Um Lesbarkeit zu gewährleisten, nutzt dieses Schriftstück das generische Femininum.

Soweit personenbezogene Bezeichnungen in weiblicher Form aufgeführt sind, beziehen sie sich auf alle Geschlechter in gleicher Weise.

1 Vorwort

Vorliegend ist der Programmier-Einführungskurs der Fachschaft MathPhys.

Gedacht ist dieser für Menschen, die ihren Computer bisher eher zum Spielen, als zum Arbeiten benutzt haben, die vielleicht noch nicht wissen, dass es andere Betriebssysteme als DasBekannteVonDerRedmonderFirma™ oder DasMitDemApfelDrauf (You probably never heard of it) gibt, geschweige denn, dass sie mal eine Shell benutzt haben – oder auch nur wissen, was zur Hölle das sein soll. Die schon mal gehört haben, dass man „Programmieren“ kann, sich darunter aber einen magischen Prozess vorstellen, der nur Eingeweihte beherrschen und von dem man eigentlich lieber die Finger lässt, wenn man nicht will, dass einem der Computer um die Ohren fliegt. Kurzum: Dieser Kurs richtet sich an blutigste Anfängerinnen.

Wir wollen zeigen, dass Programmieren eigentlich gar nicht so schwer ist, dass eine Shell ein mächtiges Werkzeug ist und dass einem der Computer eigentlich viel mehr Spaß bringt, wenn man mit dem nötigen Spieltrieb herangeht. Am Ende dieses Kurses sollte die Angst vor dem Computer verflogen sein. Ihr solltet gesehen haben, dass es keinen Grund gibt, ewig zu rätseln, ob ein Algorithmus nun korrekt ist und was die richtige Syntax für eine Operation ist, statt einfach etwas hinzuschreiben und zu sehen, ob es kompiliert. Die wichtigste Kompetenz, die wir euch vermitteln wollen ist, Programmieren zu lernen, also zu wissen, wie man eine Fehlermeldung liest, wo man bei Wissenslücken nachschauen kann und wen man fragen kann, wenn man mal nicht weiter weiß.

Um diese Ziele zu erreichen, haben wir den Kurs aufgeteilt in viele kleine Lektionen. Jede Lektion stellt im Wesentlichen eine abgeschlossene Einheit da, die eigenständig (mit bedarfsorientierter Hilfestellung) bearbeitet werden sollen. Primär geht es dabei nicht um den dargestellten Inhalt, sondern darum, mit diesem herumzuspielen und selbst die Spezialfälle zu entdecken. Insbesondere solltet ihr die Lektionen also *nicht* unter künstlichem Zeitdruck bearbeiten, das Ziel ist nicht, jede Lektion bearbeitet zu haben, sondern jede Lektion entdeckt zu haben. Selbstverantwortliches Lernen ist tragender Gedanke des Kurses und sollte entsprechend ernst genommen werden; entscheidet selbst, wie viel Zeit ihr in welche Lektionen stecken wollt.

Jede Lektion gliedert sich wiederum in drei Teile:

1. Ein theoretischer, in dem ein Unterbau für die Lektion gegeben werden soll. Ein tiefes Verständnis sollte für die Bearbeitung der Lektion nicht notwendig sein, es geht mehr darum, dass sich ein grober Wiedererkennungseffekt einstellt, wenn die theoretischen Kenntnisse im nächsten Teil vertieft werden.

   Wenn du einen eher passiven Lernstil pflegst, kannst du dir hier auch einen Tutor

zur Seite stellen lassen, der dich kurz in das Thema einführt.

2. Dem Theorieteil schließt sich der Praxisteil an. Hier soll selbstständig das eben hoffentlich oberflächlich verstandene in einer kurzen Fingerübung angewendet werden.

   Bei Fragen kann man aber natürlich auch hier einen Tutor zu Rate ziehen.

3. Zuletzt steht dann ein Spielteil. Hier soll mit das Gelernte vertieft und bespielt werden. Tiefer gehende Informationen werden vermittelt und Möglichkeiten, mit dem Code zu interagieren aufgezeigt.

   Von diesem Teil sollte man sich am Wenigsten aufhalten, verunsichern oder deprimieren lassen.

Als Sprache für den Kurs haben wir `C++` gewählt. Diese Sprache stellt vergleichsweise hohe Anforderungen an Anfänger, da sie relativ maschinennah ist, nicht „garbage-collected“ ist (was auch immer das heißen mag) und high-level Konstrukte wie Listen oder Hashtables keine Repräsentation in der Syntax haben. Es muss also viel manuell gemacht werden und das Ganze in einer verhältnismäßig strikten Syntax.

Der Grund, aus dem wir trotzdem `C++` gewählt haben, ist, dass in den Anfängervorlesungen der Universität Heidelberg `C++` verwendet wird und wir euch die Verwirrung ersparen wollen, direkt zu Beginn des Lernprozesses mit zwei verschiedenen Sprachen konfrontiert zu werden. Ausserdem gibt es uns Gelegenheit, direkt wichtige Sprachidiome einzuführen, den Aufprall des ersten Kontaktes abzufedern und durch Demonstration sprachspezifischer Hilfswerkzeuge (wie zum Beispiel dem gdb) zu verhindern, dass ihr bei typischen Problemen der Sprache im späteren Studienverlauf in Verzweifelung versinkt.

Der gesamte Kurs ist aufgeteilt in mehrere Kapitel. Dies dient dem Zweck, verschiedenste Bedürfnisse und Lerntempi zu befriedigen. Wer sich ganz auf die Grundlagen konzentrieren und sich mit diesen intensiv auseinandersetzen möchte, findet in den ersten Kapiteln Material, spielerisch die Sprache zu entdecken. Wer sich im ersten Kapitel relativ wohl fühlt, ist bereits bestens auf die Einführung in die praktische Informatik vorbereitet. Wer schneller lernt, oder einen tieferen Einblick wünscht, findet in späteren Kapiteln genug Material, um sich trotzdem für zwei Wochen zu beschäftigen und voll in die Sprache einzusteigen.

Insgesamt sollte noch einmal betont werden, dass der Selbstanspruch, den gesamten Kurs in vorgegebener Zeit durchzuarbeiten, dem Lernprozess schadet. Der Kurs wird nicht benotet, gibt keine Creditpoints und ihr könnt ihn auch nicht auf eurer Bewerbung angeben - für wen hetzt ihr euch also ab?

Inhaltsverzeichnis

2 Die Basics

Im Ersten Kapitel werden wir die Grundlagen der Programmierung lernen.

Wir werden rausfinden, was ein Compiler ist, wie ein Programm abläuft und wie man es startet. Wir werden Benutzereingaben verarbeiten und Ausgaben an die Nutzerin geben. Wir lassen den Computer Rechnungen für uns anstellen und lernen, was der Kontrollfluß ist – und wie man ihn beeinflusst. Zuletzt werden wir Vektoren kennenlernen und unser erstes nützliches Progamm schreiben.

Die erste Lektion beschäftigt sich alleine mit der Frage, was eigentlich eine Programmiersprache überhaupt ist und wie wir den Computer dazu bringen können, daraus etwas zu machen, was er ausführen kann. In guter alter Programmiertradition tun wir das an dem simpelsten aller Programme: Einem, was einfach nur ein „Hallo Welt!“ ausgibt.

Wie bringen wir also den Computer dazu, diese Ausgabe zu generieren? Dass er keine natürliche Sprache versteht, sollte klar sein – intern besteht er aus lauter Transistoren (wenn ihr nicht wisst, was das ist, denkt an winzige Schalter), die nur die Zustände „an“ und „aus“ kennen, wir müssen also die Anweisung „gebe Hallo Welt aus“ in ein Format übersetzen, was nur „an“ und „aus“ benutzt.

Früher wurde genau dies benutzt - meistens über Lochkarten, die vom Computer gelesen wurden, „ein Loch“ war dann zum Beispiel ein „an“ und „kein Loch“ war „aus“, so wurde dann das Programm in Reihen angeordnet und jede Reihe entsprach einem Befehl oder einem Parameter für diesen Befehl. Dieses Format nennt sich „Maschinensprache“ und ist immer noch das, was wir heute dem Computer übergeben, nur, dass wir keine Lochkarten mehr benutzen, sondern Dateien, in denen lange Ströme von codierten 0en und 1en stehen.

Nun kann man sich vorstellen, dass es ganz schön anstrengend ist, ein umfangreiches Programm in 0en und 1en zu beschreiben. Deswegen benutzt man heutzutage so genannte Hochsprachen, um Programme zu beschreiben. Wir beschreiben also den Programmablauf in einer von Menschen lesbaren und verstehbaren Sprache – wir benutzen hier `C++`. Die Programmbeschreibung in `C++` legen wir dabei in einer Textdatei ab, meistens hat diese die Endung `.cpp`.

Diese Beschreibung des Programms übergeben wir dann an einen *Compiler*, der daraus dann Maschinencode generiert, den wir wiederum dem Computer zur Ausführung geben können. Der Compiler für `C++`, den wir in diesem Kurs benutzen wollen, heißt `g++`.

Dem Compiler übergeben wir die zu kompilierende Datei als Parameter, indem wir sie im Terminal dahinter schreiben:

```
g++ zuKompilierendeDatei.cpp
```

Wir können zusätzlich den Namen der Ausgabedatei festlegen, indem wir vor diese ein `-o` (o für output) schreiben:

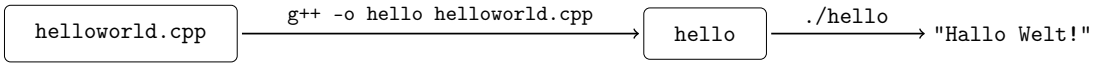
```
g++ -o outputDatei zuKompilierendeDatei.cpp
```

Nachdem `g++` uns also ein Maschinencodefile `outputDatei` erzeugt hat, können wir es zur Ausführung bringen. Wir tun das, indem wir in einem Terminal

```
./outputDatei
```

eingeben, also einen Punkt, ein Slash und dann den Dateinamen.

Zur besseren Übersichtlichkeit hier der ganze Vorgang noch mal in einem Diagramm:



Praxis:

1. Öffnet ein Terminal (Konsole), ihr findet dies oben links unter „Applications“ als „Terminal Emulator“ oder mittig unten als das zweite Symbol von links.
2. Wechselt in das Verzeichnis `vorkurs/lektion01`, indem ihr `cd vorkurs/lektion01`[1] eingebt und enter drückt.
3. In diesem Verzeichnis liegt eine Datei `helloworld.cpp`. Benutzt `g++`, um diese zu einer Datei `hello` zu kompilieren. Orientiert euch dazu an den Befehlen von oben.
4. Führt die Datei `hello` aus.

helloworld.cpp

```cpp
#include <iostream>

int main() {
    std::cout << "Hello world!" << std::endl;

    return 0;
}
```

Spiel:

Ihr könnt nun versuchen, den Quellcode selbst zu verändern und damit ein wenig herumzuspielen. Öffnet dazu einen Editor (in den Anwendungen findet ihr z.B. unter „Zubehör“ den Editor gedit) und öffnet die Datei `vorkurs/lektion01/helloworld.cpp`[2]. Denkt daran, nach jeder Änderung die Datei zu speichern und im Terminal neu zu kompilieren und auszuführen.

Dinge, die ihr ausprobieren könntet sind zum Beispiel:

1. Was passiert, wenn ihr „Hello world!“ in etwas anderes ändert?
2. Was passiert, wenn ihr die erste Zeile löscht (der Originalquellcode ist in diesem pdf enthalten, ihr könnt sie also später wieder herstellen)?
3. Was passiert, wenn ihr das „`<< std::endl`“ löscht?
4. Wie könnte man mehrere Sätze ausgeben? Wie könnte man mehrere Zeilen ausgeben?

[1] was dieser Befehl genau tut und wie er funktioniert, erfahrt ihr in Lektion 2
[2] entweder mittels "Datei/Öffnenïn gedit oder über das Terminal mittels `gedit helloworld.cpp`

Wenn ihr bisher nur mit Windows oder Mac gearbeitet habt, habt ihr wahrscheinlich in der letzten Lektion nebenbei etwas neues Kennen gelernt: Die Shell.

Auch wenn sich unter Linux zunehmend Desktopumgebungen, wie man sie von kommerziellen Betriebssystemen kennt verbreiten, bleibt die Shell immer noch das Mittel der Wahl, wenn man sich mit dem System auseinander setzen, oder auch allgemein arbeiten will. Wir erachten zumindest die Shell als wichtig genug, um euch direkt zu Beginn damit zu konfrontieren.

Wann immer ihr über die Anwendungen ein Terminal startet, wird dort drin automatisch auch eine Shell gestartet. Die beiden Konzepte sind tatsächlich so eng miteinander verknüpft, dass ihr euch um die Unterschiede erst einmal keine Gedanken machen müsst - wann immer ihr Shell oder Terminal hört, denkt einfach an das schwarze Fenster mit dem Text. Das ist auch das wesentliche Merkmal der Shell, sie ist ein Textbasiertes interface zu eurem Computer. Ihr gebt Befehle ein, sie gibt euch Text zurück und auf diese Weise könnt ihr eigentlich alles machen, was ihr sonst gewohnterweise mit der Maus und grafischen Oberflächen tun würdet.

Wenn die Shell auf eure Befehle wartet, zeigt sie euch den so genannten *Prompt* an. Er enthält unter anderem euren Nutzernamen und das aktuelle Verzeichnis (∼ steht dabei für euer Nutzerverzeichnis, ein spezieller Ordner, der eurem Account zugeordnet ist und in dem ihr alle Rechte besitzt, dieser wird auch *home* genannt).

