position – bezogen auf die Elemente meinArray[0], meinArray[1] und meinArray[2] – der kleinste Wert (0) befindet.

Allerdings beginnt die Betrachtung stets mit dem ersten Element. Um die Funktion nun auch bezüglich der Untergrenze flexibel zu halten, ist es notwendig, einen dritten Parameter zu definieren und diesen im Anweisungsteil anstelle des Indexwertes 0 einzusetzen:

```
int ArrMinIndex(int *arr, int ugrenze, int ogrenze)
{
   int min_index = ugrenze;
   for(int i = ugrenze + 1; i <= ogrenze; i++)
   {
      if(arr[i] < arr[min_index])
      {
         min_index = i;
      }
   }
```

```
   return min_index;
}
```

Nun können Sie sich von der Funktion `ArrMinIndex()` den Index der kleinsten Zahl eines beliebigen Teilausschnitts eines Arrays zurückgeben lassen:

```
#include <iostream>
using namespace std;

int ArrMinIndex(int *arr, int ugrenze, int ogrenze)
{
   int min_index = ugrenze;
   for(int i = ugrenze + 1; i <= ogrenze; i++)
   {
      if(arr[i] < arr[min_index])
      {
         min_index = i;
      }
   }
   return min_index;
}
int main(void)
{
   int meinArray[7] = {8, -22, 7, 14, 64, 28, -10};
   cout << ArrMinIndex(meinArray, 2, 5);
   return 0;
}
```

Ausgabe: `2`

Die Ausgabe ist korrekt, da `7` der kleinste Wert im Bereich von `meinArray[2]` bis `meinArray[5]` ist.

22.2 Funktion sortiereArr()

Wir werden nun daran gehen, eine Funktion `sortiereArr()` zu erstellen, die ein Array von Integerzahlen nach ihrer Größe sortiert. Der Funktion sollen bei Aufruf die Adresse sowie die Elementzahl eines Arrays übergeben werden.

Wir legen unseren folgenden Überlegungen die Existenz der Funktion `ArrMinIndex()` zugrunde. Ein geeigneter Algorithmus zum Sortieren eines Arrays von Zahlen in aufsteigender Reihenfolge ist, jeweils den Index des kleinsten Wertes eines bestimmten Teilbereichs zu ermitteln und diesen Wert mit der Anfangsposition des betrachteten Teilbereichs zu vertauschen. Lassen Sie uns das an der Zahlenfolge

```
56    545    -4    76    81    23
```

veranschaulichen. Ruft man die Funktion `ArrMinIndex()` für ein entsprechendes Array von Zahlen auf, so erhält man den Wert `2` zurück, der ja hier dem Index der kleinsten Zahl (`-4`) entspricht. Nun vertauscht man die Werte an den Positionen `2` und `0`, womit sich die Zahlenfolge

```
-4   545   56   76   81   23
```

ergibt. Nun wendet man die Funktion `ArrMinIndex()` auf den übrigen Teilbereich

```
545   56   76   81   23
```

an und erhält als Rückgabewert die Position der Zahl `23`. Diese wird nun wiederum mit dem Wert an der ersten Position des betrachteten Teilbereichs vertauscht:

```
-4   23   56   76   81   545
```

Danach ruft man die Funktion `ArrMinIndex()` für den Teilbereich

```
56   76   81   545
```

auf usw.

Hier die entsprechende Implementation der Funktion `sortiereArr()`:

```
void sortiereArr(int *arr, int elemente)
{
   int ablage;
   for(int i=0; i < elemente; i++)
   {
      ablage = arr[ArrMinIndex(arr, i, elemente - 1)];
      arr[ArrMinIndex(arr, i, elemente-1)] = arr[i];
      arr[i] = ablage;
   }
}
```

Beachten Sie, dass die Funktion keinen Wert zurückgibt.

Der jeweils zu vertauschende Wert lässt sich mit

```
arr[ArrMinIndex(arr, i, elemente - 1)]
```

ermitteln, wobei

```
ArrMinIndex(arr, i, elemente - 1)
```

für den Rückgabewert der Funktion `ArrMinIndex()` steht, also für den Index des kleinsten Wertes des jeweils betrachteten Teilbereichs. Beachten Sie, dass der Wert `i` für die Untergrenze mit jedem Schleifendurchgang ansteigt, sodass die betrachteten Teilbereiche immer kleiner werden – die Obergrenze bleibt ja konstant. Da die Variable `elemente` die Elementzahl des übergebenen Arrays enthält, errechnet sich der höchste Index aus `elemente - 1`.

Der zu vertauschende Wert `arr[ArrMinIndex(arr, i, elemente - 1)]` muss in der Variablen `ablage` zwischengespeichert werden, da er sonst mit der folgenden Zuweisung

```
arr[ArrMinIndex(arr, i, elemente-1)] = arr[i];
```

verloren ginge.

Eine Testumgebung für die neue Funktion könnte nun wie folgt aussehen. Es empfiehlt sich, die Funktionen bzw. die entsprechenden Prototypen mit kurzen Kommentaren bezüglich ihrer Verwendungsweise zu versehen:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void sortiereArr(int *arr, int elemente);
int ArrMinIndex(int *arr, int ugrenze, int ogrenze);

void sortiereArr(int *arr, int elemente)
// sortiert ein Array aufsteigend
{
   int ablage;
   int i;
   for(i=0; i < elemente; i++)
   {
      ablage = arr[ArrMinIndex(arr, i, elemente - 1)];
      arr[ArrMinIndex(arr, i, elemente-1)] = arr[i];
      arr[i] = ablage;
   }
}
int ArrMinIndex(int *arr, int ugrenze, int ogrenze)
// gibt den kleinsten Wert eines Arrays
// im Bereich ugrenze bis ogrenze zurück
{
   int min_index = ugrenze;
   for(int i = ugrenze + 1; i <= ogrenze; i++)
   {
      if(arr[i] < arr[min_index])
      {
         min_index = i;
      }
   }
   return min_index;
}
int main(void)
{
   int meinArray[7] = {8, -22, 7, 14, 64, 28, -10};
   int i;
   for (i = 0; i < 7; i++)
      cout << meinArray[i] << "  ";
   cout << endl;
   sortiereArr(meinArray, 7);
   cout << "Sortiert: " << endl;
   for (i = 0; i < 7; i++)
      cout << meinArray[i] << "  ";
   return 0;
}
```

Ausgabe:

```
8  -22  7  14  64  28  -10
Sortiert:
-22  -10  7  8  14  28  64
```

Wie die Ausgabe zeigt, sind nach Aufruf von `sortiereArr()` die Zahlen im Array `meinArray` aufsteigend sortiert.

22.3 Funktion doppelte()

Die Funktion `doppelte()` soll ein Integerarray auf doppelte Werte überprüfen. Dabei soll es keine Rolle spielen, wie viele Werte gegebenenfalls übereinstimmen. Die Funktion soll lediglich feststellen, ob in einem Array doppelte Werte vorkommen oder nicht. Entsprechend soll der Rückgabewert `1` sein, falls doppelte Werte vorhanden sind, ansonsten `0`.

Der Funktion sollen beim Aufruf die Adresse eines Arrays sowie dessen Elementzahl übergeben werden. Vorausgesetzt, die Funktion sei bereits implementiert, könnte sie etwa wie folgt verwendet werden;

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main(void)
{
   int meinArray[5] = {98, 15, 7, 15, 64};
   if (doppelte(meinArray, 5))
      cout << "Doppelte Werte im Array";
   else
      cout << "Keine doppelten Werte im Array";
   return 0;
}
```

Ausgabe:

```
Doppelte Werte im Array
```

HINWEIS

Die `if`-Bedingung

```
if (doppelte(meinArray, 5))
```

entspricht

```
if (doppelte(meinArray, 5) != 0)
```

Die Aufgabe lässt sich verhältnismäßig einfach lösen, indem man zuerst das Array sortiert und anschließend alle benachbarten Werte miteinander vergleicht:

```
int doppelte(int *arr, int elemente)
{
   sortiereArr(arr, elemente);
   for (int i = 0; i < elemente - 1; i++)
   {
```

```
      if (arr[i] == arr[i + 1])
         return 1;
   }
   return 0;
}
```

Beachten Sie, dass die Schleifenbedingung `i < elemente - 1` bzw. `i <= elemente - 2` lauten muss, da ansonsten in der inneren `if`-Bedingung mit `arr[i + 1]` ein nicht erlaubter Elementzugriff erfolgt – die Elementzahl entspricht ja `elemente` und damit die Indexobergrenze `elemente - 1`.

Falls eine Auswertung der `if`-Bedingung `true` ergibt, wird die Funktion unverzüglich mit dem Rückgabewert `1` verlassen:

```
if (arr[i] == arr[i + 1])
   return 1;
```

Die Anweisung

```
return 0;
```

wird also nur dann ausgeführt, wenn in der `for`-Schleife bzw. in der inneren `if`-Bedingung keine Übereinstimmung festgestellt wurde:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void sortiereArr(int *arr, int elemente);
int ArrMinIndex(int *arr, int ugrenze, int ogrenze);
int doppelte(int *arr, int elemente);

int doppelte(int *arr, int elemente)
// prüft ein Array auf doppelte Werte hin
// Rückgabewert ist 1, falls doppelte Werte vorhanden
{
   sortiereArr(arr, elemente);
   for (int i = 0; i < elemente - 1; i++)
   {
      if (arr[i] == arr[i + 1])
         return 1;
   }
   return 0;
}
void sortiereArr(int *arr, int elemente)
// sortiert ein Array aufsteigend
{
   int ablage;
   for(int i=0; i < elemente; i++)
   {
      ablage = arr[ArrMinIndex(arr, i, elemente - 1)];
      arr[ArrMinIndex(arr, i, elemente-1)] = arr[i];
      arr[i] = ablage;
   }
}
```

```
int ArrMinIndex(int *arr, int ugrenze, int ogrenze)
// gibt den kleinsten Wert eines Arrays
// im Bereich ugrenze bis ogrenze zurück
{
   int min_index = ugrenze;
   for(int i = ugrenze + 1; i <= ogrenze; i++)
   {
      if(arr[i] < arr[min_index])
      {
         min_index = i;
      }
   }
   return min_index;
}
int main(void)
{
   int meinArray[5] = {98, 15, 7, 15, 64};
   if (doppelte(meinArray, 5))
      cout << "Doppelte Werte im Array";
   else
      cout << "Keine doppelten Werte im Array";
   return 0;
}
```

Ausgabe:

```
Doppelte Werte im Array
```

Sie könnten nun Ihrem Projekt für die Funktionsdefinitionen von `ArrMinIndex()`, `sortiereArr()` und `doppelte()` eine neue Quelldatei hinzufügen, die Sie später beliebig erweitern und gleichfalls für Ihre zukünftigen Programme nutzen können. Gewöhnlich richtet sich der Name einer solchen Funktionsdatei nach dem Zweck der integrierten Funktionen, wie das am Beispiel der vordefinierten Bibliotheken *cmath*, *ctime*, *string* usw. der Fall ist. Da dieser hier nicht so ganz einheitlich ist – abgesehen davon, dass alle drei Funktionen sich auf Arrays beziehen –, nennen wir die entsprechende Quelldatei hier einfach *function.cpp*. Die Funktionsprototypen schreiben Sie in eine separate Headerdatei *function.h*. Diese binden Sie in Ihre Quelldateien ein. Somit ergibt sich für die Dateien *function.cpp* und *function.h* folgendes Bild.

function.h:

```
void sortiereArr(int *arr, int elemente);
int ArrMinIndex(int *arr, int ugrenze, int ogrenze);
int doppelte(int *arr, int elemente);
```

function.cpp:

```
#include <iostream>
#include "function.h"
using namespace std;
```

```
int doppelte(int *arr, int elemente)
// prüft ein Array auf doppelte Werte hin
// Rückgabewert ist 1, falls doppelte Werte vorhanden
{
   sortiereArr(arr, elemente);
   for (int i = 0; i < elemente - 1; i++)
   {
      if (arr[i] == arr[i + 1])
         return 1;
   }
   return 0;
}
void sortiereArr(int *arr, int elemente)
// sortiert ein Array aufsteigend
{
   int ablage;
   for(int i=0; i < elemente; i++)
   {
      ablage = arr[ArrMinIndex(arr, i, elemente - 1)];
      arr[ArrMinIndex(arr, i, elemente-1)] = arr[i];
      arr[i] = ablage;
   }
}
int ArrMinIndex(int *arr, int ugrenze, int ogrenze)
// gibt den kleinsten Wert eines Arrays
// im Bereich ugrenze bis ogrenze zurück
{
   int min_index = ugrenze;
   for(int i = ugrenze + 1; i <= ogrenze; i++)
   {
      if(arr[i] < arr[min_index])
      {
         min_index = i;
      }
   }
   return min_index;
}
```

Die Dateien *function.cpp* und *function.h* finden Sie auf der Buch-CD im Verzeichnis *ProgK_23*.

Wir werden im folgenden Kapitel von diesen Dateien ausgehen. Falls Sie den Quellcode nicht aufteilen, schreiben Sie die Funktionsdefinitionen am besten samt Prototypen oberhalb von `main()`, wobei es aus bekannten Gründen sinnvoll ist, dass die Funktionsprototypen zuerst genannt werden.

23 Ein Lottospiel

Wir wollen nun ein Programm erstellen, das Lottozahlen auslost, die der Benutzer tippen kann. Wir werden dabei an einigen Stellen auf die im letzten Kapitel definierten Funktionen zurückgreifen.

23.1 Im Programm Lottozahlen auslosen

Ungeachtet dessen, ob Sie Lottospieler sind oder nicht, wird Ihnen sicherlich bekannt sein, dass beim Lotto sieben Zahlen (inklusive Zusatzzahl) ausgelost werden, die dann vom Spieler zu tippen sind. Es liegt nahe, die sieben Zahlen, die wir uns von der Funktion `rand()` geben lassen, in einem Integerarray festzuhalten. Dazu eignet sich eine `for`-Schleife – die Anzahl der Wiederholungen steht ja mit 7 fest. Zur Kontrolle geben wir die gelosten Zahlen anschließend aus.

HINWEIS

Was zu tun ist, um im Programm Zufallszahlen zu erzeugen, können Sie in Abschnitt 17.5 »Zufallszahlen auslosen« nachlesen.

```
#include <iostream>
#include <ctime>
using namespace std;

int main(void)
{
   int lottozahlen[7], i;
   //Auslosung
   srand(time(NULL));
   for(i = 0; i < 7; i++)
      lottozahlen[i] = (rand() % 49) + 1;
   //Ende Auslosung

   // Ausgabe der gelosten Zahlen
   for(i = 0; i < 7; i++)
      cout << lottozahlen[i] << ' ';
   // Ende Ausgabe
   return 0;
}
```

Ausgabe: `49 16 49 5 32 39 26`

HINWEIS

Der Übersicht halber kann es empfehlenswert sein, Anfang und Ende sinngemäß zusammengehöriger Programmabschnitte mit Kommentaren kenntlich zu machen:

```
// Auslosung
…
// Ende Auslosung
```

Wie gesagt, wird mit

```
srand(time(NULL));
```

der Zufallsgenerator initialisiert. Der Ausdruck

```
(rand() % 49) + 1
```

liefert eine Zufallszahl im Bereich von 1 bis 49 (jeweils inklusive).

Nun kann es vorkommen, dass Zahlen doppelt ausgelost werden, wie an der Ausgabe zu sehen. Um dies zu unterbinden, werden wir die Auslosung gegebenenfalls wiederholen. Der Einfachheit halber werden wir also nicht jede ausgeloste Zahl einzeln mit den zuvor ausgelosten Zahlen vergleichen. Vielmehr prüfen wir nach erfolgter Auslosung das Array `lottozahlen` auf doppelte Werte und zwar mit unserer Funktion `doppelte()`. Um diese verwenden zu können, ist es erforderlich, die Headerdatei *function.h* einzubinden.

HINWEIS

Dies ist natürlich nicht notwendig, wenn Sie die Funktionen `ArrMinIndex()`, `sortiereArr()` und `doppelte()` mit `main()` zusammen in einer Datei definiert haben.

```
#include <iostream>
#include <ctime>
#include "function.h"
using namespace std;

int main(void)
{
   int lottozahlen[7], i;
   //Auslosung
   srand(time(NULL));
   do {
      for(i = 0; i < 7; i++)
         lottozahlen[i] = (rand() % 49) + 1;
   } while (doppelte(lottozahlen, 7));
   //Ende Auslosung

   // Ausgabe der gelosten Zahlen
   for(i = 0; i < 7; i++)
      cout << lottozahlen[i] << ' ';
   // Ende Ausgabe
   return 0;
}
```

Ausgabe: `11 12 23 24 26 41 43`

TIPP

Um im Editor von Visual C++ einen ganzen Block auf einmal einzurücken, markieren Sie diesen und drücken dann die [⇥]-Taste. Um einen Block wieder auszurücken, drücken Sie [⇧]+[⇥].

Ein durchaus erwünschter Nebeneffekt der Funktion `doppelte()` ist, dass sie das Array aufsteigend sortiert.

Aus programmtechnischen Gründen soll sich die Zusatzzahl im letzten Element des Arrays befinden, also in `lottozahlen[6]`. Im Moment wäre dies aber zwangsläufig immer die größte Zahl. Um dies zu ändern, bestimmen wir im Zufallsverfahren ein Element des Arrays und vertauschen dessen Wert mit dem des letzten Elements. Wobei wir in Kauf nehmen, dass gegebenenfalls die letzte Zahl mit sich selbst vertauscht wird, was aber keine negativen Auswirkungen hat.

```
#include <iostream>
#include <ctime>
#include "function.h"
using namespace std;

int main(void)
{
   int lottozahlen[7], i, z, tmp;
   //Auslosung
   srand(time(NULL));
   do {
      for(i = 0; i < 7; i++)
         lottozahlen[i] = (rand() % 49) + 1;
   } while (doppelte(lottozahlen, 7));
   z = rand() % 7;
   tmp = lottozahlen[6];
   lottozahlen[6] = lottozahlen[z];
   lottozahlen[z] = tmp;
   //Ende Auslosung

   // Ausgabe der gelosten Zahlen
   sortiereArr(lottozahlen, 6);
   for(i = 0; i < 6; i++)
      cout << lottozahlen[i] << ' ';
   cout << "Zusatzzahl: " << lottozahlen[6];
   // Ende Ausgabe
   return 0;
}
```

Ausgabe: `6 23 28 31 37 46 Zusatzzahl: 16`

Der Ausdruck

```
z = rand() % 7
```

liefert eine Zahl zwischen `0` und `6`. Diese wird anschließend als Index für den folgenden Elementzugriff verwendet. Bei dem Codestück

```
tmp = lottozahlen[6];
lottozahlen[6] = lottozahlen[z];
lottozahlen[z] = tmp;
```

handelt es sich um den Ihnen bekannten Dreieckstausch (siehe Abschnitt 11.5 »Dreieckstausch«).

Nach dem Tausch ist es erforderlich, die Zahlen im Array – bis auf die Zusatzzahl – erneut zu sortieren. Daher wird vor Ausgabe der Lottozahlen unsere Sortierfunktion `sortiereArr()` auf die ersten sechs Elemente des Arrays angewendet, was ja entsprechend der Implementation dieser Funktion möglich ist.

23.2 Tippen

Um aus dem Ganzen ein richtiges Spiel zu machen, wollen wir dem Benutzer die Möglichkeit zum Tippen geben. Getippt werden müssen sechs Zahlen, die wir in dem Array `tipp` festhalten. Zur Umsetzung bietet sich wiederum eine `for`-Schleife an:

```
#include <iostream>
#include <ctime>
#include "function.h"
using namespace std;

int main(void)
{
   int lottozahlen[7], tipp[6], i, z, tmp;
   //Auslosung
   srand(time(NULL));
   do {
      for(i = 0; i < 7; i++)
         lottozahlen[i] = (rand() % 49) + 1;
   } while (doppelte(lottozahlen, 7));
   z = rand() % 7;
   tmp = lottozahlen[6];
   lottozahlen[6] = lottozahlen[z];
   lottozahlen[z] = tmp;
   //Ende Auslosung

   // Tipp
   cout << "Ihr Tipp: " << endl;
   for (i = 0; i < 6; i++)
      cin >> tipp[i];
   // Ende Tipp

   // Ausgabe der gelosten Zahlen
   sortiereArr(lottozahlen, 6);
   for(i = 0; i < 6; i++)
      cout << lottozahlen[i] << ' ';
   cout << "Zusatzzahl: " << lottozahlen[6];
   // Ende Ausgabe
   return 0;
}
```

HINWEIS

Hier soll vorausgesetzt werden, dass der Benutzer keine Zahlen doppelt tippt.

Nun gilt es, die Trefferquote zu ermitteln. Für Nicht-Lottospieler: Gewinne gibt es ab drei richtig getippten Zahlen mit den Gewinnrängen

- 3 Richtige
- 3 Richtige plus Zusatzzahl
- 4 Richtige
- 4 Richtige plus Zusatzzahl
- 5 Richtige
- 5 Richtige plus Zusatzzahl
- 6 Richtige

Die Zusatzzahl lassen wir zunächst außen vor, da diese ja erst ab drei richtig getippten Zahlen relevant ist. Wir müssen nun das Array `tipp` mit dem Array `lottozahlen` – abgesehen von der Zusatzzahl `lottozahlen[6]` – vergleichen und zwar jede Zahl des ersten Arrays mit jeder der ersten sechs Zahlen des zweiten Arrays. Mit anderen Worten: Für jede Zahl des einen Arrays muss das andere einmal vollständig durchlaufen werden. Zur Lösung dieser Aufgabe bietet sich die Konstruktion einer verschachtelten `for`-Schleife an:

```
#include <iostream>
#include <ctime>
#include "function.h"
using namespace std;

int main(void)
{
   int lottozahlen[7], tipp[6], i, k, z, tmp, treffer;
   //Auslosung
   srand(time(NULL));
   do {
      for(i = 0; i < 7; i++)
         lottozahlen[i] = (rand() % 49) + 1;
   } while (doppelte(lottozahlen, 7));
   z = rand() % 7;
   tmp = lottozahlen[6];
   lottozahlen[6] = lottozahlen[z];
   lottozahlen[z] = tmp;
   //Ende Auslosung

   // Tipp
   cout << "Ihr Tipp: " << endl;
   for (i = 0; i < 6; i++)
      cin >> tipp[i];
   // Ende Tipp
```

```
   // Trefferzahl ermitteln
   treffer = 0;
   for (i = 0; i < 6; i++) {
      for (k = 0; k < 6; k++) {
         if (tipp[i] == lottozahlen[k])
            treffer++;
      }
   }
   // Ende Trefferzahl ermitteln

   // Ausgabe der gelosten Zahlen
   sortiereArr(lottozahlen, 6);
   for(i = 0; i < 6; i++)
      cout << lottozahlen[i] << ' ';
   cout << "Zusatzzahl: " << lottozahlen[6];
   // Ende Ausgabe
   return 0;
}
```

Denken Sie daran, die Laufvariable `k` der inneren `for`-Schleife zu deklarieren. Die Anzahl der bis dato richtig getippten Zahlen wird in der Variablen `treffer` festgehalten. Diese muss logischerweise bei Eintritt in die Schleifenkonstruktion den Wert `0` besitzen. Um dies deutlich zu machen – und damit auch die Nachvollziehbarkeit des Codes zu verbessern –, haben wir die Zuweisung

```
treffer = 0;
```

unmittelbar davor gesetzt. Natürlich hätten wir die Variable hier auch bei ihrer Vereinbarung mit diesem Wert initialisieren können. Die innere `if`-Bedingung wertet zu `true` aus, falls der jeweils betrachtete Wert des ersten Arrays mit dem des zweiten übereinstimmt, was bedeutet, dass es sich um eine richtig getippte Zahl handelt. Für diesen Fall wird die Variable `treffer` inkrementiert.

23.3 Gewinnanzeige

Nun ist die Ziehung der Lottozahlen erfolgt, der Spieler hat getippt und die Anzahl der Treffer ist auch bekannt, von der Zusatzzahl einmal abgesehen. Was noch fehlt ist eine entsprechende Gewinnanzeige. Allerdings muss für den Fall, dass der Spieler drei oder mehr Richtige hat, noch geprüft werden, ob er die Zusatzzahl ebenfalls richtig getippt hat. Hier das entsprechende Codestück:

```
if (treffer >= 3)
{
   cout << "Sie haben " << treffer << " Richtige";
   // Zusatzzahl richtig?
   for (i = 0; i < 6; i++)
   {
      if (tipp[i] == lottozahlen[6])
      {
```

```
            cout << " mit Zusatzzahl";
            break;
         }
      }
      // Ende Zusatzzahl richtig?
   }
      if (treffer == 0)
         cout << "Leider keine Richtigen";
      if (treffer == 1)
         cout << "Leider nur eine Zahl richtig";
      if (treffer == 2)
         cout << "Leider nur zwei Richtige";
```

Falls der Spieler drei oder mehr Richtige hat, wird in der `for`-Schleife bzw. in der inneren `if`-Bedingung jede getippte Zahl mit der Zusatzzahl `lottozahlen[6]` verglichen. Bei Übereinstimmung kann die `for`-Schleife sofort mit `break;` beendet werden.

Hier das vollständige Programm:

```
#include <iostream>
#include <ctime>
#include "function.h"
using namespace std;

int main(void)
{
   int lottozahlen[7], tipp[6], i, k, z, tmp, treffer;

   //Auslosung
   srand(time(NULL));
   do {
      for(i = 0; i < 7; i++)
         lottozahlen[i] = (rand() % 49) + 1;
   } while (doppelte(lottozahlen, 7));
   z = rand() % 7;
   tmp = lottozahlen[6];
   lottozahlen[6] = lottozahlen[z];
   lottozahlen[z] = tmp;
   //Ende Auslosung

   // Tipp
   cout << "Ihr Tipp: " << endl;
   for (i = 0; i < 6; i++)
      cin >> tipp[i];
   // Ende Tipp

   // Trefferzahl ermitteln
   treffer = 0;
   for (i = 0; i < 6; i++) {
      for (k = 0; k < 6; k++) {
         if (tipp[i] == lottozahlen[k])
```

```
            treffer++;
         }
      }
      // Ende Trefferzahl ermitteln

      // Ausgabe der gelosten Zahlen
      cout << endl << "Lottozahlen: " << endl;
      sortiereArr(lottozahlen, 6);
      for(i = 0; i < 6; i++)
         cout << lottozahlen[i] << ' ';
      cout << "Zusatzzahl: " << lottozahlen[6];
      cout << endl;
      // Ende Ausgabe

      // Gewinnanzeige
      cout << "Ihre getippten Zahlen:" << endl;
      sortiereArr(tipp, 6);
      for (i = 0; i < 6; i++)
         cout << tipp[i] << ' ';
      cout << endl << endl;
      if (treffer >= 3)
      {
         cout << "Sie haben " << treffer << " Richtige";
         // Zusatzzahl richtig?
         for (i = 0; i < 6; i++)
         {
            if (tipp[i] == lottozahlen[6])
            {
               cout << " mit Zusatzzahl";
               break;
            }
         }
         // Ende Zusatzzahl richtig?
      }
      if (treffer == 0)
         cout << "Leider keine Richtigen";
      if (treffer == 1)
         cout << "Leider nur eine Zahl richtig";
      if (treffer == 2)
         cout << "Leider nur zwei Richtige";
      // Ende Gewinnanzeige
      cout << endl;
      return 0;
   }  // Ende main()
```

TIPP

Um sich im Quelltext besser zurechtzufinden, empfiehlt es sich mitunter, hinter die schließende geschweifte Klammer einer Kontrollstruktur oder einer Funktion einen entsprechenden Kommentar zu setzen, z.B.

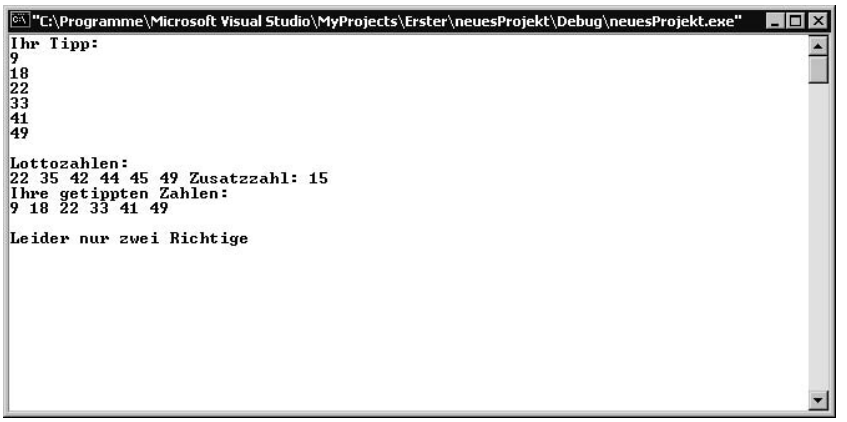
```
…
}  // Ende for
oder
…
}  // Ende main()
```

Für den Fall, dass der Benutzer beim Tippen die Zahlen nicht in aufsteigender Reihenfolge angibt, wird das Array `tipp` vor der Ausgabe mit der Anweisung

```
sortiereArr(tipp, 6);
```

sortiert. Das Ergebnis eines Spiels sehen Sie in Abbildung 23.1.

Bild 23.1: Bescheidenes Ergebnis eines Lottotipps



CD-ROM

Die ausführbare Datei *lotto.exe* sowie die Quelldateien *lotto.cpp* und *function.cpp* plus Headerdatei *function.h* finden Sie auf der Buch-CD im Verzeichnis *ProgK_23*.

magnum

Teil 3

Einführung in die objektorientierte Programmierung

Theoretisch ließe sich jedes Programm auch ohne die Mittel der objektorientierten Programmierung und auch der funktionalen Programmierung schreiben. Praktisch sind dem bei sehr großen Programmen jedoch Grenzen gesetzt. In dieser Hinsicht ist bereits die Aufteilung des Codes in Funktionen ein wesentlicher Schritt hin zur besseren Strukturierung. Während in der funktionalen Programmierung Daten und Funktionen jedoch systematisch voneinander getrennt sind, erlaubt es das Konzept der objektorientierten Programmierung, diese miteinander zu verknüpfen und damit als Einheit zu behandeln.

24 Strukturen

In diesem Teil soll über den Strukturbegriff an das Wesen von Klassen herangeführt werden. Klassen mit ihren Objekten sind das A und O der objektorientierten Programmierung. Im Weiteren werden die wesentlichen Aspekte der OOP vorgestellt, wie z.B. Kapselung, Konstruktoren, statische Klassenelemente etc.

Strukturen, so wie sie in der Programmiersprache C verwendet werden, sind in gewissem Sinne ein erster Schritt hin zur objektorientierten Programmierung. Daher liegt es nahe, eine Einführung in die objektorientierte Programmierung mit diesen zu beginnen.

Aus didaktischen Gründen werden wir Strukturen hier also zunächst in C-Manier behandeln. Dies ist insofern nicht weiter problematisch, als es sich bei den C++-Strukturen um eine reine Erweiterung derer von C handelt. Tatsächlich ist der Unterschied zwischen Klassen und Strukturen in C++ nur sehr gering. Somit gilt alles, was Sie hier über Strukturen erfahren, uneingeschränkt auch für Klassen.

24.1 Strukturen definieren

Eine wesentliche Eigenschaft von benutzerdefinierten Datentypen haben Sie am Beispiel von Arrays bereits kennen gelernt: Sie setzen sich mehr oder weniger aus einfachen Datentypen zusammen (auf das »mehr oder weniger« werden wir gleich noch zu sprechen kommen).

HINWEIS

Wir gehen hier davon aus, dass ein Array ein benutzerdefinierter Datentyp ist. Dass Ihr Compiler dies ebenso sieht, können Sie daran erkennen, dass er im Zuge von Warn- bzw. Fehlermeldungen z.B. den Datentyp eines Integerarrays aus neun Elementen mit `int[9]` angibt.

Anders als das jedoch beim Array der Fall ist, dürfen die Komponenten einer Struktur auch unterschiedlichen Datentyps sein.

Die Definition einer Struktur wird mit dem Schlüsselwort `struct` eingeleitet, gefolgt von einem Bezeichner für die Struktur und einem zugehörigen Block, der mit einem Semikolon abzuschließen ist. In dem Block sind die Elemente der Struktur anzugeben:

```
struct Adresse
{
   string strasse;
   int hausnr;
   long plz;
   string ort;
};
```

Wie gesagt, handelt es sich hier um die Definition eines neuen Datentyps. Dessen Bezeichner ist `Adresse`. Dieser kann nun im Code genauso ver-

wendet werden wie z.B. die vordefinierten Typbezeichner `int` oder `char`. Um also eine Variable vom Datentyp `Adresse` zu deklarieren, schreiben Sie:

```
Adresse meineAdresse;
```

Beachten Sie, dass die alleinige Definition von `Adresse` noch nichts bewirkt, außer dass nunmehr ein neuer Datentyp zur Verfügung steht. Nehmen wir zum Vergleich den Datentyp `double`. Die Tatsache, dass dieser existiert, hat noch keine Auswirkung auf Ihre Programme. Dies ändert sich erst, wenn Sie im Code Variablen dieses Typs vereinbaren. Von daher besitzt ein benutzerdefinierter Typ die gleiche Qualität wie ein eingebauter Typ. Denken Sie daran, dass es für die Verwendung einer Funktion ebenfalls unerheblich ist, ob diese vom Compilersystem mitgeliefert oder vom Programmierer selbst definiert ist.

Folglich ist erst mit der obigen Anweisung, in der eine Variable `meineAdresse` vom Typ `Adresse` vereinbart wird, Reservierung von Speicher verbunden. Wobei für die einzelnen Elemente von `meineAdresse` ein zusammenhängender Speicherbereich reserviert wird. Folglich richtet sich die Größe einer Variablen vom Typ einer Struktur nach den Datentypen der einzelnen Komponenten.

Aus dem genannten Grund ist es auch nicht möglich, bei der Definition einer Struktur einzelne Elemente zu initialisieren, da diese zum Zeitpunkt der Definition ja noch nicht existieren, also Variablen dieser Struktur noch nicht angelegt sind:

```
struct Adresse
{
   string strasse;
   int hausnr;
   long plz = 88420;  // FEHLER
   string ort;
};
```

Wir hatten eingangs darauf aufmerksam gemacht, dass sich jeder benutzerdefinierte Datentyp mehr oder weniger auf elementare Datentypen zurückführen lässt. Die Einschränkung »mehr oder weniger« bezieht sich auf die Tatsache, dass sich ein benutzerdefinierter Datentyp wiederum aus weiteren komplexen Datentypen zusammensetzen kann, was aber an dem genannten Sachverhalt dennoch nichts ändert, da die Kette irgendwann schließlich bei elementaren Datentypen endet.

So kann es sich bei den Komponenten einer Struktur nicht nur um einfache, sondern auch um komplexe Datentypen wie z.B. Arrays oder andere Strukturen handeln. Beispielsweise ließe sich eine Struktur `Schueler` definieren, die als Element die oben definierte Struktur `Adresse` und ein Array `noten` besitzt:

```
struct Schueler
{
   string vorname;
   string nachname;
```

```
   Adresse adr;
   int noten[18];
};
```

Wenn man nun mit der Anweisung

```
Schueler Schlau;
```

eine Variable `Schlau` vereinbart, dann besitzt diese zwei `string`-Variablen, ein Integerarray mit 18 Elementen und eine Variable vom Typ `Adresse`, das heißt weitere zwei `string`-Variablen sowie je eine Variable vom Datentyp `int` bzw. `long`. Alle diese Elemente liegen in einem zusammenhängenden Speicherbereich, sodass auf diese über den Bezeichner `Schlau` zugegriffen werden kann. Wie das geht, erfahren Sie im nächsten Abschnitt.

Natürlich können Sie im Code eine zweite Variable – und natürlich beliebig viele weitere – des Typs `Schueler` vereinbaren:

```
Schueler Dumm;
```

Für diese Variable wird nun ebenfalls ein zusammenhängender Speicherbereich reserviert, in dem die entsprechenden Elemente Platz haben bzw. deren zukünftige Werte – bis jetzt wurden ihnen ja noch keine zugewiesen. Wie jeder Datentyp ist eine Strukturdefinition also gewissermaßen eine Schablone für zukünftige Variablen, sozusagen der Bauplan, nach dem Variablen angelegt werden.

Nun ist es so, dass eine Struktur in C++ tatsächlich bereits eine Klasse ist, also ein Bestandteil der objektorientierten Programmierung. Lassen Sie uns in diesem Zusammenhang auf einen weiteren Sachverhalt aufmerksam machen: Wenn Sie die beiden Variablen `Schlau` und `Dumm` des Typs `Schueler` als »Schüler Schlau« bzw. »Schüler Dumm« bezeichnen, wird offensichtlich, dass damit Objekte der Wirklichkeit gemeint sind. In diesem Sinne bedeutet eine Aussage wie

»Der Schüler Dumm hat als dritte Note eine Sechs.«,

dass das dritte Element des Arrays `noten` der Variablen `Dumm` den Wert `6` besitzt.

In gleicher Weise könnten Sie sagen, dass der Schüler Schlau den Vornamen Daniel hat, was bedeuten würde, dass der Wert des Elements `vorname` der Variablen `Schlau` den Wert `"Daniel"` besitzt.

In Anbetracht dessen sollte es Sie nicht weiter verwundern, dass man in der Welt der objektorientierten Programmierung von Objekten und deren Eigenschaften bzw. Attributen spricht. Mit anderen Worten: Variablen vom Typ einer Struktur oder einer Klasse werden gewöhnlich als Objekte, deren Elemente als Eigenschaften oder Attribute bezeichnet.

HINWEIS

Wobei der Begriff »Element« und vor allem bezüglich Strukturen auch die Bezeichnung »Variable« nach wie vor gebraucht wird. Letzteres rührt daher, dass Strukturen, wie sie in der Programmiersprache C – und in diesem Kapitel – verwendet werden, praktisch die nicht objektorientierten Vorläufer von Klassen sind.

Wir sagen also nicht mehr »das Element `vorname` der Variablen `Dumm`«, sondern »die Eigenschaft `vorname` des Objekts `Dumm`« oder »das Attribut `vorname` des Objekts `Dumm`«, allenfalls »das Element `vorname` des Objekts `Dumm`« oder schlicht »der Vorname des Schülers Dumm«.

HINWEIS

Dementsprechend lassen wir die Bezeichner von Objekten sowie die von selbst definierten Strukturen und Klassen mit einem Großbuchstaben beginnen. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass dies unter C++-Programmierern nicht einheitlich gehandhabt wird.

Obwohl es erlaubt ist, Strukturen innerhalb von Funktionen zu definieren, sollten Sie dies möglichst global tun, also außerhalb von Funktionen zu Beginn des Quellcodes:

```
#include <iostream>
#include <string>
using namespace std;

struct Schueler
{
   string vorname;
   string nachname;
   int dtnoten[6];
   int englnoten[6];
   int mathnoten[6];
};

int main(void)
{
   return 0;
}
```

HINWEIS

Natürlich muss Ihrem Compiler die Definition einer Struktur bekannt sein, bevor Sie Objekte davon erzeugen können. Wenn eine Struktur lokal, also innerhalb einer Funktion, definiert ist, dann ist sie allein in dieser Funktion bekannt. Das heißt, Sie können dann in anderen Funktionen keine Variablen (Objekte) vom Typ dieser Struktur vereinbaren.

Um für die Struktur `Schueler` bzw. für zukünftige Objekte dieser Struktur Adressdaten festzulegen, könnte man in der Definition Elemente für die Straße, den Wohnort usw. angeben. Wir greifen hier aber auf die oben angegebene Strukturdefinition von `Adresse` zurück, die die gewünschten Elemente enthält. Das heißt, wir integrieren in der Struktur

`Schueler` ein Element des Typs `Adresse`. Folglich muss der Typ `Adresse` in `Schueler` bekannt sein. Daher wird `Adresse` oberhalb von `Schueler` definiert:

```
#include <iostream>
#include <string>
using namespace std;

struct Adresse
{
   string strasse;
   int hausnr;
   long plz;
   string ort;
};
struct Schueler
{
   string vorname;
   string nachname;
   int dtnoten[6];
   int englnoten[6];
   int mathnoten[6];
   Adresse adr;
};

int main(void)
{
   Schueler Schlau;
   Schueler Dumm;
   return 0;
}
```

HINWEIS

Jede Strukturdefinition muss mit einem Semikolon abgeschlossen werden.

Mit den Anweisungen

```
Schueler Schlau;
```

und

```
Schueler Dumm;
```

werden nun nach dem Bauplan `Schueler` zwei Objekte erzeugt.

HINWEIS

Dies könnte natürlich auch in einer Anweisung geschehen:

```
Schueler Schlau, Dumm;
```

Jedes dieser Objekte besitzt danach die Elemente `vorname`, `nachname`, `noten` und außerdem `adr` und damit `strasse`, `hausnr`, `plz` und `ort`. Diese Elemente »gehören« praktisch den Objekten. Es sind gewissermaßen

deren ganz spezielle Eigenschaften, die sie von Objekten anderer Typen und gegebenenfalls auch von Objekten des gleichen Typs unterscheiden. Letzteres, da die einzelnen Elemente eines Objekts im weiteren Verlauf ja in der Regel charakteristische Werte erhalten.

Beispielsweise, wenn man der Eigenschaft `nachname` des Objekts `Schlau` den Wert `"Schlaumeier"` oder der entsprechenden Eigenschaft des Objekts `Dumm` den Wert `"Dummkopf"` zuweist.

24.2 Auf die Komponenten von Strukturen zugreifen

Um auf ein Element eines Objekts zuzugreifen, ist der Name des Objekts und, getrennt durch einen Punkt, der Name des Elements anzugeben. Demnach lassen sich z.B. die besagten Zuweisungen wie folgt durchführen:

```
Schlau.nachname = "Schlaumeier";
Dumm.nachname = "Dummkopf";
```

Es sei darauf hingewiesen, dass alles seine Gültigkeit behält, was Sie über Variablen, Arrays usw. wissen. Nur dass der Zugriff auf die Elemente eines Objekts eben über den Namen dieses Objekts plus eines Punktes zu erfolgen hat. Mit der Angabe des Objektnamens verweisen Sie auf einen Speicherbereich und mit Angabe des Elementnamens spezifizieren Sie die Stelle in diesem Bereich, auf die Sie zugreifen möchten:

```
#include <iostream>
#include <string>
using namespace std;

struct Adresse
{
   string strasse;
   int hausnr;
   long plz;
   string ort;
};
struct Schueler
{
   string vorname;
   string nachname;
   int dtnoten[6];
   int englnoten[6];
   int mathnoten[6];
   Adresse adr;
};

int main(void)
{
   Schueler Schlau;
```

```
   Schueler Dumm;
   Schlau.nachname = "Schlaumeier";
   Dumm.nachname = "Dummkopf";
   cout << Schlau.nachname << " und " << Dumm.nachname;
   return 0;
}
```

Ausgabe: `Schlaumeier und Dummkopf`

HINWEIS

Der Punkt repräsentiert somit den Zugriff auf ein Struktur- oder Klassenelement. Es handelt sich also um einen – binären – Operator. Sein linker Operand ist der Bezeichner eines Objekts, sein rechter der eines Struktur- oder Klassenelements. Statt Elementzugriffs- oder Komponentenzugriffsoperator wird er im Allgemeinen einfach »Punktoperator« genannt.

Nun kann es vorkommen, dass ein Objekt als Attribut ein anderes Objekt besitzt, was für Objekte des Typs `Schueler` bezüglich der Eigenschaft `adr` zutrifft. Dann ist beim Zugriff auf dieses in gleicher Weise zu verfahren. Um etwa die Attribute für Postleitzahl und Wohnort bezüglich der Adresse des Schülers `Schlau` mit Werten zu versehen, können Sie demnach schreiben:

```
Schlau.adr.plz = 10711;
Schlau.adr.ort = "Berlin";
```

Daran ist erkennbar, dass der Punktoperator linksassoziativ sein muss. Das heißt, der Zugriff erfolgt über das Objekt `Schlau` auf das innere Objekt `Schlau.adr` und über dieses auf dessen Element `ort` bzw. `plz`, also in der Reihenfolge, die der Klammerung

```
(Schlau.adr).plz = 10711;
```

bzw.

