

# C++ in Übersichten

Material zum C++ Kurs

Maximilian Starke  
Student der TU Dresden  
Fakultät Informatik

16. Juli 2017

# Vorwort

Dieses Skript **C++ in Übersichten** enthält Material zum C++ Kurs, den ich im Sommersemester 2017 halte ([ifsr.de/kurse](http://ifsr.de/kurse)) Das Skript wird parallel zum Kurs erstellt und auch danach noch erweitert. Es besteht daher momentan noch als Entwurf.

Das Skript dient vordergründig als Nachschlagewerk für den C++ Kurs und besteht im Wesentlichen aus vier Kapiteln zu Einrichtung, Datentypen, strukturierter Programmierung und Randfeatures. Dabei wurde in erster Linie eine Einteilung nach logischen Zusammenhängen der Sprache C++ angestrebt, zweitrangig nach pädagogisch sinnvoller Reihenfolge. Das stellt mehr oder weniger eine hinreichende und zugleich notwendige Bedingung für die parallele Abarbeitung von Kapitel 2 und 3 dar, da Kenntnisse über Datentypen und Mechanismen strukturierter Programmierung an vielen Stellen wieder eine Einheit bilden und ineinander greifen.

## Lizenz

Dieses Werk steht unter der Lizenz Creative Commons CC BY-NC-SA 4.0. Sie dürfen das Material beliebig verteilen und bearbeiten, solange eine Namensnennung © Maximilian Starke erfolgt, das Material nicht für kommerzielle Zwecke genutzt wird und Sie darauf aufbauende Beiträge unter derselben Lizenz veröffentlichen [...]. Details können Sie im Internet unter <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.de> nachlesen.

Sofern Sie Rechte darüber hinaus möchten, kontaktieren Sie den Autor, Maximilian Starke.

## Erwähnungen

Das Skript darf insbesondere gern vom Fachschaftsrat Informatik ([www.ifsr.de](http://www.ifsr.de)) der Technischen Universität Dresden / Fakultät Informatik im Rahmen der dort angebotenen (Programmier-)kurse verwendet werden. Das Skript steht insbesondere den jeweiligen Kurstutoren und Studenten zur Nutzung in vollem Umfang zur Verfügung. Für Anregungen, Beiträge, Verbesserungsvorschläge und Feedback aller Art ist der Autor stets offen.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einrichtung</b>	<b>4</b>
1.1	ISO C++	4
1.1.1	Allgemeines	4
1.1.2	Versionen (only draft)	4
1.2	Dateien in einem C++ Projekt	5
1.3	Compiler	6
1.4	IDEs	8
1.4.1	JA oder NEIN	8
1.4.2	IDEs im Überblick	8
1.5	Referenzen	8
1.6	The Hello World	13
1.6.1	Das erste kleine Programm	13
1.6.2	Ein paar Werkzeuge	13
1.6.3	Programmierstil	14
<b>2</b>	<b>Datentypen in C++</b>	<b>15</b>
2.1	Identifizier	15
2.2	primitive Datentypen	15
2.2.1	Die Datentypen	16
2.2.2	Literale	17
2.2.3	Initialisierung	20
2.2.4	Deklaration und Definition (vereinfacht)	20
2.2.5	Einige Operatoren auf primitiven Datentypen	20
2.3	Zusammengesetzte und konstruierte Datentypen	21
2.3.1	Pointer	21
2.3.2	Referenzen	23
2.3.3	Arrays (C-like)	26
2.3.4	Strings	27
2.3.5	Records	28
2.4	const und constexpr	29
2.5	auto	29
<b>3</b>	<b>Strukturierte Programmierung</b>	<b>30</b>
3.1	Kontrollstrukturen	30
3.1.1	Sequenzen	30
3.1.2	Sprünge	31
3.1.3	if - Verzweigung	32
3.1.4	switch - Mehrfachverzweigung	32
3.1.5	while	32
3.1.6	do while	33
3.2	Funktionen	33
3.2.1	Vorausdeklaration	33
3.2.2	Funktionsdefinition	33
3.3	Operatoren	33
3.4	Scopes	33
3.5	Namespaces	33
3.6	Modularisierung	33

<b>4</b>	<b>Zusätzliche Features</b>	<b>34</b>
4.1	Templates . . . . .	34
4.2	Exceptions . . . . .	34
4.3	Multithreading . . . . .	34
<b>5</b>	<b>Ein Blick in Bibliotheken</b>	<b>35</b>
5.1	Wertebereiche mit <code>&lt;limit&gt;</code> . . . . .	35

# Kapitel 1

## Einrichtung

### 1.1 ISO C++

#### 1.1.1 Allgemeines

- ab 1979 von Bjarne Stroustrup bei AT&T entwickelt als Erweiterung der Programmiersprache C
- später von ISO genormt
- effizient und schnell - Schnelligkeit eines der wichtigsten Designprinzipien von C++
- Hardware-nahe und Systeme-nahe Programmierung
- hohes Abstraktionsniveau u.a. durch Unterstützung von OOP und Templates
- Der ISO Standard beschreibt eine Standardbibliothek mit Ein- und Ausgabe, Containerklassen, uvm.
- C++ ist kein Superset von C (siehe [stackoverflow.com](http://stackoverflow.com), ...).
- C++ ist *weitestgehend* kompatibel zu C.
- C++ ist (wie C) **case sensitive**.
- Paradigmen:
  - **generisch** (durch Benutzung von Templates, automatische Erstellung multipler Funktionen für verschiedene Datentypen)
  - **imperativ** (Programm als Folge von Anweisungen, „Gegenstück“ zu deklarativer Programmierung, siehe Haskell und Logikprogrammierung)
  - **objektorientiert** (Klassen, Objekte, Vererbung, Polymorphie, Idee: Anlehnung an reale Objekte)
  - **prozedural** (Begriff mit verschiedenen Bedeutungsauffassungen, Unterteilung des Programms in logische Teilstücke (Prozeduren, Funktionen), die bestimmte Aufgaben übernehmen)
  - **strukturiert** (prozedural und Codeorganisation mittels Sequenz, Verzweigung, Schleifen, ...)
  - **funktional** (ab C++11, „Definitionsskleinkram“, siehe Wikipedia, Programm als verschachtelter [...] Funktionsaufruf organisierbar, eher typisch für Haskell o.ä.)

#### 1.1.2 Versionen (only draft)

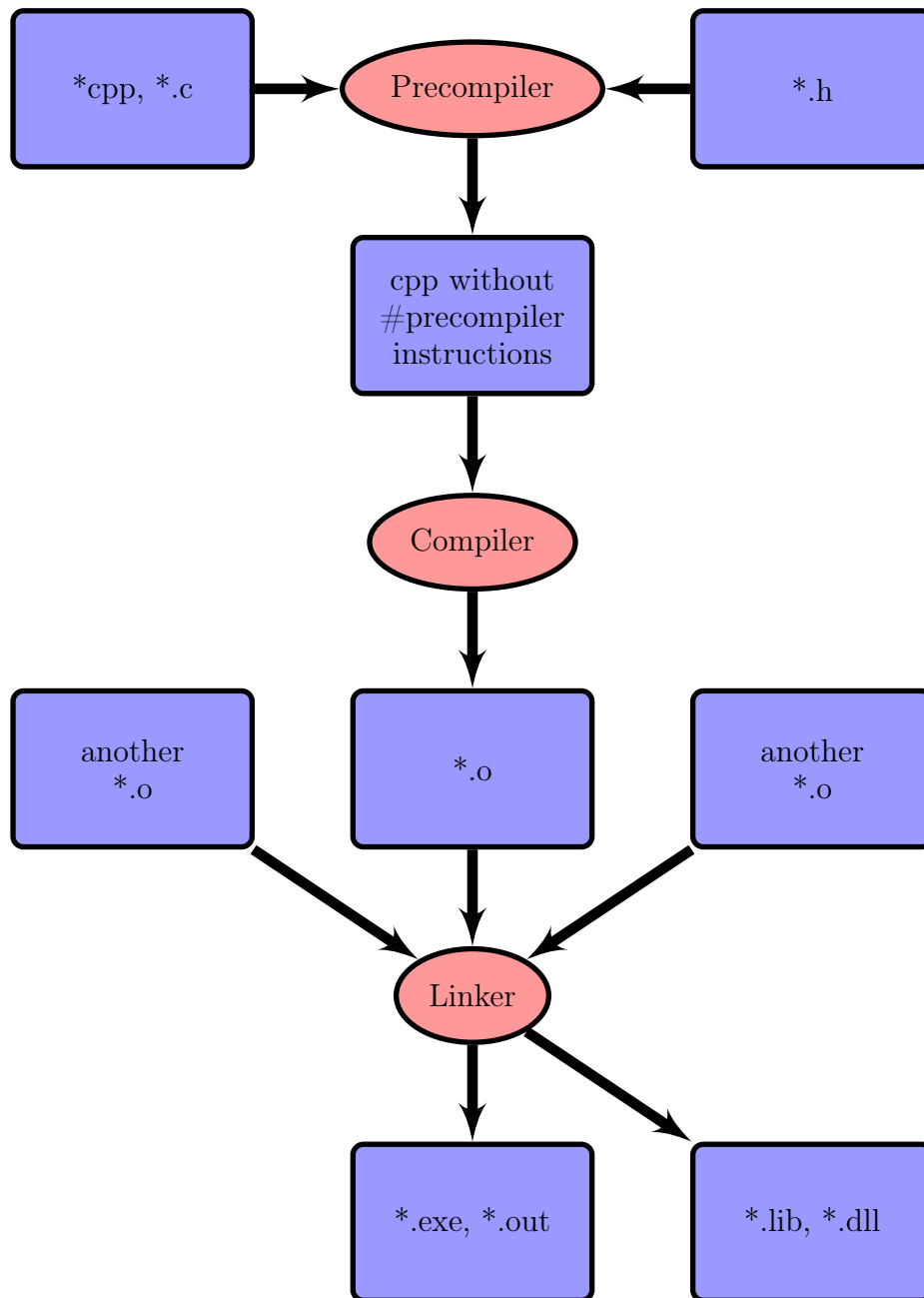
- C++98
- C++03
- C++11

wesentliche Neuerungen. Einführung von `constexpr`, Elementinitialisierer, ... Neue Bedeutung des Schlüsselworts `auto` # Referenzen ergänzen

- C++14  
aufweichung der constexpr Bedingungen.
- C++17  
# neues if constexpr, Plattformunabhängiger Umgang mit Dateien, ...

## 1.2 Dateien in einem C++ Projekt

Dateiendung	Bezeichnung	Inhalt
(*.cpp) (*.cc)	Quelldatei	Funktionsimplementation, Klassenimplementation, Berechnungen bzw. eigentliche Arbeit erledigen
(*.h)	Headerdatei	Funktionsdeklaration, Klassendefinition, Bezeichner öffentlich bekannt machen
(*.o)	Objektdatei	Objektcode (Maschinencode) einer Übersetzungseinheit
(*.exe) (*.out)	ausführbare Datei	fertiges Programm
(*.sln) (*.pro) (*.vcxproj)	„Projektdatei“	IDE Einstellungen (oder ähnliches) IDE-spezifische Namen und Verwendung
(*.res)	Ressourcendatei	multimediale Inhalte



## 1.3 Compiler

Compiler	Plattform
GCC/g++	Windows, Linux, Mac, Unix-like
Clang	Unix-like, Mac, Windows, Linux
Intel-C++	Linux, Windows, Mac
VC++	Windows

Das nun folgende Listing zeigt, wie ein C++ Quellcode, der als Datei im Dateisystem vorliegt, „per Hand“ mit Kommandozeile unter Nutzung des Compilers (hier g++) übersetzt werden kann. Beim Aufruf des Compilers wurden hier noch einige Flags gesetzt, nämlich `-Wall`, um **sinnvolle Warnungen** ausgeben zu lassen, und `-pedantic`, um **vom C++ Standard geforderte Warnungen** erscheinen zu lassen. Das zusätzliche `-Wextra` ermöglicht ein Maximum an Warnungen. Außerdem wurde der C++ Standard (Version) gesetzt.

Zuerst wechseln wir mit `cd` (*change directory*) in unser Arbeitsverzeichnis. Dann lassen wir uns mit `gci` (*Get-ChildItem*) alle Dateien und Ordner (Verzeichnisse) des Arbeitsverzeichnis anzeigen. Wir entdecken eine Beispielquellcodedatei, die bereits jemand vor uns dorthin gespeichert hat und schauen uns mit `gc` (*Get-Content*) deren Inhalt an. (Alternativ: Erstellen Sie jetzt in diesem Ordner eine solche Datei mit angezeigtem Namen

und Inhalt und fahren Sie dann an dieser Stelle fort.) Anschließend rufen wir den C++ Compiler `g++` auf und lassen `hello_world.cpp` kompilieren. Schließlich sehen wir, dass im Arbeitsverzeichnis eine neue Datei erstellt wurde. Dies ist das ausführbare Programm, das wir dann starten. Es gibt *Hello World* aus.