Wenn ihr in ein anderes Verzeichnis wechseln wollt, könnt ihr das (wie ihr bereits in der ersten Lektion gelernt habt) mit dem Befehl `cd` tun, gefolgt von dem Namen des Verzeichnis. Um zurück zu gehen, könnt ihr das spezielle Verzeichnis `..` (also zwei Punkte) angeben, welches für das nächst höher liegende Verzeichnis steht. Wenn ihr euch den Inhalt des Verzeichnisses anschauen wollt, könnt ihr dafür den Befehl `ls` benutzen. Um herauszufinden, in welchem Verzeichnis ihr euch befindet, könnt ihr `pwd` nutzen, zum Kompilieren von `C++`-Programmen habt ihr den Befehl `g++` kennengelernt. Solltet ihr Hilfe zu irgendeinem Befehl benötigen, könnt ihr den Befehl `man` (für „Manual“) geben, gefolgt von dem Befehl, zu dem ihr Hilfe braucht (über `man` werden wir später noch ausführlicher reden).

Praxis:

1. Öffnet ein Terminal und gebt die folgenden Befehle ein:

basics.sh

```
cd
pwd
ls
ls vorkurs
cd vorkurs
pwd
ls
ls .
ls ..
cd ..
```

```
11 pwd
```

Spiel:

1. Versucht selbst, euer Nutzerverzeichnis (*home*) zu navigieren. Wie viele Lektionen hat der Vorkurs?
2. Was passiert, wenn ihr euer Homeverzeichnis verlasst (`cd ..` während ihr darin seid)?
3. Versucht in der manpage von ls (`man ls`) zu stöbern und die verschiedenen Parameter, mit denen ihr das Verhalten steuern könnt zu erforschen. Findet ihr heraus, wie ihr den Verzeichnisinhalt in einem langen Listenformat (long listing format) anzeigen lassen könnt (in dem unter anderem auch die Dateigröße zu jeder Datei steht)

Falls euch das alles verwirrt, fragt entweder direkt nach oder wartet auf Lektion 6, da geht es zu Manpages noch mal ins Detail.

Ihr findet unter http://blog.ezelo.de/basic-linux-befehle/ auch noch mal die wichtigsten Befehle zusammengefasst.

Nachdem wir ein bisschen Vertrauen in die shell entwickelt haben und zumindest bereits unser erstes Programm kompiliert, wollen wir nun etwas spannendere Dinge tun. Nach wie vor müsst ihr nicht jede Zeile eures Programmes verstehen. Sollte euch bei einer bestimmten Zeile trotzdem interessieren, was genau sie tut, versucht doch eventuell sie zu entfernen, das Programm zu kompilieren und schaut, was sich ändert.

Wir wollen uns nun mit grundlegendem input und output vertraut machen, denn erst wenn euer Programm mit einer Benutzerin interagiert, wird es wirklich nützlich. Wir haben in der ersten Lektion bereits `cout` (für *console out*) kennengelernt, um Dinge auszugeben. Nun nutzen wir `cin`, um Eingaben des Benutzers entgegen zu nehmen. Jedes Programm unter Linux (und übrigens auch Mac OS oder Windows) kann auf diese Weise Eingaben von der Nutzerin entgegen nehmen und Ausgaben liefern. Das ist auch der Grund, warum die Konsole so wichtig ist und es viele Dinge gibt, die nur mittels einer Konsole gelöst werden können: Während es viele Stunden dauert, ein grafisches Interface zu programmieren, über die man mit dem Programm mit der Maus kommunizieren kann, kann praktisch jeder ein textbasiertes Konsoleninterface schreiben. Linux ist ein Ökosystem mit einer gewaltigen Anzahl tools für jeden denkbaren Zweck und bei den meisten haben die Autorinnen sich nicht die Mühe gemacht, extra eine grafische Oberfläche zu entwickeln.

Nun aber direkt zur Praxis:

Praxis:

1. Öffnet die Datei `vorkurs/lektion03/helloyou.cpp` in eurem Texteditor
2. Öffnet ein Terminal und wechselt in das Verzeichnis `vorkurs/lektion03`
3. Kompiliert im Terminal die Datei (`g++ -o helloyou helloyou.cpp`) und führt sie aus (`./helloyou`)
4. Versucht verschiedene Eingaben an das Programm und beobachtet, was passiert

helloyou.cpp

```cpp
#include <iostream>
#include <string>

int main() {
    std::cout << "Bitte gebe deinen Namen ein:" << std::endl;

    std::string eingabe;
    std::cin >> eingabe;

    std::cout << "Hallo " << eingabe << std::endl;

    return 0;
}
```

Spiel:

1. Versucht, zu verstehen, was die einzelnen Teile des Programms tun. An welcher Stelle erfolgt die Eingabe? Was passiert dann damit?
2. Erweitert das Programm um eigene Fragen und Ausgaben. Vergesst nicht, dass ihr das Programm nach jeder Änderung neu kompilieren und testen müsst.

Wenn ihr in den vergangen Lektionen ein bisschen herumprobiert habt, wird es euch sicher das ein oder andere mal passiert sein, dass euch der Compiler statt eines funktionierenden Programms eine Riesenmenge Fehlermeldungen ausgespuckt hat und ihr einen Schreck bekamt und schon dachtet, ihr hättet alles kaputt gemacht.

`g++` ist leider bei Fehlermeldungen immer sehr ausführlich und gibt euch lieber viel zu viel, als viel zu wenig aus. Das kann im ersten Blick ein bisschen überwältigend wirken, aber wenn man einmal gelernt hat, wie die Fehlermeldungen am Besten zu lesen sind, ist das alles gar nicht mehr so schlimm.

Wir schieben deswegen eine Lektion über häufige Fehlerquellen ein und wie man Fehlermeldungen von `g++` liest, um möglichst schnell die Ursache des Fehlers zu finden.

Nehmen wir z.B. mal folgendes Programm:

fehler1.cpp

```
1 int main() {
2     std::cout << "Hello world" << std::endl;
3
4     return 0;
5 }
```

Wenn wir versuchen, dieses zu kompilieren, gibt uns `g++` folgendes aus:

g++ -o fehler1 fehler1.cpp

```
fehler1.cpp: In function 'int main()':
fehler1.cpp:2:5: error: 'cout' is not a member of 'std'
fehler1.cpp:2:35: error: 'endl' is not a member of 'std'
```

Wenn wir diese Fehlermeldung verstehen wollen, fangen wir immer ganz oben an, egal wie viel Text uns der Compiler ausspucken mag. In diesem Fall sagt uns die erste Zeile, in welcher Datei (`fehler1.cpp`) der Fehler aufgetreten ist und in welcher Funktion (`int main()`). Die beiden Zeilen danach sind sogar noch spezifischer: Sie enthalten zu Beginn den Dateinamen, dann einen Doppelpunkt, gefolgt von einer Zeilennummer, gefolgt von einer Spaltennummer. Das gibt euch ganz genau die Stelle an, an der der Compiler etwas an eurem Code zu bemängeln hat. In diesen Fall ist, was der Compiler bemängelt, dass `cout` bzw. `endl` nicht in `std` sind. Was genau `std` bedeutet muss uns nicht interessieren, aber der Rest sagt uns (mit ein bisschen Erfahrung) dass wir die Definition von `cout` und `endl` nicht haben - was nicht weiter verwunderlich ist, denn diese beiden Dinge werden in der Datei `iostream` definiert, die wir früher immer includiert haben.

Damit wissen wir jetzt auch (endlich) was das

```
#include <iostream>
```

zu bedeuten hatte. Offenbar brauchen wir das, wenn wir Konsolen input und output machen wollen, da es die Definitionen von `cout`, `cin`, `endl` und ähnlichem enthält.

Der nächste sehr häufig vorkommende Fehler ist subtiler:

fehler2.cpp

```
1 #include <iostream>
2
3 int main() {
4     std::cout << "Hallo Welt!" << std::endl
5
6     return 0;
7 }
```

Wenn wir versuchen, dies zu kompilieren, bekommen wir vom Compiler entgegengespuckt:

g++ -o fehler2 fehler2.cpp

```
fehler2.cpp: In function 'int main()':
fehler2.cpp:5:1: error: expected ';' before '}' token
```

Wiederum sagt uns die erste Zeile, in welcher Datei und Funktion der Fehler aufgetreten ist. Die zweite Zeile sagt uns wo, nämlich in Zeile 5, direkt am Anfang. Die Beschwerde des Compilers ist, dass er ein Semikolon erwartet hat, aber eine geschlossene geschweifte Klammer gefunden hat. Der Grund dafür ist, dass in C++ erwartet wird, dass jede Anweisung mit einem Semikolon abgeschlossen wird. Wenn ihr euch die bisherigen Quellcodedateien anschaut, werdet ihr feststellen, dass hinter den allermeisten Zeilen ein solches Semikolon steht. Hier fehlt es allerdings nach der Ausgabe in Zeile 4. Sobald wir es hinzufügen, beschwert sich der Compiler nicht mehr.

Hier zeigt sich eine ein bisschen verwirrende Angewohnheit von Fehlermeldungen von C++: Obwohl der Compiler behauptete, der Fehler läge in Zeile 5, lag er in Wahrheit bereits in Zeile 4. Hier müsst ihr dem dummen Compiler ein wenig nachsichtig sein - er kann es einfach nicht besser wissen. Wenn ihr also mal in der richtigen Zeilennummer nachschlagt, aber nicht wisst, wo dort der Fehler sein sollte, schaut vielleicht mal ein oder zwei Zeilen darüber, vielleicht wusste der Compiler es einfach nicht besser.

Praxis:

1. Versucht, folgende Dateien zu kompilieren und schaut euch die Fehlermeldung an. In welcher Zeile, in welcher Spalte liegt der Fehler? Was gibt euch der Compiler als Fehlermeldung aus?
2. Versucht, die aufgetretenen Fehler zu korrigieren. Bekommt ihr es hin, dass der Compiler sich nicht mehr beschwert und das Programm korrekt arbeitet (schaut euch ggf. die bisher gezeigten Quellcodes an)?

fehler3.cpp

```
1 #include <iostream>
2
3 int main() {
4     std::cout << "Hallo Welt" << std::endl;
5
6     return 0;
```

fehler4.cpp

```cpp
#include <iostream>
#include <string>

int main() {
    std::cout << "Gebe deinen Namen ein:" << std::endl;

    std::string eingabe;
    std::cin << eingabe;

    std::cout << "Hallo " << eingabe << std::endl;

    return 0;
}
```

Spiel:

1. Das folgende Programm enthält mehrere Fehler. Bekommt ihr trotzdem raus, welche das sind und könnt ihr sie beheben (Tipp: „c++ math“ zu googlen kann euch hier vielleicht weiter bringen)?
2. Wenn ihr in den Vergangen Lektionen ein bisschen gespielt habt und vereinzelnd versucht habt, Dinge zu löschen, Werden euch viele Fehlermeldungen begegnet sein, versucht, diese zu lesen und interpretieren, was euch der compiler hier sagen will.

fehler5.cpp

```cpp
#include <iostream>

int main() {
    std::cout << "sin(pi/4) ist " << sin(3.141592653 / 4.0) << std::endl
    std::cout << "sqrt(2)/2 ist " << sqrt(2.0) / 2.0 << std::endl;

    return 0;
}
```

Das Programm `variablen.cpp` erzählt von ihrem Tag. Compilier es und guck dir die Ausgabe an.

variablen.cpp

```
1  #include <iostream>
2  #include <string>
3
4  int main(){
5      std::string beschreibung = "wundervoll";
6
7      std::cout << "Hallo, mein Tag war " << beschreibung << std::endl;
8      std::cout << "Ich habe " << beschreibung
9          << " aus einem Skript gelernt" << std::endl;
10     std::cout << "Ich hoffe dir geht es genauso "
11         << beschreibung << std::endl;
12     return 0;
13 }
```

Da immer wieder das gleiche Wort „wundervoll“ benutzt wird, wurde es in eine sogenannte *Variable* ausgelagert. Eine Variable ist ein Wert der mit einem Namen benannt wird. Dabei findet die Zuweisung durch ein `=` statt, dem Namen auf der linken Seite des Gleichheitszeichen wird der Wert auf der rechten Seite zugewiesen. Im Programm selbst ist es dann so, als würde der Wert an der Stelle des Namens stehen.

Der Wert einer Variable kann sich im Laufe des Programmes verändern. Durch Hinzufügen der Zeile `beschreibung = "langweilig";` wird hinter dieser Zeile anstelle von „wundervoll“ nun „langweilig“ ausgegeben. Ähnlich kann wie in `helloyou.cpp` der Wert von Variablen durch `std::cin >> beschreibung` die Benutzerin eingeben werden.

Variablen haben immer einen bestimmten *Datentypen*. In unserem Beispiel handelt es sich um `std::string`. Der Datentyp wird bei dem Erstellen – also der ersten Zuweisung – vor dem Namen angeben. Dieser wird benötigt, damit der Computer weiß, um was für eine Art Wert es sich handelt – ein Text sollte anders behandelt werden als eine Zahl. Beispielsweise kann man zwei Zahlen miteinander multiplizieren, für Texte ergibt das allerdings keinen Sinn. In der Lektion Arithmetik lernen wir mehr über Zahlen und deren Eigenheiten.

Praxis:

1. Was passiert, wenn ihr `beschreibung` in Zeile 5 ein anderes Wort zuweist?
2. Definiert eine weitere Variable und schreibt einen weiteren Satz.

Spiel:

1. Was passiert, wenn ihr euch im Namen einer Variable „vertippt“?
2. Definiert euch zwei `std::string` Variablen, weist ihnen irgendwelchen Text zu, versucht, sie zu addieren und das Ergebnis auszugeben.

