Ein Buch zum Mitmachen und Verstehen

Mit Arduino-Workshop

C

von Kopf bis Fuß

Entdecken Sie die Geheimnisse der C-Gurus

Vermeiden Sie peinliche Zeigerfehler

Spielen Sie mit der C-Standard-bibliothek herum

Finden Sie heraus, wie make Ihr Leben verändern kann

Erfahren Sie, wie variadische Funktionen Susi zu mehr Flexibilität verhalfen

Reanimieren Sie ein klassisches Arcade-Spiel

O'REILLY®

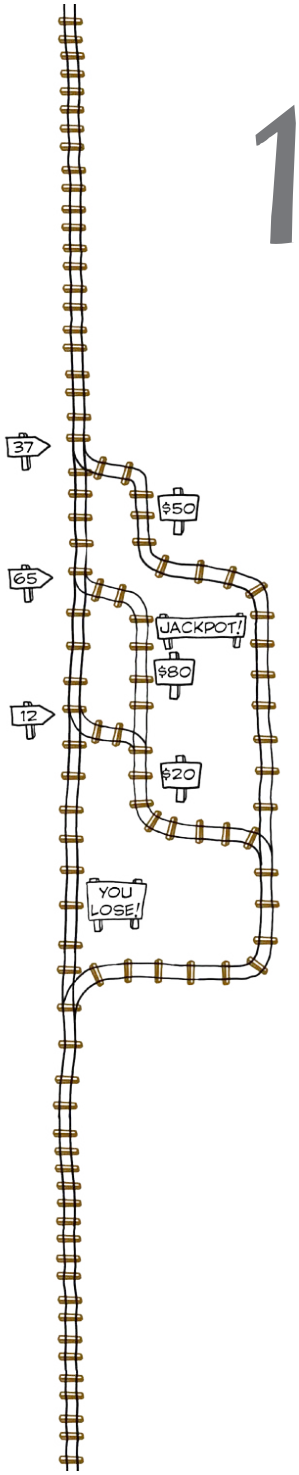
David Griffiths & Dawn Griffiths
Deutsche Übersetzung von Lars Schulten

Der Inhalt (im Überblick)

Der Inhalt (jetzt ausführlich)

Einführung

Ihr Gehirn und C. *Sie* versuchen, etwas zu *lernen*, und Ihr *Hirn* tut sein Bestes, damit das Gelernte nicht *hängen bleibt*. Es denkt nämlich: »Wir sollten lieber ordentlich Platz für wichtigere Dinge lassen, z. B. für das Wissen darüber, welche Tiere einem gefährlich werden könnten oder dass es eine ganz schlechte Idee ist, nackt Snowboard zu fahren.« Tja, *wie* schaffen wir es nun, Ihr Gehirn davon zu überzeugen, dass Ihr Leben davon abhängt, etwas über C zu wissen?



Erste Schritte mit C

1 Eintauchen

Wollen Sie dem Rechner auf die Finger schauen?

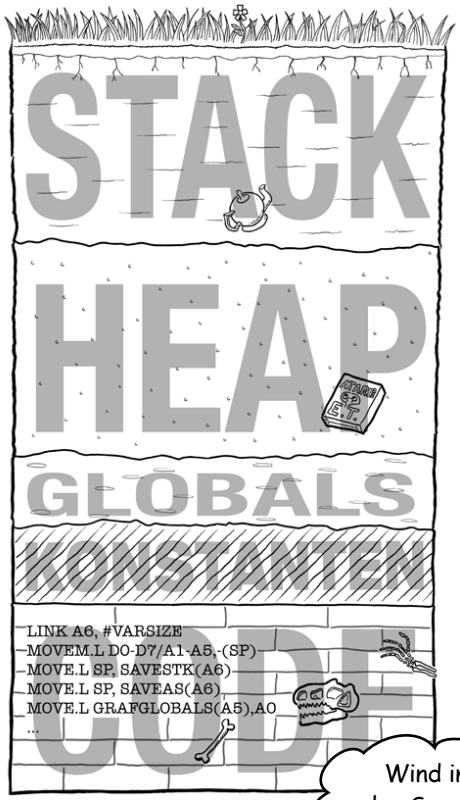
Müssen Sie **Hochleistungscode** für ein neues Spiel schreiben? Einen **Arduino**-Controller programmieren? Oder diese raffinierte **externe Bibliothek** in Ihrer iPhone-App einsetzen? Wenn das der Fall ist, wird C Ihr bester Freund werden. C arbeitet auf einer **viel elementareren Ebene** als die meisten anderen Programmiersprachen. Wenn Sie C verstanden haben, werden Sie auch viel besser verstehen, **was eigentlich im Herzen der Maschine vor sich geht**. C kann Ihnen sogar helfen, andere Sprachen besser zu verstehen. Zögern Sie nicht! Machen Sie Ihren Compiler bereit – auf dass Sie schon bald loslegen können.