```
(Schlau.adr).ort = "Berlin";
```

entspricht.

HINWEIS

Zur Assoziativität von Operatoren siehe Abschnitt 12.5 »Priorität von Operatoren«.

```
#include <iostream>
#include <string>
using namespace std;

struct Adresse
{
   string strasse;
   int hausnr;
   long plz;
   string ort;
};
```

```
struct Schueler
{
   string vorname;
   string nachname;
   int dtnoten[6];
   int englnoten[6];
   int mathnoten[6];
   Adresse adr;
};

int main(void)
{
   Schueler Schlau, Dumm;
   Schlau.nachname = "Schlaumeier";
   Dumm.nachname = "Dummkopf";
   Schlau.adr.plz = 10711;
   Schlau.adr.ort = "Berlin";
   Dumm.adr.plz = 99999;
   Dumm.adr.ort = "Nirgendwo";
   cout << Schlau.nachname << " wohnt in "
         << Schlau.adr.plz << ' ' << Schlau.adr.ort;
   cout << endl;
   cout << Dumm.nachname << " wohnt in " << Dumm.adr.plz
        << ' ' << Dumm.adr.ort;
   return 0;
}
```

Ausgabe:

```
Schlaumeier wohnt in 10711 Berlin
Dummkopf wohnt in 99999 Nirgendwo
```

Falls es sich bei den Komponenten einer Struktur um Arrays handelt, sind beim Zugriff auf deren Elemente diese wie gewohnt zu indizieren:

```
#include <iostream>
#include <string>
using namespace std;

struct Adresse
{
   string strasse;
   int hausnr;
   long plz;
   string ort;
};
struct Schueler
{
   string vorname;
   string nachname;
   int dtnoten[6];
   int englnoten[6];
```

```
   int mathnoten[6];
   Adresse adr;
};

int main(void)
{
   Schueler Schlau, Dumm;
   int i;
   Schlau.nachname = "Schlaumeier";
   Dumm.nachname = "Dummkopf";
   for (i = 0; i < 6; i++)
      Schlau.englnoten[i] = 1;
   for (i = 0; i < 6; i++)
      Dumm.mathnoten[i] = 6;
   cout << "Englischnoten von "
        << Schlau.nachname << ": ";
   for (i = 0; i < 6; i++)
      cout << Schlau.englnoten[i] << ' ';
   cout << endl;
   cout << "Mathematiknoten von "
        << Dumm.nachname << ": ";
   for (i = 0; i < 6; i++)
      cout << Dumm.mathnoten[i] << ' ';
   return 0;
}
```

Ausgabe:

```
Englischnoten von Schlaumeier: 1 1 1 1 1 1
Mathematiknoten von Dummkopf: 6 6 6 6 6 6
```

Ein Zugriff erfolgt also nie auf das ganze Objekt, sondern grundsätzlich auf ein Element des Objekts. Allerdings ist die direkte Zuweisung

```
Objekt_A = Objekt_B
```

möglich. In diesem Fall werden alle Werte von *Objekt_B* elementweise nach *Objekt_A* kopiert:

```
#include <iostream>
using namespace std;

struct Punkt
{
   int x;
   int y;
};

int main(void)
{
   Punkt Eins, Zwei;
   Eins.x = 3;
   Eins.y = 5;
```

```
   Zwei = Eins;
   cout << "Der zweite Punkt hat die Koordinaten "
        << Zwei.x << " und " << Zwei.y << '.';
   return 0;
}
```

Ausgabe:

```
Der zweite Punkt hat die Koordinaten 3 und 5.
```

Wie gesagt, kann der Bezeichner eines benutzerdefinierten Datentyps wie der eines elementaren Datentyps eingesetzt werden. Folglich ist es auch möglich, ein Array vom Typ einer Struktur zu vereinbaren. Hier ist zu beachten, dass für den Elementzugriff zunächst eine Indizierung des speziellen Arrayelements, also des gewünschten Objekts, erforderlich ist:

```
#include <iostream>
#include <string>
#include <ctime>
using namespace std;

struct Person
{
   string vorname;
   string nachname;
   long plz;
   string ort;
};

int main(void)
{
   Person teilnehmer[3];
   int gew;
   teilnehmer[0].vorname = "Daisy";
   teilnehmer[0].nachname = "Duck";
   teilnehmer[0].plz = 87773;
   teilnehmer[0].ort = "Entenhausen";
   teilnehmer[1].vorname = "Gustav";
   teilnehmer[1].nachname = "Gans";
   teilnehmer[1].plz = 87775;
   teilnehmer[1].ort = "Entenhausen";
   teilnehmer[2].vorname = "Donald";
   teilnehmer[2].nachname = "Duck";
   teilnehmer[2].plz = 87773;
   teilnehmer[2].ort = "Entenhausen";
   srand(time(NULL));
   gew = rand() % 3;
   cout << "Der Gewinner ist " << teilnehmer[gew].vorname
        << ' ' << teilnehmer[gew].nachname << endl;
   cout << "in " << teilnehmer[gew].plz
        << ' ' << teilnehmer[gew].ort << endl;
   return 0;
}
```

Ausgabe:

```
Der Gewinner ist Gustav Gans
in 87775 Entenhausen
```

24.3 Ausblick

Wie mehrfach angedeutet, sind Strukturen in C++ bereits Klassen. So könnte man die Struktur `Person` des letzten Beispiels

```
struct Person
{
   string vorname;
   string nachname;
   long plz;
   string ort;
};
```

ebenso unter Verwendung des Schlüsselwortes `class` definieren:

```
class Person
{
public:
   string vorname;
   string nachname;
   long plz;
   string ort;
};
```

Beide Definitionen sind einander völlig gleichwertig. Der Unterschied einer Struktur – oder anders ausgedrückt: einer mit `struct` eingeleiteten Klasse – gegenüber einer mit dem Schlüsselwort `class` definierten Klasse liegt allein darin, dass die Elemente ersterer per Default `public`, die letzterer per Default `private` sind. Daher ist in der letzten Definition von `Person` der Spezifizierer `public` angegeben.

HINWEIS

Natürlich dürfen nicht zwei Klassendefinitionen von `Person` gemeinsam im Code stehen, es sei denn, diese befinden sich in verschiedenen Namensbereichen (zu Namensbereichen siehe Abschnitt 25.4 »Was es mit Namensräumen auf sich hat«). Dabei spielt es keine Rolle, ob diese mit `struct` oder mit `class` definiert sind.

HINWEIS

Die Bedeutung der Schlüsselwörter `public` und `private` erfahren Sie in Abschnitt 25.2 »Zugriffsspezifizierer«.

Wir werden im Weiteren Klassendefinitionen stets mit dem Schlüsselwort `class` einleiten, sodass das Grundgerüst einer Klasse fürs Erste wie folgt aussieht:

```
class Klassenname
{
public:
   …
};
```

25 Klassen und Objekte

Objekte der realen Welt besitzen nicht nur äußere Eigenschaften wie Größe, Farbe usw. Sie zeichnen sich auch durch ihr Verhalten bzw. ihre Fähigkeiten aus. Beispielsweise kann ein Vogel fliegen, ein Auto fahren. Beide Objekte ließen sich bereits anhand dieser Fähigkeiten ausreichend voneinander unterscheiden.

Zentrales Thema dieses Kapitels ist die Zuordnung von Daten und Funktionalität. Wie im letzten Kapitel bereits angedeutet, ist es für das Verständnis der objektorientierten Programmierung wesentlich, zwischen Datentypen und Datenobjekten unterscheiden zu können. Darum soll zunächst auf diesen Aspekt noch näher eingegangen werden.

25.1 Methoden

Ein Datenobjekt bezeichnet einen Platz im Arbeitsspeicher, an dem Werte abgelegt werden können. Wobei der Begriff »Datenobjekt« durchaus im allgemeinen Sinne zu verstehen ist. Das heißt, es kann sich dabei um ein Objekt einer Struktur oder Klasse, um ein Array, aber auch um eine einfache Variable handeln.

HINWEIS

Soweit im Weiteren von Klassen bzw. deren Objekten die Rede ist, sind damit natürlich auch Strukturen bzw. deren Objekte gemeint.

Ein Datentyp ist sozusagen der Bauplan – die Schablone – für zukünftige Datenobjekte. Zukünftig, da die bloße Existenz eines Datentyps ja noch keine Wirkungen hat. Auch diese Aussage – ebenso wie die folgenden – gilt grundsätzlich für alle Datentypen, ungeachtet dessen, ob es sich um elementare oder benutzerdefinierte handelt.

Nun legt die Zugehörigkeit eines Datenobjekts zu einem bestimmten Datentyp zum einen fest, wie viel Platz Datenobjekte im Arbeitsspeicher beanspruchen bzw. welche Art von Werten dort abgelegt werden können. Zum anderen – und dies ist für das Verständnis der OOP entscheidend – bestimmt ein Datentyp, welche Operationen auf Daten dieses Typs ausgeführt werden können. Mit anderen Worten: Ein Datentyp legt fest, wie sich zukünftige Datenobjekte verhalten. So lassen sich Zeichenketten miteinander verknüpfen, man kann aber mit ihnen keine arithmetischen Operationen durchführen.

Wie gesagt, ist die Definition einer Klasse die Beschreibung eines neuen Datentyps. Folgerichtig kann eine Klasse neben Datenelementen auch Funktionen enthalten. Diese werden im Zusammenhang mit einer Klasse Elementfunktionen oder Methoden genannt.

HINWEIS

Dies sowie alles, was im Weiteren über Klassen gesagt wird, gilt natürlich in gleicher Weise auch für Strukturen.

Nehmen wir als Beispiel eine Klasse `Rechteck`, die Datenelemente für Länge und Breite sowie eine Methode enthält, die die Fläche eines Rechtecks als Rückgabewert liefert:

```
class Rechteck
{
public:
   int Laenge;
   int Breite;
   int berechneFl()
   {
      return Laenge * Breite;
   }
};
```

Somit besitzt jedes Rechteck – jedes Objekt der Klasse `Rechteck` – die Eigenschaften `Laenge` und `Breite` sowie eine Methode `berechneFl()`.

```
#include <iostream>
using namespace std;

class Rechteck
{
public:
   int Laenge;
   int Breite;
   int berechneFl()
   {
      return Laenge * Breite;
   }
};

int main(void)
{
   Rechteck A, B;
   A.Laenge = 7;
   A.Breite = 11;
   B.Laenge = 15;
   B.Breite = 4;
   cout << "Fl\x84" << "che von A: "
        << A.berechneFl() << endl;
   cout << "Fl\x84" << "che von B: "
        << B.berechneFl() << endl;
   return 0;
}
```

Ausgabe:

```
Fläche von A: 77
Fläche von B: 60
```

Beachten Sie, dass die Methode `berechneFl()` jeweils zu einem bestimmten Objekt gehört. So besitzt im obigen Beispiel jedes der Rechtecke

A und B seine eigene Methode berechneFl(). Der Zugriff auf eine Methode erfolgt dementsprechend in der gleichen Weise wie auf die Datenelemente, mit dem Objektnamen plus eines Punktes.

Daher greift jede Methode auf die Datenelemente des Objekts zurück, für das sie aufgerufen wird. Mit anderen Worten: Jede Methode kennt die speziellen Eigenschaften ihres Objekts. So »weiß« die Methode berechneFl(), dass sie mit dem Aufruf

```
A.berechneFl()
```

in der Anweisung

```
return Laenge * Breite;
```

auf die entsprechenden Werte des Objekts A zurückgreifen muss, im Beispiel also 7 für Laenge und 11 für Breite. Aus diesem Grund ist es auch nicht erforderlich, die Methode mit entsprechenden Formalparametern zu definieren.

HINWEIS

Jede Methode einer Klasse kann auf die Datenelemente derselben Klasse zugreifen, ohne dass ihr diese beim Aufruf übergeben werden müssen.

Falls eine Methode jedoch Informationen über ein weiteres Objekt derselben Klasse benötigt, müssen ihr diese beim Aufruf übergeben werden. So z.B. wenn man der Klasse Rechteck eine Methode hinzufügt, die die Werte eines anderen Rechtecks zum aktuellen addiert:

```
#include <iostream>
using namespace std;

class Rechteck
{
public:
   int Laenge;
   int Breite;
   int berechneFl()
   {
      return Laenge * Breite;
   }
   void addiereRe(Rechteck einAnderes)
   {
      Laenge += einAnderes.Laenge;
      Breite += einAnderes.Breite;
   }
};

int main(void)
{
   Rechteck A, B;
   A.Laenge = 7;
   A.Breite = 11;
```

```
   B.Laenge = 15;
   B.Breite = 4;
   cout << "Fl\x84" << "che von A: "
        << A.berechneFl() << endl;
   cout << "Fl\x84" << "che von B: "
        << B.berechneFl() << endl;
   A.addiereRe(B);
   cout << "Fl\x84" << "che von A nach Addition von B: "
        << A.berechneFl() << endl;
   return 0;
}
```

Ausgabe:

```
Fläche von A: 77
Fläche von B: 60
Fläche von A nach Addition von B: 330
```

HINWEIS

Wobei wir hier die Addition zweier Rechtecke als die Addition ihrer Längen und Breiten definiert haben.

In der Methodendefinition von `addiereRe()` können die Eigenschaften `Laenge` und `Breite` nach wie vor ohne weitere Spezifizierung verwendet werden. Die Eigenschaften des Objekts, für das die Methode aufgerufen wird, sind dieser ja bekannt:

```
void addiereRe(Rechteck einAnderes)
{
   Laenge += einAnderes.Laenge;
   Breite += einAnderes.Breite;
}
```

Um die zu addierenden Werte für Länge und Breite eines weiteren Rechtecks zu erhalten, ist es ausreichend, ein zweites Rechteck zu übergeben. Damit werden ja dessen Eigenschaften der Methode bekannt gemacht. Datentyp des Parameters ist also `Rechteck`. Beachten Sie, dass die Methode keinen Rückgabewert benötigt. Die Zuweisung neuer Werte für die Eigenschaften `Laenge` und `Breite` des aktuellen Objekts spielt sich gewissermaßen klassenintern ab.

Es bietet sich an, die Klasse `Rechteck` mit einer zusätzlichen Methode zu versehen, die es erlaubt, die Werte für Länge und Breite individuell neu zu setzen:

```
#include <iostream>
using namespace std;

class Rechteck
{
public:
   int Laenge;
   int Breite;
   int berechneFl()
```

```
   {
      return Laenge * Breite;
   }
   void addiereRe(Rechteck einAnderes)
   {
      Laenge += einAnderes.Laenge;
      Breite += einAnderes.Breite;
   }
   void setLB(int l, int b)
   {
      Laenge = l;
      Breite = b;
   }
};

int main(void)
{
   Rechteck A, B;
   A.setLB(3, 11);
   B.setLB(5, 10);
   cout << "Fl\x84" << "che von A: "
        << A.berechneFl() << endl;
   cout << "Fl\x84" << "che von B: "
        << B.berechneFl() << endl;
   return 0;
}
```

Ausgabe:

```
Fläche von A: 33
Fläche von B: 50
```

25.1.1 Methoden außerhalb einer Klasse definieren

Es ist zu berücksichtigen, dass Methoden, die innerhalb einer Klasse definiert sind, automatisch als `inline`-spezifiziert angesehen werden.

HINWEIS

Zu `inline`-Funktionen siehe Abschnitt 21.7.

Demnach ist es empfehlenswert, zumindest größere Methoden außerhalb ihrer Klasse zu definieren. In diesem Fall verwendet man Prototypen, um die Methoden innerhalb der Klasse zu deklarieren. Die entsprechende Methodendefinition außerhalb der Klasse wird eingeleitet mit Angabe des Klassennamens plus Bereichsauflösungsoperator (`::`). Damit macht man die Zugehörigkeit einer Methode zu einer bestimmten Klasse deutlich. Dies sei an folgendem Beispiel gezeigt, in dem die Methoden `addiereRe()` und `setLB()` der Klasse `Rechteck` außerhalb dieser Klasse definiert sind:

```
#include <iostream>
using namespace std;

class Rechteck
{
public:
   int Laenge;
   int Breite;
   int berechneFl()
   {return Laenge * Breite;}
   void addiereRe(Rechteck einAnderes);
   void setLB(int l, int b);
};

void Rechteck::addiereRe(Rechteck einAnderes)
{
   Laenge += einAnderes.Laenge;
   Breite += einAnderes.Breite;
}
void Rechteck::setLB(int l, int b)
{
   Laenge = l;
   Breite = b;
}

int main(void)
{
   Rechteck A, B;
   A.setLB(8, 9);
   B.setLB(10, 10);
   cout << "Fl\x84" << "che von A: "
        << A.berechneFl() << endl;
   cout << "Fl\x84" << "che von B: "
        << B.berechneFl() << endl;
   return 0;
}
```

Ausgabe:

```
Fläche von A: 72
Fläche von B: 100
```

Da die Methode `berechneFl()` lediglich aus einer Anweisung besteht, ist es unproblematisch, diese als `inline` zu definieren – was eigentlich auch für die beiden anderen Methoden zutrifft. In der Regel definiert man Methoden mit mehr als zwei Anweisungen aber außerhalb ihrer Klasse.

HINWEIS

Es ist üblich, die Definition von sehr kleinen Methoden in kompakter Form zu notieren. Der Quellcode wird dadurch übersichtlicher und kürzer:

```
int berechneFl()
{return Laenge * Breite;}
```

bzw.

```
int berechneFl() {return Laenge * Breite;}
```

25.1.2 Den Code von Klassendefinitionen auf mehrere Dateien verteilen

Falls man die Definition einer Klasse im Hinblick auf deren Wiederverwendbarkeit in anderen Programmen separieren möchte, schreibt man das Gerüst der Klassendefinition in eine eigens dafür vorgesehene Headerdatei, der man in der Regel den Namen der Klasse gibt. Bei mehreren Klassen empfiehlt es sich, für jede Klasse eine eigene Headerdatei anzulegen.

Den Code von zugehörigen Methoden, die außerhalb der Klasse definiert sind, schreibt man in eine gleichnamige Quellcodedatei. Für unser Beispiel ergeben sich damit die Dateien *Rechteck.h* und *Rechteck.cpp* sowie die Datei *Haupt.cpp*, in der die Klasse `Rechteck` verwendet wird.

Rechteck.h:

```
#include <iostream>
using namespace std;

class Rechteck
{
public:
   int Laenge;
   int Breite;
   int berechneFl()
   {return Laenge * Breite;}
   void addiereRe(Rechteck einAnderes);
   void setLB(int l, int b);
};
```

Rechteck.cpp:

```
#include <iostream>
#include "Rechteck.h"
using namespace std;

void Rechteck::addiereRe(Rechteck einAnderes)
{
   Laenge += einAnderes.Laenge;
   Breite += einAnderes.Breite;
}
```

```
void Rechteck::setLB(int l, int b)
{
   Laenge = l;
   Breite = b;
}
```

Haupt.cpp:

```
#include <iostream>
#include "Rechteck.h"
using namespace std;

int main(void)
{
   Rechteck A, B;
   A.setLB(8, 9);
   B.setLB(10, 10);
   cout << "Fl\x84" << "che von A: "
        << A.berechneFl() << endl;
   cout << "Fl\x84" << "che von B: "
        << B.berechneFl() << endl;
   return 0;
}
```

Ausgabe:

```
Fläche von A: 72
Fläche von B: 100
```

Beachten Sie, dass im Code von *Haupt.cpp* allein die Headerdatei *Rechteck.h* einzubinden ist, nicht aber etwa die Quelldatei *Rechteck.cpp*, in der sich die Definitionen der zugehörigen Methoden `addiereRe()` und `setLB()` befinden.

```
#include "Rechteck.h"
```

Da die genannten Methoden in *Rechteck.h* deklariert sind, können sie im Code der Datei *Haupt.cpp* ohne weiteres verwendet werden.

25.1.3 Wie man vermeidet, dass eine Klassendefinition mehrfach eingebunden wird

Nun kann es vorkommen, dass eine andere Klasse die Klasse `Rechteck` verwendet. Nennen wir als Beispiel eine fiktive Klasse `XY`. Gemeint ist damit z.B. der Fall, dass `XY` als Element ein Objekt des Typs `Rechteck` enthält:

```
class XY
{
public:
   …
   Rechteck Eins;
   …
};
```

Natürlich wäre genauso gut der Fall denkbar, dass in einer Methode von `XY` ein lokales Objekt des Typs `Rechteck` oder ein Parameter dieses Typs definiert ist:

```
class XY
{
public:
   …
   void eineMethode(Rechteck A);
   …
};
```

In beiden Fällen ist es für die Definition der Klasse `XY` erforderlich, die Headerdatei *Rechteck.h* einzubinden. Demnach würde sich für eine Headerdatei *XY.h* in etwa folgendes Bild ergeben:

XY.h:

```
#include <iostream>
#include "Rechteck.h"
using namespace std;

class XY
{
public:
   …
   Rechteck Eins;
   …
};
```

Wenn Sie nun an einem Programm arbeiten, das beide Klassen – `Rechteck` und `XY` – verwendet, kann es leicht passieren, dass die Klasse `Rechteck` doppelt eingebunden wird, nämlich einmal mit der Anweisung

```
#include "Rechteck.h"
```

und mit

```
#include "XY.h"
```

ein zweites Mal, da *XY.h* die Headerdatei *Rechteck.h* bereits mit der gleichen `#include`-Direktive einbindet. Im Ergebnis enthält beispielsweise der Code folgender Datei zwei Klassendefinitionen `Rechteck`, was nicht möglich ist:

```
#include <iostream>
#include "Rechteck.h"
#include "XY.h"
using namespace std;

int main(void)
{
   …
   return 0;
}
```

HINWEIS

Es sei darauf hingewiesen, dass der genannte Sachverhalt in Bezug auf Funktionsdeklarationen kein Problem darstellt (zur Deklaration von Funktionen siehe Abschnitt 21.2 »Funktionsprototypen«). Im Gegensatz zu Klassendefinitionen dürfen Funktionsprototypen auch mehrfach im Code stehen.

Zwar lässt sich das Problem im obigen Beispiel leicht beheben, indem man die Zeile

```
#include "Rechteck.h"
```

einfach weglässt. Wenn ein Programm jedoch eine Vielzahl von benutzerdefinierten Klassen verwendet, ist jedoch diesbezüglich eine allzu große Aufmerksamkeit gefordert. Sicherer ist es, mit folgender Konstruktion ein für alle Mal zu verhindern, dass Klassendefinitionen doppelt in den Code integriert werden:

```
#ifndef KONSTANTE
#define KONSTANTE
Code
#endif
```

Die angegebenen Präprozessor-Direktiven sind jeweils in den entsprechenden Headerdateien zu verwenden. *Konstante* ist dabei eine beliebige Konstante. Sie sollte sich jedoch nach dem Namen der Klasse bzw. der Headerdatei richten, damit nicht in anderen Headerdateien versehentlich eine gleichnamige Konstante definiert wird. Zwischen die Zeilen

```
#define KONSTANTE
```

und

```
#endif
```

schreiben Sie den eigentlichen Code der Headerdatei, also die Klassendefinition, eventuell weitere Präprozessor-Direktiven wie z.B. `#include <iostream>` etc.

HINWEIS

Die Bedeutung der Präprozessor-Direktiven `#ifndef`, `#define` und `#endif` erfahren Sie in den Abschnitten 28.2 »Symbolische Konstanten mit #define vereinbaren« und 28.3 »Bedingte Kompilierung«.

Damit ergibt sich für unsere Headerdatei *Rechteck.h* folgender Inhalt:

```
#ifndef RECHTECK_H
#define RECHTECK_H

#include <iostream>
using namespace std;

class Rechteck
{
public:
   int Laenge;
   int Breite;
```

```
   int berechneFl()
   {return Laenge * Breite;}
   void addiereRe(Rechteck einAnderes);
   void setLB(int l, int b);
};

#endif
```

25.2 Zugriffsspezifizierer

Wir werden im Folgenden eine Klasse einrichten, die den Kunden einer Bank wiedergeben soll. Dementsprechend nennen wir die Klasse `Bankkunde`. Ein Bankkunde hat einen Vor- und einen Nachnamen, eine Konto- bzw. Kundennummer, einen Kontostand, einen Kreditrahmen, eine Geheimzahl für sein Konto, eine Telefonnummer, möglicherweise eine E-Mail-Adresse oder Faxnummer, eine Adresse, also Straße, Postleitzahl und Wohnort etc. Als Methoden kommen beispielsweise `einzahlen()` und `abheben()` in Frage.

Versorgen wir die Klasse `Bankkunde` zunächst mit dem Allernotwendigsten: Name, Kontonummer und Kontostand. Damit soll unser Bankkunde fürs Erste ausreichend identifiziert sein:

```
class Bankkunde
{
public:
   string vorname;
   string nachname;
   int kto_nr;
   double kto_stand;
};
```

Wenn man in obiger Klassendefinition auf den Spezifizierer `public` verzichtet, kann auf keines der Klassenelemente von außen zugegriffen werden. Daher resultiert aus dem folgenden Versuch, unseren ersten Bankkunden um 20000 Euro zu bereichern, lediglich eine Fehlermeldung:

```
#include <iostream>
#include <string>
using namespace std;

class Bankkunde
{
   string vorname;
   string nachname;
   int kto_nr;
   double kto_stand;
};
```

```
int main(void)
{
   Bankkunde Erster;
   Erster.kto_stand = 20000;  // FEHLER
   return 0;
}
```

Den Grund hierfür kennen Sie bereits. Anders als die Elemente einer mit dem Schlüsselwort `struct` definierten Klasse sind die einer mit `class` definierten Klasse per Voreinstellung `private`, und auf `private`-Elemente einer Klasse kann nicht direkt zugegriffen werden, wie am obigen Beispiel zu sehen. Direkt heißt von außerhalb der Klasse. Methoden einer Klasse können immer auf die Datenelemente ihrer Klasse zugreifen. Dabei spielt es keine Rolle, wo die Methodendefinition steht, ob innerhalb oder außerhalb der Klassendefinition. Entscheidend ist allein die Zugehörigkeit einer Methode zu einer bestimmten Klasse.

Um dem Bankkunden `Erster` dennoch den genannten Betrag zukommen zu lassen, ließe sich nun selbstverständlich das betreffende Element – oder gleich alle – als `public` definieren. Dies geschieht mit dem entsprechenden Schlüsselwort plus eines Doppelpunktes. Der Doppelpunkt besagt, dass ab dem betreffenden Element alle weiteren `public` sind. Entsprechendes gilt natürlich für den Zugriffsspezifizierer `private`. Beide dürfen auch abwechselnd verwendet werden:

```
class XYZ
{
public:
   int a;
   …
private:
   double b;
   …
public:
   char c;
   …
};
```

In der Regel führt man die `private`-Elemente einer Klasse zuerst auf und im Anschluss daran die `public`-Elemente. Wobei man zur Verdeutlichung den Zugriffsspezifizierer `private` auch explizit angibt, obwohl dazu keine syntaktische Notwendigkeit besteht:

```
class XYZ
{
private:
   …
public:
   …
};
```

Bezüglich der Klasse `Bankkunde` könnte man es nun auch bei der `private`-Einstellung des Attributs `kto_stand` belassen und für den Zugriff geeignete `public`-Methoden definieren:

```
#include <iostream>
#include <string>
using namespace std;

class Bankkunde
{
private:
   string vorname;
   string nachname;
   int kto_nr;
   double kto_stand;
public:
   void setzeKontostand(double betrag)
   {kto_stand = betrag;}
   double zeigeKontostand()
   {return kto_stand;}
};
int main(void)
{
   Bankkunde Erster;
   Erster.setzeKontostand(20000);
   cout << Erster.zeigeKontostand();
   return 0;
}
```

Ausgabe: `20000`

Nun ist die Eigenschaft `kto_stand` nach außen verborgen. Der Zugriff erfolgt allein über die Methoden `setzeKontostand()` und `zeigeKontostand()`.

HINWEIS

Die Gewohnheit, Methoden, die den Wert eines Datenelements zurückgeben, als »get-Methoden«, und Methoden, die Datenelementen einen neuen Wert zuweisen, als »set-Methoden« zu bezeichnen, ist sehr weit verbreitet. Demgemäß benennen wir im Folgenden die Methode `setzeKontostand()` in `setKontostand()` und die Methode `zeigeKontostand()` in `getKontostand()` um.

Denken Sie daran, dass eine Klasse für andere Programmierer oder für Sie selbst als Programmierer implementiert wird. Ziel ist es einmal, den Benutzern einer Klasse möglichst umfangreiche Möglichkeiten in die Hand zu geben, aber auch, den Programmierer vor Fehlern zu schützen. In diesem Sinne wird man versuchen, die Schnittstellen zwischen Klasse und Programmierer möglichst sicher zu gestalten. Will man etwa von vornherein unterbinden, dass eine Eigenschaft eines Klassenobjekts durch ein Versehen des Programmierers – dem Benutzer dieser Klasse – einen negativen Wert erhält, so lässt sich dies allein dadurch erreichen,

dass man das Datenelement selbst vor dem direkten Zugriff schützt und solche inkorrekten Zuweisungen in der entsprechenden Methode verhindert:

```
class Mensch
{
private:
   int alter;
   …
public:
   void setAlter(int a)
   {
      if (a >= 0)
         alter = a;
   }
   …
};
```

Das Prinzip, Daten in der beschriebenen Weise nach außen hin zu verstecken, bezeichnet man als »Kapselung«. Bei einer konsequent durchgeführten Kapselung bleibt der innere Aufbau einer Klasse und damit der eines Objekts dieser Klasse für den Benutzer verborgen. Dies hat einmal den Vorteil, dass Objekte ihre Zustände nur in genau definierten Bahnen ändern. Des Weiteren lassen sich innerhalb der Klasse Veränderungen durchführen, ohne dass sich dies auf übrige Codeteile nachteilig auswirkt, solange man die Schnittstelle zur Außenwelt – also z.B. Parameterliste und Rückgabetyp von öffentlichen Methoden – nicht ändert. Dies gilt auch für andere Programme (anderer Programmierer), die Ihre Klasse nutzen. Es ist dann in aller Regel problemlos möglich, eine neue Version Ihrer Klasse einzubinden, ohne dass am Programm Veränderungen durchgeführt werden müssen.

HINWEIS

Dem objektorientierten Programmierkonzept folgend, sollten Datenelemente einer Klasse möglichst `private` sein, der Zugriff auf diese ausschließlich über Methoden erfolgen. Daneben sind natürlich auch `private`-Methoden denkbar, sofern diese allein dazu vorgesehen sind, innerhalb der Klasse, also von anderen Methoden dieser Klasse, verwendet zu werden.

Setzt man das eben Dargelegte auf die Klasse `Bankkunde` um, so ergibt sich für diese nunmehr folgendes Aussehen.

```
class Bankkunde
{
private:
   string vorname;
   string nachname;
   int kto_nr;
   double kto_stand;
public:
   void setVorname(string v)
```

```
   {vorname = v;}
   string getVorname()
   {return vorname;}
   void setNachname(string n)
   {nachname = n;}
   string getNachname()
   {return nachname;}
   void setKontonr(int nr)
   {kto_nr = nr;}
   int getKontonr()
   {return kto_nr;}
   void setKontostand(double betrag)
   {kto_stand = betrag;}
   double getKontostand()
   {return kto_stand;}
};
```

Hinzugefügt werden soll nun noch ein privates Datenelement `limit` mit den entsprechenden öffentlichen Methoden `setLimit()` und `getLimit()`, das den Kreditrahmen eines Kunden anzeigt. Das heißt, der Kontostand eines Bankkunden soll nicht den Betrag `-limit` unterschreiten (also den negativen Betrag von `limit`). Des Weiteren soll die Klasse um die Methoden `einzahlen()` und `auszahlen()` ergänzt werden. In der Methode `auszahlen()` wird dafür gesorgt, dass eine Auszahlung nicht stattfindet, falls diese den Kreditrahmen des betreffenden Kunden sprengen würde:

```
class Bankkunde
{
private:
   string vorname;
   string nachname;
   int kto_nr;
   double kto_stand;
   double limit;
public:
   void setVorname(string v)
   {vorname = v;}
   string getVorname()
   {return vorname;}
   void setNachname(string n)
   {nachname = n;}
   string getNachname()
   {return nachname;}
   void setKontonr(int nr)
   {kto_nr = nr;}
   int getKontonr()
   {return kto_nr;}
   void setKontostand(double betrag)
   {kto_stand = betrag;}
   double getKontostand()
```

```
   {return kto_stand;}
   void setLimit(double l);
   double getLimit()
   {return limit;}
   void einzahlen(double betrag);
   int auszahlen(double betrag);
};

void Bankkunde::setLimit(double l)
{
   if (l >= 0)
      limit = l;
}
void Bankkunde::einzahlen(double betrag)
{
   if (betrag > 0)
      kto_stand += betrag;
}
int Bankkunde::auszahlen(double betrag)
{
   if (betrag <= 0)
      return 2;  // negativer Auszahlungsbetrag
   if (kto_stand -betrag >= -limit)
   {
      kto_stand -= betrag;
      return 0;  // Auszahlung ist erfolgt
   }
   else
      return 1;  // Auszahlung nicht moeglich
}
```

Die Methode `auszahlen()` ist mit einem Rückgabewert definiert, der anzeigt, ob die Auszahlung stattgefunden hat bzw. aus welchen Gründen sie nicht erfolgt ist. Der Rückgabewert `1` weist darauf hin, dass die Auszahlung nicht möglich ist – und deshalb nicht durchgeführt wird –, da diese den Kreditrahmen des betreffenden Kunden überschreiten würde. Falls die Methode vom Programmierer inkorrekt verwendet wird (negativer Auszahlungsbetrag oder Auszahlungsbetrag von 0), liefert sie den Wert `2` zurück. In einem Programm könnte die Methode `auszahlen()` in etwa wie folgt verwendet werden:

```
…
Bankkunde einKunde;
…
if (einKunde.auszahlen(1000) == 1)
   cout << "Betrag kann nicht ausgezahlt werden";
…
```

Beachten Sie, dass der Auszahlungsbetrag verbucht wurde, falls die `if`-Bedingung zu `false` auswertet. Die Methode `auszahlen()` wird ja in jedem Fall ausgeführt. Die Tatsache, dass deren Rückgabewert in einer `if`-Bedingung verwendet wird, ändert daran nichts. Über die Durchfüh-

rung der Kontobewegung entscheidet allein die Methode, wobei sie das Ergebnis nach außen mit einem entsprechenden Rückgabewert kundtut.

25.3 Konstruktoren und Destruktoren

Für jede Klasse lassen sich zwei spezielle Methoden definieren: ein so genannter »Konstruktor« und ein so genannter »Destruktor«, wobei Ersterer auch überladen werden kann. Das Besondere an beiden Methoden ist, dass diese automatisch aufgerufen werden, der Konstruktor beim Instanzieren eines Objekts, der Destruktor, wenn die Lebensdauer eines Objekts endet.

HINWEIS

Ein Klassenobjekt wird auch als Instanz dieser Klasse bezeichnet. Dementsprechend spricht man vom »Instanzieren« eines Objekts, wenn dieses erzeugt wird.

Für die Definition eines Konstruktors gilt:

- Er muss den Namen der Klasse tragen.
- Ein Konstruktor kann niemals einen Wert zurückgeben. Daher ist in der Definition auch kein entsprechender Rückgabetyp anzugeben, also auch nicht `void`.
- Ein Konstruktor muss `public` sein.

Damit ergibt sich für einen Konstruktor folgende allgemeine Syntax:

```
Klassenname(Parameterliste)
{
   Anweisung(en)
}
```

Die oben genannten drei Punkte gelten auch für Destruktoren. Allerdings ist die Definition eines Destruktors mit einer Tilde (~) einzuleiten. Zudem können Destruktoren keine Werte übernehmen. Das bedeutet, für einen Destruktor dürfen keine formalen Parameter definiert werden.