3. Was passiert, wenn ihr eine `std::string` Variable definiert, ihr aber nichts zuweist und dann versucht, sie auszugeben?

Wir machen eine kurze Pause vom `C++` und schauen uns in der Zwischenzeit *man pages* an. Wie wir bereits fest gestellt haben, kann man diese benutzen, um sich mehr Informationen über Befehle anzeigen zu lassen. Wir wollen uns jetzt genauer anschauen, wie man all die Informationen in einer man page am Besten konsumiert.

Wir schauen uns das am Beispiel der Manpage `man cp` an (`cp` ist der Befehl zum Kopieren von Dateien).

Praxis:

1. Öffnet eine Konsole und gebt `man cp` ein.

Die man page besteht aus mehreren *Sections*. Welche sections genau es gibt, hängt von der man page ab, aber meistens gibt es mindestens die folgenden sections:

`NAME` Gibt euch den Namen des Befehls und eine Einzeilige Beschreibung an

`SYNOPSIS` Gibt euch die generelle Benutzung des Befehls an. In diesem Fall gibt es drei mögliche Formen. Allen gemein ist, dass man zunächst `cp` eingibt, darauf folgen Optionen. Wie der Rest interpretiert wird, hängt dann vom Rest ab. Werden zwei weitere Parameter angegeben, wird der erste als Quelle, der zweite als Ziel interpretiert (erste Form). Werden mehr Parameter angegeben, wird das letzte als Verzeichnis, in das man alle anderen kopieren will interpretiert (zweite Form). In der dritten Form (wenn `-t` angegeben wird) wird hingegen der *erste* Parameter als das Zielverzeichnis interpretiert, in das alle anderen Dateien kopiert wird.

Es gibt eine Vielzahl von Konventionen für diesen Bereich, eckige Klammern bedeuten z.B. dass dieser Teil auch weggelassen werden darf, drei Punkte bedeuten, dass hier mehrere solche Dinge stehen können.

Dieser Bereich ist der, der am Interessantesten für euch ist, wenn ihr „einfach schnell wissen wollt, wie es funktioniert“.

`DESCRIPTION` Hier wird ausführlicher beschrieben, was der Befehl tut. Hier werden auch alle möglichen Optionen beschrieben, die wir dem Befehl bei `[OPTION]...` mitgeben können. Die wichtigen Informationen stehen meistens irgendwo in diesem Bereich.

`AUTHOR, REPORTING BUGS, ...` Hier stehen weitere Hintergrundinformationen, die meistens eher für Entwicklerinnen interessant sind.

`SEE ALSO` Auch eine wichtige section für euch: Wenn ihr die gewünschte Information nicht gefunden habt, oder ihr nicht den richtigen Befehl gefunden habt, stehen hier manchmal verwandte Befehle oder Quellen weiterer Informationen.

Man pages sind häufig sehr umfangreich und enthalten viel mehr Informationen, als ihr euch gerade wünscht. Es ist nicht immer einfach, die gerade relevanten Informationen heraus zu filtern und es gibt nichts frustrierenderes, als einen Befehl gerade dringend zu brauchen, aber nicht zu kennen und sich erst durch eine lange man page lesen zu müssen.

Dennoch ist es eine sehr hilfreiche Fähigkeit, zu wissen, wie man man pages liest und sich einfach in einem ruhigen Moment mal durch die ein oder andere man page durch zu lesen.

Häufig lernt man dabei neue Dinge, manchmal macht es einem das Leben irgendwann sehr viel leichter, sie zu wissen.

Habt von daher Geduld, wenn euch eine wirsche Linux-Expertin auf die Frage, wie ihr unter Linux euren Laptop in den Ruhemodus versetzt ein schnelles „man pm-suspend“ antwortet. Mit ein bisschen Übung wird euch das tatsächlich hinreichend schnell zur richtigen Lösung verhelfen.

Praxis:

2. Öffnet die man page von `ls`. Findet die Optionen fürs Lange Listenformat (long listing format), zum Sortieren nach Dateigröße und um auch versteckte Dateien (unter Linux sind das alle, die mit `.` anfangen) anzuzeigen und probiert sie aus.
3. Was ist der Unterschied zwischen `ls -a` und `ls -A`? Probiert beides aus. Das ist auf den ersten Blick nicht so leicht zu sehen Fragt uns im einfach wenn ihr es nicht findest.
4. Nutzt `cp` um eine Datei zu kopieren. Sucht euch dafür irgendeine `.cpp`-Datei aus dem Vorkurs-Programm und kopiert sie in euer Homeverzeichnis (ihr könnt dafür eine Tilde (`~`) benutzen).

Spiel:

1. Wie über so gut wie jeden Befehl gibt es auch über `man` eine manpage. Schaut euch mal `man man` an.
2. Befehle, die für euch im späteren Leben interessant sein könnten sind z.B. `ls`, `cp`, `mkdir`, `grep`, `cat`, `echo`, `mv`, ... Ihr könnt ja schon einmal in ein oder zwei dieser manpages hinein schauen, und ein oder zwei Befehle ausprobieren. Aber ihr müsst das jetzt auf keinen fall alles im Kopf behalten.

Wir haben in der vergangenen Lektion Variablen vom Typ `std::string` kennengelernt. Zeichenketten zu speichern ist schon einmal ein guter Anfang, aber wir wollen auch rechnen können, wir brauchen also mehr Typen für Variablen.

C++ unterstützt eine Unmenge an Datentypen und hat auch die Möglichkeit, eigene zu definieren. Wir wollen uns hier nur mit den Wichtigsten beschäftigen.

Fangen wir mit dem wohl meist genutzten Datentyp an: Einem `int`, oder `integer`. Dieser speichert eine ganze Zahl (mit bestimmten Grenzen, an die wir aber erst einmal nicht stossen werden, von daher ignorieren wir sie erst einmal frech). Mit `int`s können wir rechnen, das funktioniert in C++ mit ganz normalen Rechenausdrücken, wie wir sie aus der Schule kennen, plus den bereits angetroffenen Zuweisungen:

arith1.cpp

```cpp
#include <iostream>

int main() {
    int a;
    int b;
    int c;

    a = 5;
    b = 18;

    c = a - b;
    // Dies ist ein so gennanten Kommantar
    // Wenn eine Zeile mit zwei / beginnt,
    // wird sie vom compiler einfach ignoriert.
    // Dies wird benutzt, um Menschen lesbar
    // Informationen dem Quelltext beizufügen,
    // wie zum Beispiel "c ist jetzt -13"
    return 0;
}
```

Wichtig ist hier, zu beachten, dass wir dem Computer ein in Reihenfolge abgearbeitetes Programm geben, keine Reihe von Aussagen. Das bedeutet in diesem konkreten Fall, dass wir z.B. nicht die Aussage treffen „`a` ist gleich 7“, sondern dass wir sagen „lasse zuerst `a` den Wert 7 haben. Lasse dann `b` den Wert 19 haben. Lasse dann `c` den Wert haben, der heraus kommt, wenn man den Wert von `b` vom Wert von `a` abzieht“. Besonders deutlich wird dieser Unterschied bei einem Beispiel wie diesem:

arith2.cpp

```cpp
#include <iostream>

int main() {
    int a;
    a = 23;
```

```
6       a = a + 19;
7       std::cout << a << std::endl;
8
9       return 0;
10  }
```

Praxis:

1. Was gibt dieses Programm aus? Überlegt es euch zuerst und kompiliert es dann, um es auszuprobieren.

Obwohl `a = a + 19` mathematisch überhaupt keinen Sinn ergibt, ist doch klar, was passiert, wenn man sich den Quellcode eben nicht als Reihe von Aussagen, sondern als Folge von *Anweisungen* vorstellt. Das Gleichheitszeichen bedeutet dann nicht, dass beide Seiten gleich sein sollen, sondern dass der Wert auf der linken Seite den Wert auf der rechten Seite annehmen soll.

Wie wir in diesem Beispiel ausserdem sehen, können wir nicht nur Strings ausgeben, sondern auch Zahlen. `std::cout` gibt sie in einer Form aus, in der wir etwas damit anfangen können. Genauso können wir auch über `std::cin` Zahlen vom Benutzer entgegen nehmen:

arith3.cpp

```
1   #include <iostream>
2
3   int main() {
4       std::cout << "Gebe eine Zahl ein: ";
5       int a;
6       std::cin >> a;
7
8       std::cout << "Gebe noch eine Zahl ein: ";
9       int b;
10      std::cin >> b;
11
12      std::cout << "Ihre Summe ist " << a + b << std::endl;
13
14      return 0;
15  }
```

Langsam aber sicher tasten wir uns an nützliche Programme heran!

Praxis:

2. Schreibt ein Programm, welches von der Nutzerin zwei ganze Zahlen entgegen nimmt und anschließend Summe, Differenz, Produkt und Quotient ausspuckt.
3. Was fällt auf, wenn ihr z.B. 19 und 7 eingebt?
4. Findet heraus (Google ist euer Freund), wie man in `C++` Division mit Rest durchführt

und gebt diese zusätzlich zu den bisherigen Operationen mit aus[3].

5. Was passiert, wenn ihr als zweite Zahl eine 0 eingebt?

Spiel:

1. Findet heraus, was die größte positive (und was die kleinste negative) Zahl ist, die ihr in einem `int` speichern könnt. Faulpelze nutzen Google, Lernbegierige versuchen sie experimentell zu ermitteln. Was passiert, wenn ihr eine größere Zahl eingebt?
2. Wir arbeiten bisher nur mit `int`s für ganze Zahlen. Wenn wir mit gebrochenen Zahlen rechnen wollen brauchen wir den Datentyp `double`. Schreibt euer Mini Rechenprogramm so um, dass es statt `int`s nur noch `double` benutzt und probiert es aus. Achtet darauf, dass es Dezimalpunkte und Dezimalkommata gibt, wenn ihr überraschende Ergebnisse erhaltet.

[3] Falls ihr nicht weiterkommt, hilft euch vielleicht das Stichwort „modulo“ oder „modulo-operator“ weiter.

Fehlerklassen

Es ist wichtig, früh zu verstehen, dass es verschiedene Klassen von Fehlern in einem C++ Programm gibt, die sich alle zu unterschiedlichen Zeitpunkten auswirken. Die Hauptsächliche Klasse von Fehlern, die wir bisher betrachtet haben, sind *Compilerfehler*. Sie treten – wie der Name nahe legt – zur Compilezeit auf, also wenn ihr euer Programm kompilieren wollt. Meistens handelt es sich hier um relativ einfach erkennbare Fehler in der Syntax (wie zum Beispiel ein vergessenes Semikolon, oder eine vergessene geschweifte Klammer), um fehlende header (wie die `\#include <...>` heißen) oder um undefinierte Variablen.

Eine andere, besonders fiese Klasse von Fehlern haben wir in der letzten Lektion kennengelernt. Wenn wir nämlich durch eine Variable teilen, und in dieser Variable erst beim Programmlauf (zur *Laufzeit*) eine 0 steht, so tritt eine so genannte *floating point exception* auf. Der Compiler hat hier keine Chance, diesen Fehler zu erkennen - er weiß ja nicht, was der Benutzer später hier eingibt! Da diese Klasse von Fehlern zur Laufzeit auftritt heißen sie Laufzeitfehler. Und sie sind immer ein Zeichen von fundamentalen Fehlern im Programm. Sie sind also die am schwersten aufzutreibenden Fehler, da es keine automatischen Tools gibt, die uns bei ihrer Suche helfen.

gdb

Wir werden (noch) nicht lernen, wie wir den Fehler aus der letzten Lektion beheben können, aber wir werden ein wichtiges Tool kennen lernen, um Laufzeitfehler aufzuspüren, damit wir wenigstens wissen, wo wir mit der Lösung anfangen können: Den *GNU debugger*, oder kurz gdb.

Der Debugger ist eine Möglichkeit, unser Programm in einer besonderen Umgebung laufen zu lassen, die es uns erlaubt es jederzeit anzuhalten, den Inhalt von Variablen zu untersuchen oder auch Anweisung für Anweisung unser Programm vom Computer durchgehen zu lassen.

Damit er das tun kann, braucht er vom Compiler ein paar zusätzliche Informationen, über den Quellcode, die normalerweise verloren gehen. Wir müssen dem Compiler dafür ein paar zusätzliche Optionen mitgeben:

```
g++ -O0 -g3 -o debugger debugger.cpp
```

(Beachtet, dass im ersten Parameter erst ein großer Buchstabe o, dann eine 0 stehen)

debugger.cpp

```cpp
#include <iostream>

int main() {
    int a, b, c;

    std::cout << "Gebe eine Zahl ein: ";
    std::cin >> a;

    std::cout << "Noch eine: ";
    std::cin >> b;
```

```
11
12      c = a + b;
13      a = b / c;
14      c = 2 * a + b;
15
16      std::cout << "c ist jetzt " << c << std::endl;
17
18      return 0;
19  }
```

Praxis:

1. Kompiliert das Programm mit den neuen Optionen für den debugger. Ihr könnt es dann mittels `gdb ./debugger` im gdb starten. Ihr solltet nun ein wenig Text ausgegeben bekommen und einen anderen prompt (`(gdb)`). Ihr könnt den debugger jederzeit wieder verlassen, indem ihr `quit` eingebt (falls ihr gefragt werdet, ob ihr euch sicher seid, gebt `y` ein und drückt enter)

2. Zu allererst müssen wir einen so genannten *breakpoint* setzen, das ist ein Punkt im Programmablauf, an dem es stoppen soll, damit wir entscheiden können, was wir tun wollen. `main` ist für die meisten unserer Programme eine sichere Wahl:

   `break main`

   Dann können wir das Programm mit `run` starten. Wir sollten die erste Anweisung unseres Programmes angezeigt bekommen.

3. Der Debugger wird euch jetzt immer sagen, welches die nächste Anweisung ist, die er ausführen möchte. Mit `next` könnt ihr sie ausführen lassen, mit `print a` könnt ihr euch den Inhalt von `a` zu diesem Zeitpunkt anschauen, mit `print b` den von `b` und so weiter. Geht das Programm Schritt für Schritt durch und lasst euch die Werte von `a`, `b` und `c` in jedem Schritt ausgeben. Wenn der debugger euch sagt, dass euer Programm beendet wurde, gebt `quit` ein und beendet ihn.

Spiel:

1. Ihr habt nun schon einige Programme kennen gelernt. Kompiliert sie für den Debugger neu und untersucht sie genauso wie obiges Programm, solange ihr Lust habt.

Nachdem wir ein bisschen etwas über den Debugger verstanden haben (wir werden ihn noch häufiger benutzen), können wir uns nun wieder unserem Problem mit der Division durch 0 zuwenden.

arith4.cpp

```cpp
#include <iostream>

int main() {
    int a, b;

    std::cout << "Gebe eine Zahl ein: ";
    std::cin >> a;

    std::cout << "Gebe noch eine Zahl ein: ";
    std::cin >> b;

    std::cout << "Ihr Quotient ist " << a / b << std::endl;

    return 0;
}
```

Wenn wir dieses Programm kompilieren und als zweite Zahl eine 0 eingeben, werden wir auf der Konsole ausgegeben bekommen:

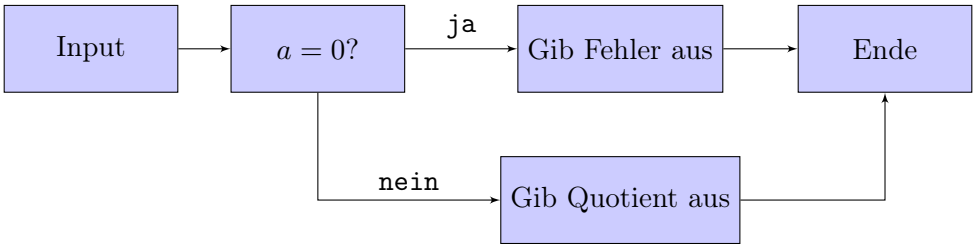
```
Gebe eine Zahl ein: 5
Gebe noch eine Zahl ein: 0
Floating point exception
```

(Gegebenenfalls ist die letzte Zeile bei euch auch in einer anderen Sprache)

Wir können das Programm auch einmal im debugger ausführen und werden wenig überraschend feststellen, dass die Anweisung, an der diese floating point exception auftritt die ist, in der die Division steht.

Wenn wir diesen Fehler beheben wollen, haben wir eigentlich nur zwei Möglichkeiten: Die erste ist, die Schuld auf die Benutzerin zu schieben, warum versucht sie auch, eine 0 einzugeben? Ich hoffe, ihr stimmt zu, dass das nicht sehr freundlich wäre. Stellt euch vor, jedes mal, wenn ihr in einem Programm einen Wert eingebt, auf den das Programm nicht vorbereitet ist, würde es direkt abstürzen. Das fändet ihr vermutlich nicht so gut, es sollte doch zumindest mal eine Fehlermeldung ausgeben und die Nutzerin informieren, dass sie was falsch gemacht hat.

Und das ist der zweite Weg, den wir jetzt einschlagen wollen. Unser Programm sollte am Besten, nachdem es die Eingabe von der Benutzerin entgegen genommen hat, einfach überprüfen, ob die Division erlaubt ist oder nicht. Sollte die Nutzerin eine 0 eingegeben haben, sollte es auf den Fehler hinweisen und sich beenden, sonst sollte es den Quotienten ausgeben. Diese Abhängigkeit des Verhaltens eines Programms von den Eingaben, bezeichnen wir als *Kontrollfluss*, man kann das mit einem Diagramm verdeutlichen:



Die einfachste Möglichkeit, den Kontrollfluss zu ändern, besteht in so genannten „bedingten Anweisungen“:

if.cpp

```
1  #include <iostream>
2
3  int main() {
4      int a, b;
5
6      std::cout << "Gebe eine Zahl ein: ";
7      std::cin >> a;
8
9      std::cout << "Gebe noch eine Zahl ein: ";
10     std::cin >> b;
11
12     if (b == 0) {
13         // std::cerr ist eine weitere Möglichkeit der Ausgabe, die
14         // für Fehler verwendet wird. Ihr seht dies genauso wie
15         // den output von std::cout auf der Konsole, aber man kann
16         // diesen output besonders behandeln
17         std::cerr << "Die zweite Zahl darf nicht 0 sein!" << std::endl;
18     } else {
19         std::cout << "Ihr Quotient ist " << a / b << std::endl;
20     }
21     return 0;
22 }
```

In den Zeilen 12 bis 20 sehen wir, wie eine solche Bedingte Anweisung in C++ aussieht. Wir erkennen relativ direkt unser Diagramm hier wieder: In Zeile 12 steht der „$b = 0$?“ Block, in den Zeilen 13 bis 17 steht der „Gib Fehler aus“ Block und in Zeile 19 der „Gib den Quotienten aus“ Block.

Beachtet allerding die doppelten Gleichheitszeichen in Zeile 12. C++ hat getrennte Operatoren für Vergleiche und Zuweisungen - Doppelte Gleichheitszeichen bedeuten Vergleich („sind diese beiden gleich?“), ein einfaches Gleichheitszeichen bedeutet Zuweisung („mache diese beiden gleich!“).

Praxis:

1. Kompiliert `if.cpp` für den debugger und lasst das Programm im gdb laufen. Geht Schritt für Schritt durch das Programm, mit verschiedenen Eingaben (wenn ihr am Ende des Programms angekommen seid, könnt ihr es mit einem erneuten „run“ neu starten)
2. Nutzt Google, um herauszufinden, welche anderen Vergleichsoperatoren es in `C++` noch gibt. Versucht, das Programm so zu verändern, dass es auf Ungleichheit testet, statt auf Gleichheit (sich sonst aber genauso verhält).
3. Wie würdet ihr testen, ob zwei Zahlen durch einander teilbar sind (Tipp: Ihr kennt bereits die Division mit Rest in `C++` (modulo))? Schreibt ein Programm, welches zwei Zahlen von der Nutzerin entgegen nimmt und ausgibt, ob die zweite Zahl die erste teilt.

Spiel:

1. Testet mit verschiedenen Eingaben, was passiert, wenn ihr in `if.cpp` statt zwei Gleichheitszeichen nur eines benutzt. Benutzt den debugger, um euch den Inhalt von `b` vor und nach dem Test anzuschauen.
2. Schreibt ein Programm, welches die Benutzerin fragt, wie sie heißt. Gibt sie euren eigenen Namen ein, soll das Programm begeistert über die Namensgleichheit sein, sonst sie einfach begrüßen.

Wir machen mal wieder eine kurze Pause von `C++` um euch ein weiteres wichtiges Konzept der Linux-Welt nahe zu bringen: Dateirechte.

Unter Windows seid ihr es wahrscheinlich gewohnt, dass der Dateiname festlegt, wie mit der Datei umgegangen wird – eine `.doc` wird in Word geöffnet, eine `.zip` in einem installierten Packprogramm, eine `.bmp` vermutlich in Windows Paint und eine `.exe` wird ausgeführt.

Das Konzept der Dateierweiterung hat es auch in die Linuxwelt geschafft, ist hier aber deutlich weniger wichtig. Insbesondere gibt es keine Dateierweiterung `.exe`. Stattdessen hat jede Datei einen bestimmten Modus. Eine Datei kann ausführbar sein, oder nicht. Sie kann lesbar sein, oder nicht. Sie kann schreibbar sein, oder nicht. Nicht nur das, jede Datei gehört auch einer bestimmten Nutzerin und einer bestimmten Nutzerinnengruppe und Ausführbarkeit, Lesbarkeit oder Schreibbarkeit ist getrennt eingestellt für die Besitzerin der Datei, der Gruppe, der die Datei gehört und für alle anderen. Eine Datei kann also z.B. lesbar sein, für alle Nutzerinnen, aber nur eine bestimmte Gruppe von Nutzerinnen darf sie ausführen und nur eine einzige Nutzerin sie bearbeiten. All dies wird in neun so gennanten *Permission bits* festgehalten (ein *Bit* ist die kleinste Einheit an Information, es kodiert genau „ja“ und „nein“, oder „null“ und „eins“, oder „ein“ und „aus“).

Ihr könnt euch die Besitzerin, die Gruppe, und die permission bits einer Datei mithilfe von `ls -l` anschauen. Der output von `ls -l` ist in mehreren Spalten angeordnet:

1. In der ersten Spalte stehen die Dateiberechtigungen in Form eines 10 Zeichen langen Strings. Jedes Zeichen steht dabei für ein permission bit kann dabei entweder ein `-`, oder ein Buchstabe sein, wobei `-` bedeutet, dass das entsprechende Bit nicht gesetzt ist. Die Bits bedeuten (von links nach rechts gelesen)
   - `directory`
   - `readable` für die Eigentümerin
   - `writable` für die Eigentümerin
   - `executable` für die Eigentümerin
   - `readable` für die Gruppe
   - `writable` für die Gruppe
   - `executable` für die Gruppe
   - `readable` für alle Nutzerinnen
   - `writable` für alle Nutzerinnen
   - `executable` für alle Nutzerinnen
2. Nummer an hardlinks (das braucht euch nicht sonderlich interessieren)
3. Nutzername der Eigentümerin
4. Gruppe, der die Datei gehört

5. Dateigröße
6. Datum der letzten Änderung
7. Dateiname

Wenn ihr die Berechtigungen von Dateien ändern wollt, könnt ihr dazu `chmod` benutzen (wenn ihr wissen wollt, wie man es benutzt: `man chmod`), dazu muss sie euch aber gehören. Wenn ihr die Eigentümerin einer Datei ändern wollt, könnt ihr dazu `chown` nutzen – dazu müsst ihr aus Sicherheitsgründen allerdings Administratorin sein.

Praxis:

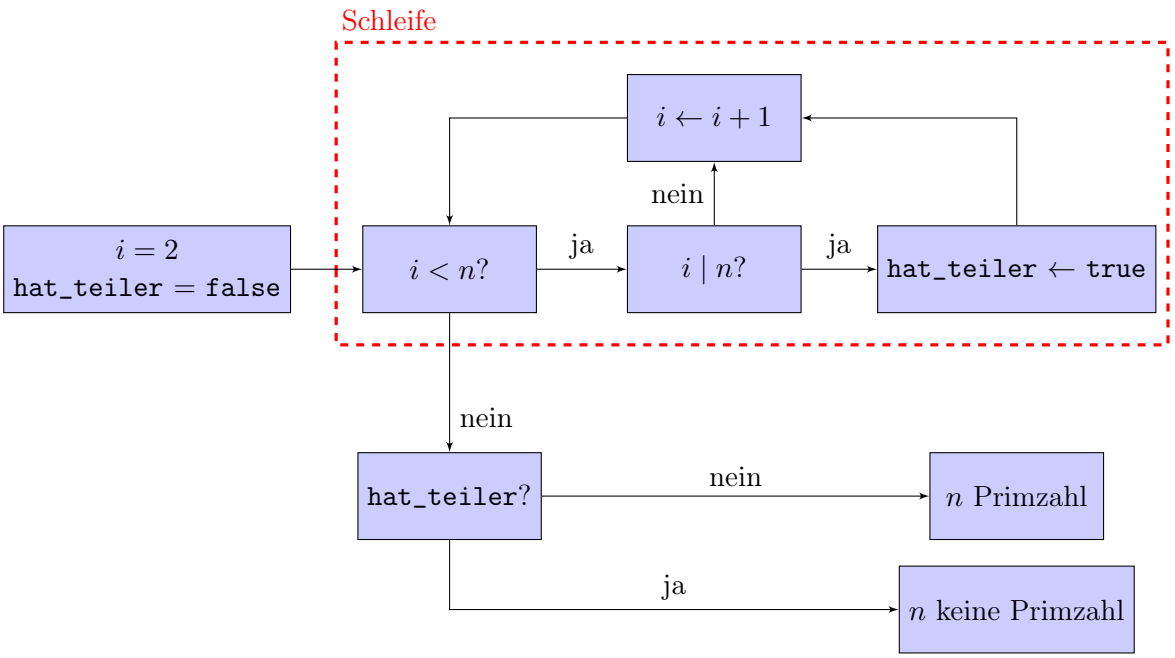
1. Geht in ein Verzeichnis, in dem eine `.cpp`-Datei liegt und kompiliert sie. Macht ein `ls -l` und vergleicht die Rechte der `.cpp`-Datei mit der kompilierten Datei.
2. In der Datei `/etc/shadow` stehen in verschlüsselter Form gespeichert die Kennwörter aller Benutzerinnen auf dem System. Macht ein `ls -l /etc/shadow` und schaut euch die Dateirechte an. Welche Bits sind gesetzt?

Spiel:

1. Versucht, `/etc/shadow` in einem Editor zu öffnen.
2. Legt (z.B. mit dem Texteditor) eine Datei (Es geht nicht um Kompilierung, also muss das keine `.cpp`-Datei sein. Gebt der Datei am Besten die Erweiterung `.txt`) in Eurem Homeverzeichnis an und macht sie dann mit `chmod a+w` world-writable (`a+w` heißt „füge das Recht Schreibbarkeit für alle Nutzerinnen hinzu“). Lasst eure Sitznachbarin die Datei an ihrem Rechner öffnen (ihr könnt mittels `pwd` herausfinden, in welchem Ordner sie suchen muss) und euch eine Nachricht hinein schreiben. Schaut nach (indem ihr die Datei neu öffnet) ob ihr die Nachricht lesen könnt.