Speicher und Zeiger

2 Worauf zeigst du?

Wenn Sie C wirklich beherrschen wollen, müssen Sie verstehen, wie C mit Speicher umgeht.

C bietet Ihnen ziemlich umfangreiche Möglichkeiten, zu *steuern*, wie Ihr Programm den **Speicher des Systems** nutzt. In diesem Kapitel werden wir den Vorhang lüften und Ihnen zeigen, was passiert, wenn Sie **Variablen lesen und schreiben**. Sie werden erfahren, **wie Arrays funktionieren**, wie man einige **garstige Speicherprobleme vermeidet,** und natürlich auch einsehen lernen, dass der Weg zum gewieften C-Programmierer nur über **die Beherrschung von Zeigern und der Speicheradressierung** führt.



2.5

Strings

Stringtheorie

Strings muss man nicht nur lesen.

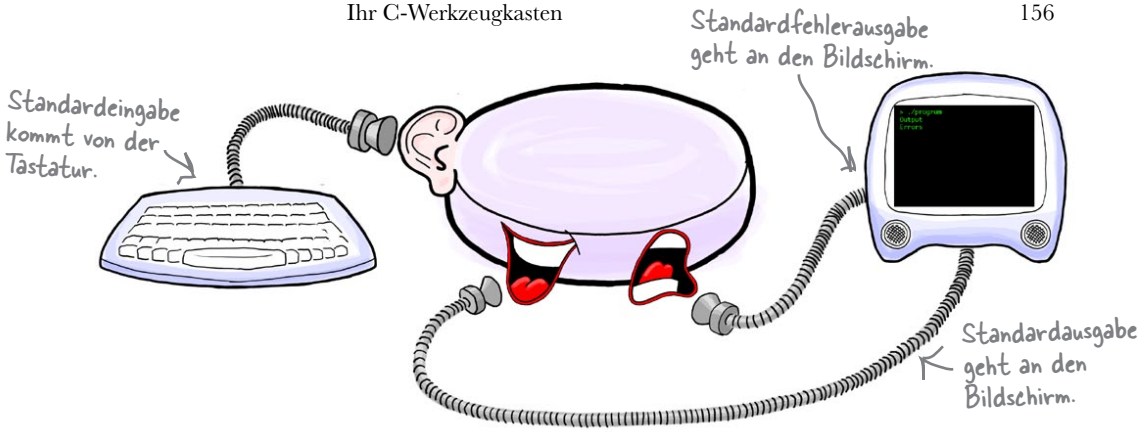
Sie haben erfahren, dass Strings in C eigentlich `char`-*Arrays* sind, aber was C Sie mit ihnen *anstellen* lässt, das wissen Sie noch nicht. Dazu müssen wir uns ***string.h*** zuwenden. *string.h* ist ein Teil der C-Standardbibliothek, der sich ganz der **Stringmanipulation** widmet. Wenn Sie Strings ***verketten***, einen String in einen anderen ***kopieren*** oder zwei Strings ***vergleichen*** wollen, können die Funktionen in *string.h* nützlich sein. In diesem Kapitel werden Sie sehen, wie Sie ein **Array mit Strings** erstellen, bevor wir uns genauer ansehen werden, wie man mit der Funktion **`strstr()` *in Strings sucht***.

Kleine Werkzeuge erstellen

3 Eine Sache tun, und das gut

Alle Betriebssysteme beinhalten kleine Werkzeuge.

Kleine in C geschriebe Werkzeuge erledigen **kleine spezielle Aufgaben**, schreiben oder lesen Dateien oder filtern Daten. Wenn Sie komplexere Aufgaben bewältigen müssen, können Sie *mehrere Werkzeuge hintereinanderschalten*. Aber wie werden diese kleinen Werkzeuge erstellt? In diesem Kapitel werden wir uns die Bausteine der Erstellung kleiner Werkzeuge anschauen. Sie werden lernen, wie man **Kommandozeilenoptionen** steuert, wie man **Informationsströme** verarbeitet und **Umleitungen** einsetzt, um im Handumdrehen Werkzeuge zu bauen.

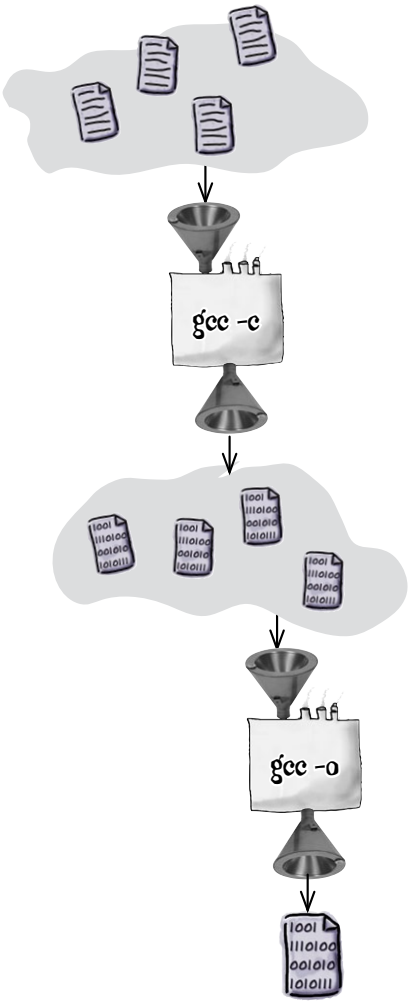


Mehrere Quelldateien

4 Zerlegen und zusammenbauen

Wenn Sie ein großes Programm erstellen, heißt das nicht, dass Sie auch eine große Quelldatei haben wollen.

Können Sie sich vorstellen, wie schwierig und zeitaufwendig die Wartung einer einzigen Quelldatei bei umfangreichen Programmen werden kann? In diesem Kapitel werden Sie erfahren, wie Ihnen C ermöglicht, Quellcode in **kleine, handhabbare Happen** zu zerlegen und diese dann zu **einem großen Programm** zusammenzusetzen. Auf dem Weg dorthin werden Sie etwas mehr über die **Feinheiten von Datentypen** erfahren und werden jemandem über den Weg laufen, der einer Ihrer besten Freunde werden wird: **`make`**.



1. C-Workshop

Arduino

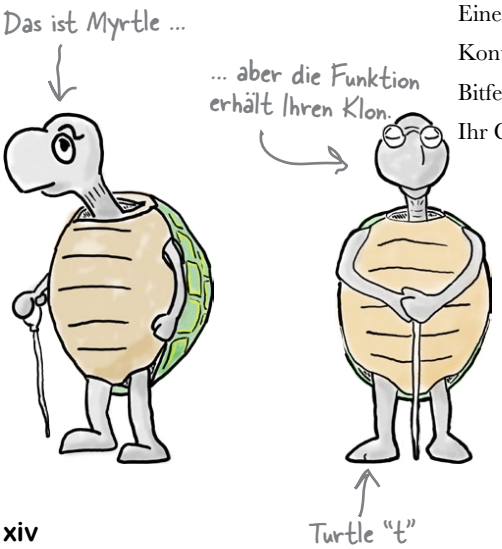
Hatten Sie sich schon einmal gewünscht, dass Ihre Pflanzen Ihnen sagen könnten, wann sie Wasser brauchen? Mit einem Arduino geht das! In diesem Workshop werden Sie eine Arduino-gesteuerte und in C programmierte Pflanzenüberwachung konstruieren.

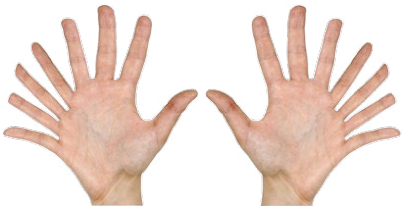
Structs, Unions und Bitfelder

5 Eigene Strukturen

Die meisten Dinge im Leben sind komplexer als einfache Zahlen.

Bislang haben wir uns die elementaren Datentypen der Programmiersprache C angesehen, aber was ist, wenn Zahlen und einfache Zeichenfolgen nicht mehr ausreichen? Was ist, wenn Sie **Dinge aus dem wahren Leben modellieren wollen**? `structs` ermöglichen Ihnen, **die Komplexität der realen Welt zu modellieren**, indem Sie eigene Strukturen gestalten. In diesem Kapitel werden Sie lernen, wie Sie die **elementaren Datentypen** zu Strukturen **kombinieren** und mit Unions die **Unwägbarkeiten des Lebens in den Griff bekommen**. Und wenn Ihnen ein einfaches Ja oder Nein ausreicht, können ***Bitfelder*** genau das Richtige für Sie sein.



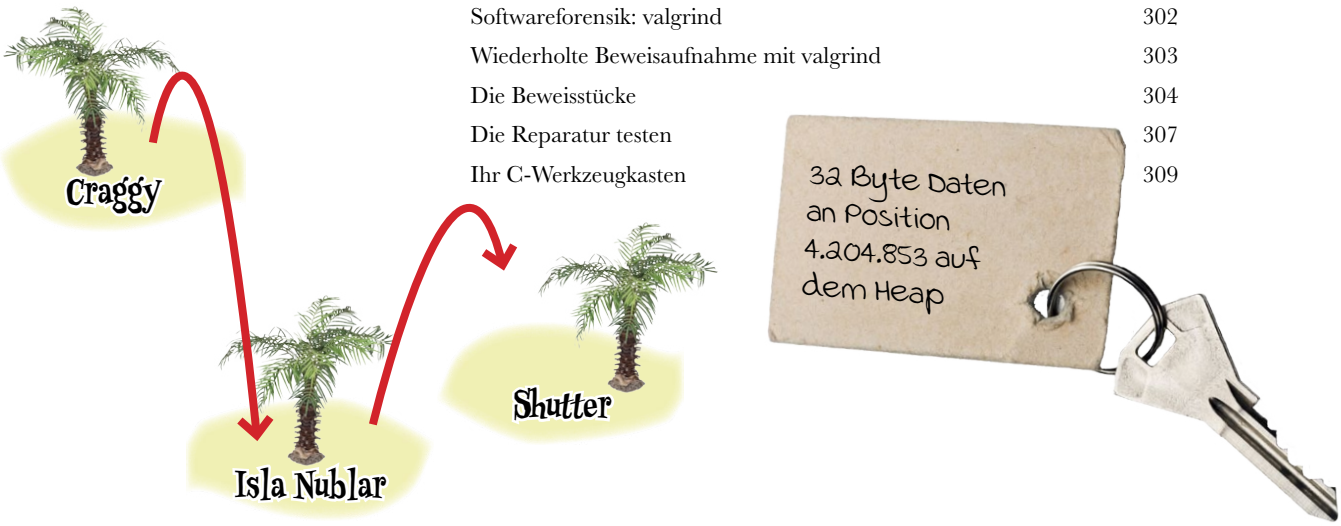


Datenstrukturen und dynamischer Speicher

6 Brücken bauen

Manchmal reicht ein Struct einfach nicht aus.

Zur Modellierung komplexer Datenanforderungen muss man häufig Structs **verbinden**. In diesem Kapitel werden Sie erfahren, wie Sie Struct-**Zeiger** nutzen können, um eigene Datentypen zu **großen, komplexen Datenstrukturen** zusammenzuknüpfen. Sie werden *Schlüsselprinzipien* erforschen, indem Sie **verkettete Listen** erstellen. Sie werden auch erfahren, wie Sie Ihre Datenstrukturen dazu bringen, flexible Datenmengen zu bewältigen, indem Sie **dynamisch Speicher auf dem Heap allozieren** und wieder freigeben, wenn Sie ihn nicht mehr benötigen. Und dann werden wir Ihnen ein Werkzeug vorstellen, das Sie unterstützen kann, wenn Sie Probleme bei der Haushaltsführung haben: **`valgrind`**.

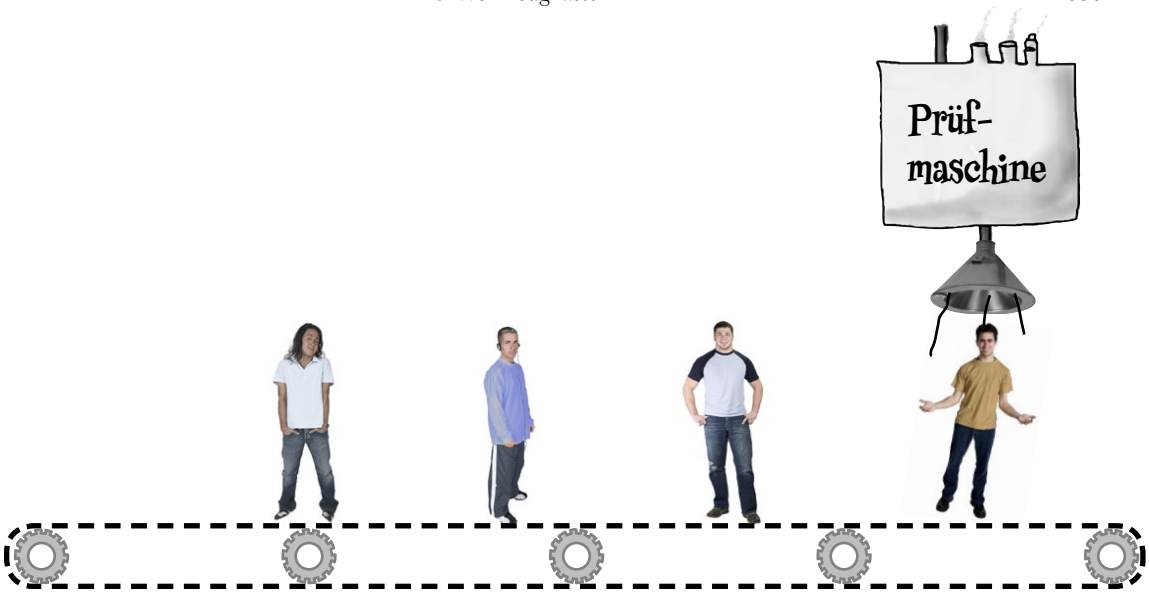


Fortgeschrittene Funktionen

7 Ihre Funktionen auf Vordermann bringen

Einfache Funktionen sind schön, aber reichen manchmal nicht aus.

Bislang haben Sie sich auf die Grundlagen beschränkt, aber was ist, wenn Sie mehr *Macht* und *Flexibilität* benötigen, um Ihr Ziel zu erreichen? In diesem Kapitel werden Sie erfahren, wie Sie **den IQ Ihres Codes aufpeppen können**, indem Sie **Funktionen als Parameter übergeben**. Sie werden erfahren, wie man **Dinge mit Vergleichsfunktionen sortiert**. Und schließlich werden Sie entdecken, wie Sie Ihren Code mit **variadischen Funktionen** *anpassungsfähiger* machen.



Statische und dynamische Bibliotheken

8 Code-Wiederverwendung

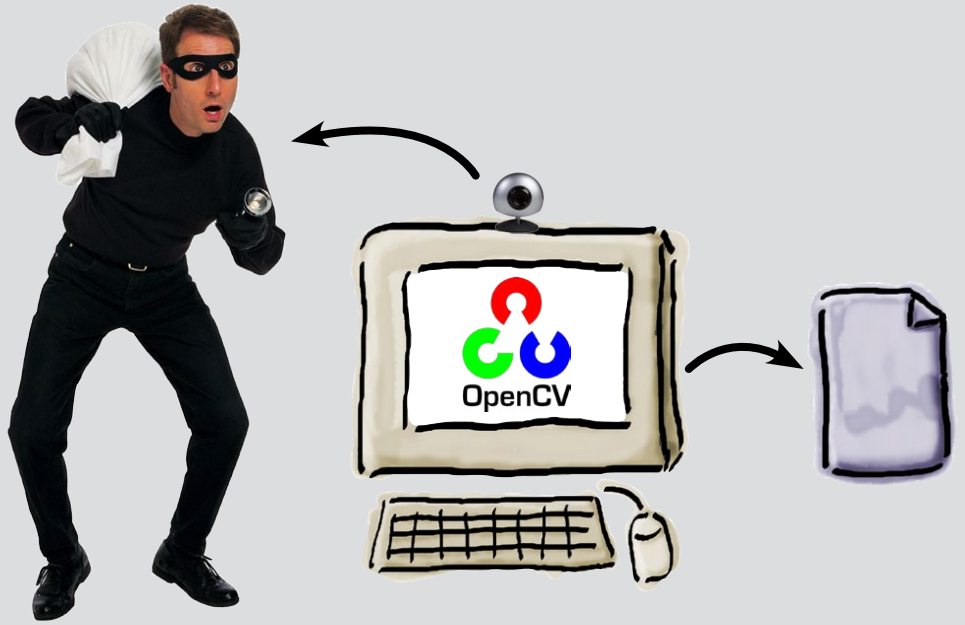
Die Macht der Standardbibliothek haben Sie bereits kennengelernt.

Jetzt ist es an der Zeit, dass Sie diese Macht für Ihren *eigenen* Code einsetzen. In diesem Kapitel werden Sie lernen, wie Sie Ihre **eigenen Bibliotheken** erstellen und den **gleichen Code in mehreren Programmen wiederverwenden**. Außerdem werden Sie erfahren, wie Ihnen **dynamische Bibliotheken** ermöglichen, Ihren Code zur Laufzeit zu teilen. Sie werden in die Geheimnisse der *Programmiergurus* eingeweiht werden. Und wenn Sie das Ende dieses Kapitels erreicht haben, werden Sie Code schreiben können, der gut skaliert und leicht und effizient zu warten ist.

2. C-Workshop

OpenCV

Stellen Sie sich vor, Ihr Computer könnte ein Auge auf Ihr Haus werfen, während Sie unterwegs sind, und Sie informieren, wenn sich dort unbefugt jemand herumtreibt. Genau das ist mit einer an Ihren Rechner angeschlossenen oder in ihn eingebauten Webcam und den ausgefeilten Techniken von OpenCV möglich!

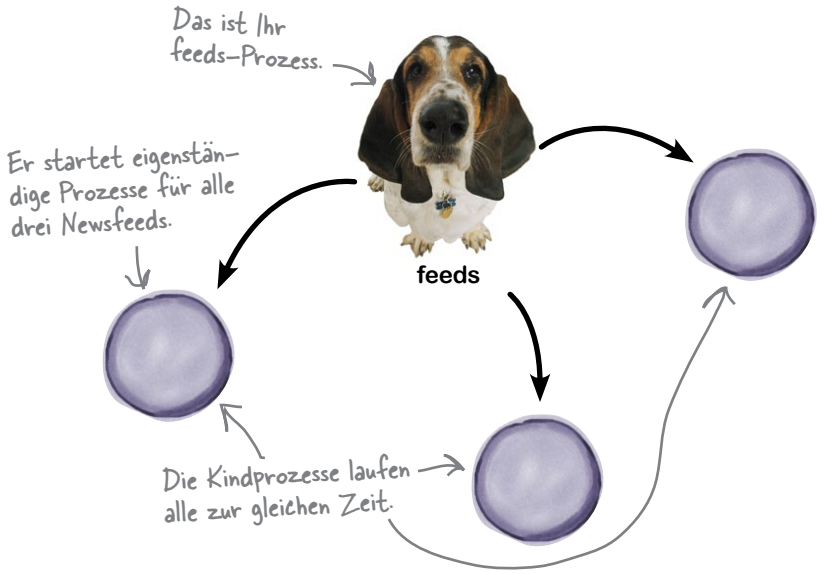


Prozesse und Systemaufrufe

9 Grenzverletzungen

Es wird Zeit, über den Tellerrand hinauszublicken.

Sie haben bereits erfahren, dass Sie komplexe Anwendungen aufbauen können, indem Sie auf der Kommandozeile kleine Werkzeuge miteinander verbinden. Aber was ist, *wenn Sie andere Programme* aus Ihrem Code heraus nutzen wollen? In diesem Kapitel werden Sie lernen, wie Sie **Systemeinrichtungen** nutzen, um ***Prozesse*** zu erstellen und zu kontrollieren. Das wird Ihren Programmen Zugriff auf *E-Mail*, das *Web* und Unmengen anderer *Werkzeuge* geben, die Sie installiert haben. Wenn Sie das Ende dieses Kapitels erreicht haben, werden Sie die Macht haben, die **Grenzen von C** zu verlassen.

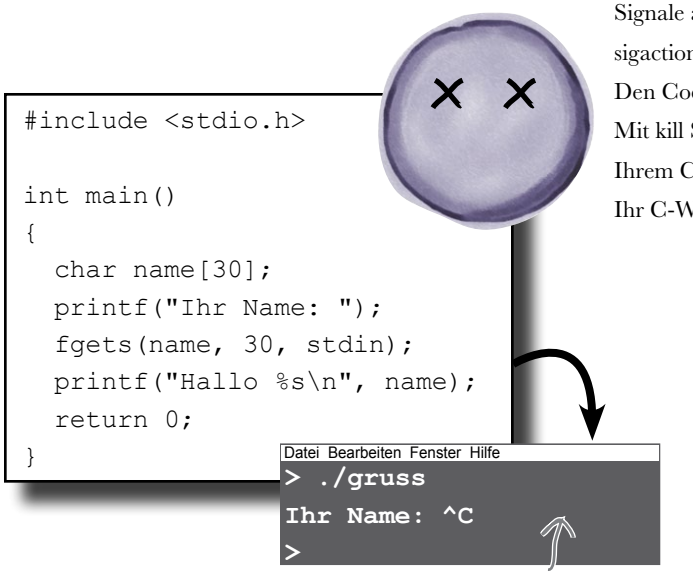


Interprozesskommunikation

10 Ein nettes Gespräch

Prozesse machen ist nur die halbe Miete.

Was ist, wenn Sie den Prozess *steuern* wollen, nachdem er gestartet ist? Was, wenn Sie ihm *Daten senden* wollen? Oder seine *Ausgabe lesen*? Die **Interprozesskommunikation** ermöglicht Prozessen, gemeinsame Sache zu machen. Wir werden Ihnen zeigen, wie Sie die **Macht** Ihres Codes multiplizieren, indem Sie ihn mit anderen Programmen auf Ihrem Systemen **reden lassen**.