#### Nutzung von g++ mittels Powershell

```
PS A:\> cd .\example\  
PS A:\example> gci  
  
Verzeichnis: A:\example  
  
Mode                LastWriteTime         Length Name  
----                -  
-a----            02.04.2017    08:38             87 hello_world.cpp  
  
PS A:\example> gc .\hello_world.cpp  
#include <iostream>  
  
int main(){  
    std::cout << "Hello World";  
    return 0;  
}  
  
PS A:\example> g++ -o programm hello_world.cpp -Wall -pedantic -Wextra -std=c++14  
PS A:\example> gci  
  
Verzeichnis: A:\example  
  
Mode                LastWriteTime         Length Name  
----                -  
-a----            02.04.2017    08:38             87 hello_world.cpp  
-a----            02.04.2017    09:12          48650 programm.exe  
  
PS A:\example> .\programm.exe  
Hello World  
PS A:\example>
```

Eine kleine Anmerkung zu Bezeichnungen, die mit Compilern zu tun haben, möchte ich an dieser Stelle noch loswerden, da hier immer eine kleine Verwechslungsgefahr besteht. Die **GCC** (*GNU Compiler Collection*) ist eine Compilersammlung mit Compilern zu C, C++ und einigen weiteren Sprachen. Dagegen ist der **gcc** (klein geschrieben) der C-Compiler und **g++** der C++ Compiler der Sammlung.

Um auf Ihrem Betriebssystem einen C++ Compiler zum Laufen zu bringen, haben Sie meist verschiedenste Möglichkeiten, da viele verschiedene Frameworks und Implementationen existieren.

Um unter **Linux** GCC zu nutzen, müssen die entsprechenden Pakete installiert werden, meist ist die GCC sogar schon vorinstalliert.

Unter **Windows** kann man den von Microsoft bereitgestellten Visual C++ Compiler verwenden, i.d.R. in Verbindung mit einer Installation von Visual Studio (eine IDE für u.a. C++). Die zu installierenden Komponenten bei Visual Studio kann man selbst beim Installationsprozess auswählen, i.A. ist der Speicherverbrauch jedoch relativ groß. Wer auf eine speicherschonende Variante zurückgreifen will oder muss, dem empfehle ich MinGW - eine Portierung der GCC aus dem Hause Linux für Windows. Planen Sie früher oder später Qt-Creator als C++ IDE zu installieren, dann können Sie sich eine extra Installation von MinGW im Vorhinein sparen, da QT-Creator MinGW bereits mitinstalliert. Sofern mit der Kommandozeile direkt auf `g++` zugegriffen werden soll, ist es unter Windows i.d.R. erforderlich den Pfad der MinGW-Binaries der Systemvariablen `PATH` hinzuzufügen.



## 1.4 IDEs

### 1.4.1 JA oder NEIN

ohne IDE	mit IDE
Compiler, Linker über Shell bedienen extra Texteditor evtl. make + makefile Dokumentationen lesen	Projekteinstellungen, Compilieren per Button in IDE integriert automatisch generiertes makefile geordneten Menübaum durchforsten
Einarbeitungszeit (??) für kleine und mittelgroße Projekte	Einarbeitungszeit (??) kleine, mittlere und große Projekte

### 1.4.2 IDEs im Überblick

IDE	Plattform	Anmerkungen
Eclipse, Netbeans Qt SDK Code::Blocks	Java (JVM) WIN, Linux, Mac WIN, Linux, Mac	in und für Java geschrieben, unterstützt auch C++ bringt umfangreiches Qt-Framework mit für GUIs u.v.m.
Visual Studio	Windows	kostenfreie Version für den Hausgebrauch: VS Community 2017, sehr umfangreich (Refactoring Tools, Debugger, Laufzeitanalyse, Frameworks wie MFC, ATL, WTL) und damit auch speicherin- tensiv, zu installierende Features wählbar, benutzt eigens mitge- brachten MS VC++ Compiler
Orwell DEV-C++	Windows	
Geany	Linux, WIN	schlichter Texteditor mit Syntaxhighlighting und diversen Buttons für Compilerausführung, Logausgabe
KDevelop	Linux, WIN	#
Anjuta	Linux	#
XCode	MacOS	„hauseigene“ IDE von Apple

Auf den Seiten 9 bis 12 finden sich Screenshots einiger IDEs.

#### GNU-make unter Windows

Mit einer vorhandenen MinGW - Installation und wenigen Handgriffen, ist es auch möglich makefiles unter Windows zu nutzen. <http://stackoverflow.com/questions/12881854/how-to-use-gnu-make-on-windows>

## 1.5 Referenzen

- Bücher:
  - Wolf, Jürgen: C++ - Das umfassende Handbuch. Rheinwerk Computing
- Websites:
  - <http://en.cppreference.com/w/>
  - <http://www.cplusplus.com/reference/>

# Es gibt auch offline Versionen der Referenzen.

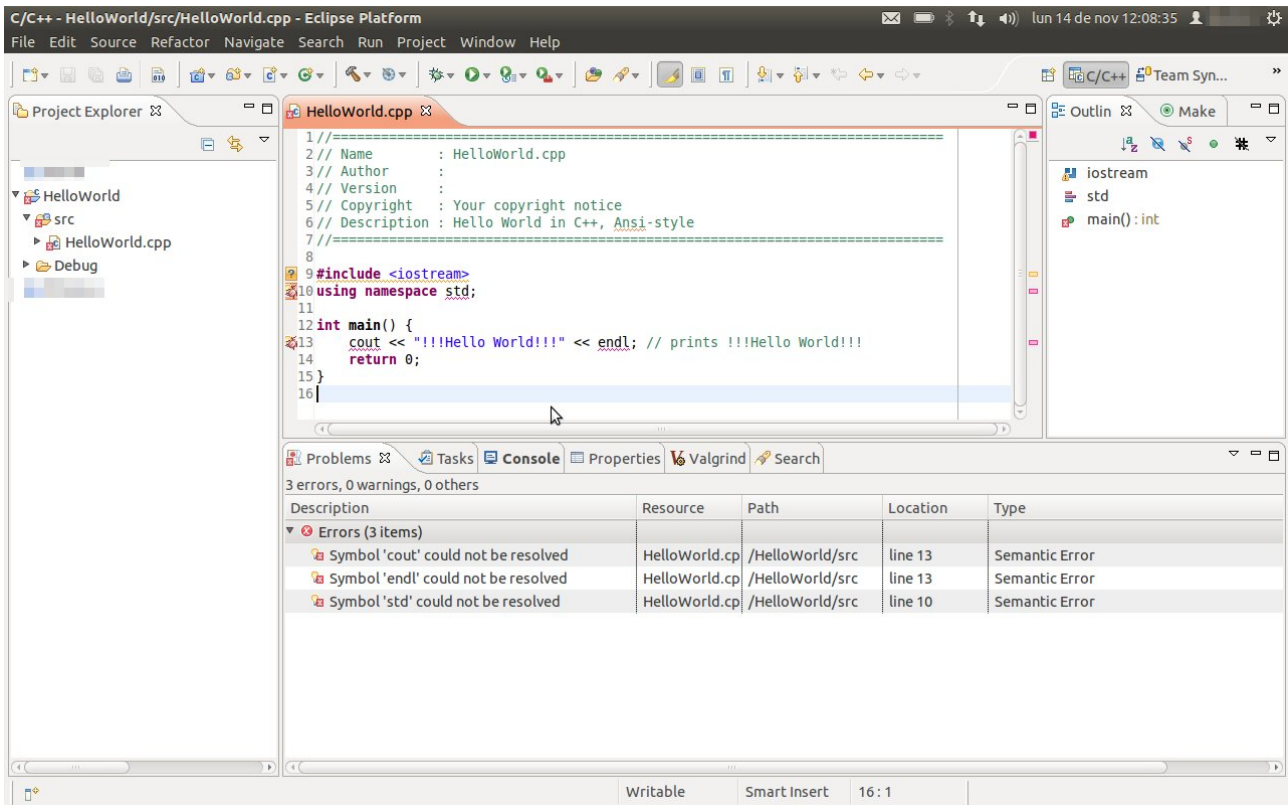


Abbildung 1.1: Eclipse mit einem C++ Projekt

<https://www.eclipse.org/forums/index.php/fa/6135/0/>

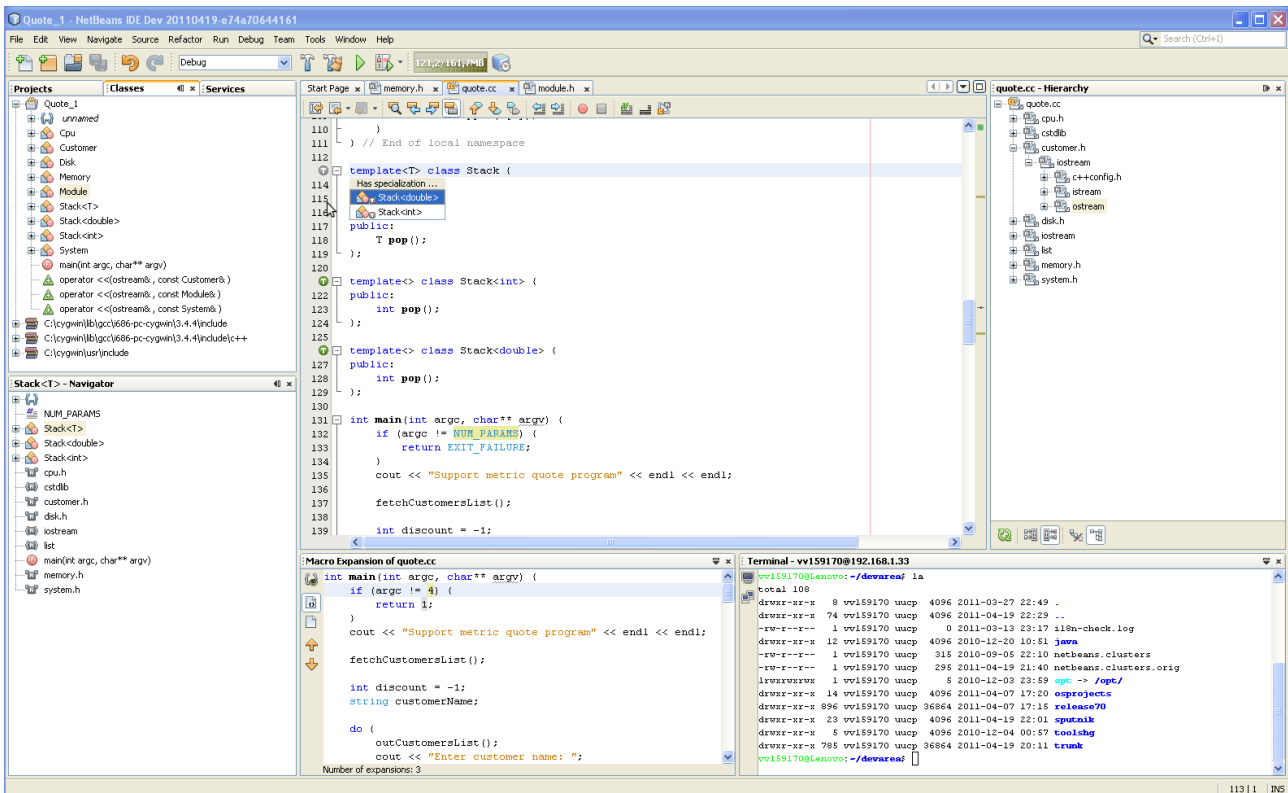


Abbildung 1.2: NetBeans und die Verwendung von C++

[https://netbeans.org/images\\_www/v7/screenshots/cnd.png](https://netbeans.org/images_www/v7/screenshots/cnd.png)