Wir können mit bedingten Anweisungen den Kontrollfluss schon hilfreich beeinflussen. Aber nicht alle Dinge, die wir unseren Computer anweisen wollen zu tun, können wir alleine mit bedingten Anweisungen ausdrücken. Wir können zwar zum Beispiel testen, ob eine Zahl, eine andere teilt. Was aber, wenn wir testen wollen, ob eine Zahl eine Primzahl ist? Wir könnten jetzt beginnen, jede Menge bedingter Anweisungen zu machen, „ist die Zahl durch 2 teilbar, wenn ja, dann ist es keine, sonst teste, ob sie durch 3 teilbar ist, wenn ja, dann ist es keine, sonst teste, ob sie durch 5 teilbar ist, wenn ja, dann ist es keine…“, aber es sollte offensichtlich sein, dass wir so nur endlich viele Teilbarkeiten überprüfen können. Wir müssen zwar für jede Zahl nur endlich viele Teiler überprüfen, aber wenn die Zahl von der Nutzerin eingegeben wird, wissen wir im Voraus nicht, wie viele das sind!

Für solche Aufgaben wurden Schleifen erfunden. Sie sind ein Mittel, um eine Menge von Anweisungen häufig auszuführen, solange eine von uns fest gelegte Bedingung erfüllt ist. Wenn wir zum Beispiel testen wollen, ob eine Zahl eine Primzahl ist, wäre ein einfacher Algorithmus die so genannte Probedivision: Gehe von 2 aufwärts alle Zahlen (die kleiner sind, als die Eingabe) durch, teste, ob sie die Eingabe teilen – wenn ja, merken wir uns, dass die Zahl einen Teiler hat. Haben wir alle Zahlen durchprobiert handelt es sich um eine Primzahl genau dann, wenn wir keinen Teiler gefunden haben. Dafür benötigen wir einen neuen Datentyp nämlich `bool`, dieser hat genau zwei Zustände `true` und `false`. Damit können wir uns also merken, ob wir einen Teiler gefunden haben. Wir können die Probedivision wieder in einem Kontrollflussdiagramm ausdrücken (n ist dabei die zu testende Zahl, i ist der Teiler, den wir gerade testen wollen und `hat_teiler` gibt an, ob wir schon einen Teiler gefunden haben):



Das Besondere an Schleifen ist, dass sie geschlossene Kreise zum Kontrollflussdiagramm hinzufügen. Das erlaubt es uns, die gleiche Anweisung beliebig oft zu wiederholen.

Wenn wir dieses Kontrollflussdiagramm in C++ gießen, sieht dies so aus:

prim.cpp

```cpp
#include <iostream>

int main() {
    int n;
    std::cout << "Gebe eine (positive) Zahl ein: ";
    std::cin >> n;

    if (n <= 0) {
        std::cerr << "Die Zahl soll positiv sein!" << std::endl;
        // Wir benutzen return, um unser Programm vorzeitig
        // abzubrechen. 1 bedeutet, dass ein Fehler aufgetreten
        // ist, 0 bedeutet, alles ist okay
        return 1;
    }

    int i = 2;
    bool hat_teiler = false;
    while (i < n) {
        if ((n % i) == 0) {
            hat_teiler = true;
        }
        i = i + 1;
    }

    if (hat_teiler) {
        std::cout << n << " ist keine Primzahl" << std::endl;
    }
    else {
        std::cout << n << " ist eine Primzahl" << std::endl;
    }
    return 0;
}
```

Wie wir sehen, sind Schleifen auch nicht viel schwieriger zu handhaben, als bedingte Anweisungen. Statt `if` schreiben wir nun `while`, sonst ändert sich am Quellcode nicht viel.

Als kleine Nebenbemerkung sei hier gestattet, dass ihr hiermit nun alle Dinge kennengelernt habt, um *Turing-vollständig* programmieren zu können, d.h. ihr könnt alleine mit den Mitteln, die ihr bisher kennen gelernt habt, *jede* mögliche Berechnung anstellen!

Praxis:

1. Versucht, die Arbeitsweise eines debuggers zu simulieren. Geht selbst den Quellcode Zeile für Zeile durch, überlegt euch, was die Zeile tut und welchen Inhalt die Variablen haben. Überlegt euch dann, wohin der Computer (bei Kontrollflussstrukturen) als nächstes springen würde. Wenn ihr nicht weiter wisst, kompiliert das Programm für den debugger, startet es im debugger und geht es durch.
2. Warum funktioniert das Programm für den Fall $n = 2$?
3. Schreibt selbst ein Programm, welches eine Zahl von der Nutzerin entgegennimmt und dann alle Zahlen bis zu dieser Zahl ausgibt.
4. Modifiziert euer Programm, sodass es von dieser Zahl bis zu 0 hinunterzählt.

Spiel:

1. Das Programm funktioniert noch nicht korrekt, wenn man 1 eingibt (denn 1 ist keine Primzahl). Modifiziert es, sodass es auch für 1 funktioniert.
2. Kompiliert `whiletrue.cpp` und führt es aus. Was beobachtet ihr? Warum? (Ihr könnt das Programm abbrechen, indem ihr `Strg+C` drückt)

`whiletrue.cpp`

```cpp
#include <iostream>

int main() {
    int j = 1;
    while (j > 0) {
        std::cout << j << std::endl;
    }
    return 0;
}
```

Wir haben mittlerweile hinreichend viele verschiedene Verschachtelungen im Quellcode kennen gelernt, dass es sich lohnt, ein paar Worte über coding styĺe zu sprechen.

Schon wenn ihr euch während dieses Kurses an einen von uns wendet und um Hilfe bittet, ergibt sich das Problem der Lesbarkeit von Quellcode. Um euch zu helfen, sollte man möglichst mit einem Blick erfassen können, was euer Code tut, wie er strukturiert ist, welche Variable was bedeutet. Um dies zu unterstützen, gibt es mehrere Dinge, auf die man achten kann.

Einrückung Wie euch vermutlich aufgefallen ist, sind an verschiedenen Stellen im Code einzelne Zeilen ein wenig eingerückt. Dies ist vermutlich das wichtigste Werkzeug, welches zur Verfügung steht, um die Lesbarkeit von Code zu unterstützen (auch, wenn es nicht nötig ist, um formal korrekte Programme zu schreiben). Die einzelnen Einheiten des Kontrollflusss werden dadurch visuell voneinander abgegrenzt, was es einfacher macht, den Programmverlauf zu verfolgen.

Wie genau eingerückt werden sollte, darüber scheiden sich die Geister. Man kann mit mehreren Leerzeichen oder durch Tabulatoren einrücken. Empfehlenswert ist auf jeden Fall, mehrere gleichförmige „Ebenen“ zu haben (z.B. 4,8,12,... Leerzeichen zu Beginn der Zeile). Eine Faustregel für gut lesbare Einrückung ist, immer wenn man eine geschweifte Klammer öffnet, eine Ebene tiefer einzurücken und immer, wenn man eine geschweifte Klammer schließt, wieder eine Ebene zurück zu nehmen.

Klammern Aus der Schule kennt ihr das Prinzip „Punkt- vor Strichrechnung“. Dies ist eine Regel, die so genannte *Präzedenz* ausdrückt, also die Reihenfolge, in der Operatoren ausgewertet werden. Punkt vor Strich ist allerdings nicht aussreichend, um vollständig zu beschreiben, wie sich Operatoren in Gruppen verhalten. Schaut euch z.B. den Ausdruck `3 * 2 / 3` an. Da der Computer Ganzzahldivision benutzt, kommen hier unterschiedliche Ergebniss raus, je nachdem, ob zunächst das `*` oder das `/` ausgewertet wird. Im ersten Fall erhalten wir `6 / 3 == 2`, wie wir erwarten würden. Im zweiten Fall wird aber abgerundet, sodass wir `3 * 0 == 0` erhalten.

Um solche und ähnliche Uneindeutigkeiten zu vermeiden, bietet es sich an, Klammerung zu verwenden. Selbst wenn wir im obigen Fall *wissen* in welcher Reihenfolge die Operatoren ausgewertet werden, jemand der unseren Code liest weiß das vielleicht nicht. Einfach von vornherein die gewollte Reihenfolge der Auswertung zu klammern verhindert Verwirrung bei uns über das Verhalten des Computers, als auch bei Menschen, die später wissen wollen, was wir meinten.

Kommentare Wir haben schon in mehreren Quellcodedateien Kommentare verwendet, um einzelne Dinge zu erklären. Insgesamt bietet es sich an, dies selbst ebenfalls zu tun, um den Programmfluss dem Leser von Quellcode klar zu machen. Das heißt nicht, dass man jede Anweisung noch einmal mit einem Kommantar versehen sollte, der sie ausführlich erklärt, aber an wichtigen Punkten können einem kurze Kommentare das Leben enorm vereinfachen. Und ihr dürft nicht vergessen, dass ihr euch vielleicht selbst in ein oder zwei Jahren noch einmal euren eigenen Quellcode anschauen müsst und ihr werdet wirklich überrascht sein, wie wenig ihr von dem

Zeug, welches ihr selbst geschrieben habt, verstehen werdet.

Leerzeichen Weniger wichtig als die ersten drei Punkte können trotzdem gezielte Leerzeichen (z.B. zwischen Operatoren und Operanden in arithmetischen Ausdrücken) die Lesbarkeit enorm erhöhen. Gerade in arithmetischen Ausdrücken ist es eine gute Angewohnheit.

Es gibt sicher noch viele Regeln, über die ihr im Laufe eures Lebens stolpern werdet, wenn ihr euch entschließen solltet, regelmäßig zu programmieren. Häufig werdet ihr euch darüber ärgern, manchmal zu recht. Aber versucht im Zweifel einen halbwegs sauberen Stil auch als euren eigenen Verbündeten zu sehen, denn ob es nun vergessene Klammern, Semikolons oder versteckte Fehler in der Operatorpräzedenz sind, ein sauberer Stil kann euch bei allen enorm helfen sie aufzuspüren.

Praxis:

1. Eine weit verbreitete einfache Aufgabe, die in Bewerbungsgesprächen auf Stellen als Programmiererin häufig gestellt wird, ist *FizzBuzz*. In `fizzbuzz.cpp` ist eine möglich Lösung für diese Aufgabe gegeben. Könnt ihr (nur mittels des Quellcodes) sagen, was das Programm tut?
2. Nutzt die oben gegebenen Faustregeln, um den Quellcode lesbarer zu machen. Ihr müsst nicht alles bis aufs Wort befolgen, macht einfach so lange weiter, bis ihr findet, man kann hinreichend schnell verstehen, was hier passieren soll.

fizzbuzz.cpp

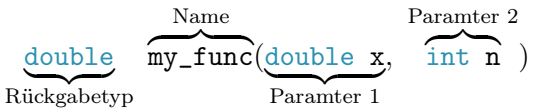
```cpp
#include <iostream>

int main() {
int i=1;
while (i<100){
if (i%3==0){
if (i%5==0){
std::cout<<"FizzBuzz"<<std::endl;
}else{
std::cout<<"Fizz"<<std::endl;
}}else if(i%5==0){
if(i%3==0){
std::cout<<"FizzBuzz"<<std::endl;
}else{
std::cout<<"Buzz"<<std::endl;
}}else{
std::cout<<i<<std::endl;
}
i=i+1;
}return 0;}
```

Spiel:

1. Entfernt in eurem veränderten Quellcode eine geschweifte Klammer eurer Wahl. Lasst eure Sitznachbarin über den Quellcode schauen und die fehlende Klammer finden.

Aus der Mathematik kennt ihr bereits Funktionen, wie zum Beispiel $f(x) = 4x^3 - 8x^2 + 16x - 12$. Eine wichtige Idee dahinter ist es einfach $f(3)$ zu schreiben, wenn man eigentlich $4 \cdot 3^3 - 8 \cdot 3^2 + 16 \cdot 3 - 12$ meint. Da dies häufig vorteilhaft ist, wurde diese Funktionalität in die meisten Programmiersprachen übernommen.

Eine Funktion in `C++` besteht aus zwei Teilen: der *Signatur* und dem *Funktionsrumpf*. Die Kombination von Parametertypen und Rückgabetyp bildet die Signatur einer Funktion. Parameter sind Werte, die der Funktion übergeben werden, zum Beispiel das x in $f(x)$. Für eine Funktion `my_func`, die x^n berechnen soll, könnte eine Signatur so aussehen:



Diese Signatur besteht also aus einem Datentypen, der den Rückgabetypen der Funktion bestimmt, direkt gefolgt von dem Namen der Funktion, der beliebig gewählt werden kann. Und dahinter in Klammern werden die einzelnen Paramter durch Komma getrennt angeben, wobei ein Paramter immer aus dem Datentyp des Paramters und einem beliebigen Namen für den Paramter besteht. In diesem Fall ist also `double` der Rückgabewert, `my_func` der Name, `x` ein Parameter mit dem Typ `double` und `n` ein Paramter mit dem Typ `int`. Damit können dann Werte an die Funktion in der Form `my_func(1.41, 2)` übergeben werden.

An dieser Stelle ist der Unterschied zwischen Rückgabe und Ausgabe wichtig: Eine Ausgabe (gekennzeichnet durch `std::cout`) gibt Informationen auf dem Bildschirm für die Nutzerin aus, eine Rückgabe (gekennzeichnet durch `return`) gibt hingegen ein bestimmtes Ergebnis an einen anderen Teil des Programmes zurück, damit dieser dort in einer Variable gespeichert oder direkt weiter verarbeitet werden kann. Dabei kann man sich vorstellen, dass der Funktionsaufruf nach dem die Funktion ausgeführt wurde durch den Rückgabewert ersetzt wird. Dies könnte für die Funktion `my_func` folendermaßen aussehen:

$$\texttt{f(5.0 + f(3.0, 2), 3)} \mapsto \texttt{f(5.0 + 9.0, 3)} \mapsto \texttt{f(14.0, 3)} \mapsto \texttt{2744}$$

Der Funktionsrumpf beinhaltet den Code, der beim Funktionsaufruf tatsächlich ausgeführt wird. Dieser wird wie in einer Schleife von `{` und `}` umschlossen. Innerhalb dieser Klammern kann dann beliebiger Code ausgeführt werden, wie auch in der `main`-Funktion. Dabei kann auf die Parameter einfach mit dem in der Signatur definierten Namen zugegriffen werden. Also in unserem Beispiel mit `x` und `n`. Vor dem Ende des Funktionsrumpfes muss eine Rückgabe mit `return` ausgeführt werden. Das kann zum Beispiel so `return x;` oder so `return 5;` aussehen.

Funktionen werden beispielsweise benötigt, wenn bestimmte Programmteile häufiger mit verschiedenen Parametern ausgeführt werden sollen. Die Collatz-Vermutung[4] besagt für

[4] https://de.wikipedia.org/wiki/Collatz-Vermutung

die Folge:

$$x_n = \begin{cases} \frac{x_{n-1}}{2} & x_{n-1} \text{ ist gerade} \\ 3 \cdot x_{n-1} + 1 & x_{n-1} \text{ ist ungerade} \end{cases}$$

dass jeder Startwert x_1 aus den natürlichen Zahlen nach endlich vielen Schritten bei der 1 angelangt. Zum Beispiel für den Startwert $x_1 = 42$:

$$42 \mapsto 21 \mapsto 64 \mapsto 32 \mapsto 16 \mapsto 8 \mapsto 4 \mapsto 2 \mapsto 1 \mapsto 4 \mapsto 2 \mapsto 1 \mapsto \dots$$

Wenn nun die Frage aufkommt was die nächsten Folgenglieder von verschiedenen Zahlen sind, wäre ein möglicher Lösungsweg eine Funktion zu schreiben, die der Nutzerin die nächste Zahl in dieser Folge zurückgibt.

funktion.cpp

```cpp
#include <iostream>

int collatz(int x) {
    int erg;

    if (x % 2 == 0) {
        erg = x / 2;
    } else {
        erg = 3*x + 1;
    }

    return erg;
}

int main() {
    int eingabe;

    std::cout << "Mit welcher Zahl moechtest du starten? ";
    std::cin >> eingabe;

    int x1 = collatz(eingabe);
    int x2 = collatz(x1);
    int x3 = collatz(x2);
    //bis hierin haben keine Ausgaben statt gefunden, aber collatz wurde
    //dreimal aufgerufen. Die Zahlen x1, x2 und x3 sind die naechsten
    //drei Glieder von x (der von der Nutzerin eingegebenen Zahl) aus
    //gesehen.

    //Hier werden der Nutzerin nun die Ergebnisse angezeigt:
    std::cout << eingabe << " -> " << x1 << " -> "
        << x2 << " -> " << x3 << std::endl;
```

```
32      return 0;
33  }
```

Praxis:[5]

1. Verändert das Programm in `funktion.cpp` so, dass es nicht die einzelnen Zahlen `x1`, `x2` und `x3`, sondern die Summe dieser ausgibt.
2. Kompiliert das angepasste Programm und lasst es im debugger Schritt für Schritt durchlaufen, setzt dafür wieder einen breakpoint für die `main`-Funktion. Sobald der debugger euch anzeigt, als nächstes die Funktion ausführen zu wollen, `step` statt `next` aufrufen, sodass der debugger in die Funktion hineinspringt.
3. Schreibt eine Funktion die ein `double` entgegen nimmt und das Quadrat davon zurück gibt. (Hierbei sollt ihr keine Pakete wie `math.h` oder `cmath` benutzen.)

Spiel:

1. Schreibt eine Funktion (nach der Funktion `collatz` und vor `main`), die einen `int` entgegen nimmt und die Anzahl der Schritte bestimmt bis die Folge bei der 1 angekommen ist und diese als `int` zurückgibt. (Die Funktion sollte also die Signatur `int schritte(int x)` haben.) Probiert die Funktion aus.
2. Versucht jetzt zwei Zahlen von der Nutzerin entgegen zu nehmen und vergleicht mithilfe von der gerade geschriebenen Funktion, welche Zahl mehr Schritte bis zur 1 braucht.
3. Was passiert, wenn ihr in einer Funktion den `return`-Ausdruck vor dem Ende eurer Funktion benutzt?
4. Vertauscht in `funktion.cpp` die Funktion `collatz` mit der Funktion `main` (verschiebt also die gesamte Funktion `collatz` an das Ende der Datei). Versucht, die Datei zu kompilieren. Was ist die Fehlermeldung des Compilers?
5. Verschiebt die Funktion `collatz` *in* die `main`-Funktion (also irgendwo nach der öffnenden geschweiften Klammern, aber vor die dazu gehörige schließende). Versucht, die Datei zu kompilieren. Was ist die Fehlermeldung des Compilers?
6. Implementiert die Funktion, die x^n umsetzt, ignoriert dabei zunächst negative Exponenten.
   (Wie in Praxis 3, sollt ihr auch hier keine vorgefertigten Pakete benutzen. *Tipp:* Die Signatur ist bereits oben gegeben, für den Funktionsrumpf könnten sich Schleifen eignen.)
7. Eure Funktion kann sich auch selbst aufrufen. Versucht damit eure Funktion auf negative Exponenten zu erweitern, indem ihr benutzt, dass gilt $x^{-n} = \left(\frac{1.0}{x}\right)^n$.
8. Schaut euch eure bisherigen Lösungen an. Findet ihr noch häufiger Stellen, an denen

[5] In dieser Lektion gibt es ein paar mehr Aufgaben als in anderen Lektionen, lasst euch davon nicht entmutigen!

ihr einzelne Teilprogramme in Funktionen auslagern könnt?

Vielleicht habt ihr euch irgendwann gewundert, was eigentlich das `std::` ist, was wir vor so viele Dinge schreiben. Warum müssen wir es z.B. vor `string` schreiben, aber nicht vor `int`?

Die Antwort auf die Frage ist die `C++` Standardbibliothek. So wie eigentlich jede Programmiersprache, definiert sich `C++` nicht nur durch die *Syntax* – also die genaue Spezifikation, wie ein Quellcodeprogramm aufgebaut ist, wie eine Anweisung aussieht und ob wir z.B. ein Semikolon am Ende jeder Anweisung brauchen – sondern auch über die im Sprachumfang enthaltene Standardbibliothek, die einem nützliche Funktionen und Objekte für Ein- und Ausgabe, komplexe Datentypen oder zur Interaktion mit dem Betriebssystem gibt.

`C++` nutzt das Prinzip von so genannten *Namespaces*. Das ist eine Möglichkeit, eine Gruppe von Datentypen, Funktionen und Variablen unter einem gemeinsamen Namen zu verpacken. Stellt euch vor, ihr wollt in eurem Programm eine Funktion `random` definieren. Ihr hättet ganz schön große Problem, denn der Compiler wüsste dann, wenn ihr `random` schreibt nicht, ob ihr eure eigene Funktion meint, oder ob ihr die Standard-`C++` Funktion meint.

Aus diesem Grund leben alle Funktionen und Objekte der `C++` Standardbibliothek im Namespace `std`. Um auf sie zuzugreifen, müsst ihr dem Compiler sagen, aus welchen Namespace ihr sie haben wollt, dazu schreibt ihr eben den Namen des Namespaces und zwei Doppelpunkte vor den Namen der Variablen (oder Funktion), also ist `std::cout` „Die Variable `cout` aus dem Namespace `std`“.

namespaces.cpp

```cpp
#include <iostream>

namespace eins {
    int x = 5;
}

namespace zwei {
    double x = 2.718281828459;
}

int main () {
    std::cout << eins::x << std::endl;
    std::cout << zwei::x << std::endl;

    return 0;
}
```

Praxis:

1. Was gibt dieses Programm aus, wenn man es kompiliert und ausführt? Überlegt es euch zuerst selbst, dann probiert es aus.

Wenn ihr wissen wollt, was die Standardbibliothek alles so für euch bereit stellt, könnt

ihr euch in der Referenz der Standardbibliothek unter

http://www.cplusplus.com/reference/

umschauen. Es ist nicht ganz einfach, zu wissen, wo man dort findet, was man sucht, in dem Fall kann Google ein im Regelfall ganz gut helfen. Wenn man einmal weiß, *was* man sucht, findet man in der Referenz vor allem, *wie* man es benutzt.

Die Standardbibliothek ist aufgeteilt auf so genannt *Headerdateien*, die wir mittels `#include` benutzen können. Diese Header sind, worunter ihr zuerst wählt, wenn ihr auf obige url geht. Jeder Header definiert dann eine Menge an Funktionen, Typen und Klassen (was genau eine Klasse ist, lernt ihr spätestens in der Vorlesung).

Praxis:

1. Findet in der C++-Referenz eine Funktion, um die aktuelle Zeit auszugeben. Schreibt ein Programm, welches die Aktuelle Zeit ausgibt (es reicht, einen so genannten *Unix timestamp*[6] auszugeben). Ihr könnt die Ausgabe eures Programms mit der Ausgabe von `date +%s` vergleichen, um es zu testen.
2. Mit der Funktion `rand()` könnt ihr Zufallszahlen generieren (ihr braucht dazu den Header `<cstdlib>`). Schreibt ein Programm, welches vom Benutzer eine Zahl entgegennimmt und diese Anzahl Zufallszahlen ausgibt. Führt das Programm mehrfach aus. Was fällt auf?
3. Konsultiert die C++-Referenz, um heraus zu finden, wo das Problem liegt. Könnt ihr es beheben?

F

[6] Der Unix-Timestamp ist eine einzelne Zahl, die alle Sekunden seit dem 1.1.1970 anzeigt und die also jede Sekunde eins größer wird

Als nächstes wichtiges Konzept in C++ werden wir uns *Vektoren* anschauen. Vektoren sind eine Möglichkeit, mehrere Elemente des gleichen Typs zusammen zu fassen. Statt also einer Stelle im Speicher, an der ein `int` liegt, habt ihr einen ganzen Speicherbereich, in dem 100 (oder eine beliebige andere Anzahl an) `int`s liegen.

Die Elemente in einem Vektor sind durchnummeriert, man nennt die Nummer eines Vektorelements seinen *Index*. Das erste Element hat den Index 0, das zweite den Index 1 und das 100te hat den Index 99 – Vorsicht also, der höchste Index in einem Vektor mit 100 Elementen ist 99, nicht 100! Um einen Vektor zu definieren, schreibt ihr:

`std::vector<`*Datentyp*`> einvektor;`

um den Datentypen schreibt ihr also noch `std::vector<...>`. Um ein Element am Ende einzufügen gibt es

`einvektor.push_back(`*Element*`);`

und auf ein bestimmtes Vektorelement zugreifen könnt ihr indem ihr seinen Index in eckigen Klammern hinter den Namen schreibt.

`einvektor[`*Index*`]`

Wenn ihr die Größe eines Vektors wissen wollt könnt ihr

`einvektor.size()`

verwenden.

Folgendes Programm macht hoffentlich die Syntax klar:

vector.cpp

```
1  #include <iostream>
2  #include <cstdlib>
3  #include <ctime>
4  #include <vector>
5
6  int main() {
7      std::vector<int> einvector;
8
9      srand(time(NULL));
10
11     int i = 0;
12     while (i < 100) {
13         einvector.push_back(rand());
14         i = i + 1;
15     }
```

```
16      std::cout << "An Index  0 steht " << einvector[0] << std::endl;
17      std::cout << "An Index 42 steht " << einvector[42] << std::endl;
18      std::cout << "An Index 99 steht " << einvector[99] << std::endl;
19
20      // und nun alle werte auf 42 setzen ;-)
21      i = 0;
22      while (i < einvector.size()) {
23          einvector[i] = 42;
24          i = i + 1;
25      }
26      std::cout << "An Index  0 steht nun " << einvector[0] << std::endl;
27      std::cout << "An Index 42 steht nun " << einvector[42] << std::endl;
28      std::cout << "An Index 99 steht nun " << einvector[99] << std::endl;
29
30      return 0;
31  }
```

Es gibt einige Dinge, zu beachten, wenn ihr mit Vektoren arbeitet. Das wichtigste ist oben schon genannt – lasst euch nicht davon verwirren, dass Indizes bei 0 anfangen. Aus Versehen über den Vektor hinaus zu schreiben oder zu lesen ist ein so häufiger Fehler, dass er seinen eigenen Namen bekommen hat: *Off-by-one* error. Wichtig ist, dass der Compiler diesen Zugriff nicht verhindern wird! Das ist von daher eine sehr fiese Sache, als dass dieser Fehler auch beim Ausführen nicht immer Probleme machen wird – aber manchmal lässt er auch euer Programm spontan abstürzen in einem so genannten *segmentation fault*.

Praxis: Wir wollen die Seite http://www.ich-kann-mich-nicht-entscheiden.de/ nachmachen und eine Entscheidungshilfe programmieren, die aus mehreren von der Nutzerin gegebenen Möglichkeiten eine per Zufall auswählt.

1. Schreibt zunächst ein Programm, welches einen Vektor aus 10 Strings erstellt und die Nutzerin 10 mal nach einer Antwortmöglichkeit fragt und die gegebenen Antworten nacheinander in den Vektor schreibt.
2. Fügt nun die Möglichkeit zu, weniger Antworten anzugeben. Dazu könnt ihr zum Beispiel zuerst fragen, wie viele Antwortmöglichkeiten es geben soll und dann so oft fragen.
3. Ihr könnt dann (so wie in dem Programm oben) eine Zufallszahl erzeugen. Um sicher zu gehen, dass sie nicht zu groß wird, könnt ihr den Rest bei Teilung durch Anzahl der eingegebenen Antworten nehmen (sind z.B. 7 Antworten angegeben und die Zufallszahl ist 25778, so wäre der resultierende Index `25778 % 7 == 4`). Gebt dann die Antwortmöglichkeit aus, die dem zufallsgeneriertem Index entspricht.

Sollte euer Programm einmal nicht korrekt kompilieren, denkt daran die Fehlermeldung sorgfältig zu lesen, damit sie euch Aufschluss über die Fehlerursache gibt. Sollte euer Programm zwar kompilieren, sich dann aber komisch verhalten, denkt daran, den debugger

zu benutzen und es Schritt für Schritt durchzugehen, um die Fehlerquelle zu finden. Solltet ihr trotz alledem nicht weiter kommen, oder nicht wissen, was von euch erwartet wird, fragt einen von uns.

Spiel:

1. Schreibt ein Progamm, welches einen Vektor mit einer beliebigen Anzahl an Elementen befüllt und dann auf einen Index weit über der tatsächlichen Größe schreibt. Was beobachtet ihr?[7]
2. Implementiert das *Sieb des Eratosthenes*[8], wenn ihr noch nicht ausgelastet seid. Denkt daran, es initial zu befüllen und denkt euch eine clevere Möglichkeit aus, das „Streichen“ zu realisieren.

[7] Es wird natürlich Quark sein was dabei rauskommt, es geht hier haupsächlich darum das ihr seht was für einen Fehler das gibt

[8] https://de.wikipedia.org/wiki/Sieb_des_Eratosthenes

Wir haben uns bereits ausführlich mit den Fehlermeldungen des Compilers auseinander gesetzt. Wir haben auch festgestellt, dass es viele Fehler gibt, die uns der Compiler durchgehen lässt, die aber im späteren Programmlauf zu Problemem führen können. Und wir haben den debugger kennengelernt, um die Ursache solcher Fehler zu finden und sie beheben zu können. Nun wollen wir uns anschauen, wie wir den Compiler in gewisser Weise „wachsam“ machen können, sodass er uns auch über Dinge informiert, die zwar keine Fehler sind, aber möglicherweise zu unerwartetem Verhalten führen können.

Praxis:

1. Kompiliert `warnings.cpp`. Testet das Program mit verschiedenen Eingaben. Was beobachtet ihr?

warnings.cpp

```cpp
#include <iostream>

int main() {
    int n;
    std::cout << "Gebe eine Zahl ein: " << std::endl;
    std::cin >> n;

    if (n = 0) {
        std::cout << "n = " << n
            << ", also ist n Null!" << std::endl;
    } else {
        std::cout << "n = " << n
            << ", also ist n nicht Null!" << std::endl;
    }
    return 0;
}
```

Fehler wie diese können nicht mehr auftreten, wenn ihr *warnings* anschaltet. Dies passiert über weitere Optionen, die wir dem Compiler mitgeben.

Praxis:

2. Kompiliert `warnings.cpp` mittels `g++ -Wall -o warnings warnings.cpp`.

Warnings sehen im Wesentlichen genauso aus, wie Fehler. Der einzige Unterschied ist, dass statt `error` in der Zeile ein `warning` steht und dass der Compiler zwar die Meldung ausgibt, aber trotzdem ganz normal das Programm erzeugt. Trotzdem solltet ihr warnings ernst nehmen. Die meisten „ernsthaften“ Programmierer aktivieren warnings, da die meisten davon gefundenen Meldungen tatsächlich behoben werden sollten.

Ihr könnt mit verschiedenen Parametern beeinflussen, welche warnings euch der Compiler anzeigt und wie er damit umgeht. Wir wollen hier nur drei nennen:

-Wall Aktiviert „alle“ warnings. Tatsächlich stimmt das so nicht, aber wenn ihr immer daran denkt, diesen Parameter anzugeben, solltet ihr bereits den allergrößten Teil

der vom Compiler entdeckbaren Probleme, die ihr erzeugt, abfangen können.

-Wextra Aktiviert noch ein paar warnings (ihr seht, warum „alle“ in Anführungszeichen stand). In einigen Fällen sind auch die hier aktivierten warnings für euch relevant.

-Werror Dieser Parameter führt dazu, dass jede warning als Fehler behandelt wird, d.h. der Compiler bricht ab, wenn er eine warning produzieren würde. Dieser Parameter ist hochumstritten und in der Praxis sollte man ihn eigentlich nicht einsetzen. Für Beginner kann er aber hilfreich sein, da er von vornherein antrainiert, warnings ernst zu nehmen und sie nicht einfach zu ignorieren.

Wenn ihr bei jedem Compilerlauf nun warnings anschalten wollt – und am Besten auch noch für den debugger, falls ihr ihn braucht – wird der Befehl zum Kompilieren langsam sehr lang. Für die Dauer des Vorkurses könnt ihr euch mittels

```
alias[9] compile="g++ -Wall -Wextra -Werror -O0 -g3"
```

ein bisschen Arbeit ersparen. Ein einfaches `compile -o foo foo.cpp` wird dann automatisch den Compiler mit allen angegebenen Optionen aufrufen. Den `alias` müsst ihr allerdings jedes mal, wenn ihr in der Zwischenzeit ein Terminal geschlossen habt, neu ausführen, denn er geht bei Schließung eines Terminals verloren!

Praxis:

3. Mit der warning in `warnings.cpp` möchte euch der Compiler darauf hinweisen, dass ihr hier eine Zuweisung macht, obwohl ein Wahrheitswert[10] erwartet wird. Es gibt zwei Möglichkeiten, die warning zu beheben: Ihr könnt Klammern um die Zuweisung machen (und dem Compiler so sagen, dass ihr euch sicher seid, dass hier eine Zuweisung hinsoll), oder ihr könnt aus der Zuweisung einen Vergleich machen. Welche Möglichkeit erscheint euch angebracht? Setzt sie um und kompiliert das Programm erneut (mit warnings).

4. In `warnprim.cpp` haben wir einen Fehler eingebaut. Kompiliert das Programm mit warnings und korrigiert ihn.

warnprim.cpp

```
1  #include <iostream>
2
3  bool istprim(int n) {
4      int i = 2;
5      while (i < n) {
6          if ((n % i) == 0) {
7              return false;
```

[9] alias ist ein shell-befehl, der euch eine Reihe von Anweisungen und Befehlen neu benennen lässt. In diesem Fall ist danach zum Beispiel der noch nicht existente Befehl `compile` ein neuer Name für `g++ -Vall -Wextra -Werror -O0 -g3`. Beachtet, dass ihr hier genau das abtippen müsst, was da steht, mit Leerzeichen und allem

[10] Ein Wahrheitswert (`bool`) ist ein Variablentyp, der die Werte wahr (`true`) und falsch (`false`) annehmen kann.

```
        }
        i = i + 1;
    }
}

int main() {
    int n;
    std::cout << "Gebe eine (positive) Zahl ein: ";
    std::cin >> n;

    if (n <= 0) {
        std::cerr << "Die Zahl soll positiv sein!" << std::endl;
        // Wir benutzen return, um unser Programm vorzeitig
        // abzubrechen. 1 bedeutet, dass ein Fehler aufgetreten
        // ist, 0 bedeutet, alles ist okay
        return 1;
    }

    if (istprim(n)) {
        std::cout << n << " ist prim" << std::endl;
    } else {
        std::cout << n << " ist nicht prim" << std::endl;
    }
    return 0;
}
```

Spiel:

1. Die Auswirkungen von warning-Parametern hängen stark von anderen Parametern ab. Wir benutzen z.B. häufiger einmal den Parameter `-O0`. Dieser legt das Level an *Optimierung* fest, also wie sehr euer Compiler versucht, euren Code umzustrukturieren, sodass er sich gleich verhält, aber schneller läuft. `-O2` würde bedeuten, dass relativ stark optimiert wird.

   `zaehlen.cpp` enthält ein Programm, um bei einem von der Nutzerin eingegebenen Wort zu zählen, wie oft der Buchstabe a vorkommt. Kompiliert es mit `g++ -Wall -O2 -o zaehlen zaehlen.cpp` (probiert es auch einmal ohne `-O2` oder ohne `-Wall`) und schaut euch die resultierende Warning an. Benutzt gegebenenfalls Google, um heraus zu finden, was sie bedeutet und wie ihr sie beheben könnt.

zaehlen.cpp

```
#include <iostream>
#include <string>

int zaehle_a(std::string str) {
    int erg;
```

```
6
7       unsigned i = 0;
8       // unsigned funktioniert wie int,
9       // kann allerdings keine negativen
10      // Werte speichern.
11      while (i < str.length()) {
12          if (str[i] == 'a') {
13              erg = erg + 1;
14          }
15          i = i + 1;
16      }
17
18      return erg;
19  }
20
21  int main() {
22      std::string wort;
23
24      std::cout << "Gib ein Wort ein: ";
25      std::cin >> wort;
26
27      std::cout << "In deinem Wort kommt " << zaehle_a(wort)
28          << "-mal der Buchstabe a vor." << std::endl;
29      return 0;
30  }
```

Nachdem wir jetzt lange dröge und unspannende Lektionen und Beispiele hatten, wollen wir uns als Ende von Kapitel 1 einer ein wenig spannenderen Aufgabe widmen – wir wollen ein einfaches Spiel programmieren. Wir haben dazu Tic Tac Toe ausgewählt, da es relativ überschaubare Spiellogik besitzt. Ein- und Ausgabe, werden wir über die Konsole machen.

In `vorkurs/lektion17` findet ihr eine Datei `tictactoe.o`. Diese könnt ihr nicht in eurem Editor öffnen – sie enthält von uns bereitgestellte, bereits vorkompilierte Funktionen, die ihr nutzen könnt, um einen Anfang zu haben. Wir werden sie später Stück für Stück ersetzen.

Um die Funktionen zu nutzen, müsst ihr zwei Dinge tun: Ihr müsst sie einerseits in eurem Sourcecode *deklarieren*, andererseits müsst ihr sie beim Kompilieren mit *linken*.

Die Deklaration erfolgt ganz ähnlich, wie ihr auch vorgehen würdet, wenn ihr die Funktion selbst schreiben würdet: Ihr schreibt Rückgabetyp, Namen und Parameter der Funktion auf. Statt des Funktionenkörpers in geschweiften Klammern, beendet ihr die Zeile mit einem Semikolon. Da wir die Funktion aus einer anderen Datei laden wollen, müssen wir noch ein `extern` voranstellen. In `tictactoe.cpp` ist dies am Beispiel von `frage_feld_nummer` vorgemacht.

`tictactoe.o` definiert euch insgesamt folgende Funktionen:

frage_feld_nummer Nimmt einen Vektor mit 9 `int`s entgegen und gibt einen `int` zurück.

Gibt auf der Konsole eine Frage nach der Feldnummer aus (durchnummeriert von 0 bis 8), liest eine Feldnummer von der Nutzerin ein und gibt diese zurück. Die Funktion stellt sicher, dass die Feldnummer zwischen 0 und 8 liegt und dass das Feld noch nicht besetzt ist (sonst wird noch einmal nachgefragt).

gebe_feld_aus Nimmt einen Vektor mit 9 `int`s entgegen und hat als Rückgabetyp `void` (was für „keine Rückgabe“ steht).

Gibt das gegebene Feld auf der Konsole aus. Dabei werden die 9 Felder von oben links nach unten rechts von 0 beginnend durchnummeriert. Der 9-elementige Vektor stellt also das Feld dar. Eine 0 in einem Vektorelement bedeutet, dass das Feld leer ist, eine 1 bedeutet, dass sich dort ein **X** befindet und eine 2 bedeutet, dass sich ein **O** dort befindet. Andere Werte werden mit einem **?** dargestellt.

gewinnerin Nimmt einen Vektor mit 9 `int`s entgegen und hat als Rückgabetyp `int`.

Prüft, ob in diesem Zustand des Feldes bereits eine der Spielerinnen gewonnen hat. Die Funktion gibt 0 zurück, wenn noch niemand gewonnen hat, 1, wenn die Spielerin **X** gewonnen hat und 2, wenn die Spielerin **O** gewonnen hat. Sollte das Spiel unentschieden ausgegangen sein, wird eine 3 zurück gegeben.

Der zweite Teil, den ihr zur Benutzung der Funktionen braucht ist das Linken (was genau das bedeutet, wird später noch erklärt). Dies ist fürs Erste sehr einfach: Ihr gebt einfach dem `g++` Befehl zusätzlich zu eurer `.cpp` Datei noch `tictactoe.o` als zusätzliche

Inputdatei an.

tictactoe.cpp

```cpp
#include <iostream>
#include <vector>

extern int frage_feld_nummer(std::vector<int> feld);
// Fügt hier die anderen Funktionen ein

int main() {
    // Setup
    while (true) {
        // Input
        // Update
        // Display
    }
    return 0;
}
```

Praxis:

1. Ergänzt `tictactoe.cpp` um Deklarationen für die anderen beschriebenen Funktionen aus `tictactoe.o`. Einen Vektor als Parameter könnt ihr in genau der gleichen Notation angeben, wie ihr es euch in einer Funktion als Variable definieren würdet.
2. Das Grundgerüst eines Spiels ist die *input-update-display*-loop. Dies ist eine Endlosschleife, in der zunächst der *input* der Spielerin abgefragt wird. Anschließend wird der interne Spielzustand aktualisiert (*update*). Zuletzt wird der neue Spielzustand angezeigt (*display*). Der anfängliche Spielzustand wird vor dieser loop hergestellt (*setup*).

   `tictactoe.cpp` zeigt dieses Grundgerüst. Ergänzt den input- und den display-Teil mithilfe der gegebenen Funktionen. Ergänzt auch den setup-Teil; ihr braucht für den Spielzustand einerseits den Vektor, welcher das Spielfeld fassen soll, andererseits eine Variable für die Spielerin, die gerade am Zug ist und eine Variable, die das im aktuellen Zug eingegebene Feld speichert. Vergesst auch nicht, dass ihr das Feld zu Beginn 9 0en enhalten muss.
3. Nun müssen wir noch den Update-Teil ergänzen. Hier solltet ihr in das von der aktuellen Spielerin gewählte Feld mit deren Nummer füllen, testen, ob jemand gewonnen hat und wenn ja, die Siegerin ausgeben und euer Programm beenden (denkt daran, dass das Spiel auch unentschieden ausgehen kann). Sonst sollte die aktuelle Spielerin gewechselt werden.

Spiel:

1. Okay, das ist nun wirklich nicht schwierig zu erraten oder? Wenn ihr dem obigen Rezept gefolgt seid, habt ihr jetzt ein funktionierendes Tic-Tac-Toe Spiel. Und ihr

habt eine Sitznachbarin. Zählt eins und eins zusammen.

In der letzten Lektion klang es bereits an – was der Befehl `g++` eigentlich tut, ist mehr, als nur Kompilieren im strengen Sinne des Wortes. Wir wollen jetzt kurz erkunden, welche anderen Schritte in den Prozess vom Quellcode in die ausführbare Datei notwendig sind und wie sie geschehen. Das ist im Alltag nicht sehr wichtig, kann uns aber helfen, einige Fehlermeldungen besser zu verstehen. Von daher müsst ihr auch nicht alles hier beschriebene vollständig verstehen.

In Lektion 1 haben wir vereinfacht dargestellt, dass der Compiler eine Quelltextdatei mit der Endung `.cpp` nimmt und daraus direkt eine ausführbare Datei erstellt. Die Schritte, die hier eigentlich in einem Befehl durchgeführt werden, aber zu trennen sind, sind das *Kompilieren*, das *Assemblieren* und das *Linken*.

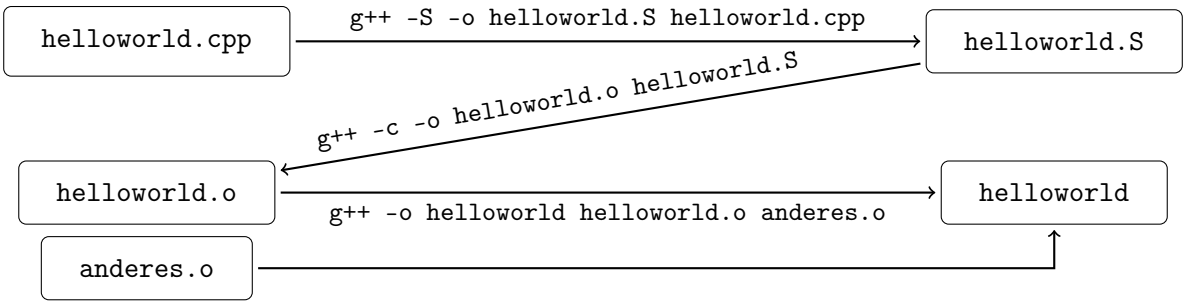
Das Kompilieren übersetzt unseren `C++`-Code in eine Zwischenform, so genannten *Assembler*. In Lektion 1 haben wir den Maschinencode angesprochen, in der Befehle und Parameter an Befehle in 1en und 0en dargestellt werden. Assembler ist quasi die nächst höhere Evolutionsstufe – statt die Befehle binär zu kodieren, gibt es für jeden Befehl ein so genanten *mnemonic*, also ein merkbares kurzes Wort. Ein Befehl ist allerdings deutlich weniger mächtig, als z.B. eine Anweisung in `C++`. Früher wurden ganze Betriebssysteme in Assembler geschrieben, da es einfach nichts Besseres gab, heutzutage ist Assembler bis auf die exotischsten Anwendungsfelder eigentlich ausgestorben, da es viel zu anstrengend und Fehleranfällig ist. Der Compiler tut aber noch mehr, als einfach nur in diese Zwischensprache zu übersetzen – er führt auch *Optimierungen* durch, d.h. er sortiert Anweisungen um, damit der Code schneller läuft, aber das Gleiche tut. Dieser Prozess ist sehr umständlich, aber heutige Compiler sind tatsächlich so gut im Optimieren, dass sie meistens deutlich schnelleren Code erzeugen, als ein Mensch es je könnte.

Der nächste Schritt ist dann das Assemblieren. Das übersetzt den Assembler des ersten Schrittes tatsächlich in Maschinensprache (genauer: In ein Dateiformat, welches ELF heißt, welches dann die Maschinensprache plus einiger Meta-Informationen enthält). Der Assembler erzeugt so genannte *Objectfiles*, die meistens die Endung `.o` haben (und im ELF-Format sind). Ein Objectfile enthält dann mehrere Funktionen (in Maschinencode) und Variablen, die es *exportieren* kann, d.h. Funktionen anderer Objectfiles die dagegen (im nächsten Schritt) gelinkt werden, können diese Variablen und Funktionen sehen. Der Vorteil, diesen Schritt vom vorhergehenden zu trennen ist, dass wir wenn wir wollen auch nur kompilieren können und den resultierenden Assembler betrachten – das kann uns helfen, Engpässe in unserem Code, an denen der Compiler nicht hinreichend gut optimiert zu erkennen und möglicherweise zu verbessern. z.B. in der Spielentwicklung ist sehr schnell laufender Code wichtig.

Der letzte Schritt ist das Linken. Hier werden mehrere Objectfiles genommen und miteinander verbunden, zu einer ausführbaren Datei. Wenn in einer der Objectfiles eine `main`-Funktion existiert, wird diese als Eintrittspunkt für das Programm genommen, sonst gibt es einen *Linkerfehler*. Ein Linkerfehler tritt auch auf, wenn wir versuchen, eine Funktion zu verwenden, die es nicht gibt (z.B. indem wir sie mittels `extern` deklarieren, ohne später das relevante Objectfile mit anzugeben). Linkerfehler deuten also darauf hin, dass wir vergessen haben, alle relevanten Dateien auf der Kommandozeile anzugeben, oder

dass eine `main`-Funktion fehlt, oder dass wir in mehren Dateien eine Funktion gleichen Namens haben, oder...

Um das Diagramm aus der ersten Lektion zu ergänzen, dies ist der Weg, den euer Programm durch die verschiedenen Phasen geht:



Der bisherige Befehl, den wir zum Kompilieren benutzt haben, ist tatsächlich nur ein Spezialfall von diesem: Geben wir nämlich auf der Kommandozeile eine input-Datei an, so rät `g++` anhand der Dateierweiterung und der Parameter, was wir damit tun wollen. Er führt dann alle Schritte, um von unserer input-Datei zu der gewünschten zu kommen automatisch aus, wenn wir also `g++ -o helloworld helloworld.cpp` eingeben, dann weiß der Compiler, dass wir eine ausführbare Datei wünschen (da wir weder `-c` noch `-S` angegeben haben) und dass er dafür kompilieren, assemblieren und linken muss (da wir ihm eine `.cpp` Datei gegeben haben). Genauso konnte er in der vorigen Lektion raten, dass `g++ -o tictactoe tictactoe.cpp tictactoe.o` heißt, dass wir eine ausführbare Datei wollen, die aus einem kompilierten und assemblierten `tictactoe.cpp` zusammen gelinkt mit `tictactoe.o` bestehen soll.

Praxis:

1. `assemble.cpp` enthält ein kleines (ziemlich nutzloses) Programm, welches zwei Zahlen addiert und das Ergebnis ausgibt. Kompiliert es (nun nur der erste Schritt in dem Diagramm, nicht so, wie in den vergangenen Lektionen) und schaut euch das resultierende `.S`-file in einem Editor an. Ihr müsst nicht verstehen, was genau hier überall passiert, aber vielleicht findet ihr ja die `main`-Funktion, die Definition der Variablen und die Addition?

   Wir können nun mal Optimierung anschalten – gebt dazu zusätzlich den Parameter `-O3` direkt nach dem `g++` an. Schaut euch das `.S`-file nun wieder im Editor an. Was fällt euch (im Vergleich zu vorher) auf?

2. Assembliert eines der im vorigen Schritt erzeugten `.S` files in ein `.o`-File.

3. Benennt in einem eurer bisherigen Programme die `main`-Funktion um und versucht, es zu kompilieren (wie in den bisherigen Lektionen, also alle Schritte auf einmal). Schaut euch die resultierenden Fehlermeldungen an. Wo wird euch der Linkerfehler ausgegeben?

4. Macht die Umbenennung wieder rückgängig und kompiliert das Programm erneut

– übergebt aber dieses mal den Quellcode doppelt (also z.B. `g++ -o helloworld helloworld.cpp helloworld.cpp`). Was beobachtet ihr? Könnt ihr die Beobachtung erklären?

assemble.cpp

```cpp
#include <iostream>

int main() {
    int a = 5;
    int b = 23;
    int c = a + b;
    std::cout << c << std::endl;
    return 0;
}
```

Dies ist die letzte Lektion des ersten Kapitels. In der vorletzten Lektion haben wir die grobe Struktur eines Tic Tac Toe Spiels implementiert, dafür haben wir ein paar Funktionen benutzt, die uns gegeben waren. Nun wollen wir diese Funktionen nachimplementieren („Implementieren“ heißt, dass man eine mehr oder weniger formale Spezifikation in Programmcode umsetzt). Für eine Beschreibung, was die Funktionen machen sollen, könnt ihr in der vorletzten Lektion nachschauen. Damit ihr eure eigene Implementationen testen könnt, haben wir noch einmal alle Funktionen mit beigefügt. Sie befinden sich in den Dateien `frage_feld_nummer.o`, `gebe_feld_aus.o` und `gewinnerin.o`.

Um eine Funktion zu implementieren, solltet ihr die dazugehörige `extern`-Deklaration aus eurer `tictactoe.cpp` löschen und dann die Funktion mit dem gleichen Namen (und den gleichen Parametern und Rückgabetypen) selbst definieren und implementieren. Ihr könnt, wenn ihr z.B. `gewinnerin` selbst implementiert habt, euer Programm mit

```
g++ -o tictactoe tictactoe.cpp frage_feld_nummer.o gebe_feld_aus.o
```

kompilieren. Je mehr Funktionen ihr selbst nachimplementiert, desto weniger gegebene `.o`-files müsst ihr natürlich angeben.

Es gibt es dieses mal auch keine Nummern für die einzelnen Teile – sucht euch doch selbst aus, in welcher Reihenfolge ihr sie bearbeiten wollt, sie ist ziemlich beliebig. Fangt am Besten mit dem Teil an, der euch am leichtesten erscheint.

Praxis:

- Implementiert `frage_feld_nummer` nach. Ihr solltet darauf achten, dass ihr in dieser Funktion auch testen müsst, ob ein gültiges Feld eingegeben wurde und ob das angegebene Feld leer ist.
- Implementiert `gebe_feld_aus` nach. Ihr könnt euch selbst aussuchen, wie ihr die Ausgabe gestalten wollt – es muss nicht genauso aussehen, wie unser Vorschlag. Die Wikipedia[11] kann euch z.B. helfen, ein schöneres Feld auszugeben. Fangt am Besten mit einer einfachen Ausgabe an und macht sie dann immer „fancier“.
- Implementiert `gewinnerin` nach. Bedenkt, dass ihr alle Möglichkeiten testet, auf die ein Gewinn möglich ist – also 3 Möglichkeiten, eine Reihe zu bilden, 3 Möglichkeiten, eine Spalte zu bilden und 2 Möglichkeiten für Diagonalen. Überlegt euch zunächst, wie ihr zwischen Feldnummer (0-8) und Reihen- bzw. Spaltennummer hin- und herrechnen könnt. Beachtet auch, dass es ein Unentschieden gibt, wenn alle Felder belegt sind, aber keine von beiden Spielerinnen gewonnen hat.

[11] http://en.wikipedia.org/wiki/Box-drawing_character

Ihr habt hiermit das erste (und bisher leider einzige) Kapitel unseres Programmiervorkurses abgeschlossen. Wir hoffen, ihr hattet dabei Spaß und habt genug gelernt, um euch gut auf eure erste Programmiervorlesung vorbereitet zu fühlen.

Rekapitulieren wir noch einmal unsere Eingangs formulierten „Lernziele“, was wir uns wünschen würden, dass ihr aus diesem Vorkurs mitnehmt:

- Ein Computer ist keine schwarze Magie
- Eine Konsole ist keine schwarze Magie
- Programmieren ist keine schwarze Magie
- Ihr wisst, wo ihr anfangt, wenn die Aufgabe ist „schreibt ein Programm, das...“
- Ihr entwickelt Spaß daran, Programmieraufgaben zu lösen
- Ihr wisst, was ihr tun könnt, wenn etwas nicht funktioniert

Von wie vielen davon habt ihr das Gefühl, sie erreicht zu haben? Wir würden uns über euer Feedback freuen!