```
~Klassenname()
{
   Anweisung(en)
}
```

HINWEIS

Als Rückgabewert darf wie beschrieben auch nicht `void` verwendet werden, die Angabe von `void` in den Klammern (Parameterliste) ist jedoch erlaubt:

```
~Klassenname(void)
{
   Anweisung(en)
}
```

Theoretisch dürfen in beiden Methoden zwar beliebige Anweisungen stehen, im Allgemeinen wird man dort aber nur solche Anweisungen verwenden, die dem eigentlichen Sinn und Zweck dieser Methoden entsprechen (dazu gleich mehr). Abweichend davon ist im folgenden Beispiel der Konstruktor sowie der Destruktor der `Punkt`-Klasse mit einer Ausgabeanweisung versehen. Dies geschieht, um deutlich zu machen, wie bzw. wann diese Methoden zur Ausführung gelangen:

```
#include <iostream>
using namespace std;

class Punkt
{
public:
   int x;
   int y;
   Punkt()
   {cout << "Konstruktor" << endl;}
   ~Punkt()
   {cout << "Destruktor" << endl;}
};

int main(void)
{
   Punkt punkte[3];
   cout << "Vor innerem Block" << endl;
   {
      Punkt einPunkt;
   }
   cout << "Nach innerem Block" << endl;
   return 0;
}
```

Ausgabe:

```
Konstruktor
Konstruktor
Konstruktor
Vor innerem Block
Konstruktor
Destruktor
Nach innerem Block
Destruktor
Destruktor
Destruktor
```

Mit der Anweisung

```
Punkt punkte[3];
```

entstehen drei Objekte des Typs `Punkt`. Für jedes dieser Objekte wird die Konstruktormethode genau ein Mal aufgerufen. Im inneren Block wird

das Objekt `einPunkt` instanziert, für das die Konstruktormethode ebenfalls ein Mal ausgeführt wird:

```
Punkt einPunkt;
```

Dieses Objekt hört mit dem Verlassen des inneren Blocks auf zu existieren. Daher wird zunächst der Destruktor für dieses Objekt aufgerufen. Bei Programmende, wenn auch die Lebensdauer der Objekte `punkte[0]`, `punkte[1]` und `punkte[2]` endet, wird je ein Destruktor für diese ausgeführt.

Destruktoren werden vorwiegend benutzt, um Speicherplatz, der dynamisch angefordert wurde, mit dem Erlöschen eines Objekts wieder freizugeben, also den Speicher aufzuräumen. Genaueres dazu erfahren Sie in Abschnitt 29.6.2 »Destruktoren sorgen für die Aufräumarbeiten«. Konstruktoren werden dagegen in der Regel dazu verwendet, Datenelemente eines Objekts zu initialisieren:

```
#include <iostream>
using namespace std;

class Punkt
{
public:
   int x;
   int y;
   Punkt()
   {x = 0; y = 0;}
};

int main(void)
{
   Punkt einPunkt;
   cout << "x-Koordinate von einPunkt: "
        << einPunkt.x << endl;
   cout << "y-Koordinate von einPunkt: "
        << einPunkt.y << endl;
   return 0;
}
```

Ausgabe:

```
x-Koordinate von einPunkt: 0
y-Koordinate von einPunkt: 0
```

25.3.1 Überladen von Konstruktoren

Wie bereits angedeutet, lassen sich Konstruktoren auch überladen:

```
class Punkt
{
public:
   int x;
   int y;
```

```
   Punkt()
   {x = 0; y = 0;}
   Punkt(int xko, int yko)
   {x = xko; y = yko;}
};
```

Bezüglich der obigen Klasse `Punkt` kann es sich der Programmierer also aussuchen, welcher der beiden Konstruktoren beim Erzeugen eines Objekts der Klasse `Punkt` aufgerufen werden soll: der parameterlose oder derjenige, dem beim Aufruf zwei Integerwerte zu übergeben sind. Für Letzteren sind die Argumente bei der Objektinstanzierung in Klammern anzugeben:

```
Punkt A(3, 5);
```

Falls Sie den Standardkonstruktor verwenden möchten, schreiben Sie

```
Punkt B;
```

HINWEIS

Parameterlose Konstruktoren werden »Standardkonstruktoren« genannt.

Nach Ausführung obiger Anweisungen besitzt Punkt `A` somit die Koordinaten `3`, `5` und Punkt `B` die Koordinaten `0`, `0`:

```
#include <iostream>
using namespace std;

class Punkt
{
public:
   int x;
   int y;
   Punkt()
   {x = 0; y = 0;}
   Punkt(int xko, int yko)
   {x = xko; y = yko;}
};

int main(void)
{
   Punkt A(3, 5), B;
   cout << "Koordinaten von A: " << A.x
        << ", " << A.y << endl;
   cout << "Koordinaten von B: " << B.x
        << ", " << B.y << endl;
   return 0;
}
```

Ausgabe:

```
Koordinaten von A: 3, 5
Koordinaten von B: 0, 0
```

HINWEIS

Dementsprechend können Sie in der gleichen Weise auch eine `string`-Variable mit einem Anfangswert versehen. Wie Sie ja wissen, handelt es sich dabei um ein Objekt der Klasse `string`. In diesem Sinne sind die Initialisierungen

```
string vorname = »Nicole«;
```

und

```
string vorname(»Nicole«);
```

gleichwertig.

ACHTUNG

Der Aufruf eines Konstruktors erfolgt ausschließlich automatisch. Anweisungen wie

```
einPunkt.Punkt(7, 11);  // FEHLER
```

oder

```
einPunkt.Punkt()  // FEHLER
```

sind daher fehlerhaft. Wobei `einPunkt` ein Objekt der obigen Klasse `Punkt` sein soll.

25.3.2 Standardkonstruktor

Falls in einer Klasse überhaupt kein Konstruktor definiert ist, fügt Ihr Compiler automatisch einen Standardkonstruktor hinzu, mehr aus formellen Gründen, da dieser rein gar nichts macht. Demgemäß hat man ihn sich wie folgt vorzustellen:

```
Klassenname() {}
```

Sobald sich in einer Klasse jedoch ein benutzerdefinierter Konstruktor befindet, sorgt Ihr Compiler nicht mehr für einen Standardkonstruktor. Dies kann zu Problemen führen, falls in einer Klasse ein Konstruktor mit Parametern definiert ist, aber kein Standardkonstruktor. In diesem Fall ist es nicht möglich, Objekte dieser Klasse per Automatismus zu erzeugen. So führt der folgende Versuch, ein Objekt der Klasse `Strecke` zu instanzieren, zu einer Fehlermeldung:

```
#include <iostream>
using namespace std;

class Punkt
{
public:
   int x;
   int y;
   Punkt(int xko, int yko)
   {x = xko; y = yko;}
};
```

```
class Strecke
{
public:
   Punkt A;
   Punkt B;
};

int main(void)
{
   Strecke Erste;  // FEHLER
   return 0;
}
```

Beachten Sie, dass das Instanzieren eines `Strecke`-Objekts zugleich das zweier `Punkt`-Objekte zur Folge hat. Hier besteht jedoch keine Möglichkeit, der einzigen Konstruktormethode der Klasse `Punkt` die geforderten Werte zu übergeben.

Abhilfe schafft man bereits dadurch, indem man die obige Klasse `Punkt` mit einem minimalen Standardkonstruktor ausstattet:

```
#include <iostream>
using namespace std;

class Punkt
{
public:
   int x;
   int y;
   Punkt() {}
   Punkt(int xko, int yko)
   {x = xko; y = yko;}
};

class Strecke
{
public:
   Punkt A;
   Punkt B;
};

int main(void)
{
   Strecke Erste;  // OK
   // …
   return 0;
}
```

TIPP

Es ist also auf jeden Fall zu empfehlen, für jede Klasse einen Standardkonstruktor zu definieren.

Hat-Beziehung/Ist-Beziehung

Eine Strecke hat zwei Punkte, ein Auto hat einen Motor. In der objektorientierten Programmierung spricht man von der »Hat-Beziehung« (englisch »has a«), wenn man sagen kann, dass ein Objekt ein anderes enthält. Das Gegenstück dazu ist die so genannte »Ist-Beziehung« (englisch »is a«): Ein Auto ist ein Fahrzeug, ein Mensch ist ein Lebewesen. Die Ist-Beziehung ist für die Vererbung bedeutsam (zum Thema Vererbung siehe Kapitel 31).

In der Regel wird man versuchen, in den Beziehungen der Klassen untereinander die Wirklichkeit widerzuspiegeln. So wird man eine Klasse `Auto` möglicherweise von einer Klasse `Fahrzeug` erben lassen, da es sich in der realen Welt so verhält, dass ein Auto eine spezielle Art von Fahrzeug ist. Andererseits bietet es sich an, einer Klasse `Auto` ein Objekt einer Klasse `Motor` hinzuzufügen.

Wir versehen nun unsere Klasse `Bankkunde` mit einem Standardkonstruktor, der das Attribut `kto_stand` mit dem Wert `0` und das Attribut `limit` mit dem Wert `1000` initialisiert. Das bedeutet, jeder neue Bankkunde beginnt mit Kontostand Null und einem Kreditrahmen von 1000 Euro:

```
#include <iostream>
#include <string>
#include <iomanip>
using namespace std;

class Bankkunde
{
private:
   string vorname;
   string nachname;
   int kto_nr;
   double kto_stand;
   double limit;
public:
   Bankkunde()
   {kto_stand = 0; limit = 1000;}
   void setVorname(string v)
   {vorname = v;}
   string getVorname()
   {return vorname;}
   void setNachname(string n)
   {nachname = n;}
   string getNachname()
   {return nachname;}
   void setKontonr(int nr)
   {kto_nr = nr;}
   int getKontonr()
   {return kto_nr;}
```

```
   void setKontostand(double betrag)
   {kto_stand = betrag;}
   double getKontostand()
   {return kto_stand;}
   void setLimit(double l);
   double getLimit()
   {return limit;}
   void einzahlen(double betrag);
   int auszahlen(double betrag);
};

void Bankkunde::setLimit(double l)
{
   if (l >= 0)
      limit = l;
}
void Bankkunde::einzahlen(double betrag)
{
   if (betrag > 0)
      kto_stand += betrag;
}
int Bankkunde::auszahlen(double betrag)
{
   if (betrag <= 0)
      return 2;  // negativer Auszahlungsbetrag
   if (kto_stand -betrag >= -limit)
   {
      kto_stand -= betrag;
      return 0;  // Auszahlung ist erfolgt
   }
   else
      return 1;  // Auszahlung nicht moeglich
}

int main(void)
{
   Bankkunde Neu;
   double geld;
   cout << fixed << setprecision(2);
   cout << "Dein Kontostand: " << Neu.getKontostand()
        << " Euro" << endl;
   cout << "Wie viel Geld soll ich Dir geben? ";
   do {
   cin >> geld;
   } while (geld < 0);
   if (geld == 0)
      cout << "Bist Du bescheiden!" << endl;
   else if (Neu.auszahlen(geld) == 1)
      cout << "Kriegst Du nicht!" << endl;
```

```
   else
   {
      cout << "Kriegst Du!" << endl;
      cout << "Dein Kontostand: "
           << Neu.getKontostand() << " Euro" << endl;
   }
   return 0;
}
```

Ausgabe:

```
Dein Kontostand: 0.00 Euro
Wie viel Geld soll ich Dir geben? 900
Kriegst Du!
Dein Kontostand: -900.00 Euro
```

25.4 Was es mit Namensräumen auf sich hat

Ein Namensraum, auch Namensbereich genannt, beschreibt einen eigenen Gültigkeitsbereich. Das heißt, zwischen zwei Namensräumen können keine Namenskonflikte entstehen. Folglich ist es erlaubt, in verschiedenen Namensräumen gleich lautende Klassen, Funktionen, Variablen, Objekte etc. zu definieren.

HINWEIS

Wie Sie sich vermutlich denken können, spielt die Definition von Namensräumen allein bei sehr großen Programmen eine Rolle.

Die Definition eines Namensraums wird mit dem Schlüsselwort `namespace` plus Bezeichner für den Namensraum eingeleitet. Innerhalb des zugehörigen Blocks kann man sowohl Typen als auch Funktionen, Variablen usw. definieren.

```
namespace meinNamensraum
{
   double v;
   class ABC
   {
      …
   };
   class XYZ
   {
      …
   };
   void f()
   {
      …
   }
   …
}
```

Die Definition eines Namensraums kann sogar in mehreren Teilen erfolgen:

```
namespace meinNamensraum
{
   double v;
   class ABC
   {
      …
   };
   …
}
…
namespace meinNamensraum
{
   class XYZ
   {
      …
   };
   void f()
   {
      …
   }
   …
}
```

Beide Teile werden praktisch addiert.

Der Zugriff auf die Elemente eines Namensraums erfolgt außerhalb desselben über den Bereichsauflösungsoperator (`::`).

```
meinNamensraum::v = 2.99;
meinNamensraum::f();
meinNamensraum::ABC obj;
```

Mit der letzten Anweisung wird ein Objekt der Klasse `ABC` des Namensraums `meinNamensraum` instanziert, mit der vorletzten die Funktion `f()` desselben Namensraums aufgerufen.

Eine andere Möglichkeit besteht darin, mit der `using`-Anweisung von vornherein bekannt zu geben, dass man Elemente eines bestimmten Namensraums verwenden möchte:

```
using namespace meinNamensraum;
```

Im Weiteren ist dann der Zugriff auch ohne Bereichsauflösung möglich:

```
v = 64.1;
f();
ABC einObjekt;
```

HINWEIS

Allerdings können bei dieser Art des Zugriffs Namenskonflikte entstehen, da nun Elemente des Namensbereichs gegebenenfalls mit gleich lautenden Elementen des aktuellen Gültigkeitsbereichs kollidieren.

Auf die gleiche Weise lässt sich der unqualifizierte Zugriff auch nur für ein einziges Element eines Namensbereichs festlegen:

```
using namespace meinNamensraum::ABC;
```

Nach obiger Anweisung kann allein der Typbezeichner `ABC` ohne Bereichsauflösung verwendet werden. Die anderen Elemente des Namensbereichs `meinNamensraum` müssen nach wie vor qualifiziert angesprochen werden:

```
ABC eineInstanz;
```

aber

```
meinNamensraum::v = 745.81;
meinNamensraum::f();
```

HINWEIS

Alle Elemente der Standardbibliothek sind im Namensraum `std` definiert (siehe dazu Abschnitt 21.2.2 »Prototypen von vordefinierten Funktionen«).

26 Statische Elemente einer Klasse

Manchmal möchte man, dass Elemente zwar zu einer bestimmten Klasse gehören, aber nicht zu bestimmten Objekten dieser Klasse. Vielmehr sollen diese Elemente, bei denen es sich sowohl um Eigenschaften als auch um Methoden handeln kann, für alle Objekte einer Klasse gleichzeitig verfügbar sein. In diesem Fall spricht man von statischen Elementen. Diese werden mit dem Schlüsselwort `static` definiert.

Es sei daran erinnert, dass ein Attribut `x` einer Klasse `XY` z.B. zehnmal existiert, falls im Programm zum betrachteten Zeitpunkt genauso viele Objekte existent sind. Jedes Objekt besitzt dann ja sein eigenes `x`. Das Schlüsselwort `static` hat in diesem Zusammenhang eine ganz besondere Bedeutung: Es legt fest, dass ein Datenelement einer Klasse nur in einer einzigen Ausfertigung entsteht bzw. eine Elementfunktion für alle Klassenobjekte die gleichen Ergebnisse liefert.

26.1 Statische Attribute

Die Vereinbarung eines statischen Klassenattributs gestaltet sich wie folgt:

- Innerhalb einer Klasse wird ein statisches Datenelement mit dem Schlüsselwort `static` plus Datentypangabe – und natürlich einem Bezeichner für das Datenelement – bekannt gemacht.
- Die eigentliche Vereinbarung erfolgt außerhalb der Klasse ohne das Schlüsselwort `static`. Dabei ist der qualifizierte Name, also Klassenname plus Bereichsauflösungsoperator, zu verwenden:

```
class XY
{
public:
   static int statElem;
   …
};
int XY::statElem = 0;
…
```

Demnach ist erst die Anweisung

```
int XY::statElem = 0;
```

mit Speicherreservierung verbunden.

Da statische Datenelemente einer Klasse wie globale Variablen die Speicherklasse `static` besitzen, werden sie automatisch mit dem Anfangswert `0` versehen. Von daher ist die explizite Initialisierung im obigen Beispiel nicht notwendig. Natürlich können Sie ein statisches Datenelement auch mit jedem anderen Wert initialisieren:

```
int XY::statElem = 50;
```

Wie gesagt, muss die Initialisierung jedoch außerhalb der Klasse erfolgen. Innerhalb dieser ist das Datenelement ja noch nicht existent.

HINWEIS

Denken Sie daran, dass auch nicht statische Datenelemente erst mit dem Instanzieren von Klassenobjekten anfangen zu existieren. Die bloße Definition einer Klasse bewirkt in dieser Hinsicht rein gar nichts, abgesehen davon, dass damit der Bauplan für zukünftige Objekte geschaffen wird.

In der Regel legt man in `static`-Datenelementen solche Informationen ab, die man ansonsten in einer globalen Variablen speichern würde. Was man natürlich theoretisch ebenfalls tun könnte. Allerdings widerspricht die Verwendung von globalen Variablen für Daten, die sinngemäß zu einer bestimmten Klasse gehören, dem Prinzip der Kapselung. Schließlich ist die Lebensdauer eines statischen Klassenattributs ebenfalls global. Sein Gültigkeitsbereich beschränkt sich jedoch auf die Klasse, für die es definiert ist.

HINWEIS

Die Lebensdauer eines `static`-Datenelements einer Klasse erstreckt sich vom Zeitpunkt seiner Vereinbarung bis zum Programmende. Das bedeutet, dass es auch dann existiert, wenn kein Objekt der betreffenden Klasse instanziert ist.

Der Einsatz eines `static`-Attributs eignet sich beispielsweise, um für eine Klasse `Auto` im Programm jederzeit feststellen zu können, wie viele Objekte dieser Klasse – also Autos – existieren. Dazu inkrementiert man das entsprechende Datenelement im Konstruktor und dekrementiert es im Destruktor. Folgerichtig vereinbart man es mit dem Anfangswert `0`, da zu Beginn ja noch keine Klassenobjekte existent sind:

```
class Auto
{
public:
   static int anzahl;
   // …
   Auto()
   {anzahl++;}
   ~Auto()
   {anzahl--;}
};
int Auto::anzahl = 0;
```

Der Zugriff auf ein `static`-Attribut einer Klasse ist auf zweierlei Weise möglich: entweder mit dem Objektnamen oder mit dem Klassennamen. Hat man also ein Objekt der Klasse `Auto` wie folgt instanziert

```
Auto einAudi;
```

dann kann der Zugriff auf das statische Attribut `anzahl` sowohl mit

```
einAudi.anzahl
```

als auch mit

```
Auto.anzahl
```

geschehen:

```
#include <iostream>
using namespace std;

class Auto
{
public:
   static int anzahl;
   // …
   Auto()
   {anzahl++;}
   ~Auto()
   {anzahl--;}
};
int Auto::anzahl = 0;

int main(void)
{
   Auto Volkswagen[11];
   cout << "Anzahl Autos: " << Auto.anzahl << endl;
   {
      Auto Audis[15];
      cout << "Anzahl Autos: " << Auto.anzahl << endl;
      {
         Auto meinPeugeot;
         cout << "Anzahl Autos: " << Auto.anzahl << endl;
      }
      cout << "Anzahl Autos: " << Auto.anzahl << endl;
   }
   cout << "Anzahl Autos: " << Auto.anzahl << endl;
   return 0;
}
```

Ausgabe:

```
Anzahl Autos: 11
Anzahl Autos: 26
Anzahl Autos: 27
Anzahl Autos: 26
Anzahl Autos: 11
```

HINWEIS

Ein statisches Datenelement muss nicht notwendig `public` sein. Die Definition eines statischen `private`-Datenelements erfolgt in der gleichen Weise.

26.2 Statische Methoden

Was für statische Datenelemente gilt, trifft auch auf statische Elementfunktionen zu: Sie beziehen sich nicht auf einzelne Objekte ihrer Klasse. Folglich bleibt ihnen der Zugriff auf nicht statische Datenelemente verwehrt. Das heißt, eine statische Methode kann nur auf `static`-Attribute derselben Klasse zugreifen:

```
#include <iostream>
using namespace std;

class Auto
{
private:
   static int anzahl;
   // …
public:
   Auto()
   {anzahl++;}
   ~Auto()
   {anzahl--;}
   static int getAnzahl()
   {return anzahl;}
   // …
};
int Auto::anzahl = 0;

int main(void)
{
   Auto einPeugeot, einVW, einRenault;
   cout << "Anzahl Autos: " << Auto::getAnzahl() << endl;
   return 0;
}
```

Ausgabe: `Anzahl Autos: 3`

Der Aufruf von statischen Elementfunktionen außerhalb der Klasse kann entweder über den Klassennamen plus Bereichsauflösungsoperator oder mit einem Objektnamen plus Punktoperator erfolgen. Demnach ließe sich im obigen Beispiel die Anzahl der Autos außer mit

```
Auto::getAnzahl()
```

auch mit

```
einRenault.getAnzahl()
```

oder

```
einVW.getAnzahl()
```

oder

```
einPeugeot.getAnzahl()
```

feststellen. Allerdings kann gesagt werden, dass der Zugriff über den Klassennamen mehr zur Deutlichkeit beiträgt.

Klassenintern kann eine statische Elementfunktion von jeder anderen nicht statischen oder statischen ohne qualifizierten Zugriff verwendet werden.

HINWEIS

Nämliches gilt natürlich auch für statische Datenelemente.

Falls eine statische Methode außerhalb ihrer Klasse definiert wird, so ist das Schlüsselwort `static` – ähnlich wie das bei statischen Datenelementen der Fall ist – nur bei der Deklaration innerhalb der Klasse anzugeben:

```
class XY
{
   …
   static void fun();
   …
};
void XY::fun()
{
   …
}
```

Zum Abschluss dieses Kapitels fügen wir der Klasse `Bankkunde` ein statisches Datenelement `count` hinzu, das im Konstruktor der Klasse dazu benutzt wird, Kontonummern automatisch zu vergeben. Aus kosmetischen Gründen sollen die Kontonummern fünfstellig sein. Daher wird `count` mit dem Wert `10000` initialisiert. Die Definition des Konstruktors verlegen wir nach außerhalb der Klasse.

```
class Bankkunde
{
private:
   static int count;
   string vorname;
   string nachname;
   int kto_nr;
   double kto_stand;
   double limit;
public:
   Bankkunde();
   void setVorname(string v)
   {vorname = v;}
   string getVorname()
   {return vorname;}
   void setNachname(string n)
   {nachname = n;}
   string getNachname()
   {return nachname;}
   void setKontonr(int nr)
   {kto_nr = nr;}
```

```
   int getKontonr()
   {return kto_nr;}
   void setKontostand(double betrag)
   {kto_stand = betrag;}
   double getKontostand()
   {return kto_stand;}
   void setLimit(double l);
   double getLimit()
   {return limit;}
   void einzahlen(double betrag);
   int auszahlen(double betrag);
};
Bankkunde::Bankkunde()
{
   kto_stand = 0;
   limit = 1000;
   kto_nr = ++count;
}
void Bankkunde::setLimit(double l)
{
   if (l >= 0)
      limit = l;
}
void Bankkunde::einzahlen(double betrag)
{
   if (betrag > 0)
      kto_stand += betrag;
}
int Bankkunde::auszahlen(double betrag)
{
   if (betrag <= 0)
      return 2;  // negativer Auszahlungsbetrag
   if (kto_stand -betrag >= -limit)
   {
      kto_stand -= betrag;
      return 0;  // Auszahlung ist erfolgt
   }
   else
      return 1;  // Auszahlung nicht moeglich
}
int Bankkunde::count = 10000;
```

Beachten Sie, dass für die Definition eines Konstruktors, sofern diese außerhalb der Klasse erfolgt, ebenfalls der qualifizierte Name anzugeben ist, also:

```
Bankkunde::Bankkunde()
{
   …
}
```

Der Name links vom Bereichsauflösungsoperator ist der Bezeichner für die Klasse, der rechts davon ist der Bezeichner für die Methode.

Hier ein Programm, das die Klasse `Bankkunde` verwendet:

```
#include <iostream>
#include <string>
#include <iomanip>
using namespace std;

class Bankkunde
{
private:
   static int count;
   string vorname;
   string nachname;
   int kto_nr;
   double kto_stand;
   double limit;
public:
   Bankkunde();
   void setVorname(string v)
   {vorname = v;}
   string getVorname()
   {return vorname;}
   void setNachname(string n)
   {nachname = n;}
   string getNachname()
   {return nachname;}
   void setKontonr(int nr)
   {kto_nr = nr;}
   int getKontonr()
   {return kto_nr;}
   void setKontostand(double betrag)
   {kto_stand = betrag;}
   double getKontostand()
   {return kto_stand;}
   void setLimit(double l);
   double getLimit()
   {return limit;}
   void einzahlen(double betrag);
   int auszahlen(double betrag);
};
```

```
Bankkunde::Bankkunde()
{
   kto_stand = 0;
   limit = 1000;
   kto_nr = ++count;
}
void Bankkunde::setLimit(double l)
{
   if (l >= 0)
      limit = l;
}
void Bankkunde::einzahlen(double betrag)
{
   if (betrag > 0)
      kto_stand += betrag;
}
int Bankkunde::auszahlen(double betrag)
{
   if (betrag <= 0)
      return 2;  // negativer Auszahlungsbetrag
   if (kto_stand -betrag >= -limit)
   {
      kto_stand -= betrag;
      return 0;  // Auszahlung ist erfolgt
   }
   else
      return 1;  // Auszahlung nicht moeglich
}
int Bankkunde::count = 10000;

int main(void)
{
   Bankkunde Kunden[10];
   int index, ktonr, i;
   double betrag;
   char wahl;
   cout << "Deine Kontonummer: ";
   cin >> ktonr;
   index = -1;
   for (i = 0; i < 10; i++)
   {
      if (Kunden[i].getKontonr() == ktonr) {
         index = i; break;
      }
   }
   if (index == -1) {
      cout << "Falsche Kontonummer" << endl;
      return 0;
   }
   cout << fixed << setprecision(2);
```

```
   do {
      cout << endl;
      cout << "(K)ontostandsanzeige" << endl;
      cout << "(E)inzahlung" << endl;
      cout << "(A)uszahlung" << endl;
      cout << "E(N)DE" << endl;
      cin >> wahl;
      switch (wahl)
      {
         case 'k':
         case 'K':
            cout << "Dein Kontostand: "
                 << Kunden[index].getKontostand()
                 << " Euro" << endl;
            break;
         case 'e':
         case 'E':
            cout << "Betrag: ";
            do {
               cin >> betrag;
            } while (betrag < 0);
            Kunden[index].einzahlen(betrag);
            break;
         case 'a':
         case 'A':
            cout << "Betrag: ";
            do {
               cin >> betrag;
            } while (betrag < 0);
            if (Kunden[index].auszahlen(betrag) == 1)
               cout << "Nicht liquide!" << endl;
            else
               cout << "Sollst Du haben!" << endl;
            break;
         case 'n':
         case 'N':
            cout << "Tsch\x81ss" << endl;
            break;
         default:
            cout << "Falsche Eingabe" << endl;
      }  // end switch
   } while (wahl != 'n' && wahl != 'N');
   return 0;
}  // end main()
```

Ausgabe:

```
Deine Kontonummer: 10005

(K)ontostandsanzeige
(E)inzahlung
```

```
(A)uszahlung
E(N)DE
k
Dein Kontostand: 0.00 Euro

(K)ontostandsanzeige
(E)inzahlung
(A)uszahlung
E(N)DE
e
Betrag: 3700

(K)ontostandsanzeige
(E)inzahlung
(A)uszahlung
E(N)DE
k
Dein Kontostand: 3700.00 Euro

(K)ontostandsanzeige
(E)inzahlung
(A)uszahlung
E(N)DE
a
Betrag: 3999.97
Sollst Du haben!

(K)ontostandsanzeige
(E)inzahlung
(A)uszahlung
E(N)DE
k
Dein Kontostand: -299.97 Euro

(K)ontostandsanzeige
(E)inzahlung
(A)uszahlung
E(N)DE
n
Tschüss
```

Im Programm werden mit der Anweisung

```
Bankkunde Kunden[10];
```

zehn Bankkunden angelegt. Somit erstrecken sich die Kontonummern, die ja nun für jedes `Bankkunde`-Objekt mit Ausführung von dessen Konstruktormethode – also automatisch – vergeben werden, entsprechend der Implementation der Klasse von `10001` bis `10010`. In folgendem Codeteil wird geprüft, ob ein zuvor eingegebener und in der Variablen `ktonr` gespeicherter Wert als Kontonummer vorhanden ist:

```
index = -1;
for (i = 0; i < 10; i++)
{
   if (Kunden[i].getKontonr() == ktonr) {
      index = i; break;
   }
}
if (index == -1) {
   cout << "Falsche Kontonummer";
   return 0;
}
```

Ist das der Fall, dann erhält die Variable `index` in der `for`-Schleife den Index des betreffenden Kunden. Dieser kann dann im weiteren Code mit

```
Kunden[index]
```

angesprochen werden. Ist eine entsprechende Kontonummer nicht vorhanden, wird der Wert von `index` in der `for`-Schleife nicht verändert. Die Variable besitzt dann genau den Wert, der ihr vor Eintritt in die `for`-Schleife zugewiesen wurde, also `-1`. Auf diesen Wert kann `index` nach Austritt aus der `for`-Schleife geprüft werden. Ist die Bedingung

```
index == -1
```

wahr, so wird die Funktion `main()` und damit das Programm unverzüglich beendet.

HINWEIS

Natürlich hätte ein anderer Wert als `-1` den gleichen Zweck erfüllt. Allerdings muss sichergestellt sein, dass der Anfangswert von `index` nicht als Kontonummer vorkommt. Daher erscheint ein negativer Wert am besten geeignet.

27 Dateioperationen

Häufig ist es wünschenswert, Daten nicht nur temporär im Arbeitsspeicher, sondern permanent zu speichern, sei es für spätere Programmläufe oder für andere Programme. Zu diesem Zweck stellt C++ verschiedene Klassen zur Verfügung, von denen wir hier die Klasse `ifstream` verwenden, um aus Textdateien zu lesen, und die Klasse `ofstream`, um in Textdateien zu schreiben.

27.1 In Textdateien schreiben

Für die genannten Klassen ist die Headerdatei *fstream* einzubinden:

```
#include <fstream>
```

Um in eine Datei schreiben zu können, kann man eine Instanz der Klasse `ofstream` bilden, z.B.

```
ofstream dataus;
```

Als Nächstes muss die Datei geöffnet werden, was nichts anderes heißt, als dass eine Verbindung zwischen Stream und Datei herzustellen ist. Dazu ruft man die `open()`-Methode des `ofstream`-Objekts auf und übergibt dieser den Namen der zu öffnenden Datei, gegebenenfalls mit Pfadangabe. Falls die Datei nicht existiert, wird sie automatisch angelegt.

```
dataus.open("C:\\Borland\\MeineProgramme\\eineDatei.txt");
```

ACHTUNG

Denken Sie daran, dass einem auszugebenden Backslash in einer Zeichenkette ein weiterer vorangestellt werden muss (siehe dazu Abschnitt 10.1 »Die Escape-Sequenzen \", \' und \\«).

Allerdings ist auch der Konstruktor der `ofstream`-Klasse in der Lage, die Zeichenkette zu übernehmen, sodass das Öffnen einer Datei bereits beim Instanzieren erfolgen kann:

```
ofstream dataus("C:\\Borland\\MeineProgramme\\eineDatei.txt");
```

HINWEIS

Wie Sie daraus schließen können, ist der Konstruktor der `ofstream`-Klasse entsprechend überladen.

Nachdem die Datei nun geöffnet, das heißt eine Verbindung zwischen dieser und dem Streamobjekt hergestellt ist, können die Ausgabeoperationen mit den bekannten Methoden durchgeführt werden.

Streamobjekte

Wie Sie wissen, sind `cout` und `cin` ebenfalls Streamobjekte, wobei `cout` eine Instanz der Klasse `ostream` und `cin` eine der Klasse `istream` ist. Beide Objekte sind in der Headerdatei *iostream* instanziert, sodass man sie nach Einbindung von *iostream* mit der `#include`-Direktive einfach verwenden kann. Im Unterschied dazu müssen Objekte der Streamklassen `ofstream` und `ifstream` vom Programmierer im Code erst erzeugt werden.

Was den Umgang mit Objekten der Streamklassen sehr angenehm macht, ist die Tatsache, dass in den Ausgabestreamklassen hinsichtlich Namen und Verwendung weitgehend dieselben Methoden definiert sind. Das Gleiche gilt auch für die Streamklassen zur Dateneingabe. Beispielsweise können Sie nun mit dem oben vereinbarten Objekt `dataus` in der gewohnten Weise in die geöffnete Datei schreiben, indem Sie dem Ausgabeoperator << die gewünschten Daten einfach übergeben:

```
dataus << "In eine Textdatei schreiben";
```

Der einzige Unterschied besteht, wie gesagt, darin, dass die Ausgabe nicht mit dem Objekt `cout`, sondern mit einem Objekt der Klasse `ofstream` erfolgt. Dies hat zur Folge, dass die Daten nicht auf den Bildschirm, sondern in eine Datei ausgegeben werden.

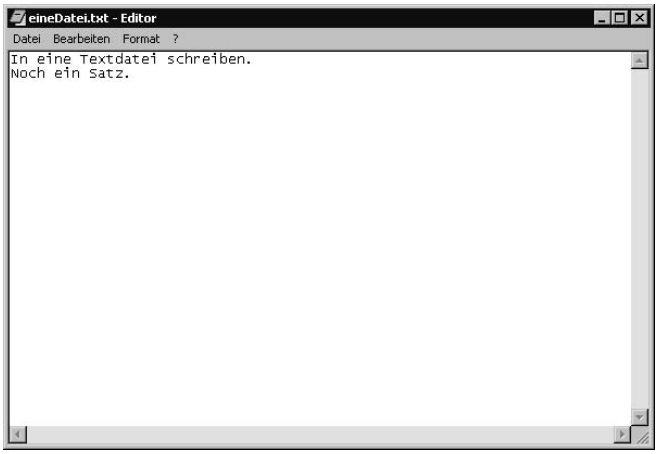
Folgendes Programm legt im Verzeichnis `C:\Borland\MeineProgramme` eine Textdatei *eineDatei.txt* an und schreibt in diese die Sätze »In eine Textdatei schreiben.« und »Noch ein Satz.« (Abbildung 27.1).

Falls die Datei bereits existiert, wird der bestehende Inhalt überschrieben.

```
#include <iostream>
#include <fstream>
using namespace std;

int main(void)
{
   ofstream dataus;
   dataus.open("C:\\Borland\\MeineProgramme\\eineDatei.txt");
   dataus << "In eine Textdatei schreiben." << endl
          << "Noch ein Satz.";
   dataus.close();
   return 0;
}
```

Die Datei wird geschlossen, das heißt die Verbindung zwischen dieser und dem Streamobjekt gelöst, wenn das Streamobjekt seine Gültigkeit verliert. Dies ist mit dem Aufruf der `close()`-Methode des `ofstream`-Objekts der Fall oder mit Ende des Programms.

Bild 27.1: Ausgabe in die Textdatei *eineDatei.txt*



HINWEIS

Das bedeutet, dass der Destruktor des `ofstream`-Objekts nötigenfalls dafür sorgt, dass die Datei geschlossen wird. Was nichts anderes heißt, als dass im Rumpf der Destruktormethode geprüft wird, ob die Datei noch geöffnet ist und für diesen Fall die `close()`-Methode aufgerufen wird.

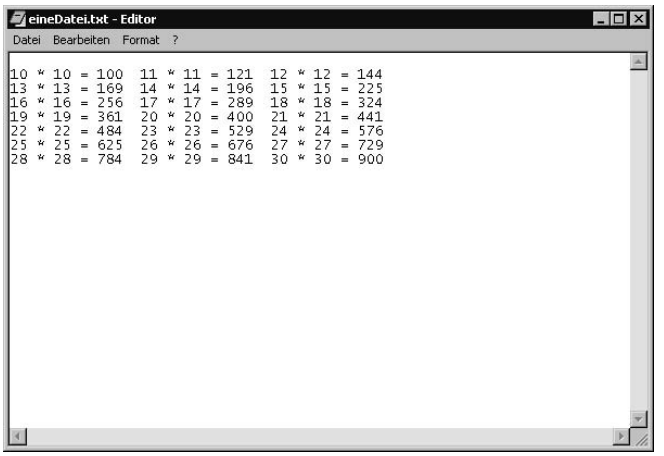
Folglich könnte im Beispiel auf das explizite Schließen der Datei mit der `close()`-Methode verzichtet werden. Trotzdem sollte man die Datei auf jeden Fall selbst schließen – dies ist nicht nur die korrekte Art und Weise, es führt auch zu einer besseren Lesbarkeit des Codes. Es wird damit dokumentiert, dass die Schreiboperation an dieser Stelle beendet ist.

Wie Ihnen bekannt ist, können Sie dem Ausgabeoperator jeden beliebigen elementaren Datentyp sowie `string` übergeben:

```
#include <iostream>
#include <fstream>
#include <string>
using namespace std;

int main(void)
{
   ofstream dataus;
   string ist = " = ";
   dataus.open("C:\\Borland\\MeineProgramme\\eineDatei.txt");
   for (int i = 10; i <= 30; i++)
   {
      if ((i-10) % 3 == 0)
         dataus << endl;
      dataus << i << " * " << i << ist << i * i << "  ";
   }
   dataus.close();
   return 0;
}
```

Das Ergebnis des obigen Programms ist Abbildung 27.2 zu entnehmen.

Bild 27.2: Ausgabe von Werten unterschiedlichen Datentyps



Wie oben bereits erwähnt und wie Sie am Inhalt der Textdatei nunmehr erkennen können, wurde die vorige Ausgabe überschrieben. Falls Sie dies nicht wünschen, geben Sie beim Öffnen der Datei als zweiten Parameter `ios_base::app` an (für »append«, zu Deutsch »anhängen«):

```
#include <iostream>
#include <fstream>
using namespace std;

int main(void)
{
   ofstream dataus;
   dataus.open("C:\\text.txt", ios_base::app);
   dataus << '*';
   dataus.close();
   return 0;
}
```

Obiges Programm ergänzt den Inhalt der Datei *text.txt* mit jeder Ausführung um ein Sternchen.

HINWEIS

Bei weniger aktuellen Compilern kann es sein, dass die Konstante `app` in der Klasse `ios` definiert ist. In diesem Fall müssen Sie anstelle von `ios_base::app` als Argument `ios::app` angeben:

```
dataus.open(»C:\\text.txt«, ios::app);
```

Falls dem Benutzer die Möglichkeit gegeben werden soll, Ort und Namen der Datei zu bestimmen, in die geschrieben werden soll, ist zu beachten, dass der Konstruktor der `ofstream`-Klasse einen C-String erwartet. Dies gilt im Übrigen auch für die Klasse `ifstream`, die für das Öffnen einer Datei zum Lesen zuständig ist (dazu mehr im nächsten Abschnitt). Folglich muss ein `string`-Wert gegebenenfalls mit der `c_str()`-Methode der `string`-Klasse erst in einen C-String umgewandelt werden:

```
#include <iostream>
#include <fstream>
#include <string>
using namespace std;

int main(void)
{
   ofstream dataus;
   string datei;
   cout << "In welche Datei soll geschrieben werden: ";
   cin >> datei;
   dataus.open(datei.c_str(), ios_base::app);
   dataus << "ABC";
   dataus.close();
   return 0;
}
```

Ausgabe:

```
In welche Datei soll geschrieben werden: C:\text.txt
```

ACHTUNG

Vom Benutzer ist der Backslash natürlich nur ein Mal einzutippen.

Mit Ausführung wird der Inhalt der vom Benutzer angegebenen Datei um die Zeichenfolge `ABC` ergänzt.

HINWEIS

Zur Methode `c_str()` der `string`-Klasse siehe Abschnitt 20.4.1.

Falls beim Öffnen einer Datei kein Pfad angegeben ist, wird diese im Programmverzeichnis erwartet bzw. angelegt, also in demjenigen Verzeichnis, in dem sich die *.exe*-Datei befindet.

ACHTUNG

Eine Ausnahme ist bezüglich der Visual C++-IDE zu verzeichnen. Falls Sie das entsprechende Programm von dort aus starten, wird die Textdatei in dem Verzeichnis erwartet bzw. angelegt, in dem sich die Quelldateien befinden. Falls Sie das Programm später von der Konsole aus ausführen wollen, ist es gegebenenfalls anzuraten, eine Kopie der Textdatei in das Programmverzeichnis zu legen (Unterverzeichnis *Debug* eines Projekts).

Hier ein Programm, das dem Benutzer gestattet, nicht nur den Dateinamen für die Ausgabe festzulegen, sondern auch den zu schreibenden Inhalt zu bestimmen:

```
#include <iostream>
#include <fstream>
#include <string>
using namespace std;
```

```
int main(void)
{
   ofstream dataus;
   string datei;
   char zeichen;
   int um;
   cout << "In welche Datei soll geschrieben werden: ";
   cin >> datei;
   cin.get();
   dataus.open(datei.c_str(), ios_base::app);
   um = 0;
   do
   {
      um++;
      zeichen = cin.get();
      dataus.put(zeichen);
      if (um % 80 == 0)
         dataus << endl;
   } while (zeichen != '\n');
   dataus.close();
   return 0;
}
```

HINWEIS

Zur Methode `get()` des `cin`-Objekts siehe Abschnitt 20.2.1 »cin.get()«. Zur Methode `put()`des `cout`-Objekts siehe Abschnitt 20.2.2 »cout.put()«. Die in den Klassen `ifstream` bzw. `ofstream` definierten gleichnamigen Methoden lassen sich für Objekte dieser Klassen in der gleichen Weise verwenden: `put()` für ein `ofstream`-Objekt (wie am obigen Beispiel zu sehen) und `get()` für ein `ifstream`-Objekt (siehe dazu das folgende Beispiel im nächsten Abschnitt).

Die Eingabe des Benutzers wird vom Programm zeilenweise in die Datei geschrieben, wobei die `if`-Bedingung

```
if (um % 80 == 0)
   dataus << endl;
```

jeweils nach 80 Zeichen in der Datei für einen Zeilenvorschub sorgt. Die Anweisung

```
cin.get();
```

nach Eingabe der gewünschten Datei (`cin >> datei;`) ist notwendig, um das verbleibende Newline-Zeichen aus dem Eingabepuffer zu entfernen. Ansonsten würde mit der ersten Anweisung

```
zeichen = cin.get();
```

innerhalb der `do while`-Schleife die Variable `zeichen` dieses Newline-Zeichen erhalten und die Schleife entsprechend der Bedingung `(zeichen != '\n')` sofort abbrechen.

27.2 Aus Textdateien lesen

Analog zur Klasse `ofstream` ermöglicht es die Klasse `ifstream`, Daten aus einer Datei zu lesen. Dazu ist wiederum ein Objekt dieser Klasse zu instanzieren. Danach können Sie dieses Objekt ebenso benutzen, wie Sie es von `cin` gewohnt sind.

Folgendes Programm liest den Inhalt einer vom Benutzer anzugebenden Datei ein und gibt ihn auf den Bildschirm aus:

```
#include <iostream>
#include <fstream>
#include <string>
using namespace std;

int main(void)
{
   ifstream datein;
   string datei;
   char zeichen;
   cout << "Welche Datei soll gelesen werden: ";
   cin >> datei;
   datein.open(datei.c_str());
   if (datein == false)
   {
      cerr << "Datei konnte nicht ge\x94"
           << "ffnet werden" << endl;
      return 0;
   }
   while (datein.eof() != true)
   {
      zeichen = datein.get();
      cout << zeichen;
   }
   datein.close();
   return 0;
}
```

In Bezug auf die `close()`-Methode der `ifstream`-Klasse gilt das oben zur entsprechenden Methode der `ofstream`-Klasse Gesagte.

Ein Streamobjekt liefert in einem logischen Ausdruck den Wert `true` zurück, falls eine vorangegangene Operation erfolgreich war, andernfalls `false`. Das ist sowohl für das Öffnen einer Datei als auch für das Schreiben in eine oder das Lesen aus einer Datei zutreffend.

HINWEIS

Im Übrigen gilt dies auch für die Objekte der `ostream`- bzw. der `istream`-Klasse. So lässt sich das `cin`-Objekt in einer Schleifenbedingung etwa wie folgt verwenden:

```
double sum = 0, zahl;
while (cin >> zahl)
   sum += zahl;
```

Die Schleifenbedingung `(cin >> zahl)` wertet zu `false` aus, falls die Zuweisung eines vom Benutzer eingegebenen Wertes an die Variable `zahl` nicht durchgeführt werden konnte, z.B. weil die Eingabe des Benutzers nicht als numerischer Wert interpretierbar ist.

Folglich gibt der Ausdruck

```
(datein == false)
```

unmittelbar nach dem Aufruf der `open()`-Methode Auskunft darüber, ob die Datei geöffnet werden konnte.

HINWEIS

Statt

```
if (datein == false)
```

hätten wir natürlich auch kürzer

```
if (!datein)
```

formulieren können (siehe dazu Abschnitt 17.2.2 »Konvertierung in logischen Ausdrücken«).

Falls die Datei z.B. nicht existiert, würde die obige `if`-Bedingung zu `true` auswerten. In diesem Fall wird mit

```
cerr << "Datei konnte nicht ge\x94"
     << "ffnet werden" << endl;
return 0;
```

eine entsprechende Fehlermeldung ausgegeben und das Programm unverzüglich beendet.

HINWEIS

Im Gegensatz zu `cout`, das die auszugebenden Daten an die Standardausgabe leitet, sendet das Objekt `cerr` die Daten an die Standardfehlerausgabe – was in der Regel ebenfalls der Bildschirm ist. Von daher hätte man für die Meldung, dass die Datei nicht geöffnet werden konnte, wie gewohnt auf `cout` zurückgreifen können. Da das Objekt `cerr` – wie `cout` eine Instanz der Klasse `ostream` – jedoch für die Ausgabe von Fehlermeldungen vorgesehen ist, sei dem Leser empfohlen, gegebenenfalls dieses zu verwenden.

Die Methode `eof()` der `ifstream`-Klasse liefert `true` zurück, wenn das Dateiende erreicht ist. Sie wird daher in der Bedingung der `while`-Schleife zur Prüfung herangezogen. Innerhalb der `while`-Schleife wird der Inhalt der Datei mit der `get()`-Methode des `ifstream`-Objekts `datein` zeichenweise eingelesen und auf den Bildschirm ausgegeben:

```
zeichen = datein.get();
cout << zeichen;
```

HINWEIS

Dem weiter oben Gesagten zufolge hätte man in der Schleifenbedingung auch das Streamobjekt selbst prüfen können:

```
while (datein == true)
```

bzw.

```
while (datein)
```

Allerdings ist der Rückgabewert der `eof()`-Methode spezieller und damit genauer.

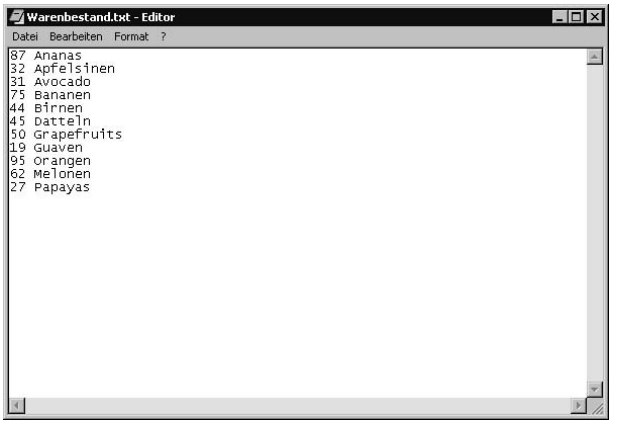
Beim Einlesen von Daten aus einer Datei kann sich der Umstand als nützlich erweisen, dass Zwischenraumzeichen in der Datei in der gleichen Weise interpretiert werden wie bei der Dateneingabe auf der Konsole. Wenn man beispielsweise weiß, dass eine Datei elf Datensätze enthält, von denen jeder, sagen wir, aus einer Stückzahl und – getrennt durch mindestens ein Leerzeichen – einem Artikelnamen besteht, dann können diese vom Programm auf einfache Weise in Variablen eingelesen werden:

```
#include <iostream>
#include <fstream>
#include <string>
using namespace std;

int main(void)
{
   ifstream datein;
   int anzahl[11], i;
   string artikel[11];
   datein.open("Warenbestand.txt");
   if (datein == false)
   {
      cerr << "Datei konnte nicht ge\x94"
           << "ffnet werden" << endl;
      return 0;
   }
   for (i = 0; i < 11; i++)
   {
      datein >> anzahl[i];
      datein >> artikel[i];
   }
   for (i = 0; i < 11; i++)
   {
      cout << anzahl[i] << ' ';
      cout << artikel[i] << endl;
   }
   datein.close();
   return 0;
}
```

Die Datei *Warenbestand.txt* finden Sie auf der Buch-CD im Verzeichnis *ProgK_27*.

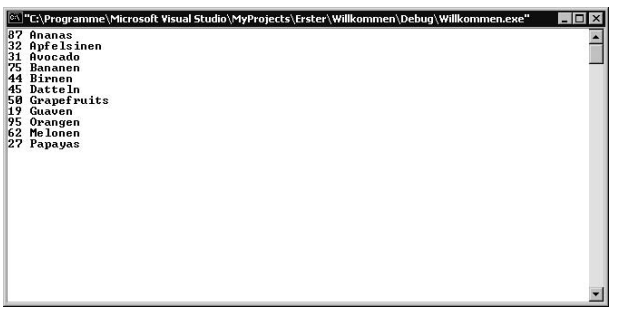
Obiges Programm liest den Inhalt der Datei *Warenbestand.txt* (siehe Abbildung 27.3) in die Arrays `anzahl` und `artikel` ein und gibt die Werte im Anschluss daran zur Kontrolle auf den Bildschirm aus.

Bild 27.3: Datensätze aus Textdatei lesen



Die Bildschirmausgabe können Sie Abbildung 27.4 entnehmen.

Bild 27.4: Ausgabe der eingelesenen Werte auf den Bildschirm



Textdateien verwalten in der Visual C++-Umgebung

Falls Sie in der Visual C++-IDE arbeiten, empfiehlt es sich, eine bestehende Textdatei zunächst in das Projektverzeichnis – gemeint ist das Verzeichnis, in dem sich die Quelldatei(en) befindet (befinden) – zu legen und diese anschließend mit dem Menübefehl PROJEKT/DEM PROJEKT HINZUFÜGEN/DATEIEN: dem Projekt hinzuzufügen.

Alternativ können Sie mit dem Menübefehl DATEI/NEU dem aktuellen Projekt auch eine neue – leere – Textdatei hinzufügen. Wählen Sie dazu auf der Registerkarte DATEIEN den Eintrag `Textdatei` und geben Sie in dem dafür vorgesehenen Textfeld einen Namen für die Datei ein. Falls

Sie keine Dateierweiterung angeben, wird die Endung *.txt* angefügt. Im Textfeld rechts unten können Sie das Verzeichnis bestimmen, in dem die Datei angelegt wird. Standardmäßig handelt es sich um das Verzeichnis, in dem sich die Quelldatei befindet, nicht etwa das Programmverzeichnis.

Damit Sie das Programm auch von der Konsole aus starten können, ist es in beiden Fällen sinnvoll, eine aktuelle Kopie der Textdatei in das Programmverzeichnis zu legen, also in das Verzeichnis, in dem sich die *.exe*-Datei befindet (Verzeichnisname *Debug*).

Falls ein Programm Änderungen an einer Textdatei des Projekts durchführt – wie z.B. das folgende Programm zur Bankkundenverwaltung –, müssen Sie gegebenenfalls die Meldung

»Diese Datei wurde außerhalb des Quellcode-Editors bearbeitet. Erneut laden?«

mit OK bestätigen, damit im Weiteren innerhalb der Visual C++-IDE tatsächlich auf die aktualisierte Version der Textdatei zugegriffen wird.

27.2.1 Programm zum Verwalten von (Entenhausener) Bankkunden

Das folgende Programm liest Kontonummer, Vor- und Nachname, Dispolimit und Kontostand von zehn Bankkunden aus der Textdatei *Kunden.txt* und schreibt nach Ausführung von Kundenaktionen die gegebenenfalls aktualisierten Werte in dieselbe Datei. Eine Initialisierung der entsprechenden Werte im Konstruktor der `Bankkunde`-Klasse entfällt damit.

Bild 27.5: Textdatei *Kunden.txt*

Gegenüber der Version des letzten Kapitels wurde zudem eine weitere Klasse `Bank` definiert, die die zehn Kunden enthält. Diese Klasse wurde außerdem mit einer Methode zum Suchen von Kunden, einer Methode `ueberweisen()` und mit Methoden zum Lesen und Schreiben aus der bzw. in die Datei *Kunden.txt* versehen.

Um das folgende Programm korrekt ausführen zu können, ist es notwendig, die obige Textdatei *Kunden.txt* in das Programmverzeichnis zu legen (bzw. in das Projektverzeichnis, in dem sich die Quelldatei befindet, falls Sie das Programm aus der Visual C++-IDE heraus ausführen).

Sie finden sie – ebenso wie *.exe*- und Quelldatei – auf der Buch-CD im Verzeichnis *ProgK_27*.

```
#include <iostream>
#include <fstream>
#include <string>
#include <iomanip>
using namespace std;

class Bankkunde
{
private:
   string vorname;
   string nachname;
   int kto_nr;
   double kto_stand;
   double limit;
public:
   Bankkunde() {}
   void setVorname(string v)
   {vorname = v;}
   string getVorname()
   {return vorname;}
   void setNachname(string n)
   {nachname = n;}
   string getNachname()
   {return nachname;}
   void setKontonr(int nr)
   {kto_nr = nr;}
   int getKontonr()
   {return kto_nr;}
   void setKontostand(double betrag)
   {kto_stand = betrag;}
   double getKontostand()
   {return kto_stand;}
   void setLimit(double l);
   double getLimit()
   {return limit;}
   void einzahlen(double betrag);
   int auszahlen(double betrag);
};
void Bankkunde::setLimit(double l)
{
   if (l >= 0)
      limit = l;
}
```

```
void Bankkunde::einzahlen(double betrag)
{
   if (betrag > 0)
      kto_stand += betrag;
}
int Bankkunde::auszahlen(double betrag)
{
   if (betrag <= 0)
      return 2;  // negativer Auszahlungsbetrag
   if (kto_stand -betrag >= -limit)
   {
      kto_stand -= betrag;
      return 0;  // Auszahlung ist erfolgt
   }
   else
      return 1;  // Auszahlung nicht moeglich
}

class Bank
{
public:
   Bankkunde Kunden[10];
   int KundeSuchen(int nr);
   int ueberweisen(int auftr, int empf, double betrag);
   void KundenEinlesen();
   void KundenInDatei();
};
int Bank::KundeSuchen(int nr)
// Rueckgabewert ist -1, falls Konto nicht vorhanden,
// ansonsten der Index des Kunden
{
   for (int i = 0; i < 10; i++)
   {
      if (Kunden[i].getKontonr() == nr)
         return i;
   }
   return -1;
}
int Bank::ueberweisen(int auftr, int empf, double betrag)
{
   if (betrag <= 0)
      return -1;  // Programmierfehler
   if (Kunden[auftr].auszahlen(betrag) == 0) {
      Kunden[empf].einzahlen(betrag);
      return 0;  // Ueberweisung ausgefuehrt
   }
   else
      return 1;  // Konto nicht gedeckt
}
```

```
void Bank::KundenEinlesen()
{
   int hilf;
   string name;
   double help;
   ifstream lesen("Kunden.txt");
   for (int i = 0; i < 10; i++)
   {
      lesen >> hilf; Kunden[i].setKontonr(hilf);
      lesen >> name; Kunden[i].setVorname(name);
      lesen >> name; Kunden[i].setNachname(name);
      lesen >> help; Kunden[i].setLimit(help);
      lesen >> help; Kunden[i].setKontostand(help);
   }
   lesen.close();
}
void Bank::KundenInDatei()
{
   int hilf;
   string name;
   double help;
   ofstream schreiben("Kunden.txt");
   for (int i = 0; i < 10; i++)
   {
      hilf = Kunden[i].getKontonr();
      schreiben << endl << endl << hilf << ' ';
      name = Kunden[i].getVorname();
      schreiben << name << ' ';
      name = Kunden[i].getNachname();
      schreiben << name << ' ';
      help = Kunden[i].getLimit();
      schreiben << help << ' ';
      help = Kunden[i].getKontostand();
      schreiben << help;
   }
   schreiben.close();
}

int main(void)
{
   Bank Entenhausener;
   Entenhausener.KundenEinlesen();
   int index, index_empf, ktonr, ktonr_empf;
   double betrag;
   char wahl;
   cout << "Deine Kontonummer: ";
   cin >> ktonr;
   index = Entenhausener.KundeSuchen(ktonr);
```

```
if (index == -1) {
   cout << "Falsche Kontonummer" << endl;
   return 0;
}
cout << fixed << setprecision(2);
cout << "Hallo "
     << Entenhausener.Kunden[index].getVorname() << ' '
     << Entenhausener.Kunden[index].getNachname()
     << endl;
do {
   cout << endl;
   cout << "(K)ontostandsanzeige" << endl;
   cout << "(E)inzahlung" << endl;
   cout << "(A)uszahlung" << endl;
   cout << "(U)eberweisung" << endl;
   cout << "E(N)DE" << endl;
   cin >> wahl;

   switch (wahl)
   {
      case 'k':
      case 'K':
         cout << "Dein Kontostand: "
              << Entenhausener.Kunden[index].getKontostand()
              << " Euro" << endl;
         break;
      case 'e':
      case 'E':
         cout << "Betrag: ";
         do {
            cin >> betrag;
         } while (betrag < 0);
         Entenhausener.Kunden[index].einzahlen(betrag);
         break;
      case 'a':
      case 'A':
         cout << "Betrag: ";
         do {
            cin >> betrag;
         } while (betrag < 0);
         if (Entenhausener.Kunden[index].auszahlen(betrag)
                 == 1)
            cout << "Nicht liquide!" << endl;
         else
            cout << "Sollst Du haben!" << endl;
         break;
      case 'u':
      case 'U':
         cout << "Kontonummer des Empf\x84ngers: ";
         cin >> ktonr_empf;
```

```
            index_empf = Entenhausener.KundeSuchen(ktonr_empf);
            if (index_empf == -1) {
               cout << "Falsche Kontonummer" << endl;
               break;
            }
            cout << "An "
            << Entenhausener.Kunden[index_empf].getVorname()
            << ' ' <<
            Entenhausener.Kunden[index_empf].getNachname();
            cout << '!' << endl << "Betrag: ";
            do {
               cin >> betrag;
            } while (betrag < 0);
            if (Entenhausener.ueberweisen
            (index, index_empf, betrag) != 0)
                cout << '\x9A' << "berweisung konnte nicht"
                     << " ausgef\x81hrt werden" << endl;
            break;
         case 'n':
         case 'N':
            cout << "Tsch\x81ss" << endl;
            break;
         default:
            cout << "Falsche Eingabe" << endl;
      }  // end switch
   } while (wahl != 'n' && wahl != 'N');
   Entenhausener.KundenInDatei();

   return 0;
}  // end main()
```

Ausgabe:

```
Deine Kontonummer: 10003
Hallo Charlie Brown

(K)ontostandsanzeige
(E)inzahlung
(A)uszahlung
(U)eberweisung
E(N)DE
e
Betrag: 100.90

(K)ontostandsanzeige
(E)inzahlung
(A)uszahlung
(U)eberweisung
E(N)DE
u
Kontonummer des Empfängers: 10006
```

```
An Mickey Mouse!
Betrag: 50.45

(K)ontostandsanzeige
(E)inzahlung
(A)uszahlung
(U)eberweisung
E(N)DE
n
Tschüss
```

Das Ergebnis dieser Aktionen können Sie Abbildung 27.6 entnehmen. Der letzte Wert in einer Zeile bezieht sich jeweils auf den Kontostand.

Bild 27.6: Nach oben beschriebener Programmausführung

Textdatei, *.exe*-Datei und Quellcodedatei des Beispiels finden Sie auf der Buch-CD im Verzeichnis *ProgK_27*.

magnum

Teil 4

Fortgeschrittene Programmierkonzepte

In diesem letzten Teil sollen einige fortgeschrittene Konzepte vorgestellt werden. Speziell in den Bereich der objektorientierten Programmierung fallen darunter Vererbung sowie das Überladen von Operatoren. Zentrales Thema dieses Teils wird jedoch der Gebrauch von Zeigern und Referenzen sein.

28 Präprozessor-Direktiven

Im Zuge des Kompiliervorgangs wird der Quelltext vor der eigentlichen Übersetzung in Maschinencode zunächst von einer speziellen Software überarbeitet, dem so genannten Präprozessor. Auf dessen Verhalten kann der Programmierer ebenfalls Einfluss nehmen.

Anweisungen an den Präprozessor werden im Allgemeinen Direktiven genannt, um den Unterschied zu den Anweisungen deutlich zu machen, die an den Compiler gerichtet sind. Alle Präprozessor-Direktiven beginnen mit einem Doppelkreuz (#) und werden im Gegensatz zu gewöhnlichen Anweisungen nicht mit einem Semikolon abgeschlossen. Beides ist Ihnen ja bereits von der `#include`-Anweisung her bekannt (nach dem eben Gesagten sollte man sie wohl `#include`-Direktive nennen). In diesem Kapitel sollen die wichtigsten Präprozessor-Direktiven besprochen werden. Grundsätzlich dürfen diese an jeder Stelle im Code verwendet werden. In der Regel wird dies jedoch am Anfang einer Quelldatei geschehen.

28.1 #include

Wie Ihnen ja bereits bekannt ist, wird mit Ausführung der `#include`-Direktive die entsprechende Zeile im Code mit dem Inhalt einer angegebenen Datei ersetzt. Dabei kann es sich zwar grundsätzlich um jede beliebige Datei handeln, solange diese aus gültigen C++-Anweisungen besteht (andernfalls wird dies natürlich Fehlermeldungen des Compilers zur Folge haben). In der Regel wird man die `#include`-Direktive jedoch dazu verwenden, Headerdateien, die vom Compilersystem zur Verfügung gestellt werden, oder solche, die vom Programmierer selbst erstellt wurden, einzubinden. Erstere sind in spitzen Klammern, Letztere in doppelten Anführungszeichen anzugeben.

Die Anweisung

```
#include <iostream>
```

ersetzt also diese Zeile mit dem Inhalt der Datei *iostream*. Das Gleiche gilt für die Anweisung

```
#include "myfunctions.h"
```

nur dass in diesem Fall die selbst definierte Headerdatei *myfunctions.h* eingebunden wird. Der Unterschied liegt darin, dass Dateien, die in spitzen Klammern angegeben sind, im Verzeichnis *Include* der Compilerinstallation gesucht werden, Dateien, die in doppelten Anführungszeichen stehen, dagegen in dem Verzeichnis, in dem sich die Quelldatei befindet.

28.2 Symbolische Konstanten mit #define vereinbaren

Außer mit dem Schlüsselwort `const` lassen sich symbolische Konstanten auch mit der `#define`-Direktive definieren, wobei zunächst der Name der Konstanten und danach deren Wert anzugeben ist.

HINWEIS

Zu `const`-Konstanten siehe Abschnitt 13.4 »Konstanten mit const deklarieren«.

Beispielsweise legt man mit

```
#define PI 3.14
```

eine Konstante `PI` mit dem Wert `3.14` fest. Ebenso mit

```
#define MWST 16
```

eine Konstante `MWST` mit dem Wert `16`. Somit lässt sich etwa das letzte Beispiel in Kapitel 13 ebenso unter Verwendung einer `#define`- anstelle einer `const`-Konstanten realisieren:

```
#include <iostream>
#define MWST 0.16
using namespace std;

void main(void)
{
   double netto;
   cout << "Nettobetrag: ";
   cin >> netto;
   cout << "Mwst: " << netto * MWST;
   cout << endl << "Gesamtbetrag: ";
   cout << netto + (netto * MWST)<< endl;
}
```

bzw.

```
#include <iostream>
#define MWST 16
using namespace std;

void main(void)
{
   double netto;
   cout << "Nettobetrag: ";
   cin >> netto;
   cout << "Mwst: " << netto * MWST / 100;
   cout << endl << "Gesamtbetrag: ";
   cout << netto + (netto * MWST / 100) << endl;
}
```

Ausgabe:

```
Nettobetrag: 250
Mwst: 40
Gesamtbetrag: 290
```

Die Verwendung von mit #define definierten Konstanten erfolgt unter den gleichen Gesichtspunkten wie const-Konstanten. Allerdings handelt es sich bei Ersteren um reine Textersetzungen seitens des Präprozessors. Im Zweifel sind daher const-Konstanten wegen der damit verbundenen Typüberprüfung vorzuziehen.

Anders als das bei const-Konstanten der Fall ist, können mit #define auch Konstanten ohne Ersatztext definiert werden:

```
#define KONSTANTE
```

Im Ergebnis wird dann die Konstante bzw. deren Name an jeder Stelle, an der sie im nachfolgenden Code auftritt, ersatzlos entfernt. Ungeachtet dessen gilt die Konstante als definiert, was im Hinblick auf eine bedingte Kompilierung von Bedeutung sein kann (dazu mehr im nächsten Abschnitt).

28.3 Bedingte Kompilierung

Es ist möglich, Codeteile bedingungsabhängig kompilieren zu lassen. Das heißt, bestimmte C++-Anweisungen werden nur für den Fall übersetzt, dass eine bestimmte Bedingung wahr ist. Zur Umsetzung der bedingten Kompilierung können die Präprozessor-Direktiven #if, #else, #elif, #endif sowie – zur Formulierung einer entsprechenden Bedingung – #ifdef und #ifndef in Verbindung mit der #define-Direktive eingesetzt werden. Wobei #if, #else die Pendants zu den C++-Schlüsselwörtern if und else sind. Das Gleiche gilt für #elif in Bezug auf die Kombination else if.

Dem Gesagten zufolge können Sie mit einer entsprechenden Konstruktion Ihren Compiler daran hindern, bestimmte Codeteile zu übersetzen. Genau genommen sorgt der Präprozessor dann dafür, dass der Compiler diese gar nicht erhält. Hierzu ein Beispiel:

```
#include <iostream>
#define WELCHER 'B'
using namespace std;

int main(void)
{
   // …
   #if WELCHER == 'A'
      cout << "Teil A wird";
      cout << " kompiliert";
   #elif WELCHER == 'B'
      cout << "Teil B wird";
      cout << " kompiliert";
   #elif WELCHER == 'C'
      cout << "Teil C wird";
```

```
      cout << " kompiliert";
   #else
      cout << "Teil D wird";
      cout << " kompiliert";
   #endif
   // …
   return 0;
}
```

Ausgabe:

```
Teil B wird kompiliert
```

ACHTUNG

Im Gegensatz zu `if`- bzw. `if else`-Anweisungen müssen die entsprechenden Präprozessor-Direktiven mit `#endif` abgeschlossen werden.

Natürlich hätte man für die Konstante `WELCHER` ebenso gut numerische Werte heranziehen können. Beachten Sie, dass der `#else`-Teil auch für den Fall kompiliert wird, dass gar keine Konstante `WELCHER` definiert ist.

Wie bei der `else if`-Konstruktion kann der `#else`-Zweig auch weggelassen werden. In diesem Fall wird keiner der Codeteile übersetzt, falls die Konstante `WELCHER` einen Wert ungleich `'A'`, `'B'` oder `'C'` besitzt bzw. eine Konstante dieses Namens überhaupt nicht definiert ist.

HINWEIS

Zur `else if`-Konstruktion siehe Abschnitt 17.2.5.

Wie Sie sich vermutlich denken können, kann die bedingte Kompilierung vor allem in der Entstehungsphase eines Programms hilfreich sein. Man muss dann nur den Ersetzungswert in der `#define`-Direktive entsprechend ändern, um einen anderen Teil übersetzen zu lassen. In der Praxis werden die verschiedenen Programmteile, die die C++-Anweisungen enthalten, entsprechend umfangreich sein, während diese im obigen Beispiel allein den Zweck der Demonstration erfüllen.

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, mit den Direktiven `#ifdef` (»if defined«) bzw. `#ifndef` (»if not defined«) zu prüfen, ob eine bestimmte Konstante definiert ist bzw. nicht definiert ist:

```
#ifdef KONSTANTE
   C++-Code
#endif
```

In diesem Fall wird der von `#ifdef` *KONSTANTE* und `#endif` eingeschlossene Teil übersprungen, falls eine Konstante mit dem angegebenen Namen nicht definiert ist. Das Gegenteil lässt sich mit

```
#ifndef KONSTANTE
…
#endif
```

erreichen. Jetzt wird der Code zwischen den beiden Direktiven nur dann kompiliert, wenn *KONSTANTE* nicht definiert ist. Beide Präprozessor-

Direktiven lassen sich auch in Verbindung mit einem #else-Zweig einsetzen:

```
#include <iostream>
#define JENER
using namespace std;

int main(void)
{
   // …
   #ifdef DIESER
      cout << "Dieser Teil I wird";
      cout << " kompiliert" << endl;
   #else
      cout << "Der alternative Teil I";
      cout << " wird kompiliert" << endl;
   #endif
   #ifndef JENER
      cout << "Dieser Teil II wird";
      cout << " kompiliert" << endl;
   #else
      cout << "Der alternative Teil II";
      cout << " wird kompiliert" << endl;
   #endif
   // …
   return 0;
}
```

Ausgabe:

```
Der alternative Teil I wird kompiliert
Der alternative Teil II wird kompiliert
```

In beiden #ifdef #else-Konstrukten wird der #else-Teil kompiliert, da im ersten Fall eine Konstante DIESER nicht definiert, im zweiten Fall eine Konstante JENER eben definiert ist.

Es sei darauf hingewiesen, dass im Code selbstverständlich beliebig viele Konstanten mit der #define-Direktive definiert werden dürfen. Wie schon erwähnt, kann dies grundsätzlich auch an beliebigen Stellen geschehen. Natürlich gilt eine Konstante erst ab der Position im Quellcode als definiert, an der sich die entsprechende #define-Direktive befindet. Aus diesem Grund ändert sich am Ergebnis des obigen Beispiels nichts, falls man eine Konstante DIESER nach der ersten #ifdef-Direktive vereinbart:

```
#include <iostream>
#define JENER
using namespace std;

int main(void)
{
   // …
```

```
   #ifdef DIESER
      cout << "Dieser Teil I wird";
      cout << " kompiliert" << endl;
   #else
      cout << "Der alternative Teil I";
      cout << " wird kompiliert" << endl;
   #endif
   #define DIESER
   #ifndef JENER
      cout << "Dieser Teil II wird";
      cout << " kompiliert" << endl;
   #else
      cout << "Der alternative Teil II";
      cout << " wird kompiliert" << endl;
   #endif
   // …
   return 0;
}
```

Ausgabe:

```
Der alternative Teil I wird kompiliert
Der alternative Teil II wird kompiliert
```

Die Bedingungsauswertung

```
#ifdef DIESER
```

ergibt nach wie vor `false`, da eine Konstante `DIESER` zum Zeitpunkt noch nicht definiert ist.

Eine häufig angewandte Methode, um zu verhindern, dass der Code von Headerdateien doppelt kompiliert wird, besteht darin, mit `#ifndef` zu prüfen, ob eine bestimmte Konstante noch nicht definiert ist. Falls dies zutrifft – die Konstante also noch nicht definiert ist –, legt man innerhalb des `#ifndef #endif`-Konstrukts eine entsprechende Konstante fest. Dann ergibt die Auswertung der Bedingung

```
#ifndef KONSTANTE
```

beim nächsten Mal `false`, da diese Konstante ja nunmehr definiert ist, und die inneren Anweisungen werden nicht mehr übersetzt:

```
#ifndef KONSTANTE
#define KONSTANTE
Code_der_Headerdatei
#endif
```

HINWEIS

Auch in den mitgelieferten Headerdateien Ihres Compilersystems ist der eigentliche Inhalt in der Regel auf die beschriebene Weise eingekreist. Wir hatten uns dieses Verfahrens in Abschnitt 25.1.3 »Wie man vermeidet, dass eine Klassendefinition mehrfach eingebunden wird« bereits bedient.

29 Zeiger

Zeigervariablen – oder kurz Zeiger genannt (englisch »pointer«) – sind spezielle Variablen, die die Adressen von anderen Datenobjekten aufnehmen können. Der Einsatz von Zeigern erlaubt es, Funktionen oder Methoden so einzurichten, dass diese die übergebenen Parameter des Aufrufers tatsächlich verändern. Des Weiteren – und dies kann in C++ als die Hauptaufgabe von Zeigern angesehen werden – ist es mithilfe von Zeigern möglich, Speicherplatz dynamisch – also zur Laufzeit – anzufordern. Bevor wir uns den eigentlichen Zeigern zuwenden, wollen wir zunächst auf den Adressoperator zu sprechen kommen.

29.1 Der Adressoperator (&)

Der Adressoperator `&` liefert die Adresse eines Datenobjekts in hexadezimaler Form zurück:

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main(void)
{
   long num;
   cout << &num;
   return 0;
}
```

Ausgabe: `0012FF7C`

Die Ausgabe wird natürlich von Fall zu Fall verschieden aussehen, je nachdem, an welcher Stelle Ihr Compiler Platz für die Variable `num` reserviert. Es sei daran erinnert, dass es sich bei der Adresse eines Datenobjekts jeweils um dessen Anfangsadresse handelt. Diese wird vom Adressoperator zurückgeliefert. Nach der Ausgabe des obigen Beispiels nimmt die Variable `num` im Arbeitsspeicher daher die Speicherstellen mit den Adressen `0012FF7C`, `0012FF7D`, `0012FF7E` und `0012FF7F` ein, da es sich ja um eine Variable des Datentyps `long` handelt, die stets 4 Bytes beansprucht.

Wie Sie wissen, steht der Name eines Arrays für dessen Adresse (siehe Abschnitt 20.2 »Arrays und Adressen«). Dabei handelt es sich um die Adresse der ersten Speicherzelle des Arrays und damit zugleich um die Anfangsadresse des ersten Elements. Daher geben bei dem Array

```
int arr[9];
```

die Ausdrücke

```
arr
```

und

```
&arr[0]
```

den gleichen Wert zurück, wie die Ausgabe des folgenden Beispiels beweist:

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main(void)
{
   int arr[9];
   cout << arr << endl;
   cout << &arr[0] << endl;
   return 0;
}
```

Ausgabe:

```
0012FF5C
0012FF5C
```

Natürlich lässt sich der Adressoperator auch auf benutzerdefinierte Datentypen anwenden:

```
#include <iostream>
#include <string>
using namespace std;

class Auto
{
private:
   int geschw;
   int leistung;
   string farbe;
   // …
public:
   // …
};

int main(void)
{
   Auto meinAuto;
   cout << &meinAuto;
   return 0;
}
```

Ausgabe: `0012FF5C`

29.2 Zeigervariablen deklarieren und verwenden

Wie eingangs erwähnt, ist eine Zeigervariable dazu gedacht, Adressen anderer Datenobjekte aufzunehmen. Allerdings trifft dies für einen bestimmten Zeiger jeweils nur auf bestimmte Adressen zu. Das heißt, ein konkreter Zeiger kann allein Adressen von Datenobjekten des Typs `int`,

der andere des Typs `double` usw. enthalten. Wobei natürlich auch komplexe Datentypen erlaubt sind. Der Datentyp einer Zeigervariablen richtet sich also nach dem Datentyp der Datenobjekte, deren Adressen er aufnehmen soll. Um eine Zeigervariable zu deklarieren, gibt man in gewohnter Weise den gewünschten Datentyp und zusätzlich ein Sternchen (*) an, um deutlich zu machen, dass es sich um eine Zeigervariable und nicht um eine gewöhnliche handeln soll. Mit der Anweisung

```
int *zgr;
```

vereinbart man also einen Zeiger mit dem Bezeichner `zgr`, der in der Lage ist, die Adressen von Integerdatenobjekten aufzunehmen. Das Sternchen muss dabei nicht notwendigerweise als Teil des Bezeichners geschrieben werden, sondern kann auch unmittelbar dem Datentyp folgen. Die Anweisungen

```
int * zgr;
```

oder

```
int* zgr;
```

sind daher gleichwertig. Auch die Form

```
int*zgr;
```

ist erlaubt, aber wegen der schlechteren Lesbarkeit nicht empfehlenswert.

Vorsicht ist jedoch geboten, wenn man mehrere Zeiger in einer Anweisung deklarieren möchte. So werden mit

```
int* zgr, p;
```

nicht etwa zwei Zeigervariablen `zgr` und `p` vereinbart, sondern eine Zeigervariable `zgr` und eine Integervariable `p`, was der Notation

```
int* zgr;
int p;
```

oder eben

```
int *zgr, p;
```

bzw.

```
int p, *zgr;
```

entspricht. Es ist also erforderlich, für jede Zeigervariable bei deren Deklaration das Sternchen anzugeben. Somit werden mit der Anweisung

```
int *zgr, *p;
```

tatsächlich zwei Zeiger `zgr` und `p` deklariert. Beachten Sie, dass der Name, mit dem die beiden Zeigervariablen im weiteren Code angesprochen werden, tatsächlich `zgr` bzw. `p` ist, nicht etwa `*zgr` bzw. `*p`. Das Sternchen, das im Zuge der Deklaration zu notieren ist, bezieht sich allein auf den Datentyp, ist also im weiteren Code wie der Typbezeichner nicht mehr anzugeben.

HINWEIS

Den Datentyp eines Zeigers bezeichnet man als »Zeiger auf …«. Beispielsweise ist der Datentyp der Variablen `zgr` »Zeiger auf `int`«, geschrieben `int*`.

Eine Anweisung wie

```
int *zeiger1, *zeiger2;
```

bedeutet also die Vereinbarung zweier Variablen mit den Bezeichnern `zeiger1` und `zeiger2`, deren Datentyp jeweils `int*` (»Zeiger auf `int`«) ist. In dieser Hinsicht ist ein Zeiger eine Variable wie jede andere auch, nur dass sie eben für die Aufnahme von Adressen vorgesehen ist. Vereinbart man beispielsweise mit

```
int zahl;
```

eine Variable vom Datentyp `int`, so kann, wie Ihnen mittlerweile bekannt ist, die Adresse dieser Variablen mit

```
&zahl
```

angegeben werden. Folglich lässt sich dem oben vereinbarten Zeiger `zgr` die Adresse der Variablen `zahl` wie folgt zuweisen:

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main(void)
{
   int zahl;
   int *zgr;
   zgr = &zahl;
   cout << zgr << endl;
   cout << &zahl << endl;
   return 0;
}
```

Ausgabe:

```
0012FF7C
0012FF7C
```

Wie an der Ausgabe zu erkennen ist, enthält die Zeigervariable `zgr` nach der Zuweisung die Adresse von `zahl`.

HINWEIS

Wenn eine Zeigervariable die Adresse eines anderen Datenobjekts enthält, sagt man, sie »zeigt« auf dieses Datenobjekt. Der Zeiger `zgr` zeigt somit nach der Zuweisung

```
zgr = &zahl;
```

auf die Variable `zahl`.

HINWEIS

Zur Verdeutlichung sind im obigen Listing der Zeiger `zgr` sowie die Integervariable `zahl` in einer jeweils eigenen Anweisung deklariert. Nach dem oben Gesagten hätte dies natürlich auch in einer einzigen Anweisung geschehen können:

```
int *zgr, zahl;
```

Natürlich ist es auch möglich, eine Zeigervariable bei deren Deklaration zu initialisieren:

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main(void)
{
   int zahl;
   int *zgr = &zahl;
   cout << zgr << endl;
   cout << &zahl << endl;
   return 0;
}
```

Ausgabe:

```
0012FF7C
0012FF7C
```

29.2.1 Wilde Zeiger

Betrachtet man folgendes Codestück, so fällt auf, dass der Zeiger `zgr` nach Verlassen des inneren Blocks auf ein Datenobjekt verweist, das nicht mehr existent ist. Der für die Variable `a` vom Programm reservierte Speicherbereich wird ja an dieser Stelle wieder freigegeben:

```
{
   int *zgr ;
   {
      int a;
      zgr = &a;
   }
   // …
}
```

Nichtsdestoweniger behält die Zeigervariable `zgr` ihre Gültigkeit. Sie ist ja im äußeren Block deklariert. Nur dass es sich bei dem Wert, den sie nach dem Ende des inneren Blocks enthält, um die Adresse eines nicht bzw. nicht mehr reservierten Speicherbereichs handelt. Dies kann auf jeden Fall dann zu Problemen führen, wenn an dieser Stelle im weiteren Verlauf Daten eines anderen Typs gespeichert werden, sei es vom eigenen Programm oder von anderen Programmen. In so einem Fall spricht man

von ungerichteten bzw. von wilden Zeigern. Deren Auftreten sollte man in seinen Programmen tunlichst vermeiden. Dazu stellt C++ einen wohldefinierten Wert für Zeiger zur Verfügung, der mit

```
0
```

oder der symbolischen Konstanten

```
NULL
```

dargestellt wird. Dem Leser sei empfohlen, die letztgenannte Variante vorzuziehen, um im Code deutlich zu machen, dass es sich um einen Zeiger handelt:

```
{
   int *zgr ;
   {
      int a;
      zgr = &a;
   }
   zgr = NULL;
   // …
}
```

TIPP

Um Komplikationen von vornherein zu vermeiden, sollten Sie in Ihren Programmen dafür sorgen, dass Zeigervariablen an jeder Stelle im Code einen wohldefinierten Wert besitzen.

29.2.2 Dereferenzierung von Zeigern

Eine Variable, auf die ein Zeiger verweist (zeigt), kann auch über diesen Zeiger angesprochen werden, indem man diesen *dereferenziert*. Dadurch greift man auf den *Inhalt* einer Variablen zu. Dazu dient der Dereferenzierungsoperator, der durch ein Sternchen (*) dargestellt wird und der dem entsprechenden Bezeichner für eine Zeigervariable vorangestellt wird.

Um – bezogen auf obiges Beispiel – die Variable `zahl` anzusprechen, kann natürlich nach wie vor per

```
zahl
```

zugegriffen werden, aber auch über den Zeiger `zgr` mit

```
*zgr
```

HINWEIS

Der Dereferenzierungsoperator hat das gleiche Symbol wie das Zeichen, das bei der Deklaration eines Zeigers angegeben wird, nämlich das Sternchen (*). Dennoch handelt es sich hierbei um zwei völlig verschiedene Dinge. Was jeweils gemeint ist, erkennt der Compiler am Kontext.

Um also der Variablen `zahl` z.B. den Wert `23` zuzuweisen, könnte man

```
zahl = 23;
```

oder eben

```
*zgr = 23;
```

schreiben:

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main(void)
{
   int zahl;
   int *zgr = &zahl;
   *zgr = 23;
   cout << *zgr << endl;
   cout << zahl << endl;
   return 0;
}
```

Ausgabe:

```
23
23
```

Das Gleiche gilt natürlich, wenn man eine Benutzereingabe in der Variablen `zahl` speichern möchte. Dies lässt sich ebenfalls mit

```
cin >> zahl;
```

oder mit

```
cin >> *zgr;
```

erreichen, indem man die Variable `zahl` über den Zeiger anspricht. Ein dereferenzierter Zeiger kann also auf die gleiche Weise verwendet werden wie der Bezeichner einer Variablen, deren Adresse er enthält.

Natürlich kann sich der Wert eines Zeigers – wie das bei allen Variablen der Fall ist – im weiteren Code auch ändern:

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main(void)
{
   double z1 = -171.5, z2 = 99.89;
   double *zeig = &z1;
   cout << *zeig << endl;
   zeig = &z2;
   cout << *zeig << endl;
   return 0;
}
```

Ausgabe:

```
-171.5
99.89
```

29.2.3 Konstante Zeiger

Allerdings ist es auch möglich, konstante Zeiger zu vereinbaren. Diese dürfen ihren Wert im weiteren Verlauf nicht mehr ändern. Dazu ist bei der Deklaration das Schlüsselwort `const` anzugeben. Außerdem muss ein konstanter Zeiger initialisiert werden:

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main(void)
{
   int zahl = 15;
   int * const intPointer = &zahl;
   cout << *intPointer;
   return 0;
}
```

Ausgabe: `15`

HINWEIS

Zu `const` siehe Abschnitt 13.4 »Konstanten mit const deklarieren«.

HINWEIS

Als Bezeichner für Zeiger werden häufig `z`, `zgr`, `zeig`, `zeiger`, `p` und `pointer` verwendet. Mitunter stellt man auch ein Kürzel voran, um auf den Datentyp hinzuweisen:

`intZgr` bzw. `iZgr`

`dPointer`

`doubleZeig`

usw. Es steht Ihnen grundsätzlich frei, wie Sie das in Ihren Programmen halten wollen. Sinnvoll kann es aber sein, eine einmal eingeführte Konvention beizubehalten.

Der Versuch, dem konstanten Zeiger `intPointer` im weiteren Code die Adresse eines anderen Datenobjekts zuzuweisen, würde nun eine Fehlermeldung nach sich ziehen:

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main(void)
{
   int zahl = 15, nummer = 9;
   int * const intPointer = &zahl;
   cout << *intPointer;
   intPointer = &nummer;  // FEHLER
   return 0;
}
```

Es sei darauf hingewiesen, dass es für die Vereinbarung von `intPointer` nicht von Bedeutung ist, ob `zahl` an dieser Stelle einen definierten Wert besitzt oder nicht. Auch darf sich der Wert der Variablen `zahl`, auf die `intPointer` zeigt, sehr wohl ändern. Diese ist ja nicht konstant.

HINWEIS

Anders verhält es sich natürlich, wenn man `zahl` ebenfalls mit `const` vereinbart.

Beachten Sie, dass das Schlüsselwort `const` – wie im obigen Listing – unmittelbar vor dem Bezeichner stehen muss, um einen konstanten Zeiger zu vereinbaren:

```
double * const p = &betrag;
```

Entsprechend würde man mit

```
int * const p = &num, * const zeig = &zahl;
```

zwei konstante Zeiger `p` und `zeig` vereinbaren, deren Werte – die Adressen der Variablen `num` bzw. `zahl` – sich im weiteren Verlauf nicht ändern dürfen.

HINWEIS

Verwendet man das Schlüsselwort `const` dagegen wie gewohnt vor dem Datentypbezeichner, so bedeutet dies, dass der Inhalt einer Variablen, auf die der Zeiger zeigt, nicht über den Zeiger geändert werden kann:

```
#include <iostream>
using namespace std;
using namespace std;
int main(void)
{
   double z = 8.98;
   const double *zgr = &z;
   cout << *zgr;  // Ausgabe: 8.98
   z = 100.0;  // OK
   cout << *zgr;  // Ausgabe: 100
   *zgr = 555;  // FEHLER
   return 0;
}
```

Die Anweisung

```
*zgr = 555;
```

ist fehlerhaft, da die Variable `z`, wie gesagt, nicht über den Zeiger `zgr` geändert werden darf. Andererseits ist es möglich, `zgr` im weiteren Code die Adressen anderer Variablen des Typs `double` zuzuweisen (in diesem Sinne wäre es prinzipiell auch nicht zwingend notwendig gewesen, `zgr` in der Deklarationsanweisung mit der Adresse von `z` zu initialisieren). Im Übrigen würde man mit

```
const int * const zgr = &zahl;
```

einen konstanten Zeiger vereinbaren, über den der Wert der Variablen `zahl` nicht verändert werden darf.

29.2.4 Elementzugriff über Zeiger

Wie bereits erwähnt, sind die möglichen Datentypen von Zeigern nicht etwa auf die elementaren beschränkt. Grundsätzlich können Zeiger jeden beliebigen Datentyps vereinbart werden:

```
#include <iostream>
#include <string>
using namespace std;

class Mitarbeiter
{
public:
   string vorname;
   string nachname;
   int gehalt;
   // …
};

int main(void)
{
   Mitarbeiter Mueller, Meier;
   Mitarbeiter *zgrMit;
   zgrMit = &Meier;
   return 0;
}
```

HINWEIS

Der Einfachheit halber werden wir in den folgenden Beispielen dieses Kapitels alle Elemente einer Klasse als `public` spezifizieren.

Mit der Zuweisung

```
zgrMit = &Meier;
```

erhält der Zeiger `zgrMit` die Adresse des `Mitarbeiter`-Objekts `Meier`. Somit ist beispielsweise eine Zuweisung

```
Mueller = *zgrMit;
```

möglich, die die Werte der Instanz `Meier` elementweise in die von `Mueller` kopiert. Umgekehrt würde die Anweisung

```
*zgrMit = Mueller;
```

die Werte von `Mueller` in die Instanz `Meier` kopieren. Beides, da mit

```
*zgrMit
```

das Objekt `Meier` angesprochen wird.

Um jedoch über die Zeigervariable `zgrMit` beispielsweise auf das Attribut `gehalt` von `Meier` zuzugreifen, ist neben der Dereferenzierung des Weiteren der Elementzugriff notwendig. Es handelt sich also um zwei Operationen, die in der genannten Reihenfolge durchzuführen sind:

```
(*zgrMit).gehalt = 3500;
```

Mit obiger Anweisung wird dem Attribut `gehalt` der Instanz `Meier` über den Zeiger `zgrMit` der Wert `3500` zugewiesen. Die Klammerung ist erforderlich, da der Dereferenzierungsoperator (Prioritätsstufe 15) eine niedrigere Priorität als der Punktoperator (Prioritätsstufe 16) hat. Andernfalls würde die Reihenfolge der Operationen

```
*(zgrMit.gehalt) = 3500;
```

entsprechen, was nicht interpretierbar ist, da eine Adresse – hier `zgrMit` – ja keine Datenelemente besitzt.

Alternativ stellt C++ den Operator `->` (Pfeiloperator) zur Verfügung, der beide Operationen – Dereferenzierung und Elementzugriff – in einem symbolisiert, sodass die Anweisungen

```
(*zgrMit).gehalt = 3500;
```

bzw.

```
zgrMit->gehalt = 3500;
```

gleichwertig sind:

```
#include <iostream>
#include <string>
using namespace std;

class Mitarbeiter
{
public:
   string vorname;
   string nachname;
   int gehalt;
   // …
};

int main(void)
{
   Mitarbeiter Mueller, Meier;
   Mitarbeiter *zgrMit;
   zgrMit = &Meier;
   zgrMit->vorname = "Hans";
   zgrMit->nachname = "Meier";
   zgrMit->gehalt = 3500;
   cout << "Gehalt von " << zgrMit->vorname << ' '
        << zgrMit->nachname << ": " << zgrMit->gehalt;
   return 0;
}
```

Ausgabe:

```
Gehalt von Hans Meier: 3500
```

29.3 Zeiger als Parameter von Funktionen

Wenn man möchte, dass Funktionen tatsächlich Veränderungen an Variablen der aufrufenden Umgebung durchführen, kann man als formale Parameter Zeiger definieren. Der Funktion sind dann beim Aufruf die Adressen der entsprechenden Variablen zu übergeben, wodurch diese der Funktion bekannt gemacht werden.

HINWEIS

Was hier und im Folgenden über Funktionen gesagt wird, gilt natürlich in gleicher Weise für Methoden. Auch muss es sich bei den Parametern nicht notwendig um Zeiger auf elementare Datentypen handeln. Methoden wie Funktionen lassen sich selbstverständlich auch so einrichten, dass diese beim Aufruf die Adresse von Klassenobjekten erhalten.

So lässt sich eine Funktion `tausch()` einrichten, die das in Abschnitt 11.5 »Dreieckstausch« gezeigte Verfahren mit dem Ergebnis durchführt, dass die Werte zweier Variablen der aufrufenden Umgebung vertauscht werden:

```
void tausch(double *a, double *b)
{
   double tmp;
   tmp = *a;
   *a = *b;
   *b = tmp;
}
```

Der Funktion sind beim Aufruf die Adressen zweier `double`-Variablen zu übergeben, deren Werte miteinander vertauscht werden:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void tausch(double *a, double *b)
{
   double tmp;
   tmp = *a;
   *a = *b;
   *b = tmp;
}

void main(void)
{
   double zahl1 = -876.9, zahl2 = 45.7;
   cout << "Vor dem Tausch:" << endl;
   cout << "Wert von zahl1: " << zahl1 << endl;
   cout << "Wert von zahl2: " << zahl2 << endl;
   tausch(&zahl1, &zahl2);
   cout << "Nach dem Tausch:" << endl;
   cout << "Wert von zahl1: " << zahl1 << endl;
   cout << "Wert von zahl2: " << zahl2 << endl;
}
```

Ausgabe:

```
Vor dem Tausch:
Wert von zahl1: -876.9
Wert von zahl2: 45.7
Nach dem Tausch:
Wert von zahl1: 45.7
Wert von zahl2: -876.9
```

Wie an der Ausgabe zu sehen ist, wurden die Variablen `zahl1` und `zahl2` von der Funktion `tausch()` verändert. Die gezeigte Art der Parameterübergabe wird *call by reference* genannt.

HINWEIS

Zu call by value siehe Abschnitt 21.3.1 »Wertübergabe«.

HINWEIS

Es sei daran erinnert, dass wir in Abschnitt 21.3.2 »Arrays an Funktionen übergeben« und in Kapitel 22 »Eine Funktionsbibliothek« bereits Zeiger als Funktionsparameter verwendet haben, um Arrays in Funktionen bekannt zu machen.

29.4 Zeiger als Klassenelemente

Mithilfe von Zeigerattributen ist es möglich, mehrere Klassenobjekte miteinander zu verketten:

```
#include <iostream>
using namespace std;

class Rechteck
{
public:
   int Laenge;
   int Breite;
   Rechteck *RePointer;
   Rechteck()
   {RePointer = NULL;}
   int getFlaeche()
   {return Laenge * Breite;}
};

int main(void)
{
   Rechteck Erstes, Zweites, Drittes;
   Rechteck *ReAnfang = &Erstes;
   Drittes.Laenge = 20;
   Drittes.Breite = 15;
   Erstes.RePointer = &Zweites;
   Zweites.RePointer = &Drittes;
   return 0;
}
```

Mit den Anweisungen

```
Erstes.RePointer = &Zweites;
Zweites.RePointer = &Drittes;
```

wurden die drei Rechtecke des Programms praktisch aneinander gehängt: Das erste Rechteck – bzw. dessen Attribut `RePointer` – zeigt auf das zweite und das zweite in gleicher Weise auf das dritte.

HINWEIS

Wenn Klassenobjekte in dieser Form miteinander verkettet sind, spricht man von linearen Listen.

Nach

```
Rechteck *ReAnfang = &Erstes;
```

steht mit `ReAnfang` zudem ein Zeiger auf den Anfang der Liste zur Verfügung. Mit diesem Anfangszeiger können nun alle in der Liste vorkommenden Elemente angesprochen werden. So lässt sich etwa der Zugriff auf die Methode `getFlaeche()` des dritten Elements mit dem Zeiger `ReAnfang` per

```
ReAnfang->RePointer->RePointer->getFlaeche();
```

durchführen.

```
#include <iostream>
using namespace std;

class Rechteck
{
public:
   int Laenge;
   int Breite;
   Rechteck *RePointer;
   Rechteck()
   {RePointer = NULL;}
   int getFlaeche()
   {return Laenge * Breite;}
};
int main(void)
{
   Rechteck Erstes, Zweites, Drittes;
   Rechteck *ReAnfang = &Erstes;
   Drittes.Laenge = 20;
   Drittes.Breite = 15;
   Erstes.RePointer = &Zweites;
   Zweites.RePointer = &Drittes;
   cout << "Fl\x84" << "che des dritten Rechtecks: "
        << ReAnfang->RePointer->RePointer->getFlaeche();
   return 0;
}
```

Ausgabe:

```
Fläche des dritten Rechtecks: 300
```

Da `ReAnfang` auf das erste Rechteck zeigt, bedeutet

```
ReAnfang->RePointer
```

den Zugriff auf dessen Zeigerattribut und

```
ReAnfang->RePointer->RePointer
```

den Zugriff auf das Zeigerattribut des zweiten Rechtecks. Dieses dereferenziert zeigt auf das dritte `Rechteck`-Objekt mit Auswahl des Elements `getFlaeche()`.

```
ReAnfang->RePointer->RePointer->getFlaeche()
```

So viel nur zur Demonstration. Natürlich ist der Zugriff im Beispiel mit

```
Drittes.getFlaeche()
```

nahe liegender. Lineare Listen spielen vor allem dann eine Rolle, wenn es darum geht, eine Vielzahl von Klassenobjekten, die mit dem `new`-Operator zur Laufzeit instanziert werden, zu verwalten (zur dynamischen Speicherreservierung siehe Abschnitt 29.6 »Speicherplatz dynamisch anfordern«) – etwa bei einem Kundenverwaltungsprogramm, wenn man dem Benutzer die Entscheidung überlässt, einen neuen Kunden anzulegen.

HINWEIS

In diesem Fall wird das neu instanzierte Objekt im Programm an den Anfang der linearen Liste gehängt.

29.5 Der this-Zeiger von Methoden

Jede nicht statische Methode verfügt über einen zusätzlichen Parameter, der ihr beim Aufruf automatisch übergeben wird, den `this`-Zeiger. Dabei handelt es sich um einen konstanten Zeiger mit diesem Namen, der auf das Objekt zeigt, für das die Methode aufgerufen wird.

Hierzu ein Beispiel. In einer Klasse `Mitarbeiter` soll eine Methode definiert werden, die das Gehalt eines Mitarbeiters um 10 Prozent erhöht:

```
#include <iostream>
using namespace std;

class Mitarbeiter
{
public:
   double gehalt;
   // …
   Mitarbeiter()
   {gehalt = 2500.0;}
   void mehrGehalt()
   {gehalt += gehalt * 0.1;}
   // …
};
```

```
int main(void)
{
   Mitarbeiter Duck;
   cout << "Gehalt von Duck: " << Duck.gehalt << endl;

   Duck.mehrGehalt();
   cout << "Gehalt von Duck: " << Duck.gehalt << endl;
   return 0;
}
```

Ausgabe:

```
Gehalt von Duck: 2500
Gehalt von Duck: 2750
```

Um nun wiederholte Aufrufe der Methode `mehrGehalt()` in der Form

```
Duck.mehrGehalt()->mehrGehalt()->mehrGehalt()
```

zu ermöglichen, kann die Methode so eingerichtet werden, dass diese einen Zeiger auf das aktuelle Objekt übermittelt. Dies lässt sich erreichen, indem man aus der Methode einfach den `this`-Zeiger zurückgibt:

```
#include <iostream>
using namespace std;

class Mitarbeiter
{
public:
   double gehalt;
   // …
   Mitarbeiter()
   {gehalt = 2500.0;}
   Mitarbeiter* mehrGehalt()
   {
      gehalt += gehalt * 0.1;
      return this;
   }
   // …
};

int main(void)
{
   Mitarbeiter Duck;
   cout << "Gehalt von Duck: " << Duck.gehalt << endl;
   Duck.mehrGehalt()->mehrGehalt()->mehrGehalt();
   cout << "Gehalt von Duck: " << Duck.gehalt << endl;
   return 0;
}
```

Ausgabe:

```
Gehalt von Duck: 2500
Gehalt von Duck: 3327.5
```

HINWEIS

Will man beispielsweise innerhalb einer Methode das aktuelle Objekt als Ganzes ansprechen, so dereferenziert man den `this`-Zeiger einfach:

```
*this
```

29.6 Speicherplatz dynamisch anfordern

Wie Ihnen bereits bekannt ist, werden Datenobjekte in verschiedenen Bereichen des Arbeitsspeichers verwaltet: nicht statische lokale Variablen auf dem Stack und Variablen der Speicherklasse `static` in einem globalen Namensbereich (siehe Abschnitt 21.8 »Globale Variablen«). Ein weiterer Bereich, der so genannte »Heap«, steht für die Reservierung von Speicher zur Verfügung, der von Programmen zur Laufzeit angefordert wird.

Zur dynamischen Speicherverwaltung können im Code die Operatoren `new` und `delete` verwendet werden.

HINWEIS

Die Anforderung von Speicher im Programm wird auch »Allokation« genannt.

Mit `new` alloziert man Speicher für ein Datenobjekt, mit `delete` gibt man diesen wieder frei. Beispielsweise fordert man mit

```
new int;
```

Platz für eine Integervariable an. Es ist allerdings nicht empfehlenswert, dies in dieser Form zu tun, da der mit obiger Anweisung reservierte Speicherbereich im weiteren Code nicht mehr angesprochen werden kann. Tatsächlich sind Objekte auf dem Heap namenlos. Ihre Verwaltung erfolgt ausschließlich über Adressen. Nun ist es so, dass der `new`-Operator die Adresse des angelegten Datenobjekts zurückgibt. Um dieses im weiteren Verlauf ansprechen zu können, ist es also erforderlich, den Rückgabewert von `new` in einem Zeiger festzuhalten:

```
int *intPointer;
intPointer = new int;
```

oder in einer Anweisung:

```
int *intPointer = new int;
```

Im Weiteren kann nun die Variable auf dem Heap mithilfe des – dereferenzierten – Zeigers `intPointer` angesprochen werden:

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main(void)
{
   int *intPointer = new int;
   *intPointer = 40;
   cout << *intPointer;
   return 0;
}
```

Ausgabe: 40

Will man den Zeiger wieder löschen, also den reservierten Speicherbereich wieder freigeben, so wendet man den Operator delete auf den Zeiger an:

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main(void)
{
   int *intPointer = new int;
   *intPointer = 40;
   cout << *intPointer;
   delete intPointer;
   intPointer = NULL;
   return 0;
}
```

Ausgabe: 40

Beachten Sie, dass mit der Anweisung

```
delete intPointer;
```

allein der zuvor allozierte Speicher, nicht jedoch der Zeiger intPointer gelöscht wird. Dieser besitzt nach wie vor Gültigkeit.

HINWEIS

Die Zeigervariable intPointer selbst wird ja auf dem Stack verwaltet, besitzt also die Speicherklasse auto, während die namenlose, mit new angeforderte Integervariable, auf die der Zeiger nach der Zuweisung

```
int *intPointer = new int;
```

verweist, auf dem Heap angelegt wird.

Die Anweisung

```
intPointer = NULL;
```

dient dazu, dem Zeiger einen wohldefinierten Wert zu geben. Ansonsten würde es sich um einen wilden Zeiger handeln (siehe Abschnitt 29.2.1 »Wilde Zeiger«).

Es sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass bei dynamischer Allokation von Speicher der Programmierer die Verantwortung dafür trägt, dass dieser auch wieder freigegeben wird. Lässt man also im obigen Beispiel die delete-Anweisung weg, so bleibt der zuvor mit

```
new int
```

angeforderte Bereich auch nach dem Ende der Programmausführung belegt, sodass er von anderen Programmen nicht mehr genutzt werden kann (freigegeben wird er dann erst mit einem Neustart des Computers).

Falls auf dem Heap nicht genügend Speicher zur Verfügung steht, schlägt die dynamische Speicheranforderung fehl. In diesem Fall gibt der `new`-Operator den Wert `NULL` zurück. Um also im Programm festzustellen, ob die Allokation erfolgreich war, kann der entsprechende Zeiger auf diesen Wert geprüft werden:

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main(void)
{
   double *dp = new double;
   if (dp == NULL)
      return -1;
   else
   {
      cin >> *dp;
      cout << *dp;
      delete dp;
      dp = NULL;
   }
   return 0;
}
```

29.6.1 Arrays dynamisch allozieren

Wenn man auf dem Heap Platz für ein Array anfordert, geschieht dies in der entsprechenden Weise, nur dass wie gewöhnlich die Elementzahl des Arrays anzugeben ist:

```
int *ip;
ip = new int[7];
```

Mit obiger Anweisung wird ein Array aus sieben Elementen erzeugt, dessen Adresse dem Zeiger `ip` zugewiesen wird. Mit diesem kann nun der Zugriff auf die einzelnen Arrayelemente erfolgen:

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main(void)
{
   int *ip = new int[7];
   int i;
   for (i = 0; i < 7; i++)
      ip[i] = i * i;
   for (i = 0; i < 7; i++)
      cout << ip[i] << ' ';
   return 0;
}
```

Ausgabe: `0 1 4 9 16 25 36`

Beachten Sie, dass der Operator `[]` – ähnlich dem Operator `->` bezüglich der Elemente von Klassenobjekten – Elementauswahl und Dereferenzierung in einem darstellt. So bedeutet, bezogen auf obiges Beispiel, ein Ausdruck wie

```
ip[5]
```

»Gehe an die Speicherstelle `ip`, dann 5 * 4 Bytes weiter und greife auf den dortigen Inhalt zu!«

Um den für ein Array dynamisch reservierten Speicherbereich wieder freizugeben, ist wiederum der `delete`-Operator zu verwenden – mit Angabe von `[]`, um deutlich zu machen, dass es sich um ein Array handelt:

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main(void)
{
   int *ip = new int[7];
   int i;
   for (i = 0; i < 7; i++)
      ip[i] = i * i;
   for (i = 0; i < 7; i++)
      cout << ip[i] << ' ';
   delete[] ip;
   ip = NULL;
   return 0;
}
```

Ausgabe: `0 1 4 9 16 25 36`

Anders als bei Arrays, die auf dem Stack verwaltet werden, muss es sich bei der in eckigen Klammern anzugebenden Elementzahl von dynamisch angeforderten Arrays nicht um einen konstanten Wert handeln:

```
#include <iostream>
#include <string>
using namespace std;

class Kunde
{
public:
   string vorname;
   string name;
   int kundennr;
   // …
};
```

```
int main(void)
{
   int anzahl;
   cout << "Wie viele Kunden wollen Sie anlegen? ";
   cin >> anzahl;
   Kunde *MaPointer = new Kunde[anzahl];
   // …
   delete[] MaPointer;
   MaPointer = NULL;
   return 0;
}
```

Im obigen Beispiel wird zur Angabe der Elementzahl des mit `new` erzeugten Arrays die Variable `anzahl` verwendet.

HINWEIS

Es sei daran erinnert, dass nach

```
int anzahl;
```

der Versuch, ein Array `arr` mit

```
int arr[anzahl];  // FEHLER
```

zu vereinbaren, eine Fehlermeldung zur Folge haben würde (siehe Abschnitt 19.1 »Deklaration von Arrays«).

29.6.2 Destruktoren sorgen für die Aufräumarbeiten

Wie an anderer Stelle bereits angedeutet, ist es die vornehmliche Aufgabe eines Destruktors, dynamisch angeforderten Speicher wieder freizugeben, wenn ein Klassenobjekt seine Gültigkeit verliert (siehe Abschnitt 25.3 »Konstruktoren und Destruktoren«).

Als Beispiel soll uns die `Bank`-Klasse im Programm des Abschnitts 27.2.1 »Programm zum Verwalten von (Entenhausener) Bankkunden« dienen, in der ein Array von zehn Bankkunden angelegt wird:

```
class Bankkunde
{
   // …
};
class Bank
{
public:
   Bankkunde Kunden[10];
   // …
};
```

Die `Bank`-Klasse soll nun so geändert werden, dass diese lediglich einen Zeiger auf `Bankkunde` enthält. Außerdem wird ein Konstruktor definiert, in dem die eigentlichen `Bankkunde`-Objekte dynamisch alloziert werden:

```
class Bankkunde
{
   // …
};
class Bank
{
public:
   Bankkunde *Kunden;
   Bank()
   {
      Kunden = new Bankkunde[10];
   }
   // …
};
```

Instanziert man nun ein `Bank`-Objekt wie folgt

```
Bank Entenhausener;
```

wird ebenfalls ein Array aus zehn Elementen des Typs `Bankkunde` erzeugt, allerdings auf dem Heap. Das bedeutet, dass der mit

```
new Bankkunde[10]
```

allozierte Speicherbereich nicht automatisch gelöscht wird, wenn das Objekt `Entenhausener` seine Gültigkeit verliert, wohl aber der Zeiger `Kunden`. Dieser wurde ja auf dem Stack angelegt.

Hier ist nun die Destruktormethode gefragt. Da diese für jedes Klassenobjekt bei dessen Erlöschen automatisch ausgeführt wird, bietet es sich an, die notwendigen Aufräumarbeiten dort zu erledigen:

```
class Bankkunde
{
   // …
};
class Bank
{
public:
   Bankkunde *Kunden;
   Bank()
   {
      Kunden = new Bankkunde[10];
   }
   ~Bank()
   {
      delete[] Kunden;
   }
   // …
};
```

HINWEIS

Zur Definition von Destruktoren siehe Abschnitt 25.3 »Konstruktoren und Destruktoren«.

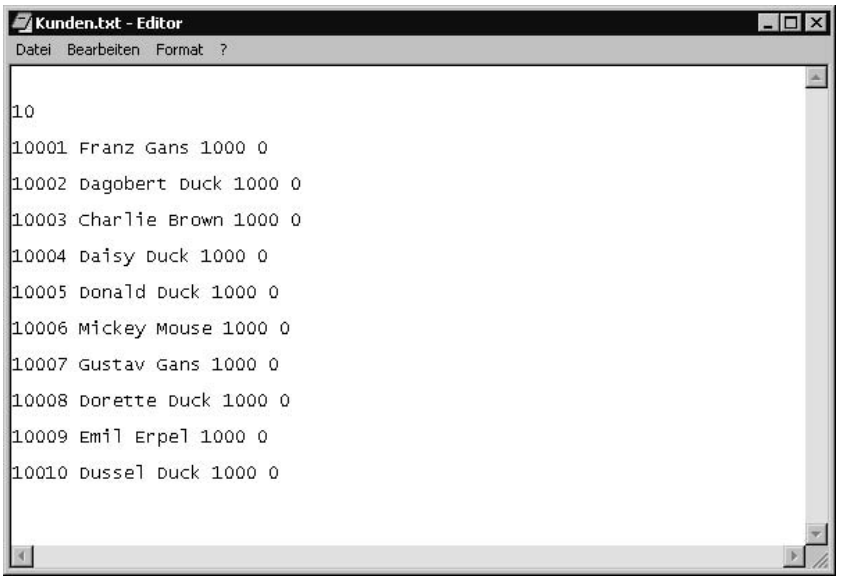
Wenn nun ein `Bank`-Objekt seine Gültigkeit verliert, sorgt der Destruktor dafür, dass der Speicherbereich, auf den der Zeiger `Kunden` verweist, freigegeben wird. Dies geschieht gerade noch rechtzeitig, da `Kunden` unmittelbar danach ja nicht mehr zur Verfügung steht.

HINWEIS

Versäumt man es, dynamisch angeforderten Speicher freizugeben, solange dieser noch ansprechbar ist, so entstehen so genannte Speicherleichen. Womit ein Speicherbereich gemeint ist, der nicht mehr freigegeben werden kann, da eben kein Zeiger darauf verweist.

Bezüglich des Programms aus Abschnitt 27.2.1 lässt sich nun der Umstand ausnutzen, dass das Instanzieren der Bankkunden dynamisch erfolgt. So kann die Anzahl der Kunden vom Programm eingelesen werden, indem man einen entsprechenden Wert in die zugehörige Textdatei schreibt (siehe Abbildung 29.1, der erste Wert gibt Auskunft über die Anzahl der Bankkunden).

Bild 29.1: Textdatei *Kunden.txt*



Für den Fall, dass also Kunden hinzukommen oder wegfallen, muss in der Textdatei nur die erste Zahl von Hand geändert werden, um dies im Programm zu berücksichtigen.

HINWEIS

Außerdem müssen natürlich die Anfangsdaten des neuen Kunden editiert bzw. die Daten eines nicht mehr vorhandenen Kunden gelöscht werden.

Um das Programm dementsprechend einzurichten, ist es sinnvoll, das Einlesen der Kunden im Konstruktor der `Bank`-Klasse durchzuführen. Dies lässt sich einfach dadurch erreichen, dass man die Methode `KundenEinlesen()` dort aufruft, wobei das Instanzieren der `Bankkunde`-Objekte in dieser Methode stattfinden soll. Damit die Anzahl der Kunden auch den Methoden `KundenInDatei()` und `KundeSuchen()` zur Verfügung steht, soll die Klasse mit einem entsprechenden Attribut versehen werden. Dieses wird für den Zugriff von außerhalb der Klasse nicht gebraucht und kann daher ohne zusätzlichen Aufwand als `private` spezifiziert werden. Außerdem muss in der Methode `KundenInDatei()` dafür gesorgt werden, dass der Wert für die Kundenzahl für den nächsten Programmlauf wieder in die Textdatei geschrieben wird:

```
class Bank
{
private:
   int Anzahl;
public:
   Bankkunde *Kunden;
   Bank() {KundenEinlesen();}
   ~Bank() {delete[] Kunden;}
   int KundeSuchen(int nr);
   // …
   void KundenEinlesen();
   void KundenInDatei();
};
int Bank::KundeSuchen(int nr)
// Rueckgabewert ist -1, falls Konto nicht vorhanden,
// ansonsten der Index des Kunden
{
   for (int i = 0; i < Anzahl; i++)
   {
      if (Kunden[i].getKontonr() == nr)
         return i;
   }
   return -1;
}
// …
void Bank::KundenEinlesen()
{
   int hilf;
   string name;
   double help;
   ifstream lesen("Kunden.txt");
   lesen >> Anzahl;
   Kunden = new Bankkunde[Anzahl];
   for (int i = 0; i < Anzahl; i++)
   {
      lesen >> hilf; Kunden[i].setKontonr(hilf);
      lesen >> name; Kunden[i].setVorname(name);
      lesen >> name; Kunden[i].setNachname(name);
```

```
      lesen >> help; Kunden[i].setLimit(help);
      lesen >> help; Kunden[i].setKontostand(help);
   }
   lesen.close();
}
void Bank::KundenInDatei()
{
   int hilf;
   string name;
   double help;
   ofstream schreiben("Kunden.txt");
   schreiben << endl << endl << Anzahl;
   for (int i = 0; i < Anzahl; i++)
   {
      hilf = Kunden[i].getKontonr();
      schreiben << endl << endl << hilf << ' ';
      name = Kunden[i].getVorname();
      schreiben << name << ' ';
      name = Kunden[i].getNachname();
      schreiben << name << ' ';
      help = Kunden[i].getLimit();
      schreiben << help << ' ';
      help = Kunden[i].getKontostand();
      schreiben << help;
   }
   schreiben.close();
}
```

Hier das vollständige Listing:

```
#include <iostream>
#include <fstream>
#include <string>
#include <iomanip>
using namespace std;

class Bankkunde
{
private:
   string vorname;
   string nachname;
   int kto_nr;
   double kto_stand;
   double limit;
public:
   Bankkunde() {}
   void setVorname(string v)
   {vorname = v;}
   string getVorname()
   {return vorname;}
   void setNachname(string n)
```

```
   {nachname = n;}
   string getNachname()
   {return nachname;}
   void setKontonr(int nr)
   {kto_nr = nr;}
   int getKontonr()
   {return kto_nr;}
   void setKontostand(double betrag)
   {kto_stand = betrag;}
   double getKontostand()
   {return kto_stand;}
   void setLimit(double l);
   double getLimit()
   {return limit;}
   void einzahlen(double betrag);
   int auszahlen(double betrag);
};  // end class Bankkunde
void Bankkunde::setLimit(double l)
{
   if (l >= 0)
      limit = l;
}
void Bankkunde::einzahlen(double betrag)
{
   if (betrag > 0)
      kto_stand += betrag;
}
int Bankkunde::auszahlen(double betrag)
{
   if (betrag <= 0)
      return 2;  // negativer Auszahlungsbetrag
   if (kto_stand -betrag >= -limit)
   {
      kto_stand -= betrag;
      return 0;  // Auszahlung ist erfolgt
   }
   else
      return 1;  // Auszahlung nicht moeglich
}

class Bank
{
private:
   int Anzahl;
public:
   Bankkunde *Kunden;
   Bank() {KundenEinlesen();}
   ~Bank() {delete[] Kunden;}
   int KundeSuchen(int nr);
   int ueberweisen(int auftr, int empf, double betrag);
```

```
   void KundenEinlesen();
   void KundenInDatei();
};  // end class Bank
int Bank::KundeSuchen(int nr)
// Rueckgabewert ist -1, falls Konto nicht vorhanden,
// ansonsten der Index des Kunden
{
   for (int i = 0; i < Anzahl; i++)
   {
      if (Kunden[i].getKontonr() == nr)
         return i;
   }
   return -1;
}
int Bank::ueberweisen(int auftr, int empf, double betrag)
{
   if (betrag <= 0)
      return -1;  // Programmierfehler
   if (Kunden[auftr].auszahlen(betrag) == 0) {
      Kunden[empf].einzahlen(betrag);
      return 0;  // Ueberweisung ausgefuehrt
   }
   else
      return 1;  // Konto nicht gedeckt
}
void Bank::KundenEinlesen()
{
   int hilf;
   string name;
   double help;
   ifstream lesen("Kunden.txt");
   lesen >> Anzahl;
   Kunden = new Bankkunde[Anzahl];
   for (int i = 0; i < Anzahl; i++)
   {
      lesen >> hilf; Kunden[i].setKontonr(hilf);
      lesen >> name; Kunden[i].setVorname(name);
      lesen >> name; Kunden[i].setNachname(name);
      lesen >> help; Kunden[i].setLimit(help);
      lesen >> help; Kunden[i].setKontostand(help);
   }
   lesen.close();
}
void Bank::KundenInDatei()
{
   int hilf;
   string name;
   double help;
   ofstream schreiben("Kunden.txt");
   schreiben << endl << endl << Anzahl;
```

```
   for (int i = 0; i < Anzahl; i++)
   {
      hilf = Kunden[i].getKontonr();
      schreiben << endl << endl << hilf << ' ';
      name = Kunden[i].getVorname();
      schreiben << name << ' ';
      name = Kunden[i].getNachname();
      schreiben << name << ' ';
      help = Kunden[i].getLimit();
      schreiben << help << ' ';
      help = Kunden[i].getKontostand();
      schreiben << help;
   }
   schreiben.close();
}

int main(void)
{
   Bank Entenhausener;
   Entenhausener.KundenEinlesen();
   int index, index_empf, ktonr, ktonr_empf;
   double betrag;
   char wahl;
   cout << "Deine Kontonummer: ";
   cin >> ktonr;
   index = Entenhausener.KundeSuchen(ktonr);
   if (index == -1) {
      cout << "Falsche Kontonummer" << endl;
      return 0;
   }
   cout << fixed << setprecision(2);
   cout << "Hallo "
        << Entenhausener.Kunden[index].getVorname() << ' '
        << Entenhausener.Kunden[index].getNachname()
        << endl;
   do {
      cout << endl;
      cout << "(K)ontostandsanzeige" << endl;
      cout << "(E)inzahlung" << endl;
      cout << "(A)uszahlung" << endl;
      cout << "(U)eberweisung" << endl;
      cout << "E(N)DE" << endl;
      cin >> wahl;
      switch (wahl)
      {
         case 'k':
         case 'K':
            cout << "Dein Kontostand: "
                 << Entenhausener.Kunden[index].getKontostand()
                 << " Euro" << endl;
            break;
```

```
      case 'e':
      case 'E':
         cout << "Betrag: ";
         do {
            cin >> betrag;
         } while (betrag < 0);
         Entenhausener.Kunden[index].einzahlen(betrag);
         break;
      case 'a':

      case 'A':
         cout << "Betrag: ";
         do {
            cin >> betrag;
         } while (betrag < 0);
         if (Entenhausener.Kunden[index].auszahlen(betrag)
            == 1)
            cout << "Nicht liquide!" << endl;
         else
            cout << "Sollst Du haben!" << endl;
         break;
      case 'u':
      case 'U':
         cout << "Kontonummer des Empf\x84ngers: ";
         cin >> ktonr_empf;
         index_empf = Entenhausener.KundeSuchen(ktonr_empf);
         if (index_empf == -1) {
            cout << "Falsche Kontonummer" << endl;
            break;
         }
         cout << "An "
         << Entenhausener.Kunden[index_empf].getVorname()
         << ' ' <<
         Entenhausener.Kunden[index_empf].getNachname();
         cout << '!' << endl << "Betrag: ";
         do {
            cin >> betrag;
         } while (betrag < 0);
         if (Entenhausener.ueberweisen
         (index, index_empf, betrag) != 0)
             cout << '\x9A' << "berweisung konnte nicht"
                  << " ausgef\x81hrt werden" << endl;
         break;
      case 'n':
      case 'N':
         cout << "Tsch\x81ss" << endl;
         break;
      default:
         cout << "Falsche Eingabe" << endl;
   }  // end switch
```

```
   } while (wahl != 'n' && wahl != 'N');
   Entenhausener.KundenInDatei();
   return 0;
}  // end main()
```

Ausgabe:

```
Deine Kontonummer: 10004
Hallo Daisy Duck

(K)ontostandsanzeige
(E)inzahlung
(A)uszahlung
(U)eberweisung
E(N)DE
e
Betrag: 2500

(K)ontostandsanzeige
(E)inzahlung
(A)uszahlung
(U)eberweisung
E(N)DE
u
Kontonummer des Empfängers: 10008
An Dorette Duck!
Betrag: 900

(K)ontostandsanzeige
(E)inzahlung
(A)uszahlung
(U)eberweisung
E(N)DE
n
Tschüss
```

Textdatei, *.exe*-Datei und Quellcodedatei des Beispiels finden Sie auf der Buch-CD im Verzeichnis *ProgK_29*.

Abbildung 29.2 zeigt die nach der beschriebenen Programmausführung veränderte Textdatei *Kunden.txt*.

Beachten Sie, dass im eigentlichen Programm, also in der Funktion `main()`, sowie in der `Bankkunde`-Klasse gegenüber der Version aus Abschnitt 27.2.1 – abgesehen vom Wegfall des Methodenaufrufs `Entenhausener.KundenEinlesen()` in `main()` – praktisch nichts geändert werden musste, sondern allein in der Implementation der `Bank`-Klasse. Dies zeigt, dass eine objektorientierte Implementierung sehr flexibel ist.

Erwähnung verdient in diesem Zusammenhang auch die Tatsache, dass es für den Zugriff auf die einzelnen Arrayelemente keinen Unterschied macht, ob dieses mit

```
Kunden = new Bankkunde[Anzahl];
```

oder

```
Bankkunde Kunden[10];
```

erzeugt wurde. Auch im letzteren Fall handelt es sich ja um einen – konstanten – Zeiger, da `Kunden` für die Anfangsadresse des Arrays steht (siehe Abschnitt 20.2 »Arrays und Adressen«). Ein Zugriff wie

```
Kunden[x]
```

bedeutet also in beiden Fällen »gehe an die Stelle `Kunden` plus Offset und greife auf den dortigen Inhalt zu« (wobei es sich mit `x` um einen gültigen Arrayindex handeln soll).

Bild 29.2: Die Datei *Kunden.txt* nach dem oben beschriebenen Programmlauf

30 Referenzen

Während es sich bei Zeigern um ein Erbe aus der Programmiersprache C handelt, sind die Referenzen in C++ neu hinzugekommen. Dies aus gutem Grund, da sie eine allzu intensive und damit fehlerträchtige Verwendung von Zeigern einzuschränken helfen. Mit anderen Worten: An vielen Stellen im Code, an denen ansonsten Zeigervariablen eingesetzt werden müssten, kann ohne Nachteile auf die einfacher zu handhabenden Referenzen zurückgegriffen werden. Dies gilt vor allem in Bezug auf die Parameter von Funktionen und Methoden.

HINWEIS

Was die dynamische Allokation von Speicher angeht, ist die Verwendung von Zeigern jedoch unumgänglich.

30.1 Was sind Referenzen?

Eine Referenz ist ein alternativer Name für ein bestehendes Datenobjekt. Sie stellt gewissermaßen einen Verweis auf dieses dar. Um die Funktionalität, die dahinter steht, braucht sich der Programmierer jedoch nicht selbst zu kümmern. Diese wird praktisch vom Compiler zur Verfügung gestellt.

Definiert wird eine Referenz, indem man das Zeichen `&` einem frei wählbaren Namen für die Referenz voranstellt. Außerdem muss eine Referenz initialisiert werden. Das heißt, es muss von Anfang an feststehen, auf welches Datenobjekt sie verweist. Hat man z.B. im Code eine Variable `zahl` mit

```
int zahl;
```

deklariert, so erzeugt man mit

```
int &rz = zahl;
```

eine Referenz auf diese Variable. Das bedeutet, dass `zahl` nun entweder mit `zahl` oder eben mit `rz` angesprochen werden kann:

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main(void)
{
   int zahl;
   int &rz = zahl;
   rz = 17;
   cout << zahl << endl;
   cout << rz << endl;
   return 0;
}
```

Ausgabe:

```
17
17
```

Das Zeichen `&` ist, ähnlich wie das bei der Deklaration von Zeigern zu verwendende Zeichen `*`, im weiteren Code nicht mehr anzugeben, wenn man auf die Referenz `rz` bzw. auf die Variable `zahl`, für die sie steht, zugreifen will. Vielmehr würde ein Ausdruck

```
&rz
```

die Adresse von `zahl` liefern.

HINWEIS

Bei der Definition von Referenzen wird zwar dasselbe Zeichen wie beim Adressoperator – nämlich `&` – verwendet. Dennoch handelt es sich hierbei um zwei völlig verschiedene Dinge. Was jeweils gemeint ist, erkennt der Compiler am Kontext.

Anders als das bei Zeigern der Fall ist, kann eine Referenz ihr Verweisziel nicht ändern. Demzufolge würde, bezogen auf das Codestück

```
int a = 3, b = 56;
int &ra = a;
```

eine Anweisung wie

```
ra = b;
```

nicht etwa die Verbindung der Referenz `ra` mit der Variablen `a` lösen, sondern dieser den Wert von `b`, also `56`, zuweisen. Auf der anderen Seite wären Anweisungen wie

```
ra = &b;  // FEHLER
```

oder

```
&ra = b;  // FEHLER
```

fehlerhaft.

Bei der Vereinbarung von mehreren Referenzen in einer Anweisung ist zu beachten, dass das Zeichen `&` – analog dem Zeichen `*` bei der Deklaration von Zeigern – für jede Referenz anzugeben ist. Bezogen auf die Anweisung

```
double x = 99.5, y = 32.9;
```

erzeugt man mit

```
double &rx = x, &ry = y;
```

je eine Referenz auf die Variable `x` und eine auf die Variable `y`, mit

```
double &rx = x, ry = y;
```

jedoch eine Referenz auf `x` sowie eine Variable `ry` vom Typ `double`, die mit dem Wert von `y` initialisiert wird.

HINWEIS

Im Übrigen ist es auch möglich, mehrere Referenzen, die auf ein und dieselbe Variable verweisen, zu vereinbaren:

```
#include <iostream>
using namespace std;
using namespace std;
int main(void)
{
   double zahl = 45.11;
   double &rzahl = zahl, &rz = zahl;
   cout << rzahl << endl;
   cout << rz << endl;
   return 0;
}
```

Ausgabe:

```
45.11
45.11
```

Beachten Sie, dass eine Referenz, anders als eine Variable, keinen Speicher beansprucht, also tatsächlich kein Datenobjekt ist. Referenzen auf Referenzen bzw. Zeiger auf Referenzen sind daher nicht möglich, da eine Referenz ja keine Adresse hat.

30.2 Referenzen als Parameter von Funktionen

Als Funktionsparameter leisten Referenzen dasselbe wie Zeiger, lassen sich allerdings entsprechend einfacher verwenden. Hat man etwa eine Funktion `dreifach()` wie folgt eingerichtet:

```
void dreifach(int &z)
{
   z = 3 * z;
}
```

so verändert diese den Parameter des Aufrufers entsprechend, da sie eben einen Verweis auf diesen erhält.

HINWEIS

Was hier und im Weiteren über Referenzen in Verbindung mit Funktionen gesagt wird, gilt natürlich in gleicher Weise auch für Methoden.

Beachten Sie, dass `dreifach()` beim Aufruf der Verweis auf eine Integervariable zu übergeben ist, und zwar nicht etwa mit dem Adressoperator

```
dreifach(&Bezeichner)  // FEHLER
```

sondern in der Form

```
dreifach(Bezeichner)
```

Wie gesagt, sorgt der Compiler dafür, dass die Funktion beim Aufruf tatsächlich einen Verweis und nicht den bloßen Wert der Variablen erhält.

HINWEIS

Es sei darauf hingewiesen, dass beim Aufruf

`dreifach(Bezeichner)`

eine zu dieser Funktion lokale Variable `z` angelegt wird, was somit der Anweisung

`int &z = Bezeichner`

entspricht (wobei es sich mit *Bezeichner* natürlich um den Namen einer Integervariablen handelt).

HINWEIS

Aus den genannten Gründen ist ein Aufruf wie

`dreifach(15)  // FEHLER`

natürlich fehlerhaft.

```
#include <iostream>
using namespace std;

void dreifach(int &z)
{
   z = 3 * z;
}

int main(void)
{
   int x = 6;
   dreifach(x);
   cout << x;
   return 0;
}
```

Ausgabe: `18`

Dem Gesagten zufolge lässt sich die Funktion `tausch()` des Beispiels aus Abschnitt 29.3 »Zeiger als Parameter von Funktionen« etwas bequemer mit Referenzen als Parameter einrichten:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void tausch(double &ra, double &rb)
{
   double tmp;
   tmp = ra;
   ra = rb;
   rb = tmp;
}
```

```
void main(void)
{
   double zahl1 = 15.1, zahl2 = 75.4;
   cout << "Vor dem Tausch:" << endl;
   cout << "Wert von zahl1: " << zahl1 << endl;
   cout << "Wert von zahl2: " << zahl2 << endl;
   tausch(zahl1, zahl2);
   cout << "Nach dem Tausch:" << endl;
   cout << "Wert von zahl1: " << zahl1 << endl;
   cout << "Wert von zahl2: " << zahl2 << endl;
}
```

Ausgabe:

```
Vor dem Tausch:
Wert von zahl1: 15.1
Wert von zahl2: 75.4
Nach dem Tausch:
Wert von zahl1: 75.4
Wert von zahl2: 15.1
```

30.3 Referenzen als Rückgabewerte von Funktionen

Im Beispiel des Abschnitts 29.5 »Der this-Zeiger von Methoden« haben wir die Methode `mehrGehalt()` der Klasse `Mitarbeiter` so eingerichtet, dass sie in der Form

Objektname`.mehrGehalt()->mehrGehalt()->mehrGehalt()`

für ein Objekt mehrmals aufgerufen werden kann. Erreicht wird dies, indem aus der Methode der `this`-Zeiger, also ein Zeiger auf das aktuelle Objekt, zurückgegeben wird:

```
Mitarbeiter* mehrGehalt()
{
   gehalt += gehalt * 0.1;
   return this;
}
```

Lässt man die Methode nun eine Referenz auf das aktuelle Objekt zurückgeben, so kann sie noch bequemer in der Form

Objektname`.mehrGehalt().mehrGehalt().mehrGehalt()`

aufgerufen werden. In diesem Fall steht ein Ausdruck wie

Objektname`.mehrGehalt()`

oder auch

Objektname`.mehrGehalt().mehrGehalt()`

für das – modifizierte – Objekt:

```
#include <iostream>
using namespace std;

class Mitarbeiter
{
public:
   double gehalt;
   // …
   Mitarbeiter()
   {gehalt = 2500.0;}
   Mitarbeiter& mehrGehalt()
   {
      gehalt += gehalt * 0.1;
      return *this;
   }
   // …
};

int main(void)
{
   Mitarbeiter Donald;
   cout << "Gehalt von Donald: " << Donald.gehalt << endl;
   Donald.mehrGehalt().mehrGehalt().mehrGehalt();
   cout << "Gehalt von Donald: " << Donald.gehalt << endl;
   return 0;
}
```

Ausgabe:

```
Gehalt von Donald: 2500
Gehalt von Donald: 3327.5
```

Beachten Sie, dass der dereferenzierte `this`-Zeiger

```
*this
```

das Objekt selbst darstellt.

31 Vererbung

In C++ besteht die Möglichkeit, eine Klasse von einer oder mehreren anderen Klassen erben zu lassen, wobei man die Klasse, die erbt, als »abgeleitete Klasse«, und diejenigen Klassen, von denen diese Klasse erbt, als »Basisklassen« bezeichnet. Wenn eine Klasse von einer anderen erbt, bedeutet dies, dass sie die Elemente der Basisklasse erhält, ohne dass diese in der neuen Klasse definiert werden müssten. Über den Zugriff auf die geerbten Elemente in der abgeleiteten Klasse sowie außerhalb derselben entscheidet jedoch die Art der Vererbungsbeziehung. Dabei unterscheidet man zwischen `public`-, `protected`- und `private`-Vererbung.

Eine Vererbungsbeziehung zwischen Klassen wird man vor allem dann einrichten, wenn es sich in der Realität so verhält, dass ein Vertreter einer Gruppe gleichzeitig ein Vertreter einer anderen ist: Ein Tier ist ein Lebewesen, ein Fahrzeug ist ein Auto usw. Demgemäß würde man eine Klasse `Tier` von einer Klasse `Lebewesen` und eine Klasse `Auto` von einer Klasse `Fahrzeug` ableiten. Nicht etwa umgekehrt, da schließlich ein Fahrzeug nicht zwangsläufig ein Auto und nicht jedes Lebewesen ein Tier ist.

31.1 Klassen von Basisklassen ableiten

Hat man zwei Klassen `A_Klasse` und `B_Klasse` wie folgt definiert

```
class A_Klasse
{
   …
};
class B_Klasse
{
   …
};
```

so lässt sich eine dritte Klasse von einer der beiden ableiten, indem man nach dem Bezeichner der Klasse, getrennt durch einen Doppelpunkt, den Namen der Basisklasse angibt. Um also von der Klasse `A_Klasse` eine Klasse `C_Klasse` abzuleiten, definiert man diese wie folgt:

```
class C_Klasse : A_Klasse
{
   …
};
```

Eine Basisklasse muss im Code oberhalb einer von ihr abgeleiteten Klasse stehen, da Erstere bei der Definition der Letzteren ja bekannt sein muss.

Die Klasse `C_Klasse` besitzt somit die Elemente, die explizit innerhalb der Klasse definiert bzw. deklariert sind, sowie alle Elemente – Attribute wie

Methoden – der A_Klasse. Letztere stellen gewissermaßen das Erbe der A_Klasse dar. Will man die C_Klasse nicht von der A_Klasse, sondern von der B_Klasse ableiten, so schreibt man dementsprechend:

```
class C_Klasse : B_Klasse
{
   …
};
```

Im Gegensatz zu vielen anderen Programmiersprachen ist in C++ auch eine Mehrfachvererbung möglich. Das heißt, man kann eine Klasse nicht nur von einer, sondern von mehreren Basisklassen erben lassen. In diesem Fall gibt man nach dem Doppelpunkt eine durch Komma getrennte Liste mit den Namen der Basisklassen an. Um die Klasse C_Klasse sowohl von der A_Klasse als auch von der B_Klasse abzuleiten, definiert man sie also wie folgt:

```
class C_Klasse : B_Klasse, A_Klasse
{
   …
};
```

Die Reihenfolge, in der die Basisklassen genannt sind, hat dabei keine Bedeutung. Mit dieser Definition besitzt die C_Klasse nun die Eigenschaften und Methoden, die innerhalb ihres Blocks definiert bzw. deklariert sind, sowie alle Elemente der A_Klasse und der B_Klasse.

31.2 Zugriff auf die geerbten Elemente einer Basisklasse

Es verhält sich so, dass eine abgeleitete Klasse bezüglich ihrer geerbten Elemente nicht automatisch die Zugriffsrechte von der Basisklasse übernimmt. Ein z.B. in der Basisklasse als public spezifiziertes Element ist demnach nicht ohne weiteres in der abgeleiteten Klasse ebenfalls öffentlich zugänglich. Mit anderen Worten: Es steht nicht von vornherein fest, dass dieses Element von Instanzen der abgeleiteten Klasse auf direktem Wege angesprochen werden kann. Dies hängt von der Art der Vererbungsbeziehung ab. Diese kann private, protected oder public sein. Festgelegt wird dies durch einen entsprechenden Spezifizierer, der in der Definition der abgeleiteten Klasse vor dem Namen der Basisklasse anzugeben ist:

```
class C_Klasse : public B_Klasse, protected A_Klasse
{
   …
};
```

Hier handelt es sich im Verhältnis von C_Klasse zur Basisklasse B_Klasse um eine public-Vererbung und im Verhältnis zur Basisklasse A_Klasse um eine protected-Vererbung (auf die Folgen werden wir gleich zu sprechen kommen).

Per Default ist die Vererbungsbeziehung zu Basisklassen bei Klassen, die mit dem Schlüsselwort `struct` definiert sind, `public` und bei Klassen, die mit dem Schlüsselwort `class` definiert sind, `private`. Bei den im letzten Abschnitt genannten Ableitungen handelt es sich somit durchweg um `private`-Vererbungen.

Will man bezüglich der Klasse `C_Klasse` zur Basisklasse `B_Klasse` eine `public`- und im Verhältnis zur `A_Klasse` eine `private`-Vererbung einrichten, so schreibt man demnach

```
class C_Klasse : public B_Klasse, A_Klasse
{
   …
};
```

oder explizit

```
class C_Klasse : public B_Klasse, private A_Klasse
{
   …
};
```

31.2.1 private-Vererbung

Was die verschiedenen Vererbungsarten angeht, so gilt die Regel, dass der Zugriffsstatus von geerbten Elementen in der abgeleiteten Klasse nie größer ist als der Ableitungsmodus bezüglich der Basisklasse. Da die Rangfolge bezüglich der Zugriffsrechte `public`, `protected`, `private` ist – wobei `public` den höchsten Status einnimmt –, bedeutet dies für eine `private`-Ableitung, dass geerbte Elemente, die in der Basisklasse als `public` oder `protected` spezifiziert sind, in der abgeleiteten Klasse als `private` gelten.

Der Zugriffsspezifizierer »protected«

Man kann Elemente einer Klasse neben `public` und `private` auch als `protected` spezifizieren. Was den Zugriff bezüglich dieser Klasse angeht, verhalten sich `protected`-Elemente wie `private`-Elemente. Sie können innerhalb der Klasse – also von deren Methoden – verwendet werden, jedoch nicht von Objekten der Klasse. Von daher macht es keinen Unterschied, ob ein Klassenelement als `private` oder `protected` definiert ist, wohl aber im Hinblick auf eine Ableitung von dieser Klasse, wie wir im Folgenden sehen werden.

Ein `public`- oder `protected`-Element der Basisklasse verhält sich also in einer `private`-abgeleiteten Klasse so, als ob es in dieser als `private` spezifiziert wäre:

```
class Fahrzeug
{
protected:
   int fahrGeschw;
```

```
   // …
public:
   void beschleunigen(){fahrGeschw += 10;}
   void geschwVermindern(){fahrGeschw -= 10;}
   int getFahrGeschw(){return fahrGeschw;}
   void setFahrGeschw(int fg){fahrGeschw = fg;}
   // …
};
class Auto : private Fahrzeug
{
private:
   int raeder;
   // …
public:
   void bremsen()
   {fahrGeschw = 0;};  // OK
   // …
};
```

Da z.B. das Attribut `fahrGeschw` in der Basisklasse `Fahrzeug` als `protected` spezifiziert ist, besitzt es in der von `Fahrzeug` per `private` abgeleiteten Klasse `Auto` den Status `private`. Daher kann es von der Methode `bremsen()`, die innerhalb der Klasse `Auto` definiert ist, verwendet werden. Da diese Methode wiederum `public` ist, kann auf sie mit einer Instanz der Klasse `Auto` zugegriffen werden.

```
Auto meinAuto;
meinAuto.bremsen();  // OK
```

Allerdings ist der Zugriff auf die Methoden `beschleunigen()`, `geschwVermindern()`, `getFahrGeschw()`, `setFahrGeschw()` mit einem Objekt der Klasse `Auto` nicht möglich, da diese Methoden in dieser Klasse allesamt `private` sind (das Gleiche gilt natürlich für die Eigenschaft `fahrGeschw`).

```
meinAuto.beschleunigen();  // FEHLER, da
      // beschleunigen() private in Auto
```

Selbstverständlich ist es möglich, in der Klasse `Auto` zusätzlich entsprechende `public`-Methoden zu definieren, die gegebenenfalls auf die genannten Methoden zugreifen:

```
class Fahrzeug
{
protected:
   int fahrGeschw;
   // …
public:
   void beschleunigen(){fahrGeschw += 10;}
   // …
};
class Auto : private Fahrzeug
{
   // …
```

```
public:
   void machSchneller()
   {beschleunigen();}
   // …
};
```

Da die Methode `machSchneller()` der `Auto`-Klasse `public` ist, kann sie von einer Instanz dieser Klasse verwendet werden:

```
meinAuto.machSchneller();
```

HINWEIS

Natürlich hätte man die Methode auch wie folgt einrichten können:

```
void machSchneller()
{fahrGeschw += 10;}
```

Für den Fall, dass in der Klasse `Fahrzeug` ein Konstruktor definiert ist, der das Attribut `fahrGeschw` initialisiert, wirkt sich dies nicht auf die abgeleitete Klasse `Auto` aus, da Konstruktoren – wie Destruktoren – nicht mitvererbt werden. Es lässt sich aber für die Klasse `Auto` ein eigener Konstruktor definieren, der für die Initialisierung von `fahrGeschw` sorgt. Schließlich hat dieser, wie alle Methoden der Klasse `Auto`, Zugriff auf das geerbte Element `fahrGeschw`:

```
class Fahrzeug
{
protected:
   int fahrGeschw;
   // …
public:
   void beschleunigen(){fahrGeschw += 10;}
   void geschwVermindern(){fahrGeschw -= 10;}
   int getFahrGeschw(){return fahrGeschw;}
   void setFahrGeschw(int fg){fahrGeschw = fg;}
   // …
};
class Auto : private Fahrzeug
{
private:
   int raeder;
   // …
public:
   Auto() {fahrGeschw = 0;}
   void bremsen()
   {fahrGeschw = 0;}
   // …
};
```

Nach der eingangs genannten Regel könnte man zu dem Schluss kommen, dass sich auch `private`-Elemente der Basisklasse in einer abgeleiteten Klasse ebenfalls in der gewohnten Weise verhalten. Dies trifft jedoch nicht zu. Solche Elemente gelten zwar in der abgeleiteten Klasse ebenfalls

als private. Tatsächlich ist es jedoch so, dass auf geerbte Elemente, die in der Basisklasse den Status private besitzen, in der abgeleiteten Klasse nicht zugegriffen werden kann, weder von außerhalb noch von Methoden der Klasse.

Definiert man also das Element fahrGeschw in der Klasse Fahrzeug als private, so sind die Zugriffe auf dieses innerhalb der Methode bremsen() sowie im Konstruktor der Klasse Auto fehlerhaft:

```
class Fahrzeug
{
private:
   int fahrGeschw;
   // …
public:
   void beschleunigen(){fahrGeschw += 10;}
   // …
};
class Auto : private Fahrzeug
{
private:
   int raeder;
   // …
public:
   Auto() {fahrGeschw = 0;}  // FEHLER
   void bremsen()
   {fahrGeschw = 0;}  // FEHLER
   // …
};
```

Im Übrigen gilt dies unabhängig von der Ableitungsart. Auf geerbte private-Elemente – gemeint sind solche, die in der Basisklasse als private spezifiziert sind – kann in einer abgeleiteten Klasse grundsätzlich nicht zugegriffen werden.

HINWEIS

Es sei darauf hingewiesen, dass diese Tatsache den Programmierer in keiner Weise einschränkt. Schließlich steht es ihm ja frei, das entsprechende Element in der Basisklasse als protected zu definieren.

Dass geerbte private-Elemente dennoch Bestandteil einer abgeleiteten Klasse sind, lässt sich schon daran erkennen, dass der Zugriff auf geerbte public- oder protected-Methoden auch dann erlaubt ist, wenn diese im Methodenrumpf auf private-Elemente der Basisklasse zugreifen:

```
class Fahrzeug
{
private:
   int fahrGeschw;
   // …
public:
   void beschleunigen(){fahrGeschw += 10;}
   void geschwVermindern(){fahrGeschw -= 10;}
```

```
   int getFahrGeschw(){return fahrGeschw;}
   void setFahrGeschw(int fg){fahrGeschw = fg;}
   // …
};
class Auto : private Fahrzeug
{
private:
   int raeder;
   // …
public:
   Auto() {setFahrGeschw(0);}  // OK
   void bremsen()
   {setFahrGeschw(0);}  // OK
   // …
};
```

31.2.2 protected-Vererbung

Gemäß der weiter oben genannten Regel, nach der die Form der Ableitung den Status der geerbten Elemente in der abgeleiteten Klasse nach oben hin einschränkt, werden im Zuge einer `protected`-Vererbung `public`-Elemente der Basisklasse in der abgeleiteten Klasse zu `protected`. Dagegen behalten `protected`- und `private`-Elemente ihren Status bei. Für Letztere gilt allerdings die oben genannte Zugriffsbeschränkung:

```
#include <iostream>
using namespace std;

class Fahrzeug
{
private:
   int hoechstGeschw;
protected:
   int fahrGeschw;
   // …
public:
   void beschleunigen()
   {
      if (fahrGeschw + 10 <= hoechstGeschw)
         fahrGeschw += 10;
   }
   void geschwVermindern(){fahrGeschw -= 10;}
   int getFahrGeschw(){return fahrGeschw;}
   void setFahrGeschw(int fg)
   {
      if (fg <= hoechstGeschw)
         fahrGeschw = fg;
   }
   int getHoechstGeschw(){return hoechstGeschw;}
   void setHoechstGeschw(int hg){hoechstGeschw = hg;}
   // …
};
```

```
class Auto : protected Fahrzeug
{
private:
   int raeder;
   // …
public:
   Auto(){fahrGeschw = 0; setHoechstGeschw(200);}
   void bremsen()
   {fahrGeschw = 0;}
   void machSchneller()
   {beschleunigen();}
   void zeigGeschw()
   {cout << fahrGeschw << " km/h" << endl;}
   // …
};

int main(void)
{
   Auto myCar;
   myCar.zeigGeschw();
   myCar.machSchneller();
   myCar.zeigGeschw();
   myCar.machSchneller();
   myCar.zeigGeschw();
   myCar.bremsen();
   myCar.zeigGeschw();
   return 0;
}
```

Ausgabe:

```
0 km/h
10 km/h
20 km/h
0 km/h
```

Bezogen auf obiges Beispiel besitzt die Klasse `Auto`, die von der Klasse `Fahrzeug` per `protected` abgeleitet ist, folgende Elemente:

Attribute mit dem Zugriffsstatus `private` sind `raeder` und `hoechstGeschw`. Letzteres ist von der Klasse `Fahrzeug` geerbt. Da es in dieser den Status `private` besitzt, kann es weder von Objekten noch von Methoden der Klasse `Auto` unmittelbar angesprochen werden. Allerdings wird es innerhalb der geerbten Methoden `beschleunigen()`, `setFahrGeschw()`, `getHoechstGeschw()` und `setHoechstGeschw()` verwendet. Da diese Methoden den Zugriffsstatus `protected` besitzen, dürfen sie innerhalb der Klasse `Auto` verwendet werden.

HINWEIS

Gemeint sind damit natürlich die – von der Klasse `Fahrzeug` geerbten – Methoden der Klasse `Auto`. Die Klasse `Fahrzeug` besitzt ja gleichnamige Methoden mit dem Zugriffsstatus `public`.

So erfolgt z.B. über die Konstruktormethode, in der `setHoechstGeschw()` aufgerufen wird, gewissermaßen ein indirekter Zugriff auf das Element `hoechstGeschw` der Klasse `Auto`:

```
class Fahrzeug
{
private:
   int hoechstGeschw;
   // …
public:
   void setHoechstGeschw(int hg){hoechstGeschw = hg;}
   // …
};
class Auto : protected Fahrzeug
{
   // …
public:
   Auto(){fahrGeschw = 0; setHoechstGeschw(200);}
   // …
};

int main(void)
{
   Auto myCar;  // ruft Konstruktor auf
   // …
   return 0;
}
```

HINWEIS

Man beachte, dass sowohl die Klasse `Fahrzeug` als auch die Klasse `Auto` je ein Attribut `hoechstGeschw` besitzt. Nur dass das zur `Auto`-Klasse gehörige allein über den gezeigten Umweg angesprochen werden kann.

Weitere Bestandteile der Klasse `Auto` sind außer dem Konstruktor die `public`-Methoden `bremsen()`, `machSchneller()` und `zeigGeschw()`, die in der Klasse definiert sind, sowie die geerbten Methoden `beschleunigen()`, `geschwVermindern()`, `getFahrGeschw()`, `setFahrGeschw()`, `getHoechstGeschw()` und `setHoechstGeschw()`. Letztere besitzen den Zugriffsstatus `protected`, was auch für das geerbte Datenelement `fahrGeschw` gilt. Folglich würde man eine entsprechende Klasse ohne Vererbungsbeziehung etwa wie folgt definieren:

```
class Auto
{
private:
   int hoechstGeschw;
   int raeder;
   // …
protected:
   int fahrGeschw;
   void beschleunigen()
   {
```

```
      if (fahrGeschw + 10 <= hoechstGeschw)
         fahrGeschw += 10;
   }
   void geschwVermindern(){fahrGeschw -= 10;}
   int getFahrGeschw(){return fahrGeschw;}
   void setFahrGeschw(int fg)
   {
      if (fg <= hoechstGeschw)
         fahrGeschw = fg;
   }
   int getHoechstGeschw(){return hoechstGeschw;}
   void setHoechstGeschw(int hg){hoechstGeschw = hg;}
public:
   Auto(){fahrGeschw = 0; setHoechstGeschw(200);}
   void bremsen()
   {fahrGeschw = 0;}
   void machSchneller()
   {beschleunigen();}
   void zeigGeschw()
   {cout << fahrGeschw << " km/h" << endl;}
   // …
};
```

HINWEIS

Wobei diese Definition die in der vorherigen Version bestehenden Einschränkungen bezüglich des Datenelements `hoechstGeschw` allerdings nicht wiedergibt.

31.2.3 public-Vererbung

Wenn eine Klasse von einer anderen `public`-abgeleitet ist, dann entspricht der Zugriffsstatus der geerbten Elemente dem der Basisklasse, wobei für `private`-Elemente die genannten Abstriche zu machen sind:

```
#include <iostream>
using namespace std;

class Fahrzeug
{
private:
   int hoechstGeschw;
protected:
   int fahrGeschw;
   // …
public:
   void beschleunigen()
   {
      if (fahrGeschw + 10 <= hoechstGeschw)
         fahrGeschw += 10;
   }
   void geschwVermindern(){fahrGeschw -= 10;}
   int getFahrGeschw(){return fahrGeschw;}
```

```
   void setFahrGeschw(int fg)
   {
      if (fg <= hoechstGeschw)
         fahrGeschw = fg;
   }
   int getHoechstGeschw(){return hoechstGeschw;}
   void setHoechstGeschw(int hg){hoechstGeschw = hg;}
   // …
};
class Auto : public Fahrzeug
{
private:
   int raeder;
   // …
public:
   Auto(){fahrGeschw = 0; setHoechstGeschw(200);}
   void bremsen()
   {fahrGeschw = 0;}
   void zeigGeschw()
   {cout << fahrGeschw << " km/h" << endl;}
   // …
};

int main(void)
{
   Auto myCar;
   myCar.zeigGeschw();
   myCar.beschleunigen();
   myCar.zeigGeschw();
   myCar.beschleunigen();
   myCar.zeigGeschw();
   myCar.beschleunigen();
   myCar.zeigGeschw();
   return 0;
}
```

Ausgabe:

```
0 km/h
10 km/h
20 km/h
30 km/h
```

Die von der Klasse `Fahrzeug` übernommenen `public`-Methoden können nun von Instanzen der Klasse `Auto` verwendet werden:

```
Auto BMW;
BMW.setHoechstGeschw(250);
```

Die `public`-Methode

```
void machSchneller()
{beschleunigen();}
```

kann somit entfallen, da nunmehr die Methode `beschleunigen()` für den direkten Zugriff von außen zur Verfügung steht.

31.3 Überschreiben von Methoden

Falls man in einer abgeleiteten Klasse eine Methode definiert, deren Namen und Signatur einer von der Basisklasse geerbten Methode gleicht, so spricht man vom »Überschreiben« dieser Methode. Sie wird dadurch überdeckt. Das heißt, die – überschriebene – geerbte Methode kann innerhalb der abgeleiteten Klasse oder von Objekten dieser Klasse nur mit Bereichsauflösung angesprochen werden.

HINWEIS

Zur Signatur einer Funktion bzw. Methode siehe Abschnitt 21.5 »Überladen von Funktionen«.

Im folgenden Beispiel ist für die Klasse `Auto` eine zusätzliche Methode `beschleunigen()` definiert. Somit besitzt diese Klasse zwei gleichnamige Methoden, die zudem in ihrer Signatur übereinstimmen. Das heißt, die in der Klasse `Auto` deklarierte Methode verdeckt die von der Klasse `Fahrzeug` geerbte. Dies bedeutet wiederum, dass der Zugriff auf Letztere mit dem qualifizierten Namen erfolgen muss:

```
#include <iostream>
using namespace std;

class Fahrzeug
{
private:
   int hoechstGeschw;
protected:
   int fahrGeschw;
   // …
public:
   void beschleunigen()
   {
      if (fahrGeschw + 10 <= hoechstGeschw)
         fahrGeschw += 10;
   }
   void geschwVermindern(){fahrGeschw -= 10;}
   int getFahrGeschw(){return fahrGeschw;}
   void setFahrGeschw(int fg)
   {
      if (fg <= hoechstGeschw)
         fahrGeschw = fg;
   }
   int getHoechstGeschw(){return hoechstGeschw;}
   void setHoechstGeschw(int hg){hoechstGeschw = hg;}
   // …
};
```

```
class Auto : public Fahrzeug
{
private:
   int raeder;
   // …
public:
   Auto(){fahrGeschw = 0; setHoechstGeschw(200);}
   void bremsen()
   {fahrGeschw = 0;}
   void zeigGeschw()
   {cout << fahrGeschw << " km/h" << endl;}
void beschleunigen();
   // …
};
void Auto::beschleunigen()
{
   if (fahrGeschw + 50 <= getHoechstGeschw())
      fahrGeschw += 50;
   else
     fahrGeschw = getHoechstGeschw();
}

int main(void)
{
   Auto einBMW;
   einBMW.zeigGeschw();
   einBMW.beschleunigen();
   einBMW.zeigGeschw();
   einBMW.Fahrzeug::beschleunigen();
   einBMW.zeigGeschw();
   return 0;
}
```

Ausgabe:

```
0 km/h
50 km/h
60 km/h
```

Im Beispiel bewirkt die Anweisung

```
einBMW.beschleunigen();
```

den Zugriff der Instanz `einBMW` auf deren innerhalb der `Auto`-Klasse deklarierte Methode, während mit

```
einBMW.Fahrzeug::beschleunigen();
```

die gleichnamige geerbte Methode aufgerufen wird. Erstere beschleunigt um 50 km/h, Letztere um 10 km/h, wie die Ausgabe zeigt.

Allerdings verhält es sich nicht viel anders, wenn man in der abgeleiteten Klasse gleichnamige Methoden definiert, die sich in ihrer Parameterliste gegenüber den von der Basisklasse geerbten unterscheiden (nur dass man

in diesem Fall nicht vom Überschreiben spricht). Die geerbten Methoden werden dadurch nicht etwa überladen, sondern in der gleichen Weise wie überschriebene Methoden überdeckt. Das heißt im Ergebnis: Der unqualifizierte Zugriff auf eine geerbte Methode, die den gleichen Namen trägt wie eine in der abgeleiteten Klasse definierte bzw. deklarierte, ist grundsätzlich nicht möglich. Ist z.B. eine Methode `xyz()` in der Klasse `A` zehnfach überladen und man definiert eine gleichnamige Methode in einer Klasse `B`, die von `A` erbt, so verdeckt man dadurch alle zehn geerbten Methoden.

Zur Demonstration soll die Methode `beschleunigen()` für die Klasse `Auto` mit einem Parameter definiert werden:

```
#include <iostream>
using namespace std;

class Fahrzeug
{
private:
   int hoechstGeschw;
protected:
   int fahrGeschw;
   // …
public:
   void beschleunigen()
   {
      if (fahrGeschw + 10 <= hoechstGeschw)
         fahrGeschw += 10;
   }
   void geschwVermindern(){fahrGeschw -= 10;}
   int getFahrGeschw(){return fahrGeschw;}
   void setFahrGeschw(int fg)
   {
      if (fg <= hoechstGeschw)
         fahrGeschw = fg;
   }
   int getHoechstGeschw(){return hoechstGeschw;}
   void setHoechstGeschw(int hg){hoechstGeschw = hg;}
   // …
};
class Auto : public Fahrzeug
{
private:
   int raeder;
   // …
public:
   Auto(){fahrGeschw = 0; setHoechstGeschw(200);}
   void bremsen()
   {fahrGeschw = 0;}
   void zeigGeschw()
   {cout << fahrGeschw << " km/h" << endl;}
```

```
void beschleunigen(int b);
   // …
};
void Auto::beschleunigen(int b)
{
   if (fahrGeschw + b <= getHoechstGeschw())
      fahrGeschw += b;
   else
     fahrGeschw = getHoechstGeschw();
}

int main(void)
{
   Auto einBMW;
   einBMW.zeigGeschw();
   einBMW.beschleunigen(70);
   einBMW.zeigGeschw();
   einBMW.Fahrzeug::beschleunigen();
   einBMW.zeigGeschw();
   return 0;
}
```

Ausgabe:

```
0 km/h
70 km/h
80 km/h
```

Ein Aufruf

```
einBMW.beschleunigen();  // FEHLER
```

würde nicht etwa den Zugriff auf die geerbte parameterlose Variante der Methode bedeuten, sondern eine Fehlermeldung des Compilers nach sich ziehen.

32 Überladen von Operatoren

Wie Ihnen bekannt ist, können Operationen auf den Datenelementen eines Objekts durchgeführt werden, grundsätzlich aber nicht auf den Objekten als solchen. Vorausgesetzt, es existieren zwei Objekte `A` und `B` einer Klasse `Punkt`, die die Datenelemente `x` und `y` besitzen. Dann bedeutet dies, dass zwar eine Addition der Koordinaten wie folgt möglich ist:

```
A.x + B.x
A.y + B.y
```

(sofern `x` und `y` den Zugriffsstatus `public` innehaben), nicht aber die entsprechende Operation mit den beiden Objekten als solchen:

```
A + B  // FEHLER
```

da der Zugriff auf ein Objekt grundsätzlich elementweise zu erfolgen hat. Einzige Ausnahme ist die direkte Zuweisung

```
A = B
```

bzw.

```
B = A
```

mit der die Werte aller Datenelemente der einen Instanz den Datenelementen der anderen Instanz zugewiesen werden.

Nun ist es möglich, einige der Ihnen bekannten Operatoren zu überladen. Das heißt, man kann für eine Klasse Methoden – »Operatorfunktionen« oder »Operatormethoden« genannt – definieren, die die entsprechenden Operationen in der Form

```
A + B
A - B
A * B
...
```

oder eben

```
B + A
B - A
B * A
```

usw. erlauben.

HINWEIS

Die Bezeichnung »Operatorfunktion« lehnt sich an den Ausdruck »Elementfunktion« an, der ja ebenfalls für Methoden einer Klasse gebräuchlich ist.

32.1 Welche Operatoren lassen sich überladen?

In Tabelle 32.1 sehen Sie eine Zusammenstellung der Ihnen bekannten Operatoren, die in der beschriebenen Weise überladen werden können:

Tabelle 32.1: Überladbare Operatoren

+	-	*	/	%	++
--	=	+=	-=	*=	/=
%=	<	<=	>	>=	==
!=	!	&&	‖	>>	<<
()	[]	->	&	->*	,

Wie gesagt, ist für den Zuweisungsoperator (=) eine entsprechende Operatormethode für jede Klasse bereits vordefiniert. Die Operatoren `new` und `delete` lassen sich zwar ebenfalls überladen, nehmen aber eine gewisse Sonderstellung ein, worauf hier und im Folgenden nicht näher eingegangen werden soll, zumal deren Überladung in der Praxis keine allzu bedeutende Rolle spielt. Nicht überladen werden kann der Bereichsauflösungsoperator (`::`), der Operator für die Elementauswahl, genannt Punktoperator (`.`), die Elementauswahl mit `.*`, der `sizeof`-Operator und der Bedingungsoperator (`?:`).

Bezüglich überladener Operatoren gilt:

- Sie beziehen sich stets auf Objekte einer bestimmten Klasse. Das bedeutet, dass eine Operatormethode grundsätzlich nicht statisch sein darf.
- Priorität und Assoziativität eines überladenen Operators bleiben erhalten.
- Ebenso unverändert bleibt die Zahl seiner Operanden. Ein unärer Operator bleibt also ein unärer Operator. Das Gleiche gilt für einen binären Operator.

32.2 Definition von Operatormethoden

Gegeben sei die folgende Klasse `Punkt`. Die Klasse enthält einen Standardkonstruktor, der die Koordinaten eines Punktes mit den Werten `0`, `0` initialisiert, sowie einen Konstruktor, für den entsprechende Parameter definiert sind. Für die privaten Datenelemente sind `get`- und `set`-Methoden definiert. Außerdem enthält die Klasse eine Methode, die die Koordinaten eines Punktes ausgibt:

```
class Punkt
{
private:
   int x;
   int y;
public:
   Punkt() {x = 0; y = 0;}
   Punkt(int xko, int yko)
   {x = xko; y = yko;}
   void setX(int xko) {x = xko;}
```

```
   int getX() {return x;}
   void setY(int yko) {y = yko;}
   int getY() {return y;}
   void zeigePunkt();
};
void Punkt::zeigePunkt()
{
   cout << "x-Koordinate: " << x << endl;
   cout << "y-Koordinate: " << y << endl;
}
```

HINWEIS

Es sei darauf hingewiesen, dass man statt der beiden Konstruktoren auch einen einzigen definieren und für dessen Parameter entsprechende Standardwerte setzen könnte:

```
Punkt(int xko = 0, int yko = 0)
{x = xko; y = yko;}
```

In diesem Fall kann der Konstruktor beim Instanzieren eines Punktes mit einem, zwei oder gar keinem Argument aufgerufen werden. Dabei stellt sich allein die Frage, ob man es Programmierern, die die Klasse `Punkt` nutzen, erlauben möchte, an den Konstruktor der Klasse nur einen einzigen Wert zu übergeben.

32.2.1 Überladen von binären Operatoren

Für die Klasse `Punkt` soll nun der binäre »+«-Operator überladen werden, sodass eine Operation in der Form

```
PunktEins + PunktZwei
```

bzw.

```
PunktZwei + PunktEins
```

möglich ist, wobei es sich bei `PunktEins` und `PunktZwei` um `Punkt`-Objekte handeln soll.

Die Definition einer Operatormethode unterscheidet sich an und für sich nicht von der einer gewöhnlichen nicht statischen Methode, abgesehen davon, dass einige weitere Vorgaben zu beachten sind:

- Die Anzahl der Parameter ist vorgeschrieben. Für eine Operatormethode, die einen binären Operator überlädt, gilt: Sie muss mit genau einem formalen Parameter definiert sein.
- Der Name einer Operatormethode setzt sich zusammen aus dem Schlüsselwort `operator` und dem Symbol für den zu überladenden Operator.

Der Name einer Operatorfunktion, die den »+«-Operator überlädt, ist also

```
operator+
```

Rückgabewert unserer Operatormethode soll ein Objekt der Klasse `Punkt` sein. Wir wollen den binären »+«-Operator in der Bedeutung überladen, dass mit Ausführung der entsprechenden Operatormethode die Koordinatenwerte des aktuellen `Punkt`-Objekts und diejenigen eines anderen addiert werden. Mit aktuellem `Punkt`-Objekt ist natürlich diejenige Instanz der Klasse gemeint, für die die Operatormethode jeweils aufgerufen wird. Einziger Parameter ist daher ebenfalls ein Objekt des Typs `Punkt`. Als Grundgerüst einer entsprechenden Methode zur Überladung des binären »+«-Operators für die Klasse `Punkt` ergibt sich damit:

```
Punkt operator+(Punkt Anderer)
{
}
```

Im Rumpf der Methode muss die Addition der Koordinaten des übergebenen Punktes mit den Datenelementen `x` und `y` des aktuellen Punktes stattfinden. Das Ergebnis wird einer lokalen Instanz der Klasse `Punkt` zugewiesen, die den Rückgabewert der Operatormethode bildet:

```
Punkt operator+(Punkt Anderer)
{
   Punkt SumKo;
   SumKo.x = x + Anderer.x;
   SumKo.y = y + Anderer.y;
   return SumKo;
}
```

Damit ergibt sich für die Klasse `Punkt` folgendes Aussehen:

```
class Punkt
{
private:
   int x;
   int y;
public:
   Punkt() {x = 0; y = 0;}
   Punkt(int xko, int yko)
   {x = xko; y = yko;}
   void setX(int xko) {x = xko;}
   int getX() {return x;}
   void setY(int yko) {y = yko;}
   int getY() {return y;}
   void zeigePunkt();
   Punkt operator+(Punkt Anderer)
   {
      Punkt SumKo;
      SumKo.x = x + Anderer.x;
      SumKo.y = y + Anderer.y;
      return SumKo;
   }
};
```

```
void Punkt::zeigePunkt()
{
   cout << "x-Koordinate: " << x << endl;
   cout << "y-Koordinate: " << y << endl;
}
```

bzw. – falls man die Operatormethode `operator+()` außerhalb der Klasse definiert:

```
class Punkt
{
private:
   int x;
   int y;
public:
   Punkt() {x = 0; y = 0;}
   Punkt(int xko, int yko)
   {x = xko; y = yko;}
   void setX(int xko) {x = xko;}
   int getX() {return x;}
   void setY(int yko) {y = yko;}
   int getY() {return y;}
   void zeigePunkt();
   Punkt operator+(Punkt Anderer);
};
void Punkt::zeigePunkt()
{
   cout << "x-Koordinate: " << x << endl;
   cout << "y-Koordinate: " << y << endl;
}
Punkt Punkt::operator+(Punkt Anderer)
{
   Punkt SumKo;
   SumKo.x = x + Anderer.x;
   SumKo.y = y + Anderer.y;
   return SumKo;
}
```

Die oben genannten Operationen sind nun mit Instanzen der `Punkt`-Klasse durchführbar, wie das folgende Beispiel zeigt:

```
#include <iostream>
using namespace std;

class Punkt
{
private:
   int x;
   int y;
public:
   Punkt() {x = 0; y = 0;}
   Punkt(int xko, int yko)
```

```
   {x = xko; y = yko;}
   void setX(int xko) {x = xko;}
   int getX() {return x;}
   void setY(int yko) {y = yko;}
   int getY() {return y;}
   void zeigePunkt();
   Punkt operator+(Punkt Anderer);
};
void Punkt::zeigePunkt()
{
   cout << "x-Koordinate: " << x << endl;
   cout << "y-Koordinate: " << y << endl;
}
Punkt Punkt::operator+(Punkt Anderer)
{
   Punkt SumKo;
   SumKo.x = x + Anderer.x;
   SumKo.y = y + Anderer.y;
   return SumKo;
}

int main(void)
{
   Punkt A(2, 3), B(10, 7), C;
   C = A + B;
   cout << "Punkt A: " << endl;
   A.zeigePunkt();
   cout << "Punkt B: " << endl;
   B.zeigePunkt();
   cout << "Punkt C: " << endl;
   C.zeigePunkt();
   return 0;
}
```

Ausgabe:

```
Punkt A:
x-Koordinate: 2
y-Koordinate: 3
Punkt B:
x-Koordinate: 10
y-Koordinate: 7
Punkt C:
x-Koordinate: 12
y-Koordinate: 10
```

Beachten Sie, dass die Operatormethode das Objekt, für das sie aufgerufen wird – hier `A` –, nicht verändert. Damit kann der »+«-Operator für `Punkt`-Objekte in ähnlicher Bedeutung verwendet werden, wie man es von den Standarddatentypen her gewohnt ist.

Es sei darauf hingewiesen, dass ein Ausdruck

```
Objekt_1 + Objekt_2
```

schließlich eine Kurzform für den expliziten Methodenaufruf

```
Objekt_1.operator+(Objekt_2)
```

darstellt. Im Beispiel hätte man also statt

```
A + B
```

auch

```
A.operator+(B)
```

schreiben können:

```
#include <iostream>
using namespace std;

class Punkt
{
private:
   int x;
   int y;
public:
   Punkt() {x = 0; y = 0;}
   Punkt(int xko, int yko)
   {x = xko; y = yko;}
   void setX(int xko) {x = xko;}
   int getX() {return x;}
   void setY(int yko) {y = yko;}
   int getY() {return y;}
   void zeigePunkt();
   Punkt operator+(Punkt Anderer);
};
void Punkt::zeigePunkt()
{
   cout << "x-Koordinate: " << x << endl;
   cout << "y-Koordinate: " << y << endl;
}
Punkt Punkt::operator+(Punkt Anderer)
{
   Punkt SumKo;
   SumKo.x = x + Anderer.x;
   SumKo.y = y + Anderer.y;
   return SumKo;
}

int main(void)
{
   Punkt A(2, 3), B(10, 7), C;
   C = A.operator+(B);
```

```
   cout << "Punkt A: " << endl;
   A.zeigePunkt();
   cout << "Punkt B: " << endl;
   B.zeigePunkt();
   cout << "Punkt C: " << endl;
   C.zeigePunkt();
   return 0;
}
```

Ausgabe:

```
Punkt A:
x-Koordinate: 2
y-Koordinate: 3
Punkt B:
x-Koordinate: 10
y-Koordinate: 7
Punkt C:
x-Koordinate: 12
y-Koordinate: 10
```

Dies nur zum besseren Verständnis. Sinn und Zweck der Operatorüberladung ist es natürlich, zu ermöglichen, dass Operatoren für Objekte einer bestimmten Klasse in der gewohnten Weise verwendet werden können. In der Regel wird man daher der Kurzschreibweise den Vorzug geben. Wichtig für Sie zu wissen ist aber, dass es sich – bezogen auf obiges Beispiel – bei einem Ausdruck wie

```
A + B
```

tatsächlich um einen Aufruf der Operatormethode `operator+()` für das Objekt `A` mit dem Argument `B` handelt.

Beachten Sie, dass eine Definition der obigen Operatormethode `operator+()` mit je einem Parameter für die x- sowie für die y-Koordinate als Syntaxfehler interpretiert wird:

```
Punkt operator+(int xko, int yko)  // FEHLER
{
   Punkt SumKo;
   SumKo.x = x + xko;
   SumKo.y = y + yko;
   return SumKo;
}
```

Eine Methode zum Überladen eines binären Operators darf deshalb nicht mehr – und auch nicht weniger – als einen Parameter besitzen, da ein binärer Operator eben genau einen rechten Operanden hat und das Argument einer aufgerufenen Operatormethode – bezogen auf die Kurzschreibweise – ja diesen rechten Operanden darstellt.

Während jedoch der linke Operand eines in Form einer Klassenmethode überladenen Operators immer die Instanz ist, für die die entsprechende Operatormethode aufgerufen wird, muss es sich bei dem rechten Ope-

randen nicht notwendig um ein Objekt derselben Klasse handeln. So ließe sich für die Klasse `Punkt` auch eine Operatormethode definieren, die Operationen in der Form

```
einPunkt + 7
```

gestattet. Wobei `einPunkt` natürlich ein `Punkt`-Objekt sein muss, der rechte Operand aber ein beliebiger Integerwert sein kann. Im Ergebnis soll eine Addition der Koordinatenwerte eines Punktes mit einem Integerwert stattfinden, sodass z.B. der obige Ausdruck ein `Punkt`-Objekt mit den Koordinaten `8`, `9` liefert, falls `einPunkt` die Koordinaten `1`, `2` besitzt:

```
Punkt operator+(int koo)
{
   Punkt SumKo;
   SumKo.x = x + koo;
   SumKo.y = y + koo;
   return SumKo;
}
```

Auch diese Methode führt keine Veränderungen am aktuellen Objekt durch. Dessen Datenelemente `x` und `y` erscheinen allein jeweils auf der rechten Seite beider Zuweisungen. Für den passenden Rückgabewert sorgt wiederum das lokale Objekt `SumKo`:

```
#include <iostream>
using namespace std;

class Punkt
{
private:
   int x;
   int y;
public:
   Punkt() {x = 0; y = 0;}
   Punkt(int xko, int yko)
   {x = xko; y = yko;}
   void setX(int xko) {x = xko;}
   int getX() {return x;}
   void setY(int yko) {y = yko;}
   int getY() {return y;}
   void zeigePunkt();
   Punkt operator+(Punkt Anderer);
   Punkt operator+(int koo);
};
void Punkt::zeigePunkt()
{
   cout << "x-Koordinate: " << x << endl;
   cout << "y-Koordinate: " << y << endl;
}
```

```
Punkt Punkt::operator+(Punkt Anderer)
{
   Punkt SumKo;
   SumKo.x = x + Anderer.x;
   SumKo.y = y + Anderer.y;
   return SumKo;
}
Punkt Punkt::operator+(int koo)
{
   Punkt SumKo;
   SumKo.x = x + koo;
   SumKo.y = y + koo;
   return SumKo;
}

int main(void)
{
   Punkt A(25, 5), B;
   B = A + 5;
   cout << "Punkt A: " << endl;
   A.zeigePunkt();
   cout << "Punkt B: " << endl;
   B.zeigePunkt();
   return 0;
}
```

Ausgabe:

```
Punkt A:
x-Koordinate: 25
y-Koordinate: 5
Punkt B:
x-Koordinate: 30
y-Koordinate: 10
```

Nun kann es sich ein Programmierer, der die Klasse `Punkt` in seinen Programmen verwendet, aussuchen, ob er einen Punkt oder einen einfachen Integerwert als rechten Operanden der für die Klasse verfügbaren »+«-Operation einsetzen möchte. Wie gesagt, ist die Bedeutung dieser Operation mit den Definitionen der beiden Operatormethoden `operator+` festgelegt.

HINWEIS

Lassen Sie sich durch den Sprachgebrauch nicht irritieren. Der binäre »+«-Operator wurde für die Klasse `Punkt` überladen und die Operatormethode `operator+` ist ebenfalls überladen. Genau genommen hat das eine nichts mit dem anderen zu tun. Ersteres bedeutet, dass für Objekte der Klasse `Punkt` nunmehr eine »+«-Operation durchgeführt werden kann, Letzteres, dass in der Klasse – also in ein und demselben Gültigkeitsbereich – zwei Methoden gleichen Namens definiert sind (zum Überladen von Funktionen siehe Abschnitt 21.5).

Das folgende Beispiel, in dem zwei »+«-Operationen miteinander verkettet werden, verdeutlicht, dass die Linksassoziativität des binären »+«-Operators nach dessen Überladung erhalten bleibt:

```
#include <iostream>
using namespace std;

class Punkt
{
private:
   int x;
   int y;
public:
   Punkt() {x = 0; y = 0;}
   Punkt(int xko, int yko)
   {x = xko; y = yko;}
   void setX(int xko) {x = xko;}
   int getX() {return x;}
   void setY(int yko) {y = yko;}
   int getY() {return y;}
   void zeigePunkt();
   Punkt operator+(Punkt Anderer);
   Punkt operator+(int koo);
};
void Punkt::zeigePunkt()
{
   cout << "x-Koordinate: " << x << endl;
   cout << "y-Koordinate: " << y << endl;
}
Punkt Punkt::operator+(Punkt Anderer)
{
   Punkt SumKo;
   SumKo.x = x + Anderer.x;
   SumKo.y = y + Anderer.y;
   return SumKo;
}
Punkt Punkt::operator+(int koo)
{
   Punkt SumKo;
   SumKo.x = x + koo;
   SumKo.y = y + koo;
   return SumKo;
}

int main(void)
{
   Punkt Erster(11, 4), Zweiter(2, 3);
   cout << "Punkt Zweiter vor der Zuweisung: " << endl;
   Zweiter.zeigePunkt();
   Zweiter = Zweiter + 30 + Erster;
   cout << "Punkt Zweiter nach der Zuweisung: " << endl;
```

```
   Zweiter.zeigePunkt();
   return 0;
}
```

Ausgabe:

```
Punkt Zweiter vor der Zuweisung:
x-Koordinate: 2
y-Koordinate: 3
Punkt Zweiter nach der Zuweisung:
x-Koordinate: 43
y-Koordinate: 37
```

Mit der Zuweisung

```
Zweiter = Zweiter + 30 + Erster;
```

werden zu den bestehenden Koordinatenwerten von `Zweiter` je der Wert `30` sowie die Koordinatenwerte des Punktes `Erster` hinzuaddiert. Dabei entspricht die Ausführung der Additionsoperationen der Klammerung

```
Zweiter = (Zweiter + 30) + Erster;
```

wobei der Ausdruck

```
Zweiter + 30
```

ein `Punkt`-Objekt zurückgibt und daher die folgende Addition zweier Punkte problemlos durchgeführt werden kann. Beachten Sie, dass die nicht geklammerte Anweisung des Beispiels fehlerhaft wäre, falls es sich mit + um einen rechtsassoziativen Operator handeln würde, da eine Operation

```
30 + Erster
```

eben nicht durchführbar ist.

32.2.2 Überladen von unären Operatoren

Als Beispiel für die Überladung eines unären Operators soll uns der Dekrementoperator (`--`) dienen. Er soll für die Klasse `Punkt` in der Bedeutung überladen werden, dass die damit verbundene Operation den Wert beider Koordinaten um den Betrag von eins vermindert. Eine Operatormethode, die einen unären Operator überlädt, ist grundsätzlich parameterlos, da ein unärer Operator ja nur einen einzigen Operanden besitzt. Rückgabewert der Operatormethode ist wiederum ein Objekt der Klasse `Punkt`.

```
Punkt operator--()
{
}
```

Im Unterschied zu den Operatormethoden des vorigen Abschnitts soll nun das Objekt, für das die Methode aufgerufen wird, tatsächlich in der beschriebenen Weise verändert werden. Zudem soll ein Ausdruck wie

```
--einPunkt
```

natürlich gleichzeitig den Wert des modifizierten Objekts zurückgeben. Um aus der Methode die Werte des aktuellen Objekts herauszugeben, liegt es daher nahe, statt einer lokalen Kopie für den Rückgabewert den dereferenzierten `this`-Zeiger zu verwenden:

```
Punkt operator--()
{
   x--;
   y--;
   return *this;
}
```

Fügt man diese Methode der Klasse `Punkt` hinzu, so können Objekte dieser Klasse in der beschriebenen Weise dekrementiert werden:

```
#include <iostream>
using namespace std;

class Punkt
{
private:
   int x;
   int y;
public:
   Punkt() {x = 0; y = 0;}
   Punkt(int xko, int yko)
   {x = xko; y = yko;}
   void setX(int xko) {x = xko;}
   int getX() {return x;}
   void setY(int yko) {y = yko;}
   int getY() {return y;}
   void zeigePunkt();
   Punkt operator+(Punkt Anderer);
   Punkt operator+(int koo);
   Punkt operator--();
};
void Punkt::zeigePunkt()
{
   cout << "x-Koordinate: " << x << endl;
   cout << "y-Koordinate: " << y << endl;
}
Punkt Punkt::operator+(Punkt Anderer)
{
   Punkt SumKo;
   SumKo.x = x + Anderer.x;
   SumKo.y = y + Anderer.y;
   return SumKo;
}
Punkt Punkt::operator+(int koo)
{
   Punkt SumKo;
   SumKo.x = x + koo;
```

```
   SumKo.y = y + koo;
   return SumKo;
}
Punkt Punkt::operator--()
{
   x--;
   y--;
   return *this;
}

int main(void)
{
   Punkt Eins(7, 6), Zwei;
   Zwei = --Eins;
   cout << "Punkt Eins: " << endl;
   Eins.zeigePunkt();
   cout << "Punkt Zwei: " << endl;
   Zwei.zeigePunkt();
   return 0;
}
```

Ausgabe:

```
Punkt Eins:
x-Koordinate: 6
y-Koordinate: 5
Punkt Zwei:
x-Koordinate: 6
y-Koordinate: 5
```

Wie am Beispiel zu sehen ist, erfolgt die Inkrementierung in der Bedeutung einer Präfixnotation, da in der Anweisung

```
Zwei = --Eins;
```

das Objekt `Zwei` die Werte des dekrementierten Objekts `Eins` erhält. Schließlich ist die Methode `operator--()` ja entsprechend eingerichtet. Daher würde sich an diesem Ergebnis auch nichts ändern, falls man den Operator `--` in der Postfixnotation verwendet:

```
Zwei = Eins--;
```

Allerdings erhielten Sie vermutlich einen Hinweis Ihres Compilers, dass er auf die Präfixvariante zurückgreift, da keine Postfixversion definiert ist.

Tatsächlich ist für die obige Definition der Operatormethode `operator--()` die Präfixschreibweise vorgesehen. Das heißt, korrekt kann dieser Operator nur in der Form

```
--einPunkt
```

verwendet werden.

HINWEIS

Wobei es sich natürlich um zwei verschiedene Dinge handelt, wie die Operation im Code zu notieren ist und was die Operation bewirkt. Letzteres entscheidet allein die Operatormethode, die dahinter steht, bzw. deren Implementation. So ließe sich die obige Methode `operator--()` natürlich auch dementsprechend einrichten, dass die Dekrementierung gegebenenfalls erst im Anschluss an eine Zuweisung erfolgt. Womit die Präfixvariante des Dekrementoperators für die Klasse `Punkt` in einer Bedeutung vorläge, die der von den elementaren Datentypen her gewohnten genau entgegensteht (was natürlich nicht als Empfehlung verstanden werden soll).

Um eine entsprechende Operatormethode in der Postfixversion zu definieren, muss die Methode mit einem zusätzlichen Integerparameter versehen werden. Dies sowie das bezüglich Präfix-/Postfixnotation Gesagte gilt natürlich in gleicher Weise für den Inkrementoperator. Insofern bilden beide Operatoren eine Ausnahme von der oben genannten Regel, dass Operatormethoden für unäre Operatoren keine Parameter besitzen.

Allerdings wird dieser Parameter nicht weiterverwendet. Er dient lediglich in Verbindung mit dem Überladen von Operatoren dazu – indem er angegeben oder eben nicht angegeben wird –, den Compiler zwischen Präfix- und Postfixvariante unterscheiden zu lassen. Demgemäß wird Ihr Compiler die Definition einer Methode `operator++()` mit einem `int`-Parameter erwarten, falls er im Code einen Ausdruck wie z.B.

```
einPunkt++
```

antrifft.

Als Grundgerüst für die Postfixversion der Methode `operator--()` für die Klasse `Punkt` ergibt sich damit:

```
Punkt operator--(int)
{
}
```

HINWEIS

Es ist nicht erforderlich, einen Bezeichner für den Parameter anzugeben, da dieser innerhalb der Methode nicht verwendet wird.

Der Rückgabewert ist wie bei der Präfixmethode vom Typ `Punkt`. Allerdings werden wir die Operation in der gewohnten Bedeutung einrichten, das heißt, ein Ausdruck wie

```
einPunkt--
```

soll den Wert des `Punkt`-Objekts vor der Dekrementierung zurückgeben. Dazu werden die Koordinaten vor der Dekrementierung in einem lokalen `Punkt`-Objekt gespeichert und dieses anschließend aus der Methode herausgegeben:

```
Punkt operator--(int)
{
   Punkt KopieAlt = *this;
   x--;
   y--;
   return KopieAlt;
}
```

Fügt man diese Methode der `Punkt`-Klasse hinzu, so kann die Postfixnotation in der bekannten Form für Instanzen dieser Klasse eingesetzt werden:

```
#include <iostream>
using namespace std;

class Punkt

{
private:
   int x;
   int y;
public:
   Punkt() {x = 0; y = 0;}
   Punkt(int xko, int yko)
   {x = xko; y = yko;}
   void setX(int xko) {x = xko;}
   int getX() {return x;}
   void setY(int yko) {y = yko;}
   int getY() {return y;}
   void zeigePunkt();
   Punkt operator+(Punkt Anderer);
   Punkt operator+(int koo);
   Punkt operator--();
   Punkt operator--(int);
};
void Punkt::zeigePunkt()
{
   cout << "x-Koordinate: " << x << endl;
   cout << "y-Koordinate: " << y << endl;
}
Punkt Punkt::operator+(Punkt Anderer)
{
   Punkt SumKo;
   SumKo.x = x + Anderer.x;
   SumKo.y = y + Anderer.y;
   return SumKo;
}
Punkt Punkt::operator+(int koo)
{
   Punkt SumKo;
   SumKo.x = x + koo;
```

```
   SumKo.y = y + koo;
   return SumKo;
}
Punkt Punkt::operator--()
{
   x--;
   y--;
   return *this;
}
Punkt Punkt::operator--(int)
{
   Punkt KopieAlt = *this;
   x--;
   y--;
   return KopieAlt;
}

int main(void)
{
   Punkt Eins(7, 6), Zwei;
   Zwei = Eins--;
   cout << "Punkt Eins: " << endl;
   Eins.zeigePunkt();
   cout << "Punkt Zwei: " << endl;
   Zwei.zeigePunkt();
   return 0;
}
```

Ausgabe:

```
Punkt Eins:
x-Koordinate: 6
y-Koordinate: 5
Punkt Zwei:
x-Koordinate: 7
y-Koordinate: 6
```

Was den Ausdruck

```
Eins--
```

angeht, so kümmert sich Ihr Compiler um den Übergabewert an die Postfixoperatormethode. Anders verhält es sich, wenn man diese in der Form

```
Eins.operator--(5)
```

aufruft. Wobei der tatsächliche Wert des Arguments natürlich keine Bedeutung hat.

32.2.3 Überladen eines Vergleichsoperators

Zum Abschluss und um zu demonstrieren, dass eine Operatormethode nicht notwendig ein Objekt ihrer Klasse zurückgeben muss, soll die `Punkt`-Klasse noch um eine Überladung des binären Vergleichsoperators `==` erweitert werden. Dies soll in der Bedeutung geschehen, dass ein Ausdruck

```
Punkt_1 == Punkt_2
```

den Wert `true` liefert, falls x- und y-Koordinaten beider Punkte übereinstimmen, andernfalls `false`. Demnach muss die Operatormethode `operator==()` einen booleschen Wert zurückgeben. Rechter Operand ist ein `Punkt`-Objekt, womit der Typ des formalen Parameters ebenfalls feststeht. Im Rumpf der Methode sind die entsprechenden Koordinatenvergleiche durchzuführen:

```
bool operator==(Punkt Anderer)
{
   if (x == Anderer.x && y == Anderer.y)
      return true;
   else
      return false;
}
```

Definiert man die Methode außerhalb der Klasse, ergibt sich für diese nunmehr folgendes Bild:

```
#include <iostream>
using namespace std;

class Punkt
{
private:
   int x;
   int y;
public:
   Punkt() {x = 0; y = 0;}
   Punkt(int xko, int yko)
   {x = xko; y = yko;}
   void setX(int xko) {x = xko;}
   int getX() {return x;}
   void setY(int yko) {y = yko;}
   int getY() {return y;}
   void zeigePunkt();
   Punkt operator+(Punkt Anderer);
   Punkt operator+(int koo);
   Punkt operator--();
   Punkt operator--(int);
   bool operator==(Punkt Anderer);
};
```

```
void Punkt::zeigePunkt()
{
   cout << "x-Koordinate: " << x << endl;
   cout << "y-Koordinate: " << y << endl;
}
Punkt Punkt::operator+(Punkt Anderer)
{
   Punkt SumKo;
   SumKo.x = x + Anderer.x;
   SumKo.y = y + Anderer.y;
   return SumKo;
}
Punkt Punkt::operator+(int koo)
{
   Punkt SumKo;
   SumKo.x = x + koo;
   SumKo.y = y + koo;
   return SumKo;
}
Punkt Punkt::operator--()
{
   x--;
   y--;
   return *this;
}
Punkt Punkt::operator--(int)
{
   Punkt KopieAlt = *this;
   x--;
   y--;
   return KopieAlt;
}
bool Punkt::operator==(Punkt Anderer)
{
   if (x == Anderer.x && y == Anderer.y)
      return true;
   else
      return false;
}

int main(void)
{
   Punkt einPunkt(5, 15), nochEinPunkt(5, 15);
   if (einPunkt == nochEinPunkt)
   {
      cout << "Beide Punkte haben die gleichen"
           << " Koordinaten" << endl;
   }
```

```
   else
   {
      cout << "Die Koordinaten beider Punkte sind"
           << " verschieden" << endl;
   }
   return 0;
}
```

Ausgabe:

```
Beide Punkte haben die gleichen Koordinaten
```

33 Ausnahmebehandlung

Während des Programmlaufs auftretende Fehler werden in C++ »Ausnahmen« (englisch »exceptions«) genannt. Der ANSI/ISO C++-Standard sieht insgesamt acht Ausnahmesituationen vor. Darüber hinaus steht es dem Programmierer frei, im Code Ausnahmesituationen nach seiner Wahl selbst festzulegen. Ebenso ist es möglich, Ausnahmen im Code individuell zu behandeln.

In diesem Zusammenhang bedient man sich einer speziellen Ausdrucksweise: Wenn während des Programmlaufs eine Fehlersituation auftritt, sagt man: Es wird eine Ausnahme »geworfen«. Dementsprechend spricht man vom Auffangen dieser Ausnahme, falls im Code auf die spezielle Fehlersituation reagiert wird. Dies geschieht, wie wir gleich sehen werden, in einem separaten Anweisungsblock, dem so genannten `catch`-Handler (»catch«, zu Deutsch »fangen«).

33.1 try – catch

Nehmen wir an, in einem Programm wird der Benutzer aufgefordert, zwei Zahlen einzugeben, die im Anschluss daran die Operanden einer Division bilden:

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main(void)
{
   double z1, z2, ergebnis;
   cin >> z1 >> z2;
   ergebnis = z1 / z2;
   cout << "Ergebnis: " << ergebnis;
   // …
   return 0;
}
```

Gibt der Benutzer nun als zweite Zahl eine Null ein, so ist das Ergebnis der Operation

```
z1 / z2
```

nicht vorhersehbar.

HINWEIS

Einige Compiler behandeln Divisionen durch Null in mehr oder weniger unbefriedigender Weise automatisch, andere gar nicht. Im ersteren Fall hat die oben genannte Operation nur undefinierte Berechnungsergebnisse zur Folge, im letzteren führt sie zu einem Programmabsturz.

Will man für die beschriebene Situation eine Ausnahmebehandlung durchführen, so fasst man den sensiblen Code zunächst in einen Block, der mit dem Schlüsselwort `try` eingeleitet wird:

```
int main(void)
{
   double z1, z2, ergebnis;
   try
   {
      cin >> z1 >> z2;
      ergebnis = z1 / z2;
      cout << "Ergebnis: " << ergebnis;
   }
   // …
   return 0;
}
```

HINWEIS

Es sei darauf hingewiesen, dass sich jedem `try`-Block zumindest ein `catch`-Handler anschließen muss. Obige `main()`-Funktion ist in diesem Sinne (noch) fehlerhaft.

Um innerhalb des `try`-Blocks eine Ausnahmesituation festzulegen, verwendet man den `throw`-Operator, dessen rechter Operand ein beliebiger Ausdruck ist (»throw«, zu Deutsch »werfen«). Beispielsweise wird mit

```
throw 5;
```

eine Ausnahme mit dem Integerwert `5` geworfen, falls die Anweisung während des Programmlaufs zum Zuge kommt. Zur Verdeutlichung empfiehlt es sich, den Datentypbezeichner mit anzugeben:

```
throw int (5);
```

Wobei es grundsätzlich dem Programmierer überlassen bleibt, für welchen Datentyp bzw. für welchen Wert er sich entscheidet.

HINWEIS

Der Ausdruck

```
int (5)
```

erzeugt eine temporäre, namenlose Integervariable und initialisiert diese mit dem Wert `5`. Die Schreibweise lässt erkennen, dass auch elementare Datentypen über einen Konstruktor verfügen. So lässt sich eine Integervariable bei der Deklaration nicht nur mit

```
int zahl = 10;
```

sondern auch wie folgt initialisieren:

```
int zahl(10);
```

In unserem Beispiel soll, falls der Benutzer beim Programmlauf als zweite Zahl eine Null eingibt, eine Ausnahme des Typs `string` geworfen werden (wobei der spezielle Wert vorerst keine Rolle spielen soll). Wie gesagt, könnte es sich genauso gut um jeden anderen Datentyp handeln.

```
int main(void)
{
   double z1, z2, ergebnis;
   try
   {
      cin >> z1 >> z2;
      if (z2 == 0)
         throw string("");
      ergebnis = z1 / z2;
      cout << "Ergebnis: " << ergebnis;
   }
   // …
   return 0;
}
```

Wie oben angedeutet, muss einem `try`-Block unmittelbar ein `catch`-Handler folgen. Dies ist ein mit diesem Schlüsselwort eingeleiteter Block, der für die Ausnahmebehandlung vorgesehen ist. Nach dem Schlüsselwort `catch` ist in Klammern genau ein formaler Parameter anzugeben. Falls es nicht auf den speziellen Wert des Parameters ankommt, kann auf die Angabe eines Bezeichners verzichtet werden:

```
int main(void)
{
   double z1, z2, ergebnis;
   try
   {
      cin >> z1 >> z2;
      if (z2 == 0)
         throw string("");
      ergebnis = z1 / z2;
      cout << "Ergebnis: " << ergebnis;
   }
   catch (string)
   {
   }
   // …
   return 0;
}
```

Nun soll im Block des `catch`-Handlers auf die genannte Ausnahme in der Weise reagiert werden, dass das Programm mit einer passenden Fehlermeldung kontrolliert beendet wird:

```
#include <iostream>
#include <string>
using namespace std;

int main(void)
{
   double z1, z2, ergebnis;
```

```
   try
   {
      cin >> z1 >> z2;
      if (z2 == 0)
         throw string("");
      ergebnis = z1 / z2;
      cout << "Ergebnis: " << ergebnis;
   }
   catch (string)
   {
      cerr << "Fehler: Division durch Null" << endl;
      cerr << "Programm wird beendet" << endl;
      return -1;
   }
   // …
   return 0;
}
```

Ausgabe:

```
17.3  0
Fehler: Division durch Null
Programm wird beendet
```

HINWEIS

Zum Objekt `cerr` siehe Abschnitt 27.2 »Aus Textdateien lesen«.

Die Funktion exit()

Die `return`-Anweisung beendet, wie Ihnen bekannt ist, nur die aktuelle Funktion – was natürlich gleichbedeutend mit dem Programmende ist, falls sich die Programmausführung wie hier in `main()` befindet. Um ein Programm von einer anderen Funktion aus unverzüglich zu beenden, können Sie die Funktion `exit()` verwenden. Dabei ist zu beachten, dass `exit()` immer mit einem Integerwert aufzurufen ist, auch wenn der Rückgabetyp der aktuellen Funktion `void` ist:

```
…
void function()
{
   try
   {
      …
   }
   catch(string)
   {
      …
      exit(-1);
   }
}
```

```
int main()
{
   …
   function();
   …
}
```

Falls die Programmausführung im `catch`-Handler der Funktion `function()` landet, beendet dort die Anweisung

```
exit(-1);
```

das Programm mit dem Rückgabewert `-1`.

Wie bei den Parametern einer Funktion kann der Übergabewert an den `catch`-Handler von diesem im Block auch weiterverarbeitet werden. In diesem Fall ist der Bezeichner des formalen Parameters anzugeben. Schließlich handelt es sich auch hier um die Deklaration einer Variablen:

```
#include <iostream>
#include <string>
using namespace std;

int main(void)
{
   double z1, z2, ergebnis;
   try
   {
      cin >> z1 >> z2;
      if (z2 == 0)
         throw string("Fehler: Division durch Null");
      ergebnis = z1 / z2;
      cout << "Ergebnis: " << ergebnis;
   }
   catch (string s)
   {
      cerr << s << endl;
      cerr << "Programm wird beendet" << endl;
      return -1;
   }
   // …
   return 0;
}
```

Ausgabe:

```
19  0
Fehler: Division durch Null
Programm wird beendet
```

33.1.1 Benutzerdefinierte Klassen für die Fehlerbehandlung

Im Allgemeinen ist es sinnvoll, für die Ausnahmebehandlung eigene Datentypen zu verwenden. Der Code wird dadurch übersichtlicher. In diesem Sinne bietet es sich bezüglich des obigen Beispiels an, für die Ausnahme »Division durch Null« eine Klasse `DivDurchNull` zu definieren:

```
#include <iostream>
#include <string>
using namespace std;

class DivDurchNull
{
public:
   string meldung;
   DivDurchNull() {}
   DivDurchNull(string m)
   {meldung = m;}
};

int main(void)
{
   double z1, z2, ergebnis;
   try
   {
      cin >> z1 >> z2;
      if (z2 == 0)
         throw DivDurchNull ("Fehler: Division durch Null");
      ergebnis = z1 / z2;
      cout << "Ergebnis: " << ergebnis;
   }
   catch (DivDurchNull F)
   {
      cerr << F.meldung << endl;
      cerr << "Programm wird beendet" << endl;
      return -1;
   }
   // …
   return 0;
}
```

Ausgabe:

```
56  0
Fehler: Division durch Null
Programm wird beendet
```

Falls man für Ausnahmen des Typs `DivDurchNull` in seinen Programmen grundsätzlich keine Übergabewerte an `catch`-Handler vorsieht, ließe sich die Klassendefinition auch auf ein Minimum reduzieren:

```
#include <iostream>
using namespace std;

struct DivDurchNull {};

int main(void)
{
   double z1, z2, ergebnis;
   try
   {
      cin >> z1 >> z2;
      if (z2 == 0)
         throw DivDurchNull();
      ergebnis = z1 / z2;
      cout << "Ergebnis: " << ergebnis;
   }
   catch (DivDurchNull)
   {
      cerr << "Fehler: Division durch Null" << endl;
      cerr << "Programm wird beendet" << endl;
      return -1;
   }
   // …
   return 0;
}
```

Ausgabe:

```
7.5  0
Fehler: Division durch Null
Programm wird beendet
```

HINWEIS

Der `throw`-Ausdruck

`DivDurchNull()`

erzeugt ein temporäres `DivDurchNull`-Objekt unter Verwendung eines Standardkonstruktors, der der Klasse vom Compiler automatisch hinzugefügt wird (siehe Abschnitt 25.3.2 »Standardkonstruktor«).

33.1.2 Mehrere catch-Handler

Grundsätzlich können sich einem `try`-Block beliebig viele `catch`-Handler anschließen:

```
try
{
   …
}
catch(DivDurchNull)
{
   …
}
```

```
catch(FileOpenError dat)
{
   cerr << "Datei " << dat
        << "konnte nicht geoeffnet werden";
   …
}
```

Wird im `try`-Block eine Ausnahme geworfen, so landet die Programmausführung im ersten vom Typ her passenden `catch`-Handler (wobei die angegebenen `catch`-Handler von oben nach unten betrachtet werden). Sobald ein `catch`-Handler zur Ausführung gelangt, fährt die Programmausführung mit der ersten Anweisung nach dem letzten `catch`-Handler fort – es sei denn, das Programm bzw. die Funktion wird im Block des ausgeführten `catch`-Handlers beendet.

Wird eine Ausnahme nicht behandelt, ist also kein zum Typ der Ausnahme passender `catch`-Handler definiert, so führt dies zu einem impliziten Aufruf einer Funktion `terminate()`, die für den Abbruch des Programms mit der Meldung »abnormal program termination« sorgt. Um dies zu vermeiden, lässt sich ein `catch`-Handler definieren, der jede Ausnahme fängt. Dazu sind in den Klammern drei Punkte (...) anzugeben:

```
try
{
   …
}
catch(DivDurchNull)
{
   …
}
catch(FileOpenError dat)
{
   cerr << "Datei " << dat
        << "konnte nicht geoeffnet werden";
   …
}
catch(...)
{
   //
}
```

Beachten Sie, dass der allgemeine `catch`-Handler von der Logik her der letzte sein muss.

33.2 Auffangen von Ausnahmen im Aufrufer

Die Philosophie der Ausnahmebehandlung von C++ besteht darin, Fehlerursache und Fehlerbehandlung voneinander zu trennen. Dies ist vor allem dann bedeutsam, wenn eine Funktion die andere aufruft, wobei Ausnahmen in der aufgerufenen Funktion im Aufrufer behandelt wer-

den. Hat man etwa eine Funktion `div()`, die Ausnahmen des Typs `DivDurchNull` wirft, aber nicht selbst darauf reagiert, so können diese in der aufrufenden Umgebung aufgefangen werden:

```
#include <iostream>
using namespace std;

struct DivDurchNull {};

double div(double a, double b)
{
   if (b == 0)
      throw DivDurchNull();
      return a / b;
}

int main(void)
{
   try
   {
      double zahl1, zahl2, erg;
      cout << "Gib mir zwei Zahlen: ";
      cin >> zahl1 >> zahl2;
      erg = div(zahl1, zahl2);
      cout << "Ergebnis: " << erg;
      // …
      return 0;
   }
   catch (DivDurchNull)
   {
      cerr << "Fehler: Division durch Null" << endl;
      cerr << "Programm wird beendet" << endl;
      return -1;
   }
   catch(...)
   {
      cerr << "Unerwartete Ausnahme" << endl;
      cerr << "Programm wird beendet" << endl;
   }
}
```

Ausgabe:

```
Gib mir zwei Zahlen: 85  0
Fehler: Division durch Null
Programm wird beendet
```

Falls in `div()` mit

```
throw DivDurchNull();
```

eine Ausnahme geworfen wird, erfolgt ein unverzüglicher Rücksprung nach `main()`. Dort wird dann der passende `catch`-Handler ausgeführt.

Nach Abarbeitung eines catch-Handlers verbleibt die Programmausführung im Aufrufer, es erfolgt also nicht etwa ein automatischer Rücksprung in die Funktion, in der der Fehler aufgetreten ist.

Sobald also eine Funktion eine Ausnahme wirft und diese nicht im Block der Funktion aufgefangen wird, wird der dazu passende catch-Handler in der aufrufenden Umgebung gesucht. Dieser Mechanismus funktioniert auch über mehrere Aufrufebenen hinweg:

```
void func1()
{
   …
   // func1() wirft Ausnahme vom Typ ErrorXY
   throw ErrorXY();
   …
}
void func2()
{
   …
   func1();
   …
}
int main()
{
   try
   {
      …
      func2();
      …
   }
   catch(ErrorXY)
   {
      // Hier werden Ausnahmen vom Typ ErrorXY behandelt
   }
}
```

Hier wird im try-Block von main() die Funktion func2() aufgerufen, in dieser wiederum die Funktion func1(), die Ausnahmen des Typs ErrorXY wirft. Falls diese Ausnahmesituation während der Programmausführung in func1() auftritt, es also zur Ausführung der Anweisung

```
throw ErrorXY();
```

kommt, erfolgt der unverzügliche Sprung nach main(), da sich dort der nächste passende catch-Handler befindet.

A Anhänge

A.1 Die CD-ROM zum Buch

Die CD-ROM zum Buch enthält folgende Verzeichnisse:

- **InstallVC6:** Hier findet sich die Autorenversion des Visual C++-Compilers. Die Installationsdatei heißt SETUP.EXE. Die Installation ist ausführlich in Kapitel 2 beschrieben.
- **Listings:** Enthält die Quellcodes. Die Listings sind geordnet nach Kapiteln (*Kapitel_5.rtf*, *Kapitel_6.rtf* usw.)
- **ProgK_23:** Ausführbares Programm (*lotto.exe*) mit zwei Quellcodedateien (*lotto.cpp*, *function.cpp*) und einer Headerdatei (*function.h*).
- **ProgK_27:** Ausführbares Programm (*bank.exe*) mit Text- (*Kunden.txt*) und Quellcodedatei (*bank.cpp*) sowie eine weitere Textdatei (*Warenbestand.txt*) im Verzeichnis.
- **ProgK_29:** Ausführbares Programm (*bank.exe*) mit Text- (*Kunden.txt*) und Quellcodedatei (*bank.cpp*) im Verzeichnis.

A.2 Schlüsselwörter in C++

Schlüsselwörter			
asm	auto	bad_cast	bad_typeid
bool	break	case	catch
char	class	const	const_cast
continue	default	delete	do
double	dynamic_cast	else	enum
except	explicit	extern	false
finally	float	for	friend
goto	if	inline	int
long	mutable	namespace	new
operator	private	protected	public
register	reinterpret_cast	return	short
signed	sizeof	static	static_cast
struct	switch	template	this
throw	true	try	type_info
typedef	typeid	typename	union
unsigned	using	virtual	void
volatile	while		

A.3 Prioritätsreihenfolge der C++-Operatoren

Priorität	Operator	Bedeutung	Assoziativität
17	`::`	Bereichszugriff (unär)	keine
17	`::`	Bereichszugriff (binär)	von links nach rechts
16	`(...)`	Funktionsaufruf	von links nach rechts
16	`[...]`	Arrayindex	von links nach rechts
16	`->`	Elementauswahl	von links nach rechts
16	`.`	Elementauswahl	von links nach rechts
16	`static_cast<`*Typ*`>`	zur Übersetzungszeit geprüfte Konvertierung	keine
16	`dynamic_cast <`*Typ*`>`	zur Laufzeit geprüfte Konvertierung	keine
16	`reinterpret_cast <`*Typ*`>`	ungeprüfte Konvertierung	keine
16	`const_cast<`*Typ*`>`	const-Konvertierung	keine
15	`++`	Inkrement	keine
15	`--`	Dekrement	keine
15	`!`	logische Negation	keine
15	`~`	bitweise Negation	keine
15	`-`	unäres Minuszeichen	keine
15	`+`	unäres Pluszeichen	keine
15	`&`	Adresse	keine
15	`*`	Dereferenzierung	keine
15	`sizeof`	Größe in Byte	keine
15	`new`	Anforderung von Speicher	keine
15	`delete`	Freigabe von Speicher	keine

Priorität	Operator	Bedeutung	Assoziativität
15	(*Typ*)	Cast (Typkonvertierung)	von rechts nach links
14	.*	Elementauswahl	von links nach rechts
14	->*	Elementauswahl	von links nach rechts
13	*	Multiplikation	von links nach rechts
13	/	Division	von links nach rechts
13	%	Modulo	von links nach rechts
12	+	Addition	von links nach rechts
12	-	Subtraktion	von links nach rechts
11	<<	Linksschieben	von links nach rechts
11	>>	Rechtsschieben	von links nach rechts
10	<	kleiner als	von links nach rechts
10	<=	kleiner gleich	von links nach rechts
10	>	größer als	von links nach rechts
10	>=	größer gleich	von links nach rechts
9	==	Gleichheit	von links nach rechts
9	!=	Ungleichheit	von links nach rechts
8	&	bitweises Und	von links nach rechts

Priorität	Operator	Bedeutung	Assoziativität
7	^	bitweises Exklusiv-Oder	von links nach rechts
6	|	bitweises Oder	von links nach rechts
5	&&	logisches Und	von links nach rechts
4	||	logisches Oder	von links nach rechts
3	? :	Bedingungsoperator	von rechts nach links
2	=	Zuweisung	von rechts nach links
2	*=	Multiplikation und Zuweisung	von rechts nach links
2	/=	Division und Zuweisung	von rechts nach links
2	%=	Modulo und Zuweisung	von rechts nach links
2	+=	Addition und Zuweisung	von rechts nach links
2	-=	Subtraktion und Zuweisung	von rechts nach links
2	<<=	Linksschieben und Zuweisung	von rechts nach links
2	>>=	Rechtsschieben und Zuweisung	von rechts nach links
2	&=	bitweises Und und Zuweisung	von rechts nach links
2	|=	bitweises Oder und Zuweisung	von rechts nach links
2	^=	bitweises Exklusiv-Oder und Zuweisung	von rechts nach links
1	,	Sequenzoperator	von links nach rechts
1	throw	Ausnahme werfen	keine

B Glossar

A

Abgeleitete Klassen: →Klassen, die von einer oder mehreren anderen Klassen erben (→ Vererbung). Die Bezeichnung »abgeleitete Klasse« existiert nur in Bezug auf eine →Basisklasse.

Anweisungen: Im Code enthaltene Programmteile, die die Ursache dafür bilden, dass beim späteren Programmlauf etwas geschieht. Jede Anweisung hat dabei eine ganz spezielle Wirkung und setzt sich gewöhnlich aus einer Reihe von →Textbausteinen zusammen. Das Anweisungsende jeder C++-Anweisung bildet ein Semikolon.

Argumente: Werte, die beim Aufruf einer →Funktion oder →Methode an diese übergeben werden.

Arrays: Menge von Variablen gleichen →Datentyps, die nebeneinander im Speicher liegen und daher unter einem einzigen Bezeichner mittels Indexangabe angesprochen werden können.

Attribute: Datenelemente einer →Klasse.

B

Basisklassen: →Klassen, von denen eine oder mehrere andere Klassen erben (→Vererbung). Dabei bezieht sich die Bezeichnung »Basisklasse« allein auf das Verhältnis zur jeweils abgeleiteten (erbenden) Klasse.

Benutzerdefinierte Datentypen: →Datentypen, die der Programmierer im Code selbst definieren kann. Sie setzen sich stets in irgendeiner Form aus elementaren Datentypen zusammen. Ein Beispiel hierfür ist die Definition einer →Klasse.

Block: Alle →Anweisungen, die zwischen einer öffnenden und einer schließenden geschweiften Klammer stehen (`{...}`), bilden zusammen einen Block.

C

Compiler: Software zum Übersetzen des Quellcodes in Maschinencode.

D

Datentypen: Bestimmen die möglichen Werte, die Datenobjekte annehmen können, sowie die Operationen, die mit diesen Werten ausgeführt werden können. Jedem Datenobjekt ist genau ein Datentyp zugeordnet.

Dekrementieren:

Vermindern des Wertes einer numerischen →Variablen um den Betrag von eins.

Destruktor: Gegenstück zum →Konstruktor. Besondere →Methode, die automatisch aufgerufen wird, wenn die Lebensdauer eines Klassenobjekts erlischt, das heißt wenn der für das Objekt reservierte Speicherbereich vom Programm wieder freigegeben wird.

E

Eigenschaften: Datenelemente einer →Klasse. Im Allgemeinen sind mit dieser Bezeichnung nur die nicht statischen Datenelemente gemeint, also solche, die sich auf einzelne Klassenobjekte beziehen. Demgemäß spricht man von den Eigenschaften eines Objekts und meint damit diejenigen Datenelemente, die nur diesem Objekt gehören (siehe auch →statische Datenelemente).

Elementare Datentypen: →Standarddatentypen.

Elemente: einer →Klasse sind alle für diese definierten Attribute und →Methoden, statische wie nicht statische.

Elementfunktionen: Andere Bezeichnung für →Methoden.

F

Funktionen: Unterprogramm, das einen Namen hat und dem →Argumente übergeben werden können. Die Funktion gibt außerdem nach Beendigung einen Wert zurück. Sie besteht aus einem Funktionskopf und einem Funktionsrumpf. Der Code wird in aller Regel in mehrere Funktionen aufgeteilt. In der Regel wird eine Funktion eine fest umrissene Teilaufgabe abdecken.

H

Heap: Spezieller Bereich des Arbeitsspeichers, in dem von Programmen zur Laufzeit Speicher angefordert und auch wieder freigegeben werden kann.

I

IDE: Abkürzung für »Integrated Development Environment« (auf Deutsch »integrierte Entwicklungsumgebung«). Software, in der alle notwendigen Programmierwerkzeuge unter einer Benutzeroberfläche zusammengefasst sind.

Inkrementieren: Erhöhen des Wertes einer numerischen →Variablen um den Betrag von eins.

Instanz: Andere Bezeichnung für →Objekt.

K

Kapselung: Prinzip, den inneren Aufbau einer →Klasse nach außen hin zu verbergen. Die Benutzung der Klasse erfolgt dabei allein über genau definierte Schnittstellen, z.B. über öffentliche →Methoden. Solange diese Schnittstellen – also z.B. →Signatur oder Rückgabewert von `public`-

Methoden – nicht geändert werden, haben Änderungen innerhalb der Klasse keinerlei Auswirkungen auf Programme, die die Klasse verwenden, und müssen von diesen daher auch nicht berücksichtigt werden.

Klassen: Eine Art Schablone, die einen eigenen →Datentyp beschreibt. Sie ist sozusagen der Bauplan für künftige →Variablen – »Objekte« oder »Instanzen« genannt – dieser Klasse (dieses Typs). Die Objekte vereinen Daten und →Funktionen. Letztere werden in Verbindung mit Klassen als →Methoden bezeichnet.

Konstruktor: Spezielle →Methode, die für jedes Klassenobjekt (→Klassen) bei dessen Instanzierung (der Erzeugung eines konkreten Objekts) automatisch aufgerufen wird.

L

Leere Anweisung: →Anweisung, die keine →Textbausteine enthält, also allein aus dem Anweisungsendezeichen – einem Semikolon – besteht.

Linker: Programm, das im Zuge des Übersetzungsvorgangs aus einer bzw. mehreren →Objektdateien das ausführbare Programm erzeugt.

Literal: Repräsentiert im Quelltext einen konstanten Wert und zwar in direkter, nicht in symbolischer Form.

L-Werte: Solche Werte, die auf der linken Seite einer Zuweisung stehen können, also »Links«-Werte. Dazu zählen alle Datenobjekte, die Platz im Arbeitsspeicher beanspruchen, wie z.B. →Variablen, aber gegebenenfalls auch →Zeiger und →Referenzen, da diese ja einen Verweis auf bzw. einen Alias für solche Datenobjekte darstellen.

M

Methoden: →Funktionen, die für eine →Klasse definiert sind, auch »Elementfunktionen« genannt.

O

Objekt: →»Variable« vom Typ einer →Klasse. Eine andere Bezeichnung für »Objekt« ist »Instanz«.

Objektdatei: Vom Compiler erzeugte Datei, die bereits den übersetzten Maschinencode enthält, aber in der noch keine Funktionsaufrufe (→Funktion) aufgelöst sind. Dafür ist der →Linker zuständig. Der Begriff »Objektdatei« hat trotz des Namens nichts mit objektorientierter Programmierung zu tun.

OOP: Abkürzung für »objektorientierte Programmierung«.

Operatorfunktionen: Speziell definierte →Funktionen, mit deren Hilfe sich bestimmte Operatoren für →Klassen →überladen lassen. Die entsprechenden Operationen können danach in der gewohnten Form, mit Bezeichnern von Klassenobjekten als Operanden, notiert werden, so wie man es von den einfachen →Datentypen her gewohnt ist.

P

Parameter: →Variablen einer →Funktion oder →Methode, die bei deren Aufruf mit den →Argumenten initialisiert werden. Allerdings bezeichnet man auch Letztere verallgemeinernd als Parameter. Um den Unterschied deutlich zu machen, nennt man die in der Funktion bzw. Methode deklarierten Variablen »formale Parameter«, die im Funktions- bzw. Methodenaufruf angegebenen Argumente »aktuelle Parameter«.

Präprozessor: Teil der zum Übersetzen von C++-Programmen in Maschinencode benötigten Software. Der Präprozessor führt Textersetzungen durch und entfernt Kommentare aus dem Quellcode, bevor ihn der eigentliche Compiler erhält.

private: →Zugriffsspezifizierer für Klassenelemente.

protected: →Zugriffsspezifizierer für Klassenelemente. Ein `protected`-Element verhält sich bezüglich seiner →Klasse wie ein `private`-Element. Unterschiede bestehen nur in Bezug auf →abgeleitete Klassen.

public: →Zugriffsspezifizierer für Klassenelemente.

Referenzen: Alternative Namen für Datenobjekte mit der Funktion eines Verweises. Referenzen sind eine Neuerung von C++ gegenüber der Programmiersprache C. Sie sind in der Regel einfacher zu handhaben und weniger fehlerträchtig als →Zeiger.

R

R-Werte: Werte, die ausschließlich auf der rechten Seite (das »R« steht für »rechts«) einer Zuweisung auftreten können, nie auf der linken. Darunter fallen etwa →Literale oder symbolische Konstanten.

S

Schleifen: Besondere Konstrukte der Programmiersprache, die es erlauben, im Programm Wiederholungsabläufe einzurichten.

Schlüsselwörter: Namen, die fest zur Programmiersprache gehören und die eine ganz bestimmte Bedeutung haben.

Signatur einer Funktion/Methode: Die Kombination aus Bezeichner plus Parameterliste (→Parameter) einer →Funktion bzw. einer →Methode. Über die Signatur kann eine Funktion bzw. Methode eindeutig identifiziert werden.

Standarddatentypen: →Datentypen, die direkt zur Programmiersprache gehören. Das Gegenstück dazu sind →benutzerdefinierte Datentypen.

Standardkonstruktor: →Konstruktor ohne →Parameter.

Statische Datenelemente: →Attribute einer →Klasse, die für alle →Objekte dieser Klasse gleichzeitig verfügbar sind, sich also nicht auf eine bestimmte Instanz beziehen. Anders als das bei nicht statischen Klassenattributen der Fall ist, existiert ein statisches nur in einer einzigen Ausfertigung (siehe auch →statische Methoden).

Statische Methoden: →Methoden, die zu einer bestimmten →Klasse gehören, nicht aber zu einzelnen →Objekten dieser Klasse (siehe auch →statische Datenelemente).

Strings: So werden Zeichenketten und auch →Variablen vom Datentyp `string` bezeichnet.

Struktur: Ursprünglich – in Verbindung mit der Programmiersprache C – eine Zusammenfassung verschiedener →Datentypen zu einem neuen Datentyp. In C++ können auch →Methoden Mitglied einer Struktur sein. Die Struktur ist daher in C++ ebenfalls eine →Klasse. Im Gegensatz zu den mit dem Schlüsselwort `class` definierten Klassen sind die →Elemente einer mit `struct` definierten Klasse – also einer Struktur – per Default `public`.

T

Textbausteine: bilden die einzelnen Bestandteile einer →Anweisung und werden auch als »Token« bezeichnet. Textbausteine können →Schlüsselwörter, Bezeichner, →Literale, Operatoren oder Zeichen mit besonderer Bedeutung sein.

Token: →Textbausteine.

Ü

Überladen: Das Definieren mehrerer gleichnamiger →Methoden, die sich in ihrer →Signatur unterscheiden. Der Zweck ist es, dass eine Methode (oder ein Operator, wenn ein solcher überladen wird; vergleiche hierzu unter →Operatorfunktionen) scheinbar mit verschiedenen →Datentypen arbeiten kann und man sich nicht verschiedene Namen ausdenken muss. In Wirklichkeit existieren weiterhin mehrere, datentypabhängige Methoden (oder Operatoren), wenn diese überladen werden, dem Programmierer präsentieren sie sich aber unter einem gemeinsamen Namen.

V

Variable: Benannter Ort im Arbeitsspeicher, an dem Werte abgelegt, gelesen und auch verändert werden können.

Vererbung: Bezeichnet den Sachverhalt, dass eine →Klasse die →Elemente einer anderen übernimmt, ohne dass diese in der ersteren explizit definiert werden müssen.

Z

Zeiger: →Variablen, die die Adressen anderer Datenobjekte aufnehmen können.

Zugriffsspezifizierer: regeln den Zugriff auf die einzelnen →Elemente der →Klasse und werden in der Definition einer Klasse angegeben.

Stichwortverzeichnis

Symbole

-- 153
! 231
!= 230
97
#define-Direktive 456 ff.
#elif 457
#else 457
#endif 457 f.
#if 457
#ifdef 457 f.
#ifndef 457 f.
#include 51, 57
#include-Direktive 57, 455
%= 152
& 461
&& 231
*= 153
++ 153
+= 151 f.
.cpp-Dateien 40, 45
.exe-Dateien 61, 67 f.
.obj-Dateien 334
/* */ 85
// 83
/= 152
::-Operator 338, 420
< 229
<< (Ausgabeoperator) 53, 101
<= 229
-= 152
== 230
> 229
-> (Operator) 471
>= 229
>> (Eingabeoperator) 101, 139
?: 259, 260
[] 481
\\ 121
\' 121
\" 121
\0 121
\a 121 f.
\b 121
\f 122
\n 108, 120
\r 124
\t 120 f.
\v 122
{ 99
|| 231
} 99

A

Abgeleitete Klassen 499 f.
Ableitung *siehe* Vererbung
Additionsoperator 135
Adressen von Arrays 309
Adressoperator 461
Aktuelle Parameter 341
Algorithmus 167, 263, 362
Allokation 477, 493
American National Standards Institute 80
ANSI C 80
ANSI/ISO C++-Standard 23, 50, 80
ANSI/ISO-Standard 23, 50, 80
ANSI-Standard 23, 50, 80
Anweisungen 53 f., 60, 106
Anweisungsende 60, 92 f.
Arbeitsbereiche 39 f., 42, 46, 70
Arbeitsbereichsfenster 40, 42, 44 f., 71
Argumente 341
Arrays 295 ff.
  mehrdimensionale 303 f.
ASCII-Code 114 f., 280, 318
  erweiterter 115, 117, 215
ASCII-Format 39
Assoziativität von Operatoren 156 f.
atof() (Funktion) 320 f.
atoi() (Funktion) 320
Attribute 385, 389
Aufruf von Funktionen 329, 341 f.
Aufrufer 329
Ausdrücke 145 ff.
  komplexe 147 f.
Ausführen von C++Programmen 61, 68 ff.
Ausführungsreihenfolge von
  Anweisungen 53
Ausgabeanweisungen 108

Ausgabeeinheiten 101, 109
Aneinanderhängen von 104 f.
Ausgabefenster der Visual C++IDE 64, 69
Ausgabeoperatoren 101, 106
Auskommentieren 88
Ausnahmebehandlung 535
Ausnahmen
auffangen 537
im Aufrufer auffangen 542
werfen 536
auto (Speicherklasse) 358

B

Basic (Programmiersprache) 94
Basisklasse 500 ff.
Bedingte Kompilierung 457
Bedingte Zuweisung 261
Bedingungsoperator 259 ff.
Befehle 24
siehe auch Anweisungen
Befehlszeile 24 f.
Benutzeroberfläche grafische 24
Benutzerschnittstelle grafische 26 f.
Bereichsauflösungsoperator 338, 420
Bereichszugriffsoperator 338, 420
Bezeichner 96, 125, 127, 129
Bezeichnerwahl 127, 129
Bibliotheken 23, 337
Binäre Operatoren 147, 230
überladen 517
Blöcke 93 ff.
bool (Datentyp) 199 f.
Boole, George 199
Borland-Compiler 24, 26, 29 f., 40, 61, 64, 76
break-Anweisung 283 f.

C

C (Programmiersprache) 78, 94
C# (Programmiersprache) 94
C++Programme, Aufbau 53
C++Standard 80
c_str() (Methode) 325
call by reference 473
call by value 344
case 250 ff.
case-sensitiv 49
Casting 227 f.
catch 537
catch-Handler 535
mehrere verwenden 541
cerr (Objekt) 442
char (Datentyp) 102 f., 200
character 101
cin (Objekt) 101, 139 f., 436
cin.get() 312 f.
class 393
Clear Screen (CLS) 68
close() (Methode) 436
CLS (DOS-Befehl) 68
cmath (Headerdatei) 337
cmd 25
Cobol (Programmiersprache) 94
Compiler 20 ff., 27, 29, 40, 53, 56 f., 334
Compiler-Dokumentation 40
conio.h (Headerdatei) 69, 317, 337
const (Schlüsselwort) 170 f., 468 f.
const-Konstanten 170 f.
continue 284
cout 54, 79, 101
Objekt 101 ff., 353, 436
cout.put() 316
cstdlib (Headerdatei) 262, 321
ctime (Headerdatei) 264, 338

D

Datei, ausführbare 17, 23, 25
Dateierweiterung 18, 20, 26, 40
Dateioperationen 435
Datenausgabe 101
Dateneingabe 101
Datenströme 101
Datentypen 101 f., 199 f.
elementare 102
Datentypqualifizierer 200 f.
Debug 61
Debugger 90
Deklaration von Funktionen 333 f., 337
Dekrementoperator 153
Postfixnotation 154 f.
Präfixnotation 154 f.
delete (Operator) 477
Dereferenzierung von Zeigern 466
Dereferenzierungsoperator 466, 471
Destruktoren 411, 413, 481 ff.
Destruktormethoden 411, 413, 482 f.

DJGPP (Compiler) 30
do while-Schleife 274 f.
double (Datentyp) 161 f., 200
Dreieckstausch 142 f., 472

E

E (in Zahlwerten) 164, 178
Editieren von C++Programmen 70
Editor 20, 23, 39
Editorfenster 45
Eigenschaften 385, 388
Eingabeaufforderung 24 f.
Eingabeoperator 101
Eingabepuffer 312, 314 f.
Eingebaute Datentypen 102, 200 f.
Elemente
  einer Struktur 384 ff., 390
  von Klassen 389, 393
Elementfunktion 515
Elementzugriffsoperator 389, 471
else if 245 ff.
emacs (Editor) 39
endl (Manipulator) 108
Endlosschleifen 64, 269 f.
Entwicklungsumgebung 39, 90
  siehe auch Integrierte Entwicklungsumgebung
eof() (Methode) 442
Escape-Sequenzen 39, 111 ff.
exceptions *siehe* Ausnahmen
exit() (Funktion) 538
Explizite Typumwandlung 211, 226 f.
Exponentialschreibweise 164, 178

F

Fakultät 270 f., 280
false 170, 199, 230
Fehlerausgabefenster der Visual C++-IDE 77
Fehlerbehandlung 535
Fehlerbeschreibung 77
Fehlermeldungen des Compilers 53 f., 68, 76 f.
Fehlersuche 88
Feldbreite 193 f., 197
fixed
  Ausgabeformat 178
  Manipulator 187
Fließkommawerte 164
Fließkommazahlen 164
float (Datentyp) 161 f., 200
Formale Parameter 341
Formalparameter 342
Formatierung von Ausgaben 175 ff.
for-Schleife 276 ff.
fstream (Headerdatei) 435
Füllzeichen 195
Funktionen 54, 57, 94, 327 ff.
  definieren 327 f.
  deklarieren 333 ff., 337
  Rückgabewerte von 347
  überladen 352
  vordefinierte 57
Funktionsdeklarationen 333 f., 337
Funktionskopf 55
Funktionsprototypen 333 ff.
Funktionsrumpf 55

G

GCC-Compiler 29, 40
Genauigkeit 175 f., 189
Gesamtausdruck logischer 231 ff.
get() (Methode) 440
getch() (Funktion) 69, 316
getche() (Funktion) 317
Gleitkommadatentypen 164
Gleitkommatypen 164
Gleitkommawerte 164, 179, 182, 201
  interne Speicherung 164
Gleitkommazahlen 164
Gleitpunktwerte 164
Gleitpunktzahlen 164
global resolution-Operator 338, 420
Globale Variablen 357, 359
Globaler Namensbereich 357
Graphical User Interface (GUI) 24
Grundtypen 200
GUI (Graphical User Interface) 24, 26
GUI-Programmierung 27, 44, 80
Gültigkeitsbereich 343 f., 358 f.
  von Variablen 285 ff.

H

Haltebefehle 69
Hat-Beziehung 417
Headerdateien 57, 335 ff.
Heap 357, 477

I

if else 243, 245
if-Anweisung 237 f.
ifstream
  Klasse 435 f., 440
Implizite Typumwandlung 211 ff.
Initialisierung 136 f.
  von Arrays 300 f., 304
Inkrementoperator 153
  Postfixnotation 154 f.
  Präfixnotation 154 f.
inline-Funktionen 356 f.
Instanz 411
Instanzieren von Klassenobjekten 411
int (Datentyp) 200
Integerdivision 223, 226 f.
Integrated Development Environment 23
Integrierte Entwicklungsumgebung 22 f., 27, 39 f.
International Organization for Standardization (ISO) 80
iomanip (Headerdatei) 182, 188, 338
iomanip.h (Headerdatei) 182
iostream 57
  Headerdatei 50, 57, 336, 338
iostream.h (Headerdatei) 337
ISO (International Organization for Standardization) 80
Ist-Beziehung 417
istream (Klasse) 436
itoa() (Funktion) 320, 322

J

Java (Programmiersprache) 94

K

Kapselung 408
kbhit() (Funktion) 317
Kernighan, Brian W. 49, 78
Klassen 54, 94, 383, 385, 389, 393, 395 ff.
  vordefinierte 57
Klassenelemente 389, 393
Klassenobjekte *siehe* Objekte
Kommandozeile 26
Kommandozeilen-Compiler 24, 39 f., 64, 70
Kommaoperator 282
Kommentare 55
  auskommentieren 88
  einsetzen 87 f.
  einzeilige 83 f.
  mehrzeilige 85 ff.
Kommentarsymbole 86
Kommentarzeichen 55, 83, 85 f.
Kommentarzeile 55
Kompilieren von C++Programmen 61 f., 64, 66, 70
Kompilierung 20, 22
Komponenten einer Struktur 383 f., 390
Komponentenzugriffsoperator 389
Konkatenation 138
Konsole 24 ff.
Konsolenprogramme 26, 29
Konstanten
  benannte 170
  symbolische 170, 172
  unbenannte 170
Konstruktoren 411 ff., 503 f.
  überladen 411, 413
Konstruktormethode 413
Kontrollstrukturen 53, 200, 229 f., 232, 267 ff.
  verschachteln 240
Konvertierung *siehe* Typumwandlung

L

Laufvariable 277
Laufzeitfehler 75
Lebensdauer von Variablen 287 ff.
Leerräume 96 f.
Leerstellen 51
Leerzeichen 45, 52, 76, 96
  innerhalb von Zeichenketten 51
left (Manipulator) 196
LIFO 358
Lineare Listen 474
Linker 22 f., 334
Linux 21, 25 f., 29, 39
Literale 163, 170
Logische Fehler 75
Logische Operatoren 231
long (Datentyp) 200, 202 f.
long double (Datentyp) 200 f.
long int (Datentyp) 202
L-Werte 146, 171

M

Macintosh 30
main() (Funktion) 55 f., 70, 350
Manipulatoren 101, 107 f., 175 ff.
Mantisse 164
Maschinenbefehle 19
Maschinencode 19, 57
Maschinensprache 19 f., 22
math.h (Headerdatei) 336 f.
Mehrfachvererbung 500
Methoden 54, 94, 395 ff.
Minuszeichen 148
Modularisierung 335
Modulo (Operator) 150 f.

N

Namensbereiche 419 f.
Namensgleichheit 292 ff.
Namenskonflikte 294
Namensräume 419 f.
Negation, logische 231
new (Operator) 477
Newline-Zeichen 97, 108
Nicht objektorientierte
  Programmiersprachen 94
Normalform 164
NULL 466, 479
Nullbyte 122, 301, 305, 307, 310
Nullzeichen 122, 307

O

Objektdateien 22, 334
Objekte 54, 383, 385 f., 395 ff.
  vordefinierte 57
Objektorientierte Programmiersprachen 94
Objektorientierte Programmierung 94
Oder, logisches 231
Offset 309, 491
ofstream (Klasse) 435 f., 440
Online-Hilfe 35
open() (Methode) 435
Operatoren 96, 145 ff.
  arithmetische 149
  binäre 147, 230, 517
  logische 231 f.
  Priorität 156 f., 234
  überladen 515, 517
  unäre 147, 526
Operatorfunktionen 515
Operatormethoden 515 ff.
  Definition von 516
ostream (Klasse) 436

P

Parameter
  aktuelle 341
  formale 341
  von Funktionen 339 ff., 472
Parameterliste von Funktionen 342, 352
Pascal (Programmiersprache) 94
Pointer 461
Portierbarkeit von Programmen 21, 27, 78
Postfixnotation von Inkrement- und
  Dekrementoperatoren 154 f.
Präfixnotation von Inkrement- und
  Dekrementoperatoren 154 f.
Präprozessor 22, 51, 57, 335, 455, 457
Präprozessor-Direktiven 51, 97, 455
Priorität
  von logischen Operatoren 234
  von Operatoren 156
  von Vergleichsoperatoren 234
private (Zugriffsspezifizierer) 393, 406, 408
private-Vererbung 501 ff.
Programm 17, 20
Programmdatei 17 ff.
  ausführbare 20, 22
Programmfehler 75
Programmierbefehle 53
Programmierfehler 73 f.
Programmierstil 99
  Regeln 55, 99
Projektdateien 40, 43
Projekte 39 f., 42, 45, 70
  leeres 43
Prompt 24 f.
protected (Zugriffsspezifizierer) 501
protected-Vererbung 505 ff.
Prototypen von Funktionen 333 ff.
public (Zugriffsspezifizierer) 393, 405 f., 411
public-Vererbung 508 f.
Punktoperator 389, 471
put() (Methode) 440

Q

Quellcode 20 ff., 40, 51
Quellcodedatei 22, 39, 44 f.
Quelldatei 22, 39, 44 f.
Quelltext 20 ff., 40,51
Quelltextdatei 22, 39, 44 f.

R

rand() (Funktion) 261 f., 264, 371
RAND_MAX 261
Referenzen 493 f.
Rekursion 330, 354
resetiosflags() (Manipulator) 183 ff.
return-Anweisung 284, 348
right (Manipulator) 196
Ritchie, Dennis M. 49, 78
Rückgabewerte
  von Funktionen 347 f.
  von main() 350
R-Werte 146, 171

S

Schleifen 251, 267 ff.
  abweisende 268
  annehmende 274
Schleifenvariable 277 f.
Schlüsselwörter 19, 91, 96, 170
Schnittstellen, grafische 24, 27
scientific
  Ausgabeformat 178
  Manipulator 187
scope-Operator 338
Sequenzoperator 281 f.
setf() (Methode) 197
setfill() (Manipulator) 195
setiosflags() (Manipulator) 182 f.
setprecision() (Manipulator) 188, 192
setw() (Manipulator) 193, 195
short (Datentyp) 200, 202
short int (Datentyp) 200, 202
Signatur einer Funktion 353, 510
signed 202 f.
sizeof-Operator 161 ff., 302
Sonderzeichen 45, 92
source code 20
Sprachstandard 23
srand() (Funktion) 263, 372
Stack 357
Standard 26
Standardausgabegerät 54, 101
Standardbibliothek 337 f., 421
Standarddatentypen 102, 200 f.
Standardeingabe 101
Standardeingabegerät 139
Standardkonstruktor 415, 417
Standardparameter von Funktionen 351
Standardwerte von Funktionen 351
Statements 53 f., 60, 106
static
  Schlüsselwort 423
  Speicherklasse 358 f., 423
static-Variablen 291
Statische Attribute einer Klasse 423 f.
Statische Elemente einer Klasse 423 f.
Statische Methoden einer Klasse 426 f.
std (Namensraum) 58, 338, 421
stdio.h (Headerdatei) 337
stdlib.h (Headerdatei) 262, 321
Steuerzeichen 39, 111 ff.
strcmp() (Funktion) 318
strcpy() (Funktion) 320
Streamklassen 436
Streamobjekte 436
string 102
  Datentyp 137 f., 200
String-Konstanten *siehe* Zeichenketten
Strings (Variablen vom Datentyp string) 138
  siehe auch Zeichenketten
string-Variablen 323 ff.
Stroustrup, Bjarne 77
struct 383, 393
Strukturelemente 389
Strukturen 383 f.
switch-Anweisung 250 ff.
Syntaxfehler 73 ff.
Syntaxregeln 53, 91 f.

T

Tabulatorschritte 76, 96
Teilausdrücke, logische 231 ff.
Terminal 25
Textbausteine 77, 91 f.
Textdateien 435, 441, 444
Textverarbeitungsprogramm 39
this-Zeiger 475 ff.

throw 536
time() (Funktion) 261
time.h (Headerdatei) 264, 338
Token 92
true 170, 199, 230
try catch 535
Tutorials 30
Typkonvertierung *siehe* Typumwandlung
Typmodifizierer 171
Typumwandlung 211 ff.
  explizite 226 f.
  implizite 211 ff.

U

Überdecken von Methoden 510
Überladen
  von Funktionen 352 f.
  von Konstruktoren 411, 413
Überschreiben von Methoden 510
Unäre Operatoren 147, 526
  überladen 526
Und, logisches 231
Unix 21
unsigned 202 f.
using namespace std 50, 54, 57

V

Variablen 125 ff.
  globale 357, 359
  Gültigkeitsbereich 285 ff.
  Initialisierung von 136
  Lebensdauer 287
  lokale 358
Vererbung 417, 499 f.
  Mehrfachvererbung 500
Vergleichsoperatoren 229 f.
Verkettung von Strings 107
Verschachteln von Blöcken 96
Verzweigungen 229 f.
vi (Editor) 39
Visual C++ 23, 80
Visual C++-Compiler 29 f., 39 f., 61, 70, 76
  Installation 31, 33
  Online-Hilfe 35, 47 f.
Visual C++-IDE 77, 90, 444
Visual Studio 27, 52, 58
void 56, 341, 347, 349 f.
Vorgabeformat 178

W

Wahrheitswerte 199
Warnungen des Compilers 164
Wertübergabe 344
while-Schleife 267 ff.
Wiederholungsanweisungen *siehe* Schleifen
Window-Manager 27
Windows (Betriebssystem) 21, 25, 29 f., 39
Windows-Editor 39
Windows-Explorer 24, 44, 69 f.
Windows-Programme 26 f.
Windows-Programmierung 27

Z

Zählschleife 276
Zeichenketten 97, 102 f., 106, 122, 308 ff.
  Aneinanderhängen von 107
Zeichenkettenkonstanten *siehe* Zeichenketten
Zeiger 346, 461, 463 ff., 495
Zeigerattribute 473, 475
Zeigervariablen 346, 461 f. 464 f.
Zeilenumbrüche 76
Zufallsgenerator 263 f., 372
Zufallszahlen 261, 263, 264, 371
Zugriffsspezifizierer 405, 406
Zuweisungen 129, 130, 131, 132
  zusammengesetzte 151, 152
Zuweisungsoperator 130
Zwischenraumzeichen 51, 53, 76,
  96, 97, 107

Copyright

Daten, Texte, Design und Grafiken dieses eBooks, sowie die eventuell angebotenen eBook-Zusatzdaten sind urheberrechtlich geschützt. Dieses eBook stellen wir lediglich als persönliche Einzelplatz-Lizenz zur Verfügung!

Jede andere Verwendung dieses eBooks oder zugehöriger Materialien und Informationen, einschliesslich

- der Reproduktion,
- der Weitergabe,
- des Weitervertriebs,
- der Platzierung im Internet, in Intranets, in Extranets,
- der Veränderung,
- des Weiterverkaufs
- und der Veröffentlichung

bedarf der schriftlichen Genehmigung des Verlags.

Insbesondere ist die Entfernung oder Änderung des vom Verlag vergebenen Passwortschutzes ausdrücklich untersagt!

Bei Fragen zu diesem Thema wenden Sie sich bitte an: info@pearson.de

Zusatzdaten

Möglicherweise liegt dem gedruckten Buch eine CD-ROM mit Zusatzdaten bei. Die Zurverfügungstellung dieser Daten auf unseren Websites ist eine freiwillige Leistung des Verlags. Der Rechtsweg ist ausgeschlossen.

Hinweis

Dieses und viele weitere eBooks können Sie rund um die Uhr und legal auf unserer Website

http://www.informit.de

herunterladen