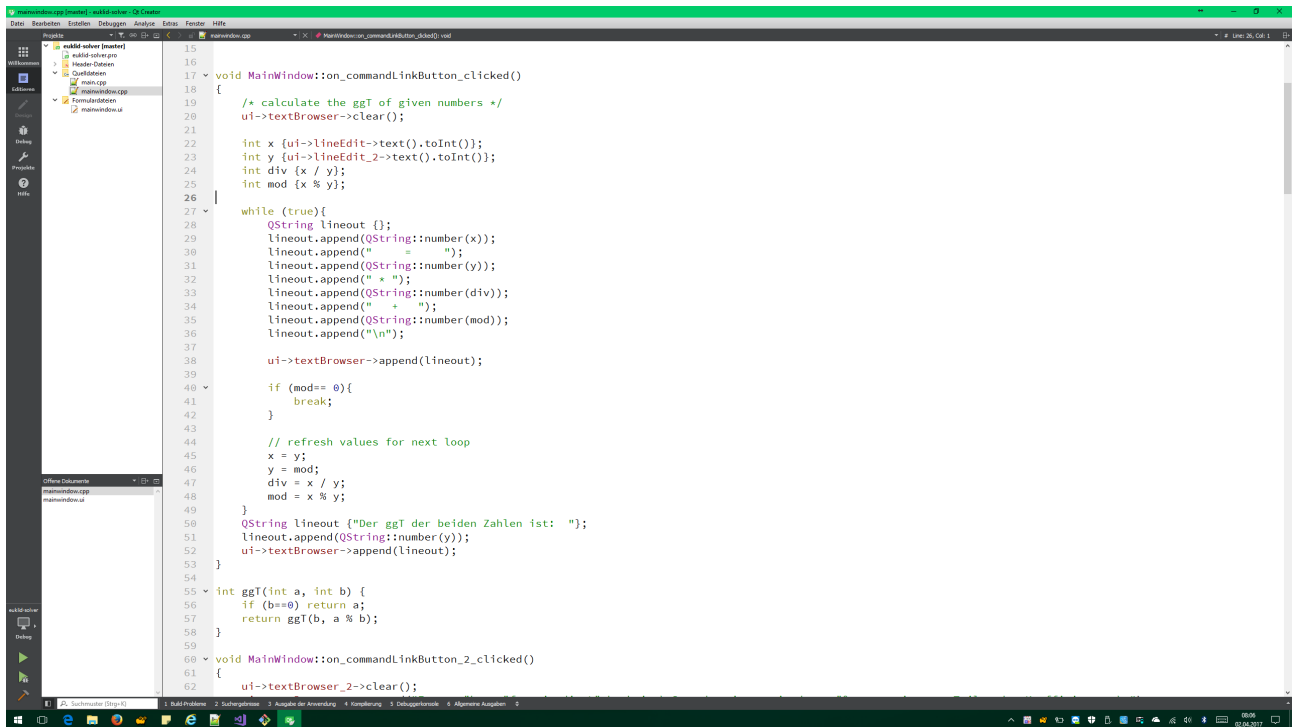


Abbildung 1.3: C++ Code in der QT Creator IDE

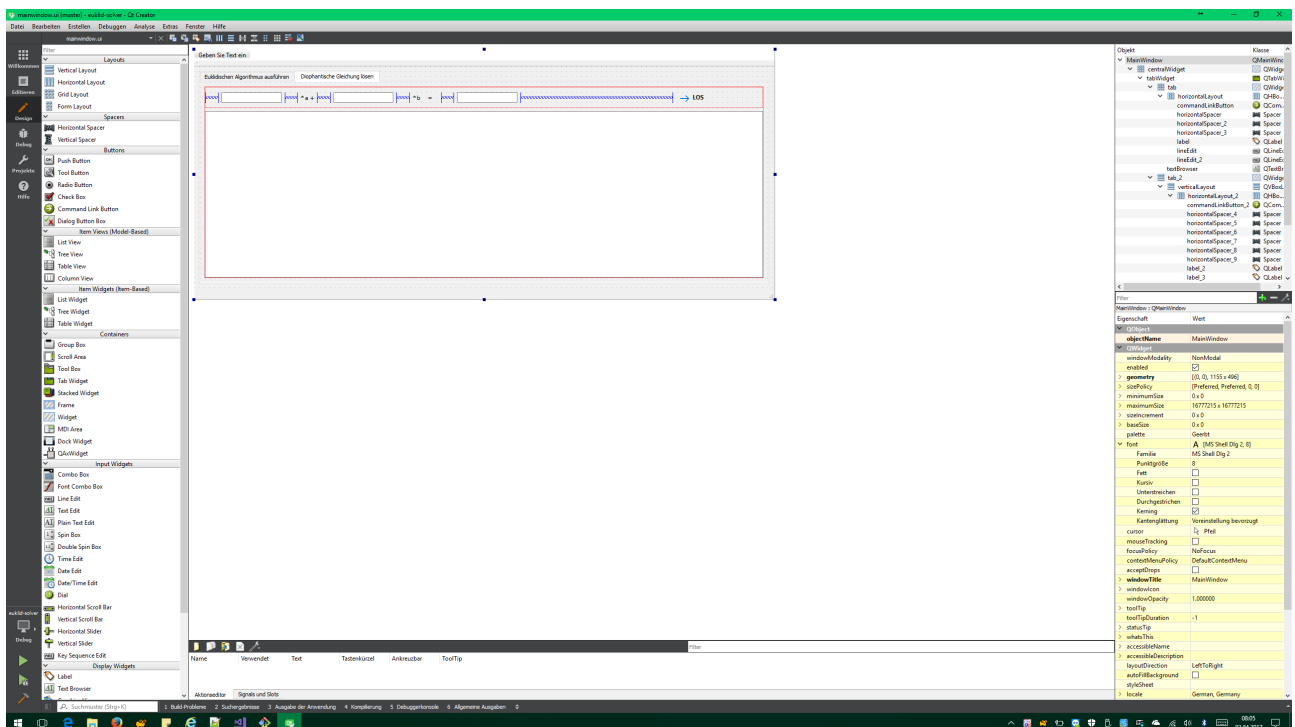


Abbildung 1.4: Fensterdesign mit QT Creator

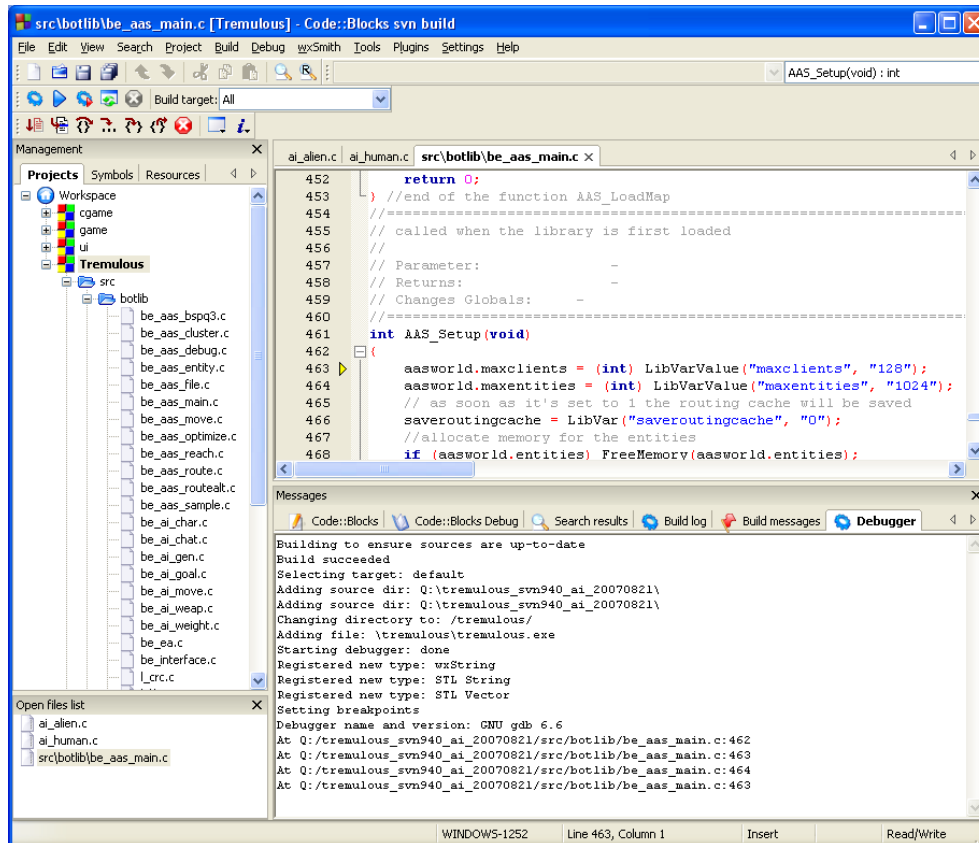


Abbildung 1.5: Code Blocks  
[http://www.afternoon.net/img/20070905\\_codeblocks\\_tremulous.png](http://www.afternoon.net/img/20070905_codeblocks_tremulous.png)

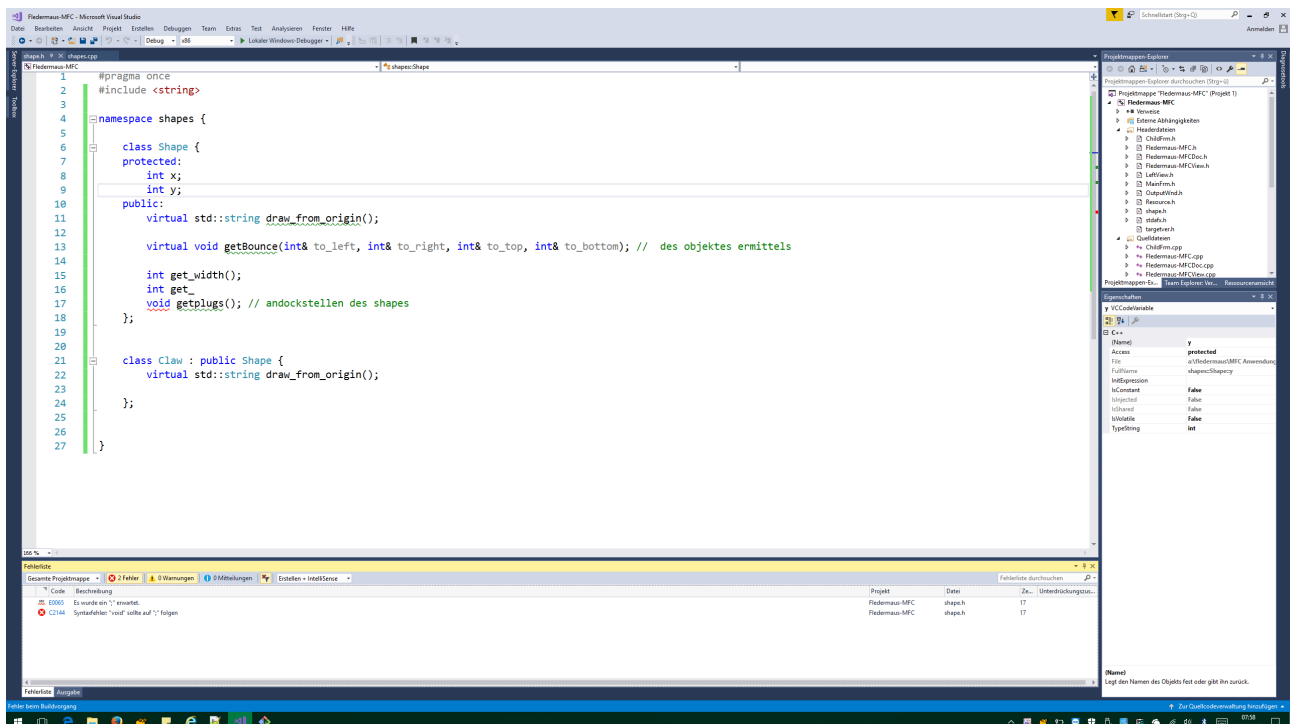


Abbildung 1.6: Visual Studio Community

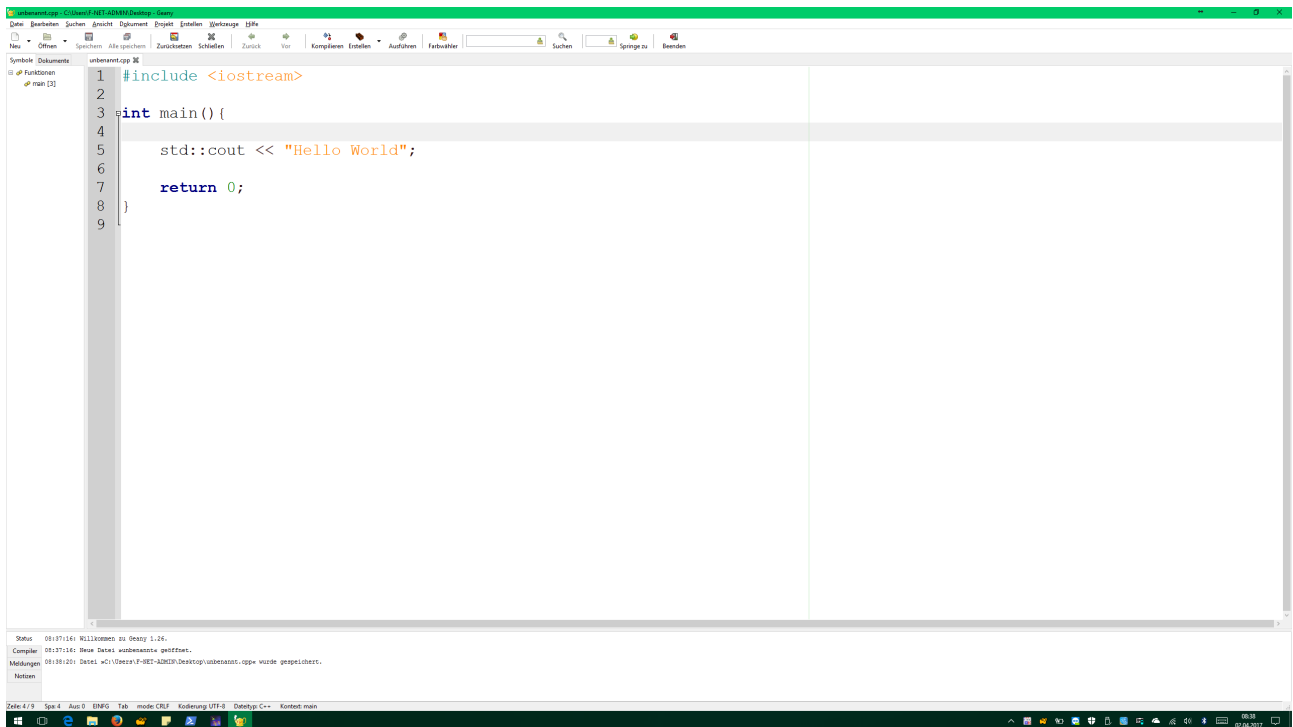


Abbildung 1.7: Geany

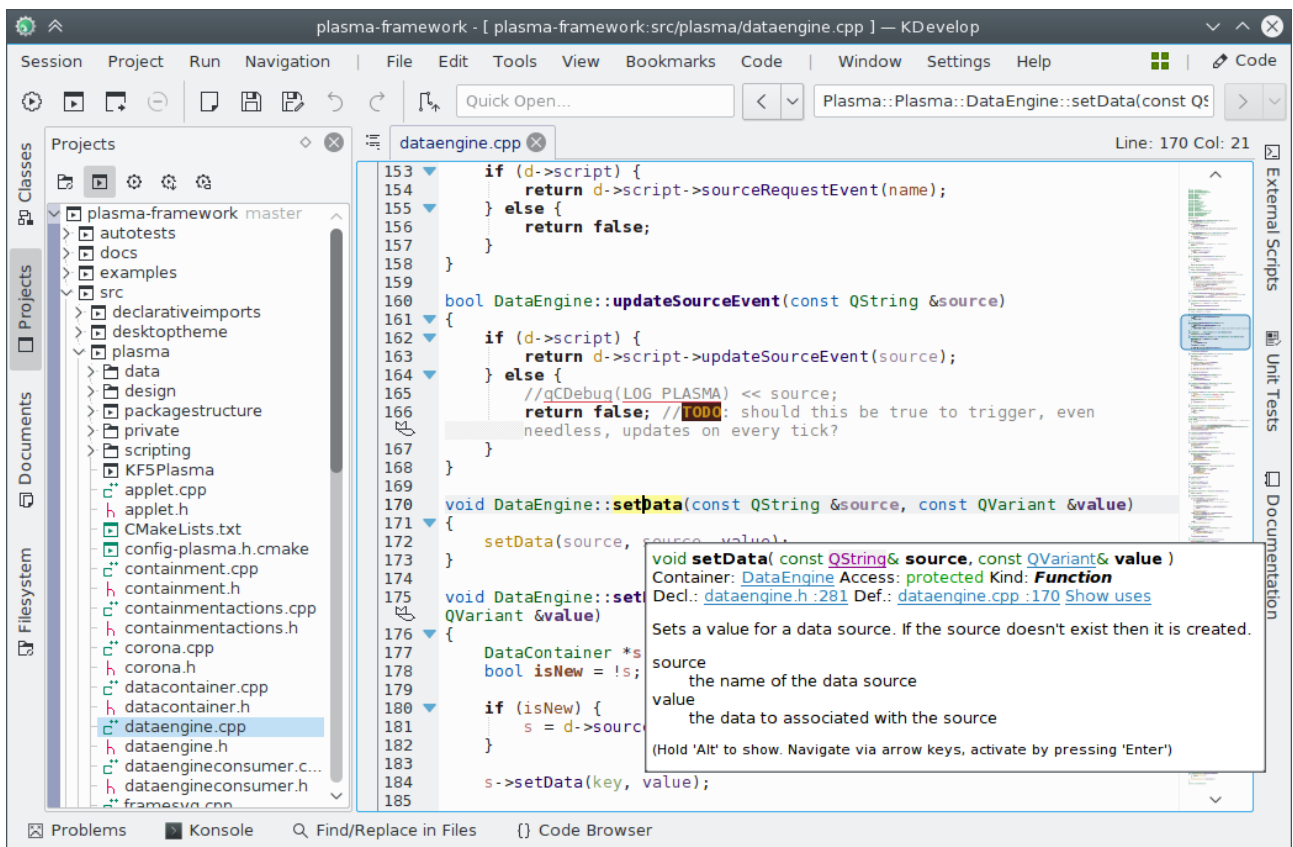


Abbildung 1.8: KDevelop

[https://www.kdevelop.org/sites/www.kdevelop.org/files/inline-images/kdevelop5-breeze\\_2.png](https://www.kdevelop.org/sites/www.kdevelop.org/files/inline-images/kdevelop5-breeze_2.png)

## 1.6 The Hello World

### 1.6.1 Das erste kleine Programm

#### Unser erstes C++ Programm

```
#include <iostream>
// "Einbinden" d.h. 1-zu-1-Einfuegen des Headers iostream.h

int main(int argc, char* argv[])
// main-Funktion: Einstiegspunkt der Anwendung
// argc: Anzahl der uebergebenen Parameter
// argv: Pointer auf ein Array von Pointern auf C-Style-Strings (die Parameter)
// Parameter der main-Funktion duerfen in der Signatur auch weggelassen werden.

{ // Beginn vom Anweisungsblock der main-Funktion

    std::cout << "Hello World" << std::endl;
    // Ausgabe von "Hello World" und Zeilenumbruch
    // genauer:
    /*
    * implizite Klammerung:
    * ( (std::cout) << "Hello World" ) << (std::endl);
    * std          ... ein Namensraum
    * ::           ... scope-Operator (Bereichsoperator)
    * cout         ... gepufferter Standardausgabestream
    * <<           ... Ausgabeoperator (auch bitshift-Operator)
    * "Hello World" ... C-Style-String Literal
    * endl         ... Objekt aus dem std Namensraum, das einen Zeilenumbruch ('\n')
erzeugt.
    * ;           ... Abschluss einer einzelnen Anweisung
    */

    for(int i = 0; i < argc; ++i ){
        std::cout << i << ". Parameter: " << argv[i] << '\n';
    } // Beispiel fuer die Ausgabe der Komandozeilenargumente
    // argv[0] ist der Name der executable Datei

    return 0; // Rueckgabewert 0 "erfolgreich (ohne Fehler) beendet"
}
```

Im Falle der `main`-Funktion ist es auch möglich das **return statement** (`return 0;`) wegzulassen. Dann wird implizit 0 als Funktionswert zurückgegeben. Die Funktionssignatur der `main`-Funktion darf auch in `int main(int argc, char** argv)` geändert werden. Der erste (oder besser gesagt *nullte*) Arrayeintrag von `argv` enthält übrigens immer einen Zeiger auf den Namen (ohne Dateiendung), unter dem das Programm abgespeichert wurde. Damit ist `argc` stets mindestens 1.

### 1.6.2 Ein paar Werkzeuge

Bevor wir in Kapitel 2 einsteigen und das gesamte (naja *fast*) C++ von Grund auf kennenlernen wollen, sollten Sie noch einige nützliche Werkzeuge kennen, damit Sie neu gelernte Dinge auch ohne große Probleme ausprobieren können.

### ... und ein paar Hilfsmittel ...

```
#include <iostream>

#define debug // Benutzung bedingter Compilierung zum Debugging

int main(int argc, char* argv[]){

    int zahl = 0;
    std::cout << "Wie alt bist du?\n"; // eine simple Ausgabe
    std::cin >> zahl; // eine simple Eingabe
    std::cout << "Okay!\n\n";

#ifdef debug
    //folgende Zeile beinhaltet einen Syntaxfehler und der Code kann nicht kompiliert
    werden:
    std::cout << << "In 7 Jahren bist du " << 7 + zahl << " Jahre alt." << '\n';
    // Durch entfernen der Anweisung #define debug, wird die Zeile nicht mehr
    mitkompiliert.
#endif //debug

    std::cout << "Tsch\x81ss\n";
    //https://de.wikipedia.org/wiki/Codepage_850

    std::cin.sync();
    std::cin.get(); // wartet auf Enter zum fortfahren.

    /*
    Das ist
    ein mehrzeiliger
    Kommentar
    */

    // Das ist ein einzeiliger Kommentar.
}
```

Objekt	Funktionalität
cin	Standardeingabe, standardmäßig Eingabe von Tastatur
cout	(gepufferte) Standardausgabe
cerr	ungepufferte Standardfehlerausgabe
clog	gepufferte Standardfehlerausgabe
<b>Achtung: Diese Streamobjekte liegen alle im Namensraum std und werden nach einem #include &lt;iostream&gt; erst verfügbar</b>	

### 1.6.3 Programmierstil

Bevor es richtig losgeht, möchte ich noch ein paar Worte über den Programmierstil loswerden. Im Grunde genommen dürfen Sie Ihren C++ Code schreiben, wie sie wollen, solange Sie die Spezifikationen von C++, oder genau genommen die Ihres Compilers einhalten. Es gibt auch nicht *den einen* Programmierstil, der sich durchgesetzt hat. Sie schreiben aber einen viel leserlicheren, einfacher wartbaren und für das Auge schöneren Code, wenn Sie beim programmieren **konsistent bleiben**, was einige Aspekte betrifft:

Einrückungen	tabs or spaces
Anweisungen pro Zeile	eine, ...
Bezeichner	snake_case, camelCase, PascalCase kurz, prägnant, aussagekräftig Deutsch, Englisch, ... Isländisch

Einige IDEs können Sie sogar mehr oder weniger dabei unterstützen, in dem sie sich um die **Quelltextformatierung** kümmern und Ihnen zumindest teilweise die Arbeit abnehmen. Dies ist gerade bei Projekten mit vielen Entwicklern hilfreich, da so ziemlich effizient für einheitliches Quelltextlayout gesorgt werden kann.

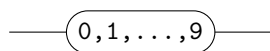
# Kapitel 2

## Datentypen in C++

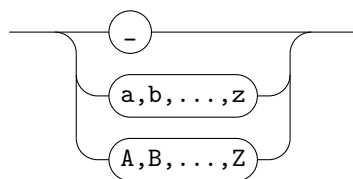
Früher oder später müssen Sie in Ihrem Programm Daten speichern, sei es während der Laufzeit im Arbeitsspeicher (RAM) oder darüber hinaus persistent in Dateien, die Sie in Dateisystemen auf zum Beispiel Festplatten aufbewahren können. Dabei steht in der Regel als erstes die **Wahl des Datentypes** im Vordergrund, denn die Wahl des Datentyps bestimmt maßgeblich die **Möglichkeiten der Verwendung der Daten**. So gibt Ihnen der Datentyp grundsätzlich vor welche Funktionen und insbesondere **Operatoren** Sie darauf anwenden können, beziehungsweise *was* diese bewirken.

### 2.1 Identifier

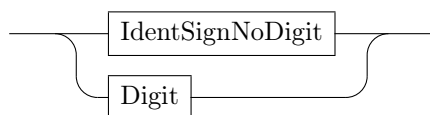
*Digit*



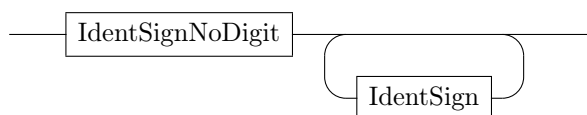
*IdentSignNoDigit*



*IdentSign*



*Identifier*



gültige Identifier	ungültige Identifier
<code>_9zig</code>	<code>9zig</code>
<code>gruen</code>	<code>grün</code>
<code>LaTeX</code>	<code>pro%zent</code>
<code>alter_in_sekunden</code>	<code>Geßetzbuch</code>

#### Anmerkungen

Beachten Sie dass für die **interne Implementierung** von C++ Bezeichner verwendet werden die mit zwei Unterstrichen (`__`) oder einem Unterstrich gefolgt von einem Großbuchstaben (z.B. `_A`) beginnen. Es wird daher ausdrücklich empfohlen, auf solche Identifier zu verzichten.

Laut Standard ist auch das **\$-Zeichen** in Bezeichnern erlaubt. Auch hier wird ein Verzicht auf dieselben empfohlen, da es Compiler gab und vielleicht noch gibt, die dies nicht unterstützen.

Es ist möglich Umlaute und viele andere **UTF-Zeichen** in Bezeichnern zu nutzen. Nicht erlaubt sind Identifier wie `schön` oder `größer`. Zeichen dürfen aber UTF-codiert in der Form `\uXXXX` als **UTF-16-Zeichen** oder in der Form `\UXXXXXXXX` als **UTF-32-Zeichen** verwendet werden. So darf statt `schön` beispielsweise `sch\u00f6n` als Identifier genutzt werden.

### 2.2 primitive Datentypen

Zu aller erst ist es wichtig, dass Sie mit den **eingebauten Datentypen**, auch genannt **primitive Datentypen** vertraut sind. Aus diesen setzen sich dann alle höheren Datentypen wie zum Beispiel Klassen zusammen. Auch sämtliche (oftmals relativ komplexe) Klassen aus der C++ Standardbibliothek, welche Sie noch zu schätzen lernen werden, bauen im Grunde auf nichts anderem auf.



## 2.2.1 Die Datentypen

### Kategorien

Kategorie	Typen	Werte
integrale Typen	short int, int, long int, long long int	Ganzzahlen
integrale char Typen	char, wchar_t, char16_t, char32_t	Zeichen (entspricht Ganzzahlen)
floating point Typen	float, double, long double	Gleit- bzw. Fließkommazahlen
boolsche Typen	bool	Wahrheitswerte

### Größe

Typ	Synonym	Größe						
		Datenmodelle bzw. Programmiermodelle						
		IP16	LP32	ILP32	LLP64	LP64	ILP64	SILP64
short int	short	16	16	16	16	16	16	64
int		16	16	32	32	32	64	64
long int	long	32	32	32	32	64	64	64
long long int	long long	64	64	64	64	64	64	64
char		≥ 8, (meist 8)						
wchar_t		implementierungsabhängig: (16 oder 32)						
char16_t		≥ 16						
char32_t		≥ 32						
float		implementierungsabhängig: ≥ 4Byte						
double		implementierungsabhängig: ≥ 8Byte						
long double		implementierungsabhängig: ≥ 10Byte, teils 16Byte						
bool		implementierungsabhängig: ≥ 1Byte						

Leider sind die exakten Größen der Basisdatentypen fast immer **implementierungsabhängig** und nicht zuverlässig voraussagbar. Es gibt verschiedene Datenmodelle für die Breite integraler Typen, wobei **I** für **I**nteger, **L** für **L**ong und **P** für **P**ointer steht. Für **Windows 64bit** ist **LLP64** typisch, die meisten **unixoiden Systeme 64bit** nutzen **LP64**. Um zur Compilezeit eine Prüfung der Größe eines Datentyps durchzuführen, bieten sich der `sizeof()`-Operator und `static_assert()` an. Sie können sich jedoch allenfalls auf folgende Relationen verlassen:

- `sizeof(short) <= sizeof(int) <= sizeof(long) <= sizeof(long long)`
- `sizeof(float) <= sizeof(double) <= sizeof(long double)`

<https://de.wikipedia.org/wiki/64-Bit-Architektur#Programmiermodell>

[https://de.wikipedia.org/wiki/Datentypen\\_in\\_C#Datenmodell](https://de.wikipedia.org/wiki/Datentypen_in_C#Datenmodell)

Wenn exakte Breiten (oder eine Mindestbreite) bestimmter Typen für Sie unerlässlich sind, können Sie mit `#include <stdint.h>` eine Bibliothek importieren, die Typen fester Breite (und einiges mehr) zur Verfügung stellt:

Breite	signed	unsigned
8 bit	int8_t	uint8_t
16 bit	int16_t	uint16_t
32 bit	int32_t	uint32_t
64 bit	int64_t	uint64_t

### signed and unsigned

Die Schlüsselworte **signed** sowie **unsigned** sind nur für integrale Typen von Bedeutung. Integrale Typen (ausgenommen **char**-Typen) sind standardmäßig **signed** und können daher sowohl **negative als auch positive Werte** annehmen. In diesem Fall erfolgt die Codierung mit dem 2er-Komplement. Man darf das Schlüsselwort **signed** optional auch explizit davorschreiben. Setzt man andererseits **unsigned** vor einen integralen Typ, so kann eine Variable dieses Typs nur **nichtnegative Werte** speichern, beziehungsweise ihre Werte (Bitmuster) werden als solche interpretiert.

signed	unsigned
vorzeichenbehaftete Ganzzahlen	vorzeichenlose Ganzzahlen

Bitmuster (8 Bit)	Interpretation als uint8_t ( <i>unsigned</i> )	Interpretation als int8_t ( <i>signed</i> )
0000 0000 0x00	0	0
0000 0001 0x01	1	1
0000 0010 0x02	2	2
...	...	...
0111 1111 0x7F	127	127
1000 0000 0x80	128	-128
1000 0001 0x81	129	-127
...	...	...
1111 1110 0xFE	254	-2
1111 1111 0xFF	255	-1

Es gilt für eine Ganzzahl der Bitlänge  $n$ :

$$\text{unsigned Value} \equiv \text{signed Value} \pmod{n}$$

Eine Ausnahme bilden die **char-Typen**: Hier ist es implementierungsabhängig, ob beispielsweise eine **char** standardmäßig als **signed char** oder als **unsigned char** implementiert ist. Deswegen muss (*sollte*) in jedem Fall **signed** bzw. **unsigned** vor einen solchen Typ gesetzt werden, sofern ein solcher verlangt wird. Auch wird deswegen empfohlen, die **char**-Typen nicht für Zahlenarithmetik sondern nur für die Darstellung von Zeichen zu nutzen, wofür eine Verwendung von **signed** bzw. **unsigned** nicht erforderlich und auch nur irreführend ist.

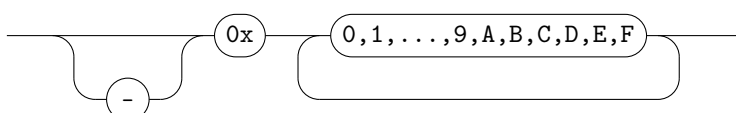
## Wertebereiche

Typen	Wertebereich
signed Integer der Breite $n$ bit	$-2^{n-1}, \dots, -1, 0, 1, \dots, 2^{n-1} - 1$
unsigned Integer der Breite $n$ bit	$0, 1, \dots, 2^n - 1$
bool	true (1), false (0)
float	man benutze <float> siehe spätere Kapitel
double	
long double	

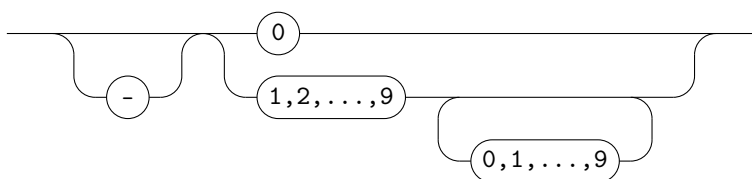
## 2.2.2 Literale

### Integrale Typen

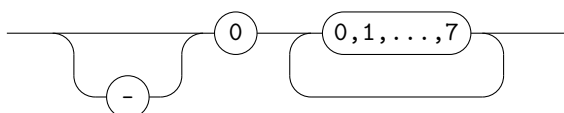
*LiteralIntHex*



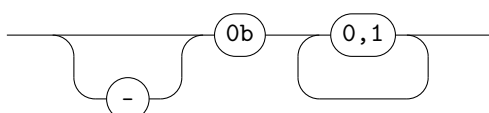
*LiteralIntDec*



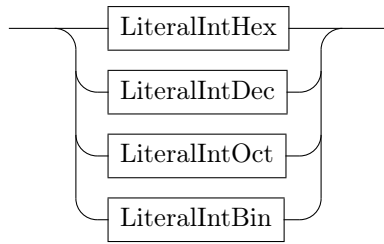
*LiteralIntOct*



*LiteralIntBin*



### LiteralInt



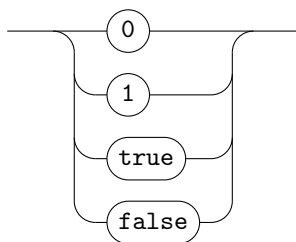
Durch das obenstehende Syntaxdiagrammsystem erhalten Sie die Möglichkeiten für **Literale vom Typ int**. Benutzen Sie Literale anderer Typen wie beispielsweise **unsigned int** oder **signed long int**, so müssen sie entsprechende **Suffixe** wie in folgender Tabelle angeben, anhängen. Groß- und Kleinschreibung der Suffixe sind gleichbedeutend. Statt U, UL, ULL, L, LL dürfen auch u, ul, ull, l, ll verwendet werden.

	int	long	long long
<b>signed</b>		L	LL
<b>unsigned</b>	U	UL	ULL

Beispiele		
Literal	Typ	Erläuterung
24	int	Standard
32u	unsigned int	explizit unsigned und standardmäßig int-Breite
3465948UL	unsigned long int	explizit angegeben
-1000000LL	long long int	standardmäßig signed, explizit long long-Breite

### Typ bool

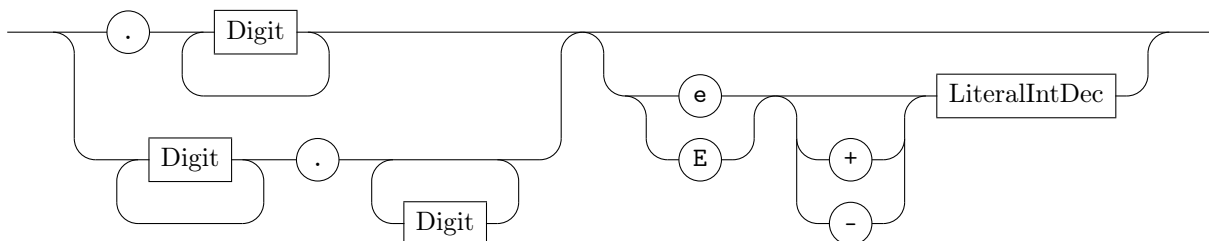
#### LiteralBool



Eine Variable vom Typ **bool** enthält immer genau den Wert 0 (gleichbedeutend mit **false**) oder 1 (gleichbedeutend mit **true**). Wenn Sie einer solchen Variable eine andere integrale Zahl zuweisen, so wird eine **automatische Konvertierung** nach **bool** durchgeführt. Dabei wird 0 als **false** und jede Zahl ungleich 0 als **true** interpretiert. Für eigene Klassen können Sie selbst eine implizite (oder explizite) Konvertierung nach **bool** implementieren.

### Fließkommatypen

#### LiteralDouble



# hex floating point

Für Gleitkommazahl-literale benutzt C++ (wie auch C) die **US-Schreibweise mit Dezimalpunkt**. Wie das Syntaxdiagramm schon annehmen lässt, sind Fließkommazahl-literale standardmäßig vom Typ **double**. Um Literale der Typen **float** oder **long double** zu erhalten, sind wieder entsprechende Suffixe anzuhängen:

Typ	float	double	long double
<b>Suffix</b>	f oder F	[ohne Suffix]	l oder L

## Character-Typen

- Zeichen dargestellt als Bitfolge (fester oder variabler Länge)
- Character-Typen sind integrale Typen.
- Zeichensatz / character set / Codetabellen für Zuordnung
- Überladung der Operatoren von C++ für die Nutzung als Zeichen
- ASCII Code
  - American Standard Code for Information Interchange
  - 7 Bit Code
  - Nutzung von `char` als Datentyp
  - Standardlateinalphabet, Zahlen, ...
  - nicht befriedigend, keine landestypischen Zeichen
- ASCII Erweiterungen auf 8 BIT
  - umgangssprachlich auch ANSI Code genannt
  - verschiedene ergänzende Codetabellen
  - ISO 8859-1, ISO 8859-2, ...
  - auch genannt ISO-Latin-1, ISO-Latin-2, ...
  - ISO-Latin-1 für westeuropäische Zeichen
  - keine Abdeckung fernöstlicher Sprachen
  - Beispiel CMD von Windows: alter IBM-PC-Zeichensatz (Codepage 850) (Kompatibilitätsgründe)
- **Fazit: Moderne Systeme verwenden standardmäßig UTF (Unicode Transformation Format)**
- Unicode
  - verschiedene Codierungsverfahren und verschiedene Datentypen
  - `wchar_t` (wide char) schon vor C++11 mit unterschiedlichen Breiten
  - Ein- und Ausgabe von `wchar_t` mit `std::wcin`, `std::wcout`
  - nicht empfohlen bei Anspruch auf Portabilität zwischen Compilern oder Betriebssystemen
  - Encodings (Codierungen) für Unicode:
    - \* UTF-8
    - \* UTF-16
    - \* UTF-32
  - neue Typen `char16_t`, `char32_t` empfohlen

Datentyp	<code>char</code>	<code>char16_t</code>	<code>char32_t</code>
Verwendung	ASCII/ANSI, UTF-8	UTF-16	UTF-32

*LiteralChar*



*LiteralWideChar*



*LiteralChar16*



*LiteralChar32*



Zahlwert	Steuerzeichen	Bedeutung
0	\0	Nullzeichen: Markierung vom Ende eines Strings
7	\a	Tonsignal
8	\b	backspace
9	\t	horizontaler Tabulator
10	\n	Zeilenvorschub (neue Zeile)
11	\v	vertikaler Tabulator
12	\f	Seitenvorschub
13	\r	Wagenrücklauf
	\\	Backslash
	\"	doppelte Anführungszeichen
	\'	einfache Anführungszeichen
	\ooo	oktaler Code (ASCII)
	\xhh	hexadezimaler Code (ASCII)

### 2.2.3 Initialisierung

Mit **C++11** wurde eine neue **vereinheitlichte Initialisierung** eingeführt. Die neue Initialisierungssyntax **verbietet** manche **auto conversion**, insbesondere *Narrowing*, weshalb sie zu bevorzugen ist, um die Fehlererkennung zur Compilezeit zu verbessern. Außerdem existierten vorher (und immer noch) viele verschiedene Initialisierungen für Container, Arrays, ... .

Es wird von vielfach empfohlen, neu definierte Variablen immer **sofort** zu **initialisieren**. Andernfalls enthält die neu angelegte Variable einen undefinierten Pseudozufallswert, nämlich den Inhalt des entsprechenden Speicherbereichs seit dem letzten Schreibvorgang, der dort stattfand.

Typ Bezeichner1 = 0;	mit Zuweisungsoperator (schon vor C++11)
Typ Bezeichner2 {0};	neue vereinheitlichte Initialisierung
Typ Bezeichner3 = {0};	vereinheitlichte Initialisierung mit optionalem '='
Typ Bezeichner4 {Bezeichner1};	Der zuzuweisende Ausdruck muss kein Literal sein.

### 2.2.4 Deklaration und Definition (vereinfacht)

Wenn Sie sich die exakten Definitionen von „Definition“ und „Deklaration“ im C++ Standard anschauen, werden Sie möglicherweise etwas verwirrt sein oder zumindest vor lauter Ausnahmen den „Wald vor Bäumen nicht sehen“. Wir betrachten deshalb hier eine zugegebenermaßen nicht ganz exakte, dafür aber **vereinfachte und intuitivere Darstellung** des Sachverhalts:

Begriff	Beschreibung
Deklaration	Eine Deklaration (declaration) führt einen Namen ein oder deklariert einen Namen neu (redeclaration) und macht diesen so im betreffenden scope (Sichtbarkeitsbereich) [dem Compiler] bekannt, sodass er dann benutzt werden darf.
Definition	Eine Definition ist ein Spezialfall der Deklaration. Intuitiv ausgedrückt ist von einer Definition immer genau dann die Rede, wenn der Compiler explizit angewiesen wird, Speicherplatz für die hinter dem Namen liegende Entität zu reservieren oder der Name „initialisiert“, oder so gesagt <i>in gewissem Sinne</i> vollständig spezifiziert wurde.

### 2.2.5 Einige Operatoren auf primitiven Datentypen

Die Operatoren von C++ werden in einem **gesonderten Kapitel** noch ausführlich behandelt. Hier finden Sie einen kurzen Überblick über **relevante arithmetische Operatoren** und einige Anmerkungen dazu.

## binäre arithmetische Operatoren

binärer Operator	Bedeutung	Beispiel
+	Addition	int x = 3 + 7; // 10 long double xx = 23.4L + 43.7L; // 67.1
-	Subtraktion	short s = 20 - 21; // -1 float f = 74.2F - 123.9F; // 49.7
*	Multiplikation	long l = 24 * 36; // 864 double prod = 1.2 * 2.4; // 2.88
/	Division	int div = 21 / 6; // 3 double conv = 21 / 6; // 3 double double_div = 21. / 6; // 3.5
%	Modulo	int rest = 20 / 6; // 2 <b>nur auf Ganzzahltypen definiert (!)</b>

Zu beachten ist insbesondere das Verhalten des / -Operators (Divisionsoperator): Wird dieser Operator auf zwei Werten von integralem Typ aufgerufen, so führt dieser eine **Ganzzahldivision** durch. Ist einer der Operanden von einem floating point - Typ, dann führt dieser Operator eine **Gleitkommadivision** durch (floating point Division). Das zweite Beispiel in der Tabelle zur Divisionsoperation zeigt eine Ganzzahldivision und eine anschließende **automatische Konvertierung** von int zu double.

Alle Operatoren von C++ sind in einer Prioritätsreihenfolge geordnet. Das ermöglicht unter anderem Punkt-vor Strichrechnung. Wollen Sie dagegen eine andere Reihenfolge erzwingen, besteht die Möglichkeit der Klammerung.

<b>Punkt vor Strich:</b>	int x = 5 + 3 * 7; // 26
implizite Klammerung:	int x = 5 + (3 * 7); // 26
<b>mit expliziter Klammerung:</b>	int x = (5 + 3) * 7; // 56

## Zuweisungsoperator und erweiterter arithmetischer Zuweisungsoperator

Operator	Beispiel	Bedeutung
=	x = 3	Zuweisungsoperator
+=	x += 3	x = x + 3
-=	x -= 3	x = x - 3
*=	x *= 3	x = x * 3
/=	x /= 3	x = x / 3
%=	x %= 3	x = x % 3

## 2.3 Zusammengesetzte und konstruierte Datentypen

konstruierter Typ	Typ-Syntax	Deklaration eines Bezeichners	
		Deklaration (allg.)	Initialisierung (Bsp.)
[identischer Typ]	T	T t;	int x {3};
Pointer auf T	T*	T* tptr;	int* xptr {&x};
Referenz auf T	T&	T& tref;	int& xref {x};
N-Array von T, (N=0,1,..)	T [N] (nur bei <i>using</i> )	T tarray[N];	int a [2] {4, xref};

### 2.3.1 Pointer

Ein Pointer auf ein Datum (Objekt), auch genannt Zeiger auf das Datum bezeichnet die **Speicheradresse** des Datums. In diesem Sinne „zeigt“ ein Pointer mit seinem Wert, der Speicheradresse, genauer gesagt *der Anfangsspeicheradresse* auf das Objekt.

Pointer haben unabhängig des Typs des Objektes, auf welches sie zeigen, immer dieselbe **Größe**, welche sich nach der **Adressbreite** auf Ihrem System richtet. So sind Pointer einer 32bit Architektur 4 Bytes groß, Pointer einer 64bit Architektur 8 Bytes. So gilt zum Beispiel `sizeof(int*) == sizeof(std::vector<double>*)`

Pointer sollten stets entweder mit einer **gültigen Adresse** auf ein Objekt verweisen oder den **Nullzeiger** enthalten, in C++ `nullptr`. Damit wird markiert, dass der Zeiger momentan auf kein Objekt zeigt. Auch ist es möglich, aber in der Praxis eher unüblich, für jeden Pointer ein zusätzliches Datum (vom Typ bool) bereit zu halten, um die Gültigkeit (ja/nein) des Pointers zu speichern.

## Pointertyp

Sei  $T$  ein Typ. Dann ist auch  $T^*$  ein Typ, nämlich der Typ „Pointer auf ein Objekt vom Typ  $T$ “.

## Adressoperator und Dereferenzierungsoperator (Indirektionsoperator)

Um den Pointer auf ein Objekt  $t$  vom Typ  $T$  zu bestimmen, nutzt man den unären Adressoperator ( $\&$ ). Dabei bezeichnet  $\&t$  den Pointer auf  $t$ .

Um mit gegebenem Pointer  $tp$  vom Typ  $T^*$  auf das dahinterliegende Objekt zuzugreifen, gibt es den (unären) Dereferenzierungsoperator ( $*$ ). Der Ausdruck  $*tp$  ist dann wieder vom Typ  $T$  und bezeichnet das Objekt (ist eine Referenz auf das Objekt), auf welches mit  $tp$  gezeigt wird.

## dynamische Speicherreservierung

Pointer können als Zugang zu dynamisch allokierten Objekten genutzt werden. Mit den Operatoren **new** und **new[]** können Sie dynamisch (d.h. zur (Programm-)laufzeit) Speicher reservieren. Dynamisch allokiertes Speicherplatz **muss „per Hand“ wieder freigegeben werden**, wenn er nicht mehr gebraucht, verwendet, beziehungsweise der Pointer auf diesen nicht gelöscht wird, damit keine **Memoryleaks** (Speicherlöcher) entstehen. Dazu stehen Ihnen die Operatoren **delete** und **delete[]** zu Verfügung.

Operator	Beispiel	Erklärung
<b>new</b>	<code>T* ptr = new T;</code>	<ul style="list-style-type: none"><li>• dynamische Reservierung von Speicherplatz auf dem Heap</li><li>• Größe des reservierten Speichers = <code>sizeof(T)</code></li><li>• Anlegen eines Objektes vom Typ <math>T</math> (mit Standardkonstruktor, falls Klassentyp)</li><li>• Rückgabe des Zeigers auf das Objekt</li><li>• wirft Exception, wenn Allokation fehlschlägt</li><li>• genauer ... <a href="http://www.cplusplus.com/reference/new/operator%20new/">http://www.cplusplus.com/reference/new/operator%20new/</a></li></ul>
<b>delete</b>	<code>delete ptr;</code> <code>ptr = nullptr;</code>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Speicherplatz hinter dem Pointer wieder freigegeben</li><li>• Zeiger <code>ptr</code> ab dann ungültig</li><li>• Zeiger wird als ungültig markiert</li></ul>
<b>new[]</b>	<code>T* aptr = new T[5];</code> <code>aptr[2]-&gt;someMethod();</code>	<ul style="list-style-type: none"><li>• allokiert und erstellt (Konstruktor) 5 Objekte vom Typ <math>T</math></li><li>• Array von 5 <math>T</math> wurde dynamisch angelegt.</li><li>• Zeiger auf erstes Objekt wird zurückgegeben.</li><li>• Eine Methode vom dritten Objekt wird aufgerufen.</li></ul>
<b>delete[]</b>	<code>delete[] aptr;</code> <code>aptr = nullptr;</code>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <code>T[5]</code> - Array wird freigegeben</li><li>• Hier darf nicht das einfache <b>delete</b> genutzt werden, da sonst ein Speicherloch entsteht.</li></ul>

## Zeigerarithmetik

Pointer sind in C++ streng typisiert, damit es ermöglicht wird, die **Operatoren speziell** für diese Typen zu **überladen**. Obgleich Zeiger also ganze Zahlen (Speicheradressen) sind, wird sich eine Addition beispielsweise anders verhalten als eine Addition zwischen zwei Zahlen vom Typ `int`.

Operator	Bezeichnung	Verwendung
++, -	Inkrement, Dekrement	Speicheradresse wird um die Größe des zugrundeliegenden Typs vergrößert bzw. verkleinert.
+, -	Addition (Subtraktion)	Es ist möglich, Zahlen zu Pointern hinzuzuaddieren. Dabei wird der Zeiger (die Speicheradresse) nicht um die angegebene Zahl vergrößert, sondern um die Größe des Typs multipliziert mit der Ganzzahl. <code>ptr + 2</code> bezeichnet beispielweise das vom Pointer aus gesehen übernächste Objekt im Speicher, sofern Objekte vom selben Typ lückenlos hintereinander im Speicher abgelegt sind.
&	Adressoperator	Referenz auf das Objekt (Identifier) $\mapsto$ Adresse des Objektes
*	Indirektionsoperator	Pointer auf das Objekt $\mapsto$ Referenz auf das Objekt

### Beispiel zu Pointern

```
#include <iostream>

int main(){
    using namespace std;
    using Pdouble = double*;

    int a = 4;
    int b = a++; // a==5, b==4
    double d {4.7};

    int* pa {&a};
    int* pb {&b};

    if (pa == pb) cout << "Das kann nicht sein.";
    if (*pa == *pb) cout << "Das sollte auch falsch sein.";
    *pa = *pb; // a==b==4
    if (*pa == *pb) cout << "Das ist jetzt richtig so.\n";
    pa = pb; // a zeigt jetzt auf b
    *pa = 10;
    cout << a << " " << b << endl; // 4 10

    Pdouble pd = &d;
    pd = &a; // Compiler Error
    pd = reinterpret_cast<double*>(&a);
}
```

## 2.3.2 Referenzen

Eine Referenz auf ein Datum (Objekt) bezeichnet ein Objekt selbst. So gesagt legen Sie mit einer Referenz einen **zusätzlichen Identifier** (identifizierenden, objektgebundenen Namen) für ein bereits existierendes Objekt an.

Referenzen sind nichts weiter als **syntaktischer Zucker für** die Verwendung von **Pointern**. Sie können einem die Arbeit wesentlich erleichtern, da sie einem die ständige Verwendung der Operatoren **&** und **\*** ersparen.

Referenzen können nur einmal (mit einer bereits vorhandenen Referenz) und **müssen** sogar bei Deklaration sofort **initialisiert werden**. Hinterher kann das Objekt, auf welches die Referenz *implizit* zeigt, nicht mehr „ausgetauscht“ werden. D.h. Sie können zwar das Objekt hinter der Referenz ändern, die Referenz aber bleibt eine Referenz auf ebendieses spezielle Objekt und kann nicht zu einer Referenz auf ein anderes Objekt an einer anderen Speicherstelle geändert werden.

### Referenztyp

Sei **T** ein Typ. Dann ist auch **T&** ein Typ, nämlich der Typ „Referenz auf ein Objekt vom Typ **T**“. Zugegebenermaßen lässt es sich über diese Auffassung streiten, gerade weil Referenzen syntactic sugar sind und der außerdem der Standard den Compilerherstellern die Implementation dieser überlässt.



## Vergleich zu Java

In Java (*und ähnlich in Object Pascal (Delphi)*) gibt es *\*nur\** diese Referenzen, also *impliziten Zeiger*. Ein Objekt in Java legen Sie mit **new** an und bekommen eine Referenz auf das Objekt zurück, was Sie spätestens daran erkennen, dass sie diesen *impliziten Zeiger* nicht dereferenzieren müssen, sondern lediglich den Zugriffoperator (.) anwenden brauchen. Der **operator ==** in Java stellt (*in C++ gedacht*) wiederum einen Wrapper dar, der den Pointer aus der Referenz ermittelt und diesen dann vergleicht. Aufgrund dieser Reservierung, ist es in Java folglich nicht möglich, denn **operator ==** für benutzerdefinierten Vergleich zweier Objekte zu verwenden, sondern es müssen Methoden dafür implementiert werden, meist genannt **equals()**.

## Wie groß ist eine Referenz?

*Motivation:* Ein **char** ist i.A. 1 Byte groß, ein **long long int** ist in der Regel 8 Byte groß. In einer 32-bit Architektur beispielsweise ist ein Zeiger auf ein **char** 4 Byte groß, ein Zeiger auf ein **long long int** genauso. Aber Wie groß ist eine Referenz auf ein Datum vom Typ **X**?

*Die Antwort:* Das ist Compiler-spezifisch und nicht zuletzt situationsabhängig. Wie schon erwähnt, wird die interne Umsetzung von Referenzen dem Compiler überlassen. In vielen Fällen lässt sich aber sagen: „Hinter dieser Referenz muss ein Zeiger stecken.“ Das lässt vermuten das eine Referenz auf ein Objekt **T** so groß sein muss wie ein Zeiger (Pointer) auf ein **T**, also so groß wie ein Zeiger im Allgemeinen auf der betreffenden Zielplattform. Die nun folgende Tabelle zeigt einige Beispiele bzw. Randfälle dazu auf.

Fall	Beispiel	Erläuterungen
Referenz auf eine Variable definiert, die <b>im selben Scope</b> definiert wurde.	<pre>{ // in einer Sequenz long long x; x = 4; long long&amp; y {x}; y = 0; }</pre>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• y ist ein zusätzlicher Bezeichner für x.</li> <li>• y wird wegoptimiert, „durch x ersetzt“.</li> <li>• Auf lokale Variablen auf dem Stack kann ohne Weiteres zugegriffen werden.</li> <li>• kein zusätzlicher Zeiger notwendig</li> </ul>
Referenz als <b>Argument an eine Funktion</b> übergeben	<pre>void foo(int&amp; zahl){ zahl = 2 * zahl - 1; }  ... // Aufruf: foo(z);</pre>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• foo bekommt (abstrakt gedacht) keinen Integer sondern eine Referenz auf ein <b>int</b>.</li> <li>• <b>ABER:</b> Faktisch (auf tieferer Ebene gedacht) kann man als Parameter nur Werte an Funktionen übergeben, die nicht wieder verändert zurückgegeben werden können.</li> <li>• <b>FAZIT:</b> Um <b>zahl</b> ändern zu können, muss ein Zeiger auf <b>zahl</b> übergeben werden.</li> <li>• Hinter <b>int&amp;</b> muss ein Pointer auf den Integer verborgen sein.</li> </ul>
Wie groß ist eine Referenz - <code>sizeof(T&amp;)</code> ?	<pre>{ T x; T&amp; ref {x}; std::cout &lt;&lt; sizeof(ref) &lt;&lt; " == " &lt;&lt; sizeof(x); }  // Das entspricht: T* ptr {&amp;x}; std::cout &lt;&lt; sizeof(*ptr) &lt;&lt; " == " &lt;&lt; sizeof(x);</pre>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Für beliebigen Typ T sind beide Ausgaben gleich.</li> <li>• Mit <code>sizeof()</code> wird nicht die Referenz selbst, sondern das dahinterliegende Objekt angesprochen, da der <i>implizite</i> Zeiger (... , den wir vermuten, ...) hinter der Referenz <i>implizit</i> dereferenziert wird.</li> <li>• Sie können so nicht die „Größe der Referenz“ bestimmen.</li> </ul>
Wir tricksen die Referenzsemantik von C++ quasi aus: <b>Referenz als Structmember</b>	<pre>struct A { char&amp; ref; }; // irgendo im Quelltext: std::cout &lt;&lt; sizeof(A);</pre>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Was hier gesagt wird, ist nicht 100%ig sicher, da der Standard den Compilern Freiheiten lässt.</li> <li>• Der Compiler wird hier gezwungen die Referenz als Zeiger aufzulösen (<i>und nicht wegzuoptimieren</i>).</li> <li>• Mit <code>sizeof(A)</code> erhalten Sie die Größe der Referenz selbst im Speicher.</li> <li>• Die Größe entspricht (<i>zu erwarten</i>) der Adressbreite ihrer Systems, bzw. <code>sizeof(char*)</code>.</li> </ul>

## Beispiel zu Referenzen

```
#include <iostream>

void add_23(int& x){
    x = x + 23;
}

int main(){
    using namespace std;

    int a = 4; // Ein neues Objekt vom Typ int auf dem Stack angelegt, mit 4
    initialisiert und eine Referenz "a" auf das Objekt wird im scope der main-Funktion
    angelegt.
    int& b = a // Eine Referenz b wird angelegt. a und b zeigen implizit auf
    dasselbe Objekt.
    int c = 5;

    b = 12; // a==b==12
    add_23(c); // c==28

    cout << a << endl << b << endl << c << endl;
}
```

### 2.3.3 Arrays (C-like)

Unter Arrays (Feldern) versteht man die Zusammenfassung von mehreren Objekten (üblicherweise) gleichen Typs. Um in C++ Arrays zu nutzen, gibt es mehrere Möglichkeiten. Zum einen gibt es die **rohen Arrays**, auch *C-like Arrays* genannt, zum anderen mehrere Containerklassen, insbesondere die Templateklassen **std::vector** und **std::array**.

- **Gründe für rohe Arrays**

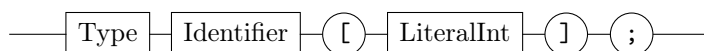
- interne Implementierung
- Gründe der Performance (*naja ...*)
  - \* mitgebrachte Unsicherheiten  $\geq$  bessere Performance
  - \* C++ von Haus aus schnell. Optimierung nur an kritischen Codestellen sinnvoll

- **Gründe für Containerklassen (gegen rohe Arrays)**

- viele nützliche Features:
- dynamische Erweiterung (std::vector, nicht std::array)
- Schutz vor Überläufen (out of range)
- oft leichter zu handhaben

### Array Deklaration

*ArrayDeclaration*



Mittels *ArrayDeclaration* legen Sie ein Array mit **LiteralInt** vielen Objekten des zugrundeliegenden Typs an. Statt einem *LiteralInt* darf auch ein konkretes *const int* oder eine *constexpr* eingesetzt werden. Entscheidend ist, dass die Größe des Arrays zur Compilezeit bestimmt werden kann.

*Erklärung bzw. Ursache:* Typen in C++ haben immer eine feste Größe. Typen dynamischer Größe gibt es nicht, jedoch können Typen (*structs, etc ...*) Zeiger enthalten und sich „im Hintergrund“ dynamisch Speicher allokalieren.

## Deklaration und Initialisierung am Beispiel

Nur-Deklaration	<code>extern int x[5];</code>	hier wird noch kein Speicherplatz reserviert, keine Definition
Definition ohne Initialisierung	<code>int x[5];</code>	undefinierte Werte im Speicher
leere vereinheitlichte Initialisierung	<code>int x[5]{};</code>	alle Einträge mit 0 befüllt
vereinheitlichte Initialisierung (unvollständig)	<code>int x[5]{1,2,3};</code>	restliche Einträge mit 0 befüllt. {1,2,3,0,0}
vereinheitlichte Initialisierung	<code>int x[5] {1,2,3,4,5};</code>	Elementinitialisierer für alle Einträge
ohne Größe	<code>int x[] {1,2,3,4};</code>	implizit <code>int x[4] {1,2,3,4};</code>

## Indizierungsoperator bzw. Indexoperator

Der Zugriff auf die Elemente erfolgt mit dem Indexoperator `[]` (eckige Klammern). Wurde mit Typ `array[N]` ein Array angelegt, so lässt sich auf diese N Elemente mit `array[0]`, `...`, `array[N-1]` zugreifen.

## Typdefinition

mit typedef	mit using ( <i>seit C++11</i> )
<code>typedef int INT_5[5];</code>	<code>using INT_5 = int[5];</code>

Es wird empfohlen für Typdefinitionen fürderhin die Variante mit `using` zu nutzen, da diese den auch Templates gerecht wird.

## implizite Konvertierung

Arraytypen können implizit zu Zeigern auf den dahinterliegenden Typ konvertiert werden. Sie erhalten dann einen Zeiger auf das „nullte Element“ des Arrays.

### Beispiel zu Arrays

```
#include <iostream>

void increment(int* ptr_to_first_element, int count){
    for (int i = 0; i < count; ++i){
        *(ptr_to_first_element+i) += 1;
    }
}

int main(){
    int a[5] { 2,3 };
    increment(a,5);
    std::cout << a[0];
}
```

## 2.3.4 Strings

### Was sind Strings?

- Zeichenketten
- Arrays von Zeichen
- Typen
  - C-Style-Strings (rohe char Arrays)
  - C++ Klassen wie `std::string`

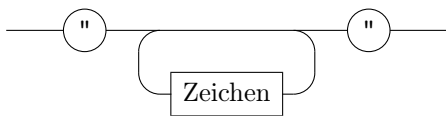
	C-Style-Strings	std::string
Header	<code>&lt;cstring&gt;</code> <i>optional, für Funktionen auf C-Strings</i>	<code>&lt;string&gt;</code>
nützliche Funktionen	wenige, arbeiten auf rohen Arrays	reichlich, siehe
Länge	statisch (feste Länge)	dynamisch (variable Länge)
Referenz		<a href="http://www.cplusplus.com/reference/string/string/?kw=string">http://www.cplusplus.com/reference/string/string/?kw=string</a>

## Codierung

C-like Strings sind Arrays über dem Typ `char` und werden auch als solche angelegt. Um das Ende eines Strings zu markieren wird `'\0'` verwendet.

## Literale

*AsciiStringLiteral*



Für UTF-kodierte Strings benötigen Sie entsprechende Präfixe. Mit `u8"..."` stellen Sie einen UTF-8 String, mit `u"..."` bzw. `U"..."` einen UTF-16 bzw. UTF-32 kodierten String dar. C-Style Stringliterals sind immer vom Typ `const char*` bzw. `const char16_t*` usw. analog.

## 2.3.5 Records

Unter Records versteht man die Zusammenfassung von mehreren Objekten nicht notwendigerweise verschiedenen Typs. Aus C kennt man das Schlüsselwort `struct` zum Definieren solcher Typen.

In C++ gibt es zwei Schlüsselwörter zur Definition von Records / Klassen, nämlich `struct` und `class`. Der einzige Unterschied zwischen beiden ist, dass die Sichtbarkeit bei `struct` standardmäßig `public` ist, bei `class` hingegen `private`.

## Deklaration und Definition

```
01      struct A; // Nur-Deklaration
02      struct B {
03          int x;
04          double z {2.3};
05      }; // Definition
```

Von einer (Nur-)Deklaration eines `structs` spricht man in Zeile 1. Hier wird dem Compiler nur der Name des neuen Record-Typs A bekannt gemacht. In Zeile 2 beginnt eine Definition eines `structs`: Hier wird der Typ genau spezifiziert. Seit C++11 ist es außerdem erlaubt, wie in Zeile 04 Standardwerte für Elemente von `struct` oder `class` festzulegen. Beachten Sie, dass Sie Objekte (Variablen) von einem Record - Typ erst dann anlegen können, wenn

## Elementinitialisierer

Records, welche nur öffentliche Elemente enthalten, dürfen mit dem Elementinitialisierer initialisiert werden, ähnlich zu Arrays. (Die genauen Bedingungen im einzelnen finden Sie unter dem angegebenen Link.)

[http://en.cppreference.com/w/cpp/language/aggregate\\_initialization](http://en.cppreference.com/w/cpp/language/aggregate_initialization)

Beispiel: `B b { 4,10.3 };`

## Punktoperator bzw Zugriffsoperator

Um auf die Elemente eines Records zugreifen zu können, nutzt man den Punktoperator.

*Syntax*



## Beispiel zu Structs

```
#include <iostream>

struct A;
using PA = A*;

struct A {
    int x;
    int y;
    bool enable;
};

int main(){

    A a = { 2,-2,true };
    PA pa = &a;
    std::cout << a.x << std::endl;
    pa->enable = false;
    std::cout << pa->y;

}
```

## 2.4 const und constexpr

Mit `const` wird eine Variable als konstant markiert. Sie darf zur Laufzeit genau einmal initialisiert werden und dann nicht mehr verändert werden. `constexpr` ist eine Art „stärkeres const“:

- **const**

- für konstante Daten
- zur Laufzeit initialisiert
- keine Änderung zur Laufzeit nach Initialisierung.

- **constexpr**

- für konstante Daten
- zur Compilezeit berechnet und initialisiert
- keine Änderung zur Laufzeit.
- wird durch den Compiler manchmal nicht im Speicher angelegt, sondern wie ein Makro an allen Stellen, wo es benutzt wird eingesetzt.

## 2.5 auto

Ein weiteres, sehr nützliches Schlüsselwort, dass Sie spätestens beim Hantieren mit Iteratoren, Template- und Containerklassen nicht mehr vermissen wollen, ist das Schlüsselwort `auto`. Die Bedeutung von `auto` hat sich mit dem Standard C++11 geändert

<b>bis C++03</b>	Angabe einer Speicherklasse Variablen innerhalb von Funktionen automatisch <code>auto</code> , außerhalb nicht erlaubt.
<b>seit C++11</b>	Neudefinition des Schlüsselwortes. Ausdruck einer statischen Typinferenz. automatische Bestimmung des Typs zur Compilezeit. „kleinster konkreter Typ“ aus der Initialisierung automatisch vom Compiler bestimmt (keine dynamische Typisierung)

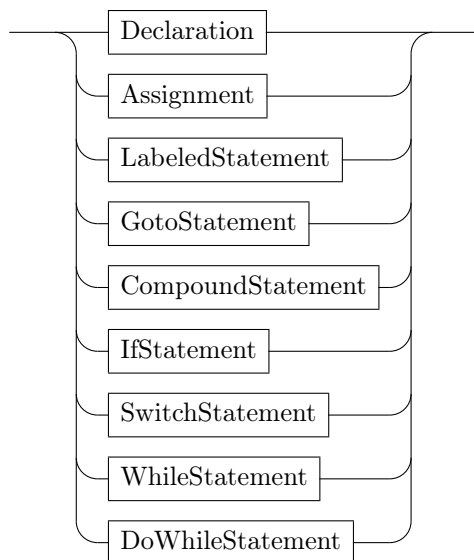
# Kapitel 3

## Strukturierte Programmierung

### 3.1 Kontrollstrukturen

In der imperativen Programmierung dreht sich alles mehr oder weniger um - *wie der Name schon sagt* - **imperata**, oder für diejenigen unter Ihnen, die des Latein nicht mächtig sind, *Anweisungen*, auch genannt **Statements**.

*Statement*



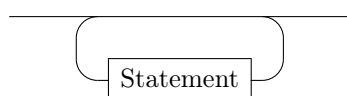
#### 3.1.1 Sequenzen

Grundlegend arbeitet der Prozessor den Maschinencode Anweisung für Anweisung ab und auf diese Weise zuzüglich der darauf basierenden Kontrollstrukturen programmieren Sie auch in C++. Mehrere aufeinanderfolgende Anweisungen nennt man **Sequenz** (*StatementSequence*). Meist treten solche Sequenzen als **Block** innerhalb von geschweiften Klammern auf (*CompoundStatement*). Die Anweisungen einer Sequenz werden genau einmal in ihrer Reihenfolge ausgeführt, wenn die Sequenz einmal ausgeführt wird.

*CompoundStatement*



*StatementSequence*



### 3.1.2 Sprünge

Sprünge gehören eigentlich nicht in die strukturierte, sondern eher in die *unstrukturierte Programmierung*. Dennoch soll hier auf sie eingegangen werden, da sie in gewisser Weise eine Grundlage für höhere Strukturen (wie zum Beispiel **switch** (Abschnitt 3.1.4)) sind und sich manchmal als ganz nützlich erweisen, obgleich man sie gerade wegen des Gegensatzes zu strukturierter Programmierung nur dezent einsetzen sollte.

#### Sprungmarke

Um Sprünge zu realisieren werden an den einzelnen **Zielpositionen** Sprungmarken benötigt. Diese (*also die genutzten Identifier*) müssen zuvor in keiner Weise deklariert werden, sondern können einfach an Ort und Stelle gesetzt werden.

##### LabeledStatement



Mittel angegebener Syntax legen Sie eine Sprungmarke vor eine Anweisung. Springen Sie später zu dieser Sprungmarke, so springen Sie **vor die nächste Anweisung**, ab welcher nach dem Sprung der sequenzielle Programmablauf fortgesetzt wird.

#### Sprunganweisung

Nachdem Sie eine Sprungmarke gesetzt haben, können Sie mit der folgenden Syntax an beliebiger Codeposition einen Sprung dorthin vollziehen:

##### GotoStatement



#### Regeln beim Umgang mit goto

Hier seien einige Bedingungen zusammengefasst, die **hinreichend** sind, um keine Fehler im späteren Programmablauf zu riskieren.

- nicht in andere CompoundStatements hineinspringen
  - Insbesondere sollte man nie in einen Schleifenrumpf hineinspringen, nur hinaus.
  - Auch Sprünge in then- bzw. else-Klauseln sollten nicht vollzogen werden. (*Das verzeiht einem der Compiler allerdings noch eher als ein Sprung in eine Schleife*)
  - Man sollte insbesondere nicht zwischen then- und else-Zweig eines IfStatement hin- oder herspringen.
  - Man sollte erst recht nicht in andere Funktionen springen.
- Wenn Rümpfe von (if, while, ...)-Konstrukten nicht direkt ein CompoundStatement darstellen, sollte man auch dann nicht dort hineinspringen.
- Man sollte keine Deklarationen / Initialisierungen überspringen
  - Nichtbefolgen könnte gerade bei der Initialisierung eines Objektes fatal sein, welches dynamisch Speicher allokiert.

<http://www2.informatik.uni-halle.de/lehre/c/c35.html>

Sprünge im weitergefassten Sinne	
<code>break;</code>	Sprung aus (nur) innerster Schleife hinaus
<code>continue;</code>	Sprung zum nächsten Iterationsschritt der Schleife (Sprung an das Ende des Schleifenrumpfes)
<code>return [optional: Expression];</code>	Beendigung der aktuellen Funktion [mit Rückgabewert]
<code>exit (int Expression)</code>	Beenden des Programms mit angegebenem exit-code.
<code>abort;</code>	abnormale Beendigung des Programms.



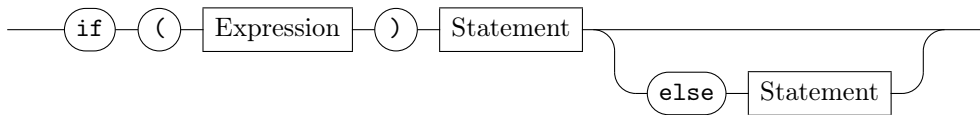
### 3.1.3 if - Verzweigung

#### Erläuterung

Die Verzweigung mit `if` realisiert die bedingte Ausführung von Programmcode. **Expression** muss einen nach `bool` konvertierbaren Typ aufweisen.

#### Syntaxdiagramm

*IfStatement*



#### Verhalten

Wenn Sie `if` schachteln, dann wird der optionale `else`-Zweig immer an die innerste Verzweigung assoziiert.

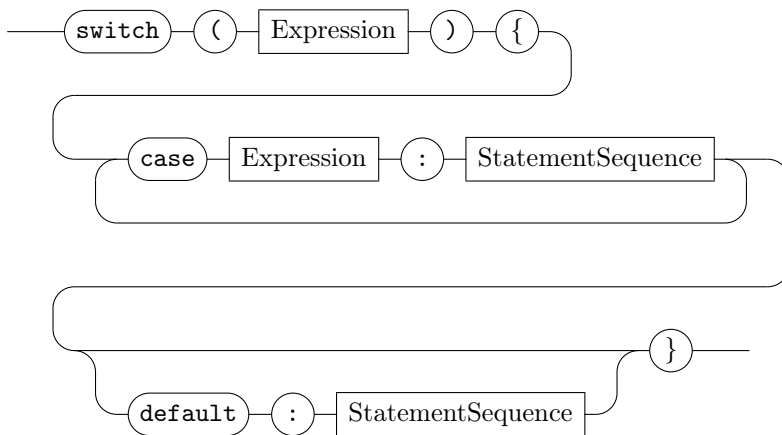
Wenn *Expression* zu `true` ausgewertet, wird das *Statement* direkt hinter der Bedingung ausgeführt. Andernfalls wird das *Statement* hinter `else` ausgeführt, sofern vorhanden.

### 3.1.4 switch - Mehrfachverzweigung

Mit der `switch`-Anweisung lässt sich eine Fallunterscheidung, auch genannt Mehrfachverzweigung implementieren. Die `switch`-Syntax ist dabei nur **syntactic sugar** (syntaktischer Zucker) für die Verwendung von einem geschachtelten `if` in Kombination mit `goto` und Sprungmarken. Dabei ist der Ausdruck, nach welchem verzweigt wird, jedoch auf integrale Typen (einschließlich `bool` und `enum`-Typen) beschränkt.

#### Syntaxdiagramm

*SwitchStatement*



#### Verhalten

*Expression* wird ausgewertet und anschließend wird hinter das `case` mit dem entsprechenden Wert gesprungen. Ist der Wert von *Expression* nicht als `case` enthalten, so wird sofern vorhanden zu `default` gesprungen. **Achtung!** Es wird zur entsprechenden Sprungmarke gesprungen und es werden von da an alle Anweisungen des Blockes (CompoundStatement) sequenziell abgearbeitet. Insbesondere heißt dies, dass im allgemeinen Fall auch alle Anweisungen des nächsten Sprunglabels abgearbeitet werden. Wollen Sie dies unterbinden, so können Sie mit `break` aus dem `switch`-Block hinausspringen.

vergleich `elif #`

<http://en.cppreference.com/w/cpp/language/switch>

### 3.1.5 while

`break`, `continue #`

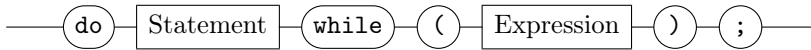
*WhileStatement*



<http://en.cppreference.com/w/cpp/language/while>

### 3.1.6 do while

*DoWhileStatement*



<http://en.cppreference.com/w/cpp/language/do>

## 3.2 Funktionen

### 3.2.1 Vorausdeklaration

Um eine Funktion dem Compiler bekannt zu machen, ohne sie zu definieren, gibt es die Vorausdeklaration:

Rückgabotyp Funktionsname([*optionale Parameter*] );

Ein Beispiel:

```
int maximum(int a, int b);
```

Um eine Funktion ohne Rückgabewert zu deklarieren, nutzt man als Rückgabotyp `void`.

Beispiel: `void set_to_zero(int& x);`

### 3.2.2 Funktionsdefinition

Von einer Funktionsdefinition spricht man, wenn Sie den Quellcode der Funktion angeben. Syntax:

```
Rückgabotyp name([optionale Parameter]){
```

```
return Rückgabewert;
```

```
}
```

## 3.3 Operatoren

## 3.4 Scopes

## 3.5 Namespaces

## 3.6 Modularisierung

## Kapitel 4

# Zusätzliche Features

4.1 Templates

4.2 Exceptions

4.3 Multithreading

## Kapitel 5

# Ein Blick in Bibliotheken

### 5.1 Wertebereiche mit `<limit>`