



Leseprobe

Ulrich Breymann

C++

eine Einführung

ISBN (Buch): 978-3-446-44637-3

ISBN (E-Book): 978-3-446-44912-1

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-44637-3>

sowie im Buchhandel.

Inhalt

Vorwort	13
1 Erste Grundlagen	15
1.1 Historisches	15
1.2 Die Programmiersprache C++ und die Maschine.....	16
1.3 Werkzeuge zum Programmieren	18
1.3.1 Der Editor	18
1.3.2 Der Compiler	19
1.4 Die Beispiele	20
1.5 Wo gibt es Hilfe?	20
1.6 Das erste Programm!.....	21
1.6.1 Fehlermeldungen	24
1.7 Eingaben und Kommentare.....	26
1.7.1 Kommentare und Namen	28
1.8 Zahltypen und -bereiche	29
1.8.1 Ganze Zahlen	29
1.8.2 Kommazahlen	33
1.8.3 Bit-Operatoren.....	34
1.8.4 Vorsicht Falle: Umwandlung des Zahltyps	35
1.9 Zeichen und Zeichenketten.....	38
1.9.1 Eingabe	41

1.9.2	Zeichen und Zahlen.....	43
1.10	C++-Quiz	44
2	Zahlen raten – Kontrollstrukturen anwenden	47
2.1	Fallunterscheidung mit if	47
2.1.1	Vergleichsoperatoren	49
2.1.2	Logische Verknüpfungen.....	50
2.1.3	Bedingungsoperator	52
2.1.4	if und Fehler bei der Eingabe	53
2.1.5	Fehler in Verbindung mit if	55
2.1.6	C++-Quiz	56
2.2	Wiederholungen.....	57
2.2.1	while-Schleife.....	57
2.2.2	do-while-Schleife.....	59
2.2.3	for-Schleife	61
2.2.4	Abbruch mit break	62
2.2.5	Abbruch mit boolescher Variable	63
2.2.6	continue – zurück an den Anfang.....	63
2.2.7	C++-Quiz	64
2.3	Der Zufall kommt ins Spiel.....	66
2.3.1	Bereich für Zufallszahlen definieren.....	69
2.4	Konstante	71
2.5	Auswahl mit switch	73
2.6	Aufzählungstyp	76
2.7	C++-Quiz	78
3	Ein- und Ausgabe.....	79
3.1	Standerdein- und -ausgabe	80
3.1.1	Umleitung auf Betriebssystemebene	81
3.2	Ein- und Ausgabe mit Dateien.....	82
3.2.1	Schreiben einer Textdatei (Spielerdatenbank)	82
3.2.2	Einlesen der Spielerdatenbank	84

3.2.3	Binärdatei	86
3.3	Formatierung der Ausgabe	88
3.4	C++-Quiz	89
4	Aufgaben strukturieren	91
4.1	Deklaration und Definition	92
4.1.1	Übergabe per Wert	93
4.1.2	Überladen einer Funktion	95
4.2	Trennung von Schnittstelle und Implementation	96
4.2.1	Namensräume	100
4.2.2	Präprozessoranweisungen	101
4.3	Übergabe per Referenz	102
4.4	Dateiübergreifende Sichtbarkeit	104
4.5	Rekursion	106
4.6	Einschränkung der Sichtbarkeit	109
4.7	C++-Quiz	112
5	Das Spielfeld	113
5.1	Eine Zeile	113
5.1.1	Zeilen mit array	114
5.1.2	Zeilen mit vector	116
5.2	Das Spielfeld – viele Zeilen	117
5.2.1	Spielfeld mit vector	119
5.2.2	Feld vorbesetzen	120
5.3	Die Anwendung – TicTacToe	121
5.4	C++-Quiz	130
6	Spieler, Würfel und Klassen	133
6.1	Objektorientierung	134
6.2	Klasse Spieler	136
6.2.1	explicit	141
6.2.2	private oder public?	142

6.3	Trennung von Schnittstelle und Implementation	143
6.4	Mehr über Konstruktoren	145
6.4.1	Allgemeiner Konstruktor	145
6.4.2	Standardkonstruktor.....	145
6.4.3	Kopierkonstruktor.....	146
6.4.4	Einheitliche Initialisierung.....	149
6.5	Die Zerstörung von Objekten	150
6.5.1	Der Laufzeit-Stack.....	150
6.5.2	Destruktor	151
6.6	Klasse Würfel.....	153
6.7	Würfelspiel: Mensch gegen Maschine	155
6.7.1	Der Computer spielt gegen sich selbst	156
6.8	C++-Quiz	161
7	Grafik mit C++	163
7.1	Ereignisgesteuerte Programmierung	164
7.2	Einfache Grafik	165
7.3	Klassenvariablen und -funktionen.....	169
7.4	Ereignisse.....	171
7.5	Bewegte Grafik.....	173
7.6	Grafikerzeugung	181
7.7	C++-Quiz	187
8	Dynamische Speicherbeschaffung	189
8.1	Zeiger.....	190
8.1.1	Zeiger auf Zeichen	192
8.1.2	Zeigerarithmetik und Wahrheitswerte	193
8.2	C-Arrays.....	195
8.2.1	Parameterübergabe per Zeiger	197
8.3	Speicherbeschaffung.....	198
8.3.1	Die beste Art!.....	198
8.3.2	new und delete – tun Sie es nicht!.....	199

8.3.3	unique_ptr	202
8.3.4	shared_ptr	204
8.4	Grafische Objekte dynamisch erzeugen.....	206
8.4.1	Speicherplatz besser nutzen	208
8.5	Zeiger als Beobachter	209
8.6	C++-Quiz	211
9	Vererbung	213
9.1	Generalisierung und Spezialisierung	213
9.2	Vererbung am Beispiel	214
9.2.1	Statische Auswertung	220
9.3	Konstruktor erben	220
9.4	Polymorphismus	221
9.4.1	Polymorphismus und »die großen Drei«	223
9.4.2	Überschreiben oder nicht überschreiben?	223
9.4.3	Polymorphismus-Anwendung	225
9.4.4	Herausfiltern bestimmter Klassen	226
9.5	Abstrakte Klassen	227
9.6	Mehrfachvererbung	228
9.7	Polymorphismus und SFML – TicTacToe reloaded	229
9.8	Probleme der Modellierung mit Vererbung.....	236
9.9	C++-Quiz	237
10	Fehlerbehandlung	239
10.1	Fehler erkennen und signalisieren	240
10.2	Fehler behandeln	240
10.3	Vordefinierte Exceptions	244
10.4	Eigene Exception-Klasse	245
10.5	C++-Quiz	247

11	Interaktives Spiel mit Grafik und Sound	249
11.1	Anzeige des Spielergebnisses	251
11.2	Einfache grafische Komponenten	253
11.2.1	Der Mond	253
11.2.2	Die fallenden Objekte	254
11.3	Sprites	256
11.3.1	Der Vogel	259
11.4	Spielablauf	260
12	Überladen von Operatoren	269
12.1	Zeiger als Beobachter: Operatoren -> und *	272
12.2	++, ==, << und weitere	274
12.2.1	Typumwandlung	279
12.2.2	++ vorangestellt (Präfix)	279
12.2.3	++ nachgestellt (Postfix)	281
12.2.4	Gleichheitsoperator	282
12.2.5	Subtraktion	284
12.2.6	Ausgabeoperator <<	284
12.2.7	Eingabeoperator >>	286
12.2.8	Objekte als Funktion	287
12.2.9	Indexoperator []	287
12.2.10	Arithmetische Operatoren += und +	289
12.2.11	Zuweisungsoperator	291
12.2.12	new, delete und die großen Drei	294
12.3	Empfehlungen	298
12.4	C++-Quiz	299
13	Die C++-Standardbibliothek	301
13.1	Templates	302
13.1.1	Funktions-Templates	303
13.1.2	Template-Spezialisierung	305
13.1.3	Klassen-Templates	307

13.2	Funktionsobjekte und Lambda-Funktionen	309
13.2.1	Funktionsobjekte.....	310
13.2.2	Lambda-Funktionen.....	314
13.3	Paare	315
13.4	Iteratoren	317
13.4.1	Iterator-Kategorien.....	321
13.5	Algorithmen.....	322
13.5.1	Funktionsweise.....	322
13.5.2	sort	324
13.5.3	find	324
13.5.4	binary_search und lower_bound.....	326
13.5.5	copy	328
13.5.6	remove und erase	329
13.5.7	fill.....	330
13.5.8	Folge mit fortlaufenden Werten füllen	331
13.5.9	generate	331
13.5.10	min und max.....	332
13.5.11	min_element und max_element	333
13.5.12	accumulate.....	333
13.5.13	Skalarprodukt.....	335
13.6	Container	336
13.6.1	Gemeinsame Eigenschaften	336
13.6.2	Sequentielle Container	339
13.6.3	array.....	341
13.6.4	vector	341
13.6.5	list	342
13.6.6	deque	343
13.6.7	stack.....	344
13.6.8	Assoziative Container.....	344
13.6.9	map	345
13.6.10	set.....	349

13.6.11	unordered_map	350
13.6.12	unordered_set	351
13.7	Zeitmessung und Datum/Uhrzeit	352
13.8	Komplexe Zahlen	354
14	Referenzsemantik	357
14.1	Compiler-generierte Funktionen	358
14.2	Empfehlungen	359
14.3	Praktische Umsetzung	360
15	Ausblick	363
15.1	Template-Erweiterungen	363
15.2	Die C++-Standardbibliothek	364
15.3	Test von C++-Programmen	366
A	Anhang	367
A.1	Installationshinweise für Windows	368
A.1.1	Compiler	368
A.1.2	Entwicklungsumgebung	368
A.1.3	SFML	370
A.2	Installationshinweise für Linux	371
A.2.1	Compiler	371
A.2.2	Entwicklungsumgebung	371
A.2.3	SFML	372
A.3	Installationshinweise für OS X	373
A.3.1	Compiler und Entwicklungsumgebung	373
A.3.2	SFML	374
A.4	ASCII-Tabelle	376
Glossar		379
Literatur		391
Stichwortverzeichnis		393

Vorwort

Zur Entstehung dieses Buchs

Als Verfasser des recht umfangreichen Werks »Der C++-Programmierer« habe ich überlegt, dass manche Interessierte einen leichten Einstieg suchen, noch ohne sehr in die Tiefe gehen zu wollen. Ein anderer Grund ist, dass es während der Entstehung dieses Buchs keines in einem vergleichbaren Format gab, das sowohl aktuell war als auch fachlich überzeugte.

Für wen ist dieses Buch geschrieben?

Dieses Buch ist für alle geschrieben, die eine kompakte Einführung in die Programmierung mit C++ suchen und noch keine Programmiererfahrung in C++ haben, aber die Bedienung ihres Computers kennen. Erstes Ziel ist es, schnell einen Einstieg in die eigene Programmierung mit C++ zu ermöglichen. Es ist wie beim Autofahren: Dazu müssen Sie nur in Grundzügen wissen, wie der Motor im Einzelnen funktioniert. Das zweite Ziel ist, Sie mit den modernen Konzepten von C++ vertraut zu machen.

Die verwendeten Beispiele sind zum großen Teil Spiele, auch gibt es eine Einführung in die Grafikprogrammierung. Der Vorteil ist, dass Sie nicht nur die objektorientierte Programmierung kennenlernen, sondern auch den Umgang mit Mausclicks und Grafik, obwohl Grafik kein Bestandteil des C++-Standards ist. Das ist für diejenigen, die keine Spiele programmieren wollen, kein Nachteil. Die Programmierung von Spielen ist so

anspruchsvoll wie die Programmierung einer Steuerberechnung – aber interessanter. In diesem Buch wird die Grafik durch eine externe Bibliothek realisiert, die für Spiele besonders geeignet ist. Compiler und alle Beispiele zum Download finden Sie auf <http://www.cppbuch2.de>.

Ist C++ einfach oder schwer?

C++ ist einfach, wenn man sich an die in diesem Buch vorgestellten Empfehlungen zur Programmentwicklung hält. Der Lernaufwand für das Ziel, C++ programmieren zu können, wird durch eine verständliche Darstellung möglichst klein gehalten – er ist aber nicht Null! Mal eben schnell C++ lernen ist aufgrund der Komplexität der Sprache unrealistisch. Der Schwerpunkt des Buchs liegt auf den modernen Konzepten der Programmiersprache C++, nicht im Versuch, sie vollständig zu beschreiben.

C++ kann schwer sein, wenn eine fehleranfällige Konstruktion wie etwa eine eigene Speicherverwaltung mit Zeigern gebaut werden soll. C++ ist auch schwer, wenn Sie ohne entsprechende Vorbildung versuchen, manche Teile der Dokumentation [ISOC++] oder den Programmcode der C++-Standardbibliothek zu verstehen. Die Schwierigkeiten verringern sich natürlich mit zunehmender Kenntnis der Sprache. Dabei helfen neben diesem Buch mein genanntes Werk [Br] und die anderen im Literaturverzeichnis genannten Quellen.

Danksagung

Meinen Testleserinnen und Testlesern Jendrik Bulk, Katrin Grunert, Tim Pissarczyk, Rahel Schmied und Sophia Zell danke ich herzlich für die verschiedenen Anregungen. Frau Weilhart vom Hanser-Verlag danke ich für die zahlreichen Hinweise zur Verbesserung des Layouts.

Bremen, im April 2016

Ulrich Breymann

1

Erste Grundlagen



Fragen, die dieses Kapitel beantwortet:

- Wie arbeitet C++ mit dem Computer zusammen?
- Was macht ein Compiler und wie ist er zu benutzen?
- Wo erhalte ich die Beispiele zu diesem Buch?
- Wo gibt es Hilfe?
- Wie sieht ein einfaches Programm aus?
- Welche Zahltypen gibt es?
- Was sind Zeichen und Strings und wie nutze ich sie?

1.1 Historisches

C++ wurde etwa ab 1980 von Bjarne Stroustrup als die Programmiersprache »C with classes«, die Objektorientierung stark unterstützt, auf der Basis der Programmiersprache C entwickelt.

1998 wurde C++ erstmals von der ISO (International Standards Organisation) und der IEC (International Electrotechnical Commission) standardisiert. Diesem Standard haben sich nationale Standardisierungsgre-

mien wie ANSI (USA) und DIN (Deutschland) angeschlossen. Das C++-Standardkomitee hat kontinuierlich an der Verbesserung von C++ gearbeitet, sodass 2003, 2011 und 2014 neue Versionen des Standards herausgegeben wurden. Die Kurznamen sind dementsprechend C++03, C++11 und C++14. Dieses Buch berücksichtigt den neuesten Standard.

Viele Entwickler¹ im technisch-wissenschaftlichen Bereich bevorzugen C++ wegen der Vielseitigkeit, der Eignung zur hardwarenahen Programmierung und der Geschwindigkeit. Es gibt sogar (mindestens einen) Menschen mit einem C++-Tattoo (Bild) – das nenne ich echte Begeisterung! C++ wird in vielen großen Projekten eingesetzt.



Dazu gehören² die bekannten Adobe-Produkte Photoshop, Acrobat und Illustrator, das Windows- und andere Betriebssysteme, Microsoft-Office, die Web-Browser Chrome und Firefox, einige Facebook-Komponenten, die Datenbank MySQL sowie viele weitere.

■ 1.2 Die Programmiersprache C++ und die Maschine

Ein Algorithmus ist eine Abfolge von festgelegten Schritten zur Lösung einer Aufgabe, ähnlich einem Rezept zum Backen eines Kuchens. So haben Sie in der Schule gelernt, wie man Zahlen addiert, sodass Sie im Prinzip die Rechnung in einem Restaurant auch ohne Taschenrechner kontrollieren könnten. Ein von Ihnen geschriebenes Programm, auch Quellprogramm genannt, ist nichts anderes als ein in einer Programmiersprache geschriebener Algorithmus. Der Prozessor³ (CPU = central processing unit) Ihres Computers (= die Maschine) versteht Ihr Programm jedoch nicht ohne Weiteres. Der Prozessor versteht nur binäre Daten, die also als Folge von Bits⁴ vorliegen. Ein ausführbares Programm besteht

¹ Geschlechtsbezogene Formen meinen stets Frauen, Männer und alle anderen.

² <http://www.stroustrup.com/applications.html>

³ Siehe Erläuterung im Glossar Seite 387.

⁴ Abkürzung des englischen Worts »binary digits«, also Nullen und Einsen

damit aus einer Folge von Bits, die zu Rechnerworten gruppiert werden. Deswegen wird der Programmtext (Ihr programmierter Code) vom Compiler in die Sprache des Prozessors (die Maschinensprache) übersetzt. Das Ergebnis ist ein *ausführbares* Programm, das Sie direkt starten, also von dem Prozessor ausführen lassen können. Betrachten Sie die C++-Anweisung

```
c = a + b;
```

Die Größen *a*, *b* und *c* seien Variablen (d.h. veränderbar), die ganze Zahlen darstellen. Die Anweisung besagt, dass die Werte von *a* und *b* addiert werden. Das Ergebnis wird dann *c* zugewiesen. Wenn also *a* = 3 ist und *b* = 5, hat *c* nach der Anweisung den Wert 8.

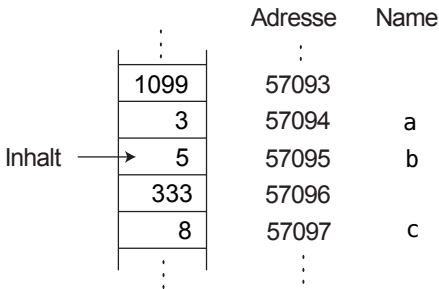


Bild 1.1 Speicherbereiche mit Adressen

Die CPU holt sich den Wert von *a* aus dem Speicher (siehe [Abbildung 1.1](#)) und legt ihn in einem Register ab. Anschließend wird der Befehl »addiere dazu den Wert von der Stelle *b*« ausgeführt. Dazu muss natürlich auch der Wert von *b* geholt werden. Dann wird die Addition ausgeführt und das Ergebnis an die Stelle *c* geschrieben. Das Gute ist, dass man sich um die Adressen der Speicherzellen gar nicht kümmern muss – das erledigt der Compiler. Im Programmtext greifen wir auf die entsprechenden Stellen einfach über die Namen *a*, *b* und *c* zu.

Ein Compiler ist ebenso ein ausführbares Programm, das auf Ihrem Computer bereits vorhanden ist oder das Sie sich aus dem Internet

herunterladen können (dazu später mehr). Der Übersetzungsvorgang, *Compilation* genannt, durchläuft im Groben(!) die folgenden Schritte:




- *Vorverarbeitung*. Unter anderem ist das die Beseitigung von Kommentaren. Kommentare sind Beschreibungen für den menschlichen Leser, die das Verständnis des Programmcodes erhöhen, für die Maschine aber unwesentlich sind. Der C++-Compiler ruft dazu ein spezielles Programm auf, den *Präprozessor*.
- *Analyse der Grammatik* (auch *Syntax* genannt). In dieser Phase prüft der Compiler, ob Sie sich an die Regeln der Programmiersprache gehalten haben. Wenn nicht, gibt es eine Fehlermeldung.
- *Zuordnung von Bedeutungen zu den Symbolen*. So weiß der Compiler, wenn er das Symbol + zwischen zwei Zahlen findet, dass eine Addition ausgeführt werden soll.
- *Erzeugung von Zwischencodeteilen für die einzelnen Programmdateien*. Ein Programm besteht meistens aus mehreren Dateien.
- *Erzeugung des ausführbaren Programms durch Zusammenbinden der Zwischencodeteile*. Das Zusammenbinden heißt auch *Linken*. Das vom Compiler zu diesem Zweck aufgerufene Programm ist der *Linker*.

■ 1.3 Werkzeuge zum Programmieren

Um Programme schreiben und ausführen zu können, brauchen Sie nicht viel: einen Computer mit einem Editor und einem C++-Compiler.

1.3.1 Der Editor

Wenn Sie ein Programm schreiben wollen, brauchen Sie einen passenden Editor. Word und ähnliche Programme sind nicht das Richtige, weil in den Dateien versteckte Formatierungen enthalten sind. Für Windows-Systeme eignet sich Notepad++ sehr gut, für Linux etwa Kwrite, um nur eine Auswahl zu nennen. OS X (Mac) stellt TextEdit zur Verfügung, besser geeignet ist jedoch der Editor von Xcode (siehe unten). Wenn Sie im

Finder eine der *cpp*-Dateien der heruntergeladenen Beispiele anklicken, wird sie automatisch im Xcode-Editor geöffnet. Sie können sie modifizieren und mit  +  +  unter einem anderen Namen abspeichern, um damit zu experimentieren.

Solche Editoren werden auch ASCII⁵-Editoren genannt, obwohl sie auch Umlaute wie ä, ö, ü usw. verarbeiten können. Der ASCII-Standard definiert 128 Zeichen, wie etwa Ziffern, Kleinbuchstaben, Großbuchstaben und einige Sonderzeichen. Umlaute sind nicht enthalten (siehe Tabellen ab Seite 376). In einem Programmtext sollten Sie auf Umlaute verzichten, weil manche Systeme sie nicht vertragen.

1.3.2 Der Compiler

Auf Linux-Systemen ist der Open-Source-C++-Compiler `g++`⁶ meistens vorhanden, oder Sie können ihn leicht mit Hilfe der Systemverwaltung installieren. Weitere Hinweise finden Sie ab Seite 371.

Von dem genannten `g++`-Compiler gibt es eine Portierung für das Windows-Betriebssystem, siehe <http://www.cppbuch2.de>. Weitere Hinweise finden Sie ab Seite 368.

Auf einem Mac mit OS X sollten Sie die Entwicklungsumgebung Xcode mit dem Clang-Compiler⁷ installieren. Weitere Hinweise finden Sie ab Seite 373.

Für dieses Buch verwende ich nur die genannten Compiler. In einem Windows-Eingabeaufforderungsfenster⁸ wird er durch Eingabe des Befehls `g++` mit einigen Parametern aufgerufen. In einer Linux- oder OS X-Konsole rufen Sie den Compiler ebenfalls mit `g++` auf, auch wenn sich im Fall von OS X der Clang-Compiler hinter dem Aufruf verbirgt.

Wenn Sie eine Entwicklungsumgebung benutzen möchten, empfehle ich für Windows und Linux Netbeans (siehe Abschnitte A.1.2 und A.2.2) mit

⁵ American Standard Code for Information Interchange

⁶ <https://gcc.gnu.org/>

⁷ http://clang.llvm.org/get_started.html

⁸ Statt des Wortungetüms Eingabeaufforderungsfenster oder des Begriffs Terminal werde ich von nun an das Wort *Konsole* verwenden.

C++-Plug-in bzw. Xcode für OS X (Abschnitt A.3.1). Die entsprechenden Kommandos, um ein Programm zu compilieren und auszuführen, werden in den ersten Kapiteln angegeben – sowie immer, wenn sich etwas grundlegend ändert.

■ 1.4 Die Beispiele

Alle Beispiele des Buchs können Sie aus dem Internet von der Adresse <http://www.cppbuch2.de/> herunterladen, wenn Sie keine Lust zum Abtippen haben. Meiner Erfahrung nach ist Abtippen fehlerträchtig – andererseits lernt man durch eigenes Schreiben. Es ist allemal sinnvoll, die heruntergeladenen Beispiele auszuprobieren, im Editor zu modifizieren (etwa einen Fehler einzubauen) und die Wirkung der Modifikation zu sehen. Außerdem können Sie Teile für eigene Zwecke herauskopieren, wenn Sie wollen.

■ 1.5 Wo gibt es Hilfe?

Bei der Programmentwicklung wird gelegentlich das Problem auftauchen, etwas nachschlagen zu müssen. Es kann auch sein, dass man etwas nicht ganz verstanden hat und nach weiteren Erläuterungen sucht. Es gibt die folgenden Hilfen:

- Es gibt ein recht umfangreiches *Stichwortverzeichnis* ab Seite 393 und ein sehr detailliertes *Inhaltsverzeichnis*.
- Referenzen zur C++-Standardbibliothek finden Sie unter <http://stdcxx.apache.org/doc/stdlibref/> und <http://www.cplusplus.com/reference/>.
- Wenn Sie nicht mehr weiterwissen, kann das Forum <http://www.cplusplus.de/forum/viewforum-var-f-is-15.html>

recht hilfreich sein. Um eine möglichst gute Hilfestellung zu bekommen, lohnt es sich, die ersten, mit »Wichtig« gekennzeichneten Einträge zu beherzigen.

- Erklärungen zu Begriffen sind im *Glossar* ab Seite 379 aufgeführt.

■ 1.6 Das erste Programm!

Wenn Sie sich die genannten Werkzeuge besorgt haben, kann es losgehen. Am besten legen Sie sich zunächst ein Verzeichnis an, in dem sich Ihre Programme befinden sollen. Der Lehrbuch-Klassiker ist das »Hello world!«-Programm, das nur eben diesen Text anzeigt. Schreiben Sie den folgenden Programmtext (ohne Zeilennummern) und speichern Sie ihn in einem Verzeichnis als Datei *hello.cpp* ab:

Listing 1.1 Das erste Programm (*beispiele/kap1/hello.cpp*)

```
1 #include <iostream>
2
3 int main() {
4     std::cout << "Hello world!\n";
5     return 0;
6 }
```

Die Endung *cpp* des Dateinamens sagt, dass es sich um ein C++-Quellprogramm handelt. Öffnen Sie eine Konsole in dem Verzeichnis und geben Sie ein:

```
g++ -o hello.exe hello.cpp
```

`g++` ruft den Compiler auf, der wiederum den Präprozessor und den Linker aufruft. Um die Letzteren müssen Sie sich also nicht kümmern. `-o hello.exe` bedeutet, dass die zu erzeugende ausführbare Datei *hello.exe* heißen soll. *hello.cpp* schließlich ist der Name Ihres soeben geschriebenen Programms. Wenn Sie nun mit `dir` (Windows) oder `ls` (Linux) nachsehen, finden Sie die Datei *hello.exe* im Verzeichnis. Die Abkürzung

```
g++ hello.cpp
```

funktioniert auch, nur dass der Compiler für die ausführbare Datei einen Standardnamen wählt, etwa *a.exe* oder *a.out* je nach System. Tippen Sie nun *hello.exe* ein beziehungsweise *./hello.exe* unter Linux oder OS X, wenn das aktuelle Verzeichnis nicht im Pfad liegt. Das Programm wird ausgeführt und auf dem Bildschirm erscheint die Meldung »Hello world!«. Was bedeuten nun die einzelnen Zeilen des Programms?

1 `#include <iostream>`

Mit einem Programm kann man nicht nur rechnen, sondern auch Ausgaben auf die Konsole veranlassen und Eingaben entgegennehmen. Die Absicht wird dem Compiler in Zeile 1 mitgeteilt. Sie können die Zeile so interpretieren: Der Compiler soll in Ihr Programm alles einschließen (englisch *include*), was er für die Ein- und Ausgabe braucht. *iostream* bedeutet *input output stream*. Mit »stream« (dt. Strom) ist gemeint, dass es einen Strom von Zeichen in das Programm hinein bzw. hinaus gibt. Das Zeichen # bedeutet eine Anweisung an den Präprozessor. Solche Anweisungen heißen *Makro*. Letzlich liest der vom Compiler aufgerufene Präprozessor die Systemdatei *iostream* an dieser Stelle ein, sodass ihr Inhalt Bestandteil Ihres Programms ist. Dateien wie *iostream* werden *Header*-Dateien genannt, weil sie am Anfang eines Programms eingebunden werden (head = engl. für Kopf).

2 Leerzeile. Eine Leerzeile spielt für den Compiler keine Rolle. Leerzeilen werden zur Strukturierung eines Programms benutzt, um die Lesbarkeit zu erhöhen. Dasselbe gilt für Einrückungen. So wird ein *Block*, das ist der zwischen den Klammern { (Zeile 3) und } (Zeile 6) stehende Text, eingerückt, indem zwei Leerzeichen am Anfang der Zeile eingefügt werden. Diese Leerzeichen werden vom Compiler ignoriert.

3 `int main() {`

Jedes C++-Programm fängt mit `main()`, dem Hauptprogramm, an. `main()` ist eine Funktion, die einen ganzzahligen Wert zurückgibt. Die Information, dass der Wert eine ganze Zahl ist, wird dem Compiler mit dem Schlüsselwort `int` (Abk. für Integer) mitgeteilt. `int` wird auch *Typ* oder *Datentyp* der ganzen Zahlen genannt. Ein Typ definiert letztlich, welche Operationen mit einem Wert des Typs

möglich sind. Im Fall `int` sind das Operationen wie addieren, subtrahieren usw.

Funktionen kennen Sie vermutlich aus der Mathematik. So würde der Funktionsaufruf $\sin 45^\circ$ bedeuten, dass für weitere Berechnungen das Ergebnis der Funktion an die Stelle des Aufrufs tritt. So ist es auch in C++, nur dass die Funktionsparameter in runden Klammern angegeben werden. Wenn keine Parameter zu übergeben sind, bleiben die Klammern leer, so wie hier bei `main()`. Die ganze Zahl, die von `main()` zurückgegeben wird, kann vom Betriebssystem ausgewertet werden.

Am Ende der Zeile steht eine öffnende geschweifte Klammer. Sie kennzeichnet den Beginn eines Blocks, wie bei Zeile 2 beschrieben. Programmcode, der zu einer Funktion gehört, steht stets innerhalb eines Blocks.

```
4 std::cout << "Hello world!\n";
```

Diese Anweisung bewirkt die Ausgabe auf dem Bildschirm. Sie wird, wie jede einzelne⁹ Anweisung, mit einem Semikolon abgeschlossen. `cout` ist ein Objekt, das für die Ausgabe verantwortlich ist. In C++ gibt es sogenannte Namensräume, um Bereiche voneinander abzugrenzen (mehr dazu weiter unten). Der zum C++-Standard gehörende Namensraum hat die Bezeichnung `std`. Weil `cout` zu diesem Namensraum gehört, heißt es `std::cout`. Der Name ist eine Abkürzung für *character output* (dt. Zeichenausgabe). Das Objekt ist in `iostream` definiert (siehe Zeile 1). Mit dem Operator `<<` wird der Text »zur Ausgabe geschoben« (zum Begriff Operator siehe unten). Wie Sie später sehen werden, ist diese Ausdrucksweise mehr bildlich als genau, das reicht aber für den Moment. Der auszugebende Text wird in ASCII-Anführungszeichen eingeschlossen. Die im Deutschen gebräuchliche Unterscheidung zwischen Anführungszeichen oben und Anführungszeichen unten gibt es in einem C++-Programm nicht. Am Ende des Textes sehen Sie `\n`. Diese Zeichenkombination wird wie ein einziges Zeichen interpretiert. Es steht für eine neue Zeile (Zeilenumbruch), sodass nachfolgen-

⁹ Es gibt auch Verbundanweisungen, doch dazu später.

de Ausgaben in die nächste Zeile geschrieben werden. Zeichen wie dieses oder auch das Tabulatorzeichen sind nicht druckbare Steuerzeichen, trotzdem möchte man sie in einem Programm ausdrücken. Zur Kennzeichnung wird ein Backslash \ davorgestellt. Das Tabulatorzeichen wird in einem Programm als \t geschrieben.

5 return 0;

main() gibt die ganze Zahl 0 zurück. Das Semikolon kennzeichnet auch hier das Ende der Anweisung. 0 steht dafür, dass alles in Ordnung ist. Im Falle eines Fehlers könnte eine andere Zahl zurückgegeben und vom Aufrufer ausgewertet werden. Jede Funktion, die einen Wert zurückgibt, muss eine return-Anweisung enthalten. main() ist die einzige Ausnahme, das heißt, die return-Anweisung darf hier fehlen. In diesem Fall wird 0 zurückgegeben.

6 }

Hier wird der in Zeile 3 begonnene Block geschlossen: Ende der Funktion.



Der Begriff *Operator* wird in C++ häufig verwendet. Ein Operator bedeutet, dass etwas getan wird, und zwar mit einem oder mehreren *Operanden*. So bezeichnet in der Addition $a+b$ das Zeichen + den Operator. a und b sind die Operanden. Ein Operator wird durch ein Symbol wie + oder << oder durch einen Namen dargestellt, zum Beispiel plus(a , b).

1.6.1 Fehlermeldungen

Nun modifizieren Sie das Programm, indem Sie die ersten beiden Zeilen streichen. Wenn Sie es nun erneut übersetzen, meldet sich der C++-Compiler mit der Fehlermeldung

```
hello.cpp: In Funktion »int main()«:
hello.cpp:2:3: Fehler: »cout« ist kein Element von »std«
  std::cout << "Hello world!\n";
  ^
```

Weil `#include <iostream>` nun fehlt, kennt der Compiler `cout` nicht. Die Fehlermeldung ist allerdings irreführend, und daran müssen Sie sich leider gewöhnen. Denn natürlich ist `cout` Element von `std`, es wird nur nicht bekannt gemacht. `hello.cpp:2:3:` besagt, dass der Compiler den Fehler in der Datei `hello.cpp` bei dem dritten Zeichen der Zeile zwei entdeckt hat. Auch das ist oft irreführend, wenn nämlich angenommen wird, dass das auch die Stelle des Fehlers ist. Tatsächlich bedeutet es, dass der Fehler an dieser Stelle *oder davor* liegt. Sie wissen ja, wie Sie diesen Fehler leicht reparieren können. Experimentieren Sie mit weiteren Veränderungen des Programms und studieren Sie die dann entstehenden Fehlermeldungen.

Weitere Optionen des Compilers

Der Compiler bietet die Möglichkeit, Warnungen auszugeben, wenn Anweisungen verwendet werden, die zwar sprachkonform sind, vermutlich aber einen Fehler enthalten. Die Option zur Anzeige der Warnungen ist `-Wall`. Wie die Option übergeben wird, sehen Sie unten im Kasten. In manchen Fällen bekommen Sie seitenlange Fehlermeldungen, entweder weil es mehrere Fehler gibt oder weil der Compiler nach einem Fehler das restliche Programm nicht mehr versteht. Wenn Sie sich nur auf den ersten angezeigten Fehler konzentrieren, reicht das in aller Regel! Die Fehlerausgabe wird mit `-fmax-errors=1` (Clang: `-ferror-limit=1`) auf diesen Fehler beschränkt.



Tipp: Verwenden Sie die genannten Optionen des Compilers.

Ein Beispiel für Windows und Linux:

```
g++ -Wall -fmax-errors=1 -o prog.exe prog.cpp  
(Mac mit OS X: -ferror-limit=1 statt -fmax-errors=1)
```

`-fmax-errors=1` und `-ferror-limit=1` werden in folgenden Kommandos zur Übersetzung nicht mehr erwähnt.

Vereinfachung der Schreibweise

Wenn klar ist, dass der Namespace `std` benutzt wird, wird abgekürzt statt `std::cout` einfach nur `cout` geschrieben, wenn vorher `using namespace std;` angegeben wird, wie Sie im nächsten Programm sehen. In C++-Dateien mit der Endung `.cpp` kann `using namespace std;` in der Regel problemlos verwendet werden. Wenn nur ein Teil des Namespace `std` benutzt wird, genügt es, nur diesen Teil anzugeben, also etwa `using std::cout;`. Die Verwendung von `using` erspart nachfolgende Schreibarbeit.

■ 1.7 Eingaben und Kommentare

Im zweiten Programm lernen Sie die Eingabe von Zahlen, das Durchführen einer Berechnung und den Einsatz von Kommentaren kennen. Wie vorher wird erst das Beispiel gezeigt. Die einzelnen Zeilen werden anschließend erläutert:

Listing 1.2 Eingabe und Kommentare (*beispiele/kap1/summe.cpp*)

```
1 #include <iostream>
2 using namespace std;
3
4 int main() {
5     /* Berechnung einer Summe. Dazu werden zwei ganze
6        Zahlen eingelesen, die dann addiert werden.
7        */
8     int summand1;    // Der erste Summand.
9     int summand2;    // Der zweite Summand.
10    cout << "Bitte zwei ganze Zahlen eingeben, "
11         << "getrennt durch Leerzeichen: ";
12    cin >> summand1 >> summand2;
13    int ergebnis = summand1 + summand2;
14    cout << summand1 << " + " << summand2 << " ergibt "
15         << ergebnis << '\n';
16 }
```

Übersetzen Sie die Datei mit `g++ -o summe.exe summe.cpp`. Sie können das Programm durch Eingabe von `summe.exe` ausführen.



Falls Sie den empfohlenen Compiler installiert und eine Konsole in einem Verzeichnis der heruntergeladenen Dateien geöffnet haben, können Sie einfach `make` eingeben und alle Programme in diesem Verzeichnis werden übersetzt. `make` bewerkstelligt dies mit Hilfe einer Steuerdatei namens `makefile`. Mehr dazu finden Sie in [Br].

5-7 Zwischen den Zeichenkombinationen `/*` und `*/` können Sie einen beschreibenden Text einfügen, Kommentar genannt, der über mehrere Zeilen gehen darf. Solche Kommentare werden vom Präprozessor herausgefiltert, sodass der Compiler sie gar nicht erst zu sehen bekommt.

8-9 Hier werden die Variablen `summand1` und `summand2` *deklariert*. Deklarieren heißt, einen Namen in das Programm einführen, also dem Compiler bekannt machen. Beide Variablen sind vom Typ `int`, repräsentieren also eine ganze Zahl. Auch Deklarationen schließen mit einem Semikolon ab. Ab dieser Stelle ist der Name dem Compiler bekannt. Der mit `//` eingeleitete Teil danach ist ebenfalls ein Kommentar. Der Unterschied zu dem oben beschriebenen ist, dass er nur bis zum Ende der Zeile reicht.

10-11 Eine einfache Ausgabeanweisung. Lange Zeichenketten können mit Hilfe von Anführungszeichen aufgespalten werden. Die Wirkung ist, als ob der ganze auszugebende Text in einer Zeile stände. Die Aufspaltung ist ein Hilfsmittel zur besseren Lesbarkeit des Programmtextes.

12 Dies ist die Eingabeanweisung. Beachten Sie, dass der Operator jetzt in Richtung der einzulesenden Variablen zeigt (`>>`)! `cin` (für *character input*) ist das für die Eingabe zuständige Objekt. Wie Sie sehen, kann die Eingabe hintereinander geschaltet werden. Die Zeile ist äquivalent zu den zwei Zeilen

```
cin >> summand1;
cin >> summand2;
```


Bei der Eingabe müssen die Werte durch ein oder mehrere Zwischenraumzeichen (englisch *whitespace*) getrennt sein. Das kann ein Leerzeichen, ein Tabulatorzeichen oder auch eine neue Zeile sein. Probieren Sie es aus!

- 13 Hier wird die Variable `ergebnis` angelegt und mit dem Ergebnis der Berechnung *initialisiert*, also mit einem Anfangswert versehen. Siehe dazu die Textbox unten.
- 14-15 Es können mehrere Objekte nacheinander ausgegeben werden, wie man sieht. Neu ist, dass `\n` in *einzelne* Hochkommata eingeschlossen wird. Der Unterschied: Mit `" "` werden Zeichenketten begrenzt, die aus einem oder mehr als einem Zeichen bestehen. `' '` begrenzen hingegen nur einzelne Zeichen. Wie oben schon gesagt, wird `\n` als ein einziges (Steuer-)Zeichen interpretiert.
- 16 Hier wird der in Zeile 3 begonnene Block geschlossen: Ende der Funktion, diesmal ohne `return` (in `main()` darf `return` fehlen).



Wenn ein Objekt mit `=` schon bei der Anlage einen Wert erhält, spricht man von *Initialisierung*. Existiert das Objekt schon vorher, bewirkt `=` eine *Zuweisung*.

```
int a = 3;           // Initialisierung mit 3
int b;              // keine Initialisierung: undefinierter Wert
                   // (muss nicht 0 sein!)
b = 7;              // Zuweisung von 7 (b existiert schon vorher)
```

Wenn nun keine Zahlen, sondern zum Beispiel Buchstaben eingegeben werden, verhält sich das Programm nicht korrekt. Wie damit umzugehen ist, erfahren Sie schon im nächsten Kapitel.

1.7.1 Kommentare und Namen

Kommentare als Erläuterungen zu einem ansonsten nur schwer zu verstehenden Programmcode sind besonders sinnvoll.

der geringsten Bedeutung. 101 (binär) entspricht $1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0$, also 5 (dezimal). Ein Bit wird für das Vorzeichen reserviert. Sie können die in Ihrem System verwendete Anzahl von Bytes mit `sizeof` feststellen. Bei wohl den meisten Computern führt die folgende Anweisung zur Ausgabe »4«:

```
cout << sizeof(int) << '\n';
```

Der Zahlenbereich hängt von der Anzahl der Bytes ab. Bei einem `int`-Wert mit 4 Bytes = 32 Bits geht er von -2^{31} bis $2^{31}-1$, das ist der Bereich von $-2.147.483.648$ bis $2.147.483.647$. Es gibt zu jedem der genannten Zahltypen auch eine Variante ohne Vorzeichen, die mit dem Wort `unsigned` gekennzeichnet wird. Der kleinste Wert so einer Zahl ist 0. Jeder andere Wert ist positiv. Es sind genau so viele Zahlen darstellbar. Der Zahlenbereich ist nur in Richtung der positiven Zahlen verschoben. So ist der größtmögliche Wert einer `unsigned int`-Zahl, die 4 Bytes belegt, $4.294.967.295$.

size_t – ein besonderer Zahltyp

`size_t` ist ein Typ für nichtnegative (also 0 oder positive) ganze Zahlen wie `unsigned int`. Der Unterschied ist, dass `size_t` groß genug ist, um die Größe des größtmöglichen Objekts des Systems aufzunehmen. Auf 32-Bit-Systemen gibt es oft keinen Unterschied zu `unsigned int`, aber auf 64-Bit-Systemen kann `sizeof(unsigned int)` den Wert 4 ergeben und `sizeof(size_t)` den Wert 8. Deswegen ist es im Allgemeinen besser, `size_t` statt `unsigned int` zu verwenden, wenn es um Größeninformationen oder Adressen im Speicher geht. Generell schadet es nicht, wenn Sie `size_t` immer dann verwenden, wenn es um nichtnegative ganze Zahlen geht. Ein Beispiel:

```
std::size_t anzahl = 0; // zu std:: siehe unten
```

`size_t` ist im Namespace `std`. Wenn Sie also nicht vorher im Programm `using namespace std;` stehen haben, schreiben Sie `std::size_t`. Genau so, wie Sie `#include <iostream>` in einem Programm mit Ausgaben auf dem Bildschirm schreiben, damit der Compiler `cout` kennt (siehe das

erste Programm auf Seite 21), fügen Sie oben im Programm `#include <cstdlib>` ein, wenn Sie `std::size_t` bzw. `size_t` verwenden. Es kann sein, dass das Programm auch ohne diese Include-Anweisung compiliert wird. Der Grund ist, dass eine andere Include-Anweisung (etwa die für `<iostream>`) schon für das Einschließen von `<cstdlib>` gesorgt hat. Guter Programmierstil ist es jedoch, sich nicht darauf zu verlassen.

Rechnen mit ganzen Zahlen

Für das Rechnen mit ganzen Zahlen gibt es die üblichen Operatoren für die Grundrechenarten, wie etwa `+` für die Addition. Es gibt aber auch Operatoren, die die Rechenoperation und die Zuweisung in sich vereinen (Kurzformoperatoren). Das folgende Listing zeigt Beispiele:

Listing 1.3 Rechenoperationen für ganze Zahlen

```
int a = 4;
int b = 9;
int c = a + b;    // Addition. c ist 13.
c += 7;          // Kurzform, dasselbe wie c = c + 7;
c = a - b;       // Subtraktion
c -= a;          // Kurzform, dasselbe wie c = c - a;
c = a * 3;       // Multiplikation
c *= 10;         // Kurzform, dasselbe wie c = c * 10;
c = 9 / 5;       // Division. Ergebnis: 1
                 // (ganze Zahl, Rest entfällt!)
c /= 2;          // Kurzform, dasselbe wie c = c / 2;
c = 9 % 5;       // Restbildung (Modulo-Operator). Ergebnis: 4
c %= 2;          // Kurzform, dasselbe wie c = c % 2;
```

Darüber hinaus gibt es noch den Inkrement-Operator `++` und den Dekrement-Operator `--`. Der Erste erhöht einen Wert um 1, der Zweite erniedrigt einen Wert um 1. Diese Operatoren haben die Eigenschaft, dass sie *vor* oder *nach* einer Variablen stehen können. Dabei ist das Verhalten unterschiedlich, wenn die Variable in derselben Anweisung benutzt wird, wie das Listing zeigt. Für den Dekrement-Operator `--` gilt Entsprechendes. Meine Empfehlung: Programmieren Sie selbst ein Beispiel, in dem `++` und `--` mal vor und mal nach einer Variablen stehen, mal mit

Benutzung durch Zuweisung an eine andere Variable und mal allein-
stehend. Dann werden Sie den Unterschied gut nachvollziehen können.
Das nachfolgende Listing zeigt ein paar Beispiele:

Listing 1.4 Inkrementieren (hochzählen) mit ++

```
int a = 10;
int b;
// Vorangestellt: Erst inkrementieren, dann benutzen (zuweisen):
b = ++a;           // a ist 11, b ist 11.
// Nachgestellt: Erst benutzen, dann inkrementieren:
int c = b++;      // c ist 11, b ist 12.
c++;             // nur Inkrementierung, keine Benutzung: c ist 12.
++c;            // nur Inkrementierung, keine Benutzung: c ist nun 13.
```

Zahlendarstellung

Ganze Zahlen können auf mehrere Arten dargestellt werden. Die folgende Übersicht hilft, Zahlen in einem Programm richtig zu schreiben.

- Die übliche Darstellung ist die als Dezimalzahl. Eine Dezimalzahl ist entweder 0 oder sie beginnt mit einer der Ziffern im Bereich 1 bis 9. Ein Suffix (l, ll, L, LL) kennzeichnet long- oder long long-Zahlen, zum Beispiel 2147483647L oder 9223372036854775806LL. Ein mögliches Vorzeichen gehört nicht zu der Zahl, obwohl es in einem Programm oder beim Einlesen mit `cin` berücksichtigt wird.
- Ein Suffix `u` oder `U` kennzeichnet unsigned-Zahlen, zum Beispiel 1836u. Kombinationen wie in 2036854775806ul sind möglich.
- Wenn eine Zahl mit `0b` oder `0B` beginnt, wird sie als *Binärzahl* interpretiert, etwa $0b1011 = 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 11$ dezimal.
- Wenn eine Zahl mit einer `0` beginnt, wird sie als *Oktalzahl* interpretiert, zum Beispiel $0377 = 3 \cdot 8^2 + 7 \cdot 8^1 + 7 \cdot 8^0 = 255$ dezimal.
- Wenn eine Zahl mit `0x` oder `0X` beginnt, wird sie als *Hexadezimalzahl* interpretiert, zum Beispiel `0xAFFE` (= 45054 dezimal). Um Hexadezimalzahlen darstellen zu können, werden A, B, C, D, E und F als Ziffern hinzugenommen, wobei die Kleinschreibung ebenfalls möglich ist.

- Bei allen Zahlen ist es seit C++14 zur besseren Lesbarkeit erlaubt, zur Gruppierung Hochkommata einzufügen. So kann man 1'000'000 statt 1000000 schreiben oder 0xabc'def statt 0xabcdef. Bei der Auswertung der Zahl durch den Compiler werden die Hochkommata ignoriert.

1.8.2 Kommazahlen

Natürlich gibt es in C++ auch Kommazahlen. Allerdings gilt in einem Programm die anglo-amerikanische Schreibweise! Das heißt, statt des Kommas wird ein *Punkt* geschrieben. Die Zahl 1,23 muss in einem Programm als 1.23 geschrieben werden. Es gibt drei Typen für Kommazahlen: `float`, `double` und `long double`. Der erste benötigt am wenigsten Platz im Speicher, ist aber nicht so genau wie die anderen. Wie oben gezeigt, können Sie den Speicherbedarf in Bytes mit `sizeof` feststellen. Das obige Beispiel zur Summenberechnung wird im Folgenden leicht abgewandelt, damit Kommazahlen berechnet werden können.

Listing 1.5 Kommazahlen (*beispiele/kap1/summedouble.cpp*)

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

int main() {
    /* Berechnung einer Summe mit Kommazahlen.
       Dazu werden zwei Zahlen eingelesen, die dann addiert werden. */
    double summand1;    // Der erste Summand.
    double summand2;    // Der zweite Summand.
    cout << "Bitte zwei Zahlen eingeben: ";
    cin >> summand1 >> summand2;
    double ergebnis = summand1 + summand2;
    cout << summand1 << " + " << summand2 << " ergibt "
         << ergebnis << '\n';
    cout << "Die Genauigkeit von double beträgt etwa "
         << numeric_limits<double>::digits10
         << " Dezimalstellen\n";
}
```


Außer dem &-Operator gibt es noch einige andere, wie die Tabelle 1.1 zeigt. Bit-Operatoren werden zum Beispiel benötigt, wenn der Farbwert eines Pixels in seine Komponenten rot, gelb und grün zerlegt werden soll. Für weitere Einzelheiten zu Bit-Operationen verweise ich auf [Br].

Tabelle 1.1 Bit-Operatoren

Operator	Beispiel	Bedeutung
<<	<code>i << 2</code>	Linksschieben (Multiplikation mit 2er-Potenzen)
>>	<code>i >> 1</code>	Rechtsschieben (Division durch 2er-Potenzen)
&	<code>i & 7</code>	bitweises UND
^	<code>i ^ 7</code>	bitweises XOR (Exklusives Oder)
	<code>i 7</code>	bitweises ODER
~	<code>~i</code>	bitweise Negation (aus 0 wird 1 und umgekehrt)
<<=	<code>i <<= 3</code>	<code>i = i << 3</code>
>>=	<code>i >>= 3</code>	<code>i = i >> 3</code>
&=	<code>i &= 3</code>	<code>i = i & 3</code>
=	<code>i = 3</code>	<code>i = i 3</code>

1.8.4 Vorsicht Falle: Umwandlung des Zahltyps

Bitte beachten Sie, dass das Ergebnis der Rechenoperation vom Zahlentyp abhängt:

```
double x = 3 / 4;           // x ist 0.0 (siehe Text)
double y = 3 / 4.;        // y ist 0.75
```

`3/4` ist eine Rechenoperation mit *ganzen* Zahlen. Das Ergebnis ist die ganze Zahl 0. Erst bei der Zuweisung wird die 0 in eine `double`-Zahl umgewandelt. `4.` ist jedoch vom Typ `double` (beachten Sie den Punkt nach der 4!). Um die Rechenoperation ausführen zu können, wird die 3 vom Compiler ebenfalls in eine `double`-Zahl umgewandelt, so dass `3./4.` (dasselbe wie `3.0/4.0`) berechnet wird. Das Ergebnis ist 0.75, also auch vom Typ `double`.

Die Vermischung von `unsigned int` oder `size_t` und `int` kann zu Fehlern führen, weil der Compiler bei der automatischen Typumwandlung einfach nur die Bitmuster übernimmt. So wird `-1` typischerweise intern als eine Folge von Einser-Bits repräsentiert. Bei einem Zahltyp ohne Vorzeichen ist das aber gerade die größtmögliche Zahl. Das folgende Programm zeigt den Effekt:

Listing 1.6 Typumwandlung (*beispiele/kap1/typumwandlung.cpp*)

```
#include <cstdint>
#include <iostream>
using std::cout; // um unten nur cout schreiben zu können
                  // siehe Ende von Abschnitt 1.6

int main() {
    int intZahl = -1;
    cout << "-1 als int-Zahl = " << intZahl << '\n';
    unsigned int uintZahl = -1; // Typumwandlung!
    cout << "-1 als unsigned int-Zahl = " << uintZahl
         << '\n';
    std::size_t szZahl = -1; // Typumwandlung!
    cout << "-1 als size_t-Zahl = " << szZahl << '\n';
}
```

Auf meinem 32-Bit-System gibt das Programm aus:

```
-1 als int-Zahl = -1
-1 als unsigned int-Zahl = 4294967295
-1 als size_t-Zahl = 4294967295
```

Auf meinem anderen, dem 64-Bit-System, gibt das Programm aus:

```
-1 als int-Zahl = -1
-1 als unsigned int-Zahl = 4294967295
-1 als size_t-Zahl = 18446744073709551615
```



Mischung von `int` und `unsigned int` (oder `size_t`) vermeiden!

Auch wenn die Zahltypen unterschiedlichen Speicherplatz einnehmen, kann die Vermischung problematisch sein. Der Grund: Bei der Typum-

Listing 1.8 Auszug aus *beispiele/kap1/typumwandlung2.cpp*

```
// 0.5 ist binär exakt darstellbar
cout << "0.5f - 0.5 =" << 0.5f - 0.5 << '\n';    // exakt 0
// 10.4 ist binär nicht exakt darstellbar
cout << "10.4f - 10.4 =" << 10.4f - 10.4 << '\n'; // ≠ 0!
```

1.9 Zeichen und Zeichenketten

Oben haben Sie schon das (Steuer-)Zeichen `\n` kennengelernt. Es steht für die Ausgabe einer neuen Zeile. Natürlich können Sie auch alle anderen Zeichen in einem Programm verwenden, wobei sich dieses Buch auf ASCII-Zeichen (andere bekannte Zeichensätze sind ISO-8859-1 und UTF-8) beschränkt. Eine Zeichenkette, auch String genannt, besteht aus einer Folge von Zeichen.



In einem Programm wird ein einzelnes Zeichen (das also nicht Teil einer Zeichenkette ist) mit einfachen Anführungszeichen eingeschlossen. Eine Zeichenkette hingegen wird in einem Programm mit doppelten Anführungszeichen begrenzt.

Der folgende Programmausschnitt gibt *Hello!A* aus:

```
cout << "Hello!";           // Zeichenkette
cout << 'A';                // Zeichen A
```

Die Zeichenkette und das Zeichen stehen fest im Programm, sie heißen *Literale*. Sie werden zur *Compilierzeit* ausgewertet, also während der Compiler den Programmtext analysiert, und direkt in das erzeugte lauffähige Programm eingetragen. Demgegenüber ist die *Laufzeit* die Zeitdauer ab Start des Programms bis zu seinem Ende. Weil fest im Programm stehend, können Literale während der Laufzeit des Programms nicht geändert werden. Das gilt natürlich auch für andere Literale wie etwa direkt in das Programm geschriebene Zahlen. In der Anweisung

```
x = 42 * y;
```

ist die Zahl 42 ein Literal. Eine Änderung der Werte ist dann möglich, wenn sie in Variablen (dt. Veränderliche) gespeichert werden. Für Zeichen (englisch *character*) ist der Datentyp `char`, für Strings (Zeichenketten) ist er `string`.



Ein Datentyp definiert den Wertebereich und die Operationen, die mit Objekten dieses Datentyps möglich sind.

Der Wertebereich von Variablen des Typs `char` sind alle Zeichen, die mit einem Byte darstellbar sind. Die Buchstaben 'A' bis 'Z' sind eine Untermenge davon. Eine der möglichen Operationen ist die Zuweisung mit `=`, siehe Programm unten. Die Operation `+` bedeutet beim Datentyp `int` eine Addition, während sie beim Datentyp `string` das Aneinanderhängen zweier Strings meint. Der Datentyp `string` gehört zum Namespace `std` und ist im Header `<string>` definiert. Man schreibt daher `std::string` oder fügt vorher im Programm `using namespace std;` ein. Ein Beispiel für die Angabe des Namenraums beim Datentyp `string`:

Listing 1.9 Zeichen und String (*beispiele/kap1/zeichen.cpp*)

```
#include <iostream>
#include <string>                // neuer Header

int main() {
    char zeich = 'x';            // Zeichen zeich mit dem Wert x
    std::string text {"Hello"}; // String text, Wert: Hello
    // Ausgabe, gefolgt von \n für eine neue Zeile
    std::cout << text << " " << zeich << '\n'; // Hello x
    // e ist das Zeichen Nr. 1 (Zählung ab 0):
    std::cout << text.at(1) << '\n';
    zeich = 'a';                // Wert von zeich ändern
    text.at(1) = zeich;         // Wert von text an der Stelle 1 ändern
    text.at(1) = 'a';          // hat hier dieselbe Wirkung
    std::cout << text << '\n'; // jetzt Hallo statt Hello
    text = "Guten Morgen!";    // ganz neuer Inhalt
}
```

```
std::cout << text << '\n'; // Guten Morgen
}
```

Übersetzen mit `g++ -Wall -std=c++14 -o zeichen.exe zeichen.cpp`, ausführen mit `zeichen.exe`. Sie sehen, dass `zeich` mit einem Zuweisungszeichen = initialisiert wird, `text` jedoch mit geschweiften Klammern. Tatsächlich gibt es mehrere Möglichkeiten:

Listing 1.10 Möglichkeiten der Initialisierung

```
char zeich = 'x'; // wie oben
char zeich1 {'x'};
char zeich2('x');
std::string text = "Hello";
std::string text1("Hello");
```

Ob mit `{}` oder `=` oder `()` initialisiert wird, kann in bestimmten Fällen eine Rolle spielen, hier jedoch nicht. Die Funktion `at(pos)` gibt das Zeichen an der Stelle `pos` einer Zeichenkette zurück, wobei ab 0 gezählt wird. Der Buchstabe `H` des Worts `Hello` oben ist an der Stelle 0. Statt `text.at(pos)` kann `text[pos]` geschrieben werden. Der Unterschied: Wenn `pos >= text.length()` ist, gibt es bei `text.at(pos)` einen Programmabbruch mit Fehlermeldung – sehr hilfreich, um den Fehler des falschen `pos`-Werts zu finden! Bei `text[pos]` ist das Verhalten undefiniert, wenn `pos` nicht im erlaubten Bereich von 0 bis `text.length() - 1` liegt. Das fehlerhafte Programm kann »abstürzen« oder weiterlaufen.

Wie viele Zeichen in einer Zeichenkette enthalten sind, gibt die Funktion `length()` zurück. Sie können das Ergebnis in einer Variablen speichern oder, wie hier gezeigt, direkt verwenden.

```
std::cout << "Der String " << text << " ist "
          << text.length() << " Zeichen lang.\n";
```

Strings können aneinandergelagert werden, in ihnen kann man suchen und noch vieles andere mehr:

```
text += ", guten Morgen!"; // Ergebnis: Hallo, guten Morgen!
auto position = text.find("Morgen"); // Position von »Morgen«
```



auto bedeutet: Der Compiler ermittelt den Rückgabetyt aus dem Funktionsaufruf.

Der Compiler legt `position` als Kopie des Funktionsergebnisses an. Wenn Sie Operationen mit Strings suchen und beschrieben haben möchten, empfehle ich Ihnen natürlich [\[Br\]](#), aber Sie können auch bei [\[cppref\]](#) nachsehen.



`string` ist eine Klasse der C++-Standardbibliothek. Ein von Anführungszeichen begrenztes Literal wie "Guten Morgen!" ist nicht vom Datentyp `string`, sondern vom Typ `const char*` (Zeiger auf konstante Zeichen). Solche Literale werden zur Initialisierung von `string`-Objekten (Strings) benutzt, wie oben zu sehen. Mit den Strings kann dann weiter gearbeitet werden.

Für Strings gibt es viele Operationen, die es für `const char*` nicht gibt. Das Arbeiten mit Strings ist erheblich komfortabler und auch sicherer. Die Beschäftigung mit den genannten Zeigern ist an dieser Stelle nicht notwendig. In Abschnitt [8.1.1](#) finden Sie mehr dazu.

1.9.1 Eingabe

Zeichen und Zeichenketten (Strings) können wie Zahlen mit `cin >>` usw. eingegeben werden. Wie schon gesagt, überspringt der `>>`-Operator dabei alle Zwischenraumzeichen (Leer- und Tabulatorzeichen, neue Zeilen). Übersetzung Sie das folgende Programm mit

```
g++ -Wall -o eingabe1.exe eingabe.cpp.
```

Listing 1.11 String-Eingabe mit `>>` (*beispiele/kap1/stringeingabe.cpp*)


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

int main() {
    string ein;
```

```

cout << "Bitte Zeichenkette eingeben: ";
cin >> ein;
cout << "Es wurde " << ein << " eingegeben!\n";
}

```

Lassen Sie das Program mehrmals laufen und geben Sie dabei das Folgende ein (einschließlich der Leerzeichen), um den Effekt zu sehen (nach jeder Zeile die -Taste betätigen).

Ego shooter

Ego Shooter

Ego Shooter

Die Verwendung von `>>` führt auf das Problem, dass einzugebende Strings keine Leerzeichen (genauer: Zwischenraumzeichen, also auch Tabulatorzeichen usw.) enthalten dürfen – die werden ja ignoriert. Oft möchte man diese Zeichen jedoch erhalten, wenn etwa Vor- und Nachname mit Leerzeichen abgefragt werden. In solchen Fällen hilft die Funktion `getline(cin, zeile)`, die eine ganze Zeile einschließlich aller Leer- und Tabulatorzeichen liest und in der Variablen `zeile` ablegt. Sie können das einfach ausprobieren, indem Sie die Anweisung `cin >> ein;` im obigen Listing 1.11 durch

```
getline(cin, ein);
```

ersetzen. Bei der Eingabe eines einzelnen Zeichen gilt Entsprechendes:

Listing 1.12 Zeicheneingabe mit `>>` (*beispiele/kap1/zeicheneingabe.cpp*)

```

#include <iostream>
using namespace std;

int main() {
    char ein;
    cout << "Bitte Zeichen eingeben: ";
    cin >> ein;
    cout << "Es wurde " << ein << " eingegeben!\n";
}

```

Wenn Sie mehrere Leerzeichen gefolgt von einem Zeichen eingeben, werden die Leerzeichen übersprungen. Wenn die Zwischenraumzei-

chen berücksichtigt werden sollen, ersetzen Sie einfach die Anweisung `cin >> c;` durch `cin.get(c);`. Am besten probieren Sie es aus!

1.9.2 Zeichen und Zahlen

Zeichen sind ohne Weiteres in Zahlen umwandelbar. Dies wird einerseits vom Compiler direkt bewerkstelligt, Sie können es aber auch mit dem `static_cast`-Operator (to cast: englisch für umwandeln) selbst tun. Dabei wird der gewünschte Datentyp in den spitzen Klammern übergeben:

Listing 1.13 Typumwandlung mit `static_cast`

```
char zeichen = 'a';
std::cout << zeichen << '\n';           // Ausgabe von 'a'
int asciiposition = zeichen;           // Typumwandlung durch
                                        // den Compiler
std::cout << asciiposition << '\n';     // 97
std::cout << static_cast<int>(zeichen) << '\n'; // 97
```

Die Typumwandlung bewirkt eine Interpretation des `char`-Werts als `int`-Zahl. Das Bitmuster wird nicht geändert.



Die mit der Datentypumwandlung ermittelte Zahl gibt die Stelle an, an der das Zeichen in der ASCII-Tabelle gefunden wird. Der Buchstabe 'a' liegt an Position 97, wobei ab 0 gezählt wird. Eine Übersicht finden Sie in den Tabellen ab Seite [376](#).

Die Großbuchstaben liegen um 32 Positionen versetzt, sodass der Buchstabe 'A' an der Position 65 zu finden ist. Das Leerzeichen ist an der Position 32, die Ziffernzeichen '0' bis '9' belegen die Positionen 48 bis 57 der ASCII-Tabelle.

Das Zeichen an der Stelle 0 der ASCII-Tabelle ist das *Nullbyte*, in einem Programm als `'\0'` geschrieben. Zeichenkettenlitterale, also mit doppelten Anführungszeichen begrenzte Zeichenketten in einem Programm, werden im Speicher des Computers stets mit einem Nullbyte abgeschlossen, auch wenn es nicht angezeigt wird. So ist `static_cast<`

`int>("hello"[5]) = 0`, weil an der Position 5 das Nullbyte liegt (Zählung wieder ab 0!).

Ein `char`-Zeichen beansprucht genau ein Byte. Es ist systemabhängig, ob `char` vorzeichenbehaftet wie `int` oder `unsigned` ist (wie `unsigned int`). Im ersten Fall entspricht ein Byte einem Zahlenbereich von -128 bis 127, im zweiten Fall von 0 bis 255. Mit der folgenden Abfrage können Sie feststellen, ob `char` auf Ihrem System vorzeichenbehaftet ist (`#include<limits>` nicht vergessen):

```
if(numeric_limits<char>::is_signed) {  
    ...  
}
```

Wenn man es nur mit ASCII-Zeichen zu tun hat, spielt es keine Rolle, ob `char` vorzeichenbehaftet ist oder nicht – in anderen Fällen schon, wie etwa beim Betrachten beliebiger Bytes, wie Sie weiter unten sehen werden (siehe Listing 3.3 auf Seite 86).

■ 1.10 C++-Quiz

Anhand der folgenden Fragen können Sie Ihr Verständnis dieses Kapitels prüfen. Am Ende dieses Abschnitts finden Sie die Lösungen.

1. Was ist ein Algorithmus?
 - (a) Ein kompliziertes mathematisches Verfahren.
 - (b) Eine Abfolge festgelegter Schritte zur Lösung einer Aufgabe.
 - (c) Eine Vorstufe des Compilers.
2. Was ist die Aufgabe des Compilers?
 - (a) Mit dem Compiler schreiben Sie ein Programm.
 - (b) Er führt letztlich das Programm aus.
 - (c) Er übersetzt das Quellprogramm in Maschinsprache.
3. Was bedeutet `#include <iostream>`?

- (a) Die Datei *iostream* wird an dieser Stelle eingelesen.
 - (b) Eine mit # beginnende Zeile wird ignoriert.
 - (c) Der Compiler benötigt dieses Makro, wenn er auf die cout-Anweisung trifft.
4. Was unterscheidet `main()` von anderen Funktionen?
- (a) `main()` ist die Funktion, mit der ein C++-Programm beginnt.
 - (b) Nichts. Es ist eine normale Funktion, nur der Name ist anders.
 - (c) Jede Funktion, die einen `int`-Wert zurückgibt, muss eine `return`-Anweisung enthalten, `main()` aber nicht.
 - (d) In `main()` stehen die Ausgabeanweisungen.
5. Wie groß ist ungefähr der Zahlenbereich einer 32-Bit-`int`-Zahl?
- (a) Etwa von -2000 bis +2000.
 - (b) Etwa von -2 Millionen bis +2 Millionen.
 - (c) Etwa von -2 Milliarden bis +2 Milliarden.
 - (d) Von 0 bis etwa 4.000.000.000.
6. Warum sollen `int` und `unsigned int` nicht vermischt werden?
- (a) Es ist grundsätzlich egal, ganze Zahl ist ganze Zahl.
 - (b) Es ist egal, weil beide Typen dieselbe Bitbreite haben.
 - (c) Weil der Compiler vor einem Vergleich oder anderen Operationen eine Typumwandlung vornimmt, damit an der Operation nur gleiche Typen beteiligt sind.
 - (d) Es ist egal, wenn keine negativen Zahlen im Spiel sind.
7. Welche Zeilen sind korrekt?
- (a) `static_cast<int>('0') == 0`
 - (b) `static_cast<int>('0') == 48`
 - (c) `static_cast<int>('\0') == 48`
 - (d) `static_cast<int>('\0') == 0`
 - (e) `static_cast<int>('A') == 97`
 - (f) `static_cast<int>('A') == 65`

8. Die Variable `k` habe den Wert 8. `i` und `j` seien wie folgt definiert:

```
int i = k++;  
int j = ++k;
```

Welchen Wert haben `i`, `j` und `k` danach?

- (a) 9 10 10, (b) 8 10 10, (c) 8 9 10, (d) 8 9 9

Lösungen

1. Die richtige Antwort ist (b). Das war einfach!
2. Die richtige Antwort ist (c). (a) ist falsch, denn das Programm schreiben Sie mit dem Editor. (b) ist falsch, weil die Ausführung des Programms vom Betriebssystem nach Eingabe des Befehls gestartet wird.
3. Die Antwort (b) ist falsch. (c) ist richtig. Bei Fehlen dieser Zeile würde der Compiler bei `cout` feststellen, dass er `cout` nicht kennt. Antwort (a) ist typischerweise richtig. Der C++-Standard schreibt nicht vor, dass damit eine *Datei* eingelesen wird, es wird aber in der Regel so gemacht.
4. Die Antwort (b) ist falsch, die Antworten (a) und (c) sind richtig. (d) ist im Allgemeinen falsch, auch wenn es im Einzelfall so sein kann.
5. Die Antwort (d) gilt für eine `unsigned int`-Zahl. (c) ist richtig.
6. Nur Antwort (c) ist richtig. Antwort (d) ist falsch, weil eine `unsigned int`-Zahl größer sein kann als das Maximum einer `int`-Zahl. Die automatische Typumwandlung würde dann zu einem Fehler führen.
7. Jede zweite Zeile ist richtig. Mit einem eigenen Programm nachprüfen!
8. (b) ist richtig.

Stichwortverzeichnis

A

Abstrakte Klasse [227, 379](#)
Abstrakter Datentyp [379](#)
accumulate() [333](#)
Aggregat [114, 216, 380](#)
Algorithmen (C++-Bibliothek) [322](#)
Algorithmus (Definition) [16](#)
Alias-Deklaration [123](#)
Allgemeiner Konstruktor [145](#)
Anweisung [53](#)
array [114, 341](#)
ASCII [19](#)
– Tabelle [376](#)
assert [128](#)
assign() [340](#)
Assoziative Container [344](#)
at() [341](#)
– Map [348](#)
Attribute [380](#)
Aufzählungstyp enum [76](#)
Ausdruck [53](#)
Ausgabe
– -datei [82](#)
– -operator [284](#)
Ausnahme [240, 380](#)
auto [70](#)

B

back() [341, 342](#)
Basisklasse [218](#)
Bedingungsoperator [52](#)
begin() [317, 337](#)
binary_search() [326](#)
Binärdatei [86](#)
Binäre Suche [380](#)
Binärzahl [32](#)
Bit-Operatoren [34](#)
Block [22](#)
bool [49](#)
boolalpha [312](#)

C

C++11, C++14 [67](#)
C-Arrays [195](#)
case [73](#)
cerr [80](#)
char [39](#)
chrono (Zeitbibliothek) [352](#)
cin [27, 80](#)
– clear, ignore [61](#)
CircleShape (SFML) [168, 214, 253](#)
clear() [337](#)
Color (SFML) [168](#)
Compiler [17, 70](#)

complex 354
const 71
const char* 41, 192
constexpr
– Funktion 276
– Konstante 72
Container 336, 380
– -Adapter 307, 344
continue 64
copy() 328
count() (Zeitdauer) 352
cout 23, 80
CPU 387
C-String 192

D

Dateiein-/ausgabe 82
Datenkapselung 134, 381
Datentyp 22, 39, 135, 381
Datum 353
Debug 376
dec 87
= default 288, 311
#define 101
Definition 94, 382
Deklaration 94, 382
Delegation 228, 382
delete 199
deque 343
Destruktor 150
distance() 320
double 33
do-while-Schleife 59
Drei (die großen Drei) 294
duration_cast 353
dynamic_pointer_cast 226, 266

E

Editor 18
Eingabe

– -aufforderungsfenster 19
– -datei 82
– -operator 286
einheitliche Initialisierung 337
Elementfunktion 135, 219
empty() 337
end() 317, 337
endl 80
enum 76
erase() 329, 340
– Map 348
– Set 350
Ereignisgesteuerte Programmierung
164
event loop 172
Exception 240, 380
– vordefinierte 244
exception 240
explicit 141
extern 105

F

Fakultät 109
__FILE__ 242
fill()
– Algorithmus 330
– array 124
final 224
find()
– Algorithmus 324
– Map 348
– Set 350
float 33
for-Schleife 61
Formatierung der Ausgabe 88
Framework 164
friend 283
front() 341, 342
fstream 82
Funktion 91

- freie 136
- Funktionsobjekt, Funktor 310
- Fünf (die großen Fünf) 359

G

- generate() 331
- getline() 42
- Globale
 - Konstante 105
 - Variable 104
- good() 54, 61, 83, 85
- Grafik 163

H

- Header-Datei 22
- Heap (Speicherbereich) 189
- hex 87
- Hexadezimalzahl 32

I

- Identität 382
- if-Anweisung 48
- #ifdef, #ifndef 102
- ifstream 82
- Initialisierung 28, 383
- initializer_list 149, 160, 288, 338
- inline 143, 284
- inner_product() 335
- insert() 340
 - Map 348
 - Set 349
- Instanz 383
- Intervall (und -notation) 320
- iota() 331
- Iterator 317

K

- Klasse 135, 383
- Klassenvariablen und -funktionen 169

- Kommazahlen 33
- Komplexe Zahlen 354
- Konsole 19
- Konstruktor 139, 145
 - erben 220
- Kopie, flache/tiefe 291
- Kopierkonstruktor 146
 - Elimination 148
- Kopiersemantik 357

L

- Lambda-Funktion 310, 314
- Laufzeit 38
- __LINE__ 242
- Linken 18, 383
- list 342
- Liste 318, 390
- Literal 38, 384
- logic_error 244
- Logisches UND, ODER 50
- long double 33
- lower_bound() 326
- L-Wert 357, 384

M

- magic number 129, 385
- make_pair() 316
- make_shared() 205
- make_unique() 202
- Makro 22, 101
- map 345
- Mehrfachvererbung 228
- Methode 385
- min(), max() 332
- min_element(), max_element() 333
- Mitgliedsfunktion 135
- Modulo 31
- mt19937 66

N

Nachbedingung 385
Namensraum, anonymer 109
namespace 100
NDEBUG 129
Negation 52
Negationsoperator 60
Netbeans 368
new 199
now() 353
Nullbyte 43
nullptr 191

O

Oberklasse 218, 386
Objekt 135, 386
observer_ptr 272
ofstream 82
Oktalzahl 32
one definition rule 94
Open Source 386
Operator, Operand 24
operator bool() 279
operator<<() 284
operator>>() 286
operator()() 310
operator=() 291
operator==(), operator!=() 282
operator-() 284
operator->(), operator*() 273
operator+=(), operator+() 289
operator++() 279
override 223

P

pair 315
Parameterübergabe
– per Zeiger 197
– per Referenz 102
– per Wert 93

Polymorphismus 387
pop_back() 341, 342
pop_front() 342, 344
precision() 88
private: 139
protected: 218
Prototyp 93
Prozessor 387
Präprozessor 18, 22, 27, 97
public: 139
push_back() 159, 341, 342
push_front() 342, 344
put() 82, 83

R

RAII 153, 388
random_device 68
Referenz 102
– auf const 147
– -semantik 357
Reguläre Ausdrücke 365
Rekursion 106
Relationale Operatoren 49
Release 376
remove()
– Algorithmus 329
– Liste 342
resize() 341
reverse() (Liste) 342
RGB (Farben) 168
runtime_error 244
R-Wert 358, 384

S

Schnittstelle 388
Scope-Operator :: 67, 169
seed 68
set 349
setFillColor() (SFML) 168
SFML 163, 370

shared_ptr 204
Signatur 219
size() 337
sizeof 30
size_t 30
Skalarprodukt 335
sleep() 185
sort() 314, 324
Sprite 251
Stack
– Datenstruktur 307
– und Heap 189
– Laufzeit- 150
– stack (C++-Bibliothek) 344
Standardkonstruktor 145
static 170
static_assert 306
static_cast 43
std (Namespace) 23
stoi() und ähnliche 85
strcmp() 306
strcpy() 296
string 39
strlen() 193, 296
struct 216, 292
Subtyp 219, 389
swap() 337
switch 73
Syntax 18
system_clock 353
Systemfehler 245

T

Template 302
– Meta-Programmierung 363
– Spezialisierung 305
– variadisch 364
Test 366
Textur 256
this 280

Threads 365
throw 240
TicTacToe 121, 230
time_t, tm 353
to_string() 159, 242, 252
typedef 123

U

Überladen
– Funktion 95, 219
Überlauf 66
Überschreiben 219
Übersetzungseinheit 98, 389
Uhrzeit 353
uniform_int_distribution 69
uniform_real_distribution 208
unique() Sequenzen 343
unique_ptr 202
unordered_map 350
unordered_set 351
unsigned 30
Unterklasse 389
upper_bound() 327
using, Alias-Deklaration 123

V

vector 116, 157, 341
Vector2f (SFML) 174, 215, 251
Verbundanweisung 48
Vererbung 214, 389
Vergleichsoperatoren 49
Verkettete Liste 318, 390
virtual 221
void 102
Vorbedingung 389
Vorwärtsdeklaration 273

W

Wert eines Attributs 380
what() 242

while-Schleife 57

whitespace 28

width() 88

Z

Zeiger 190

Zeitmessung 352

Zufallszahl (Pseudo-Z.) 66

Zustand 390

Zuweisung 28, 390

Zuweisungsoperator 291

Zwischenraumzeichen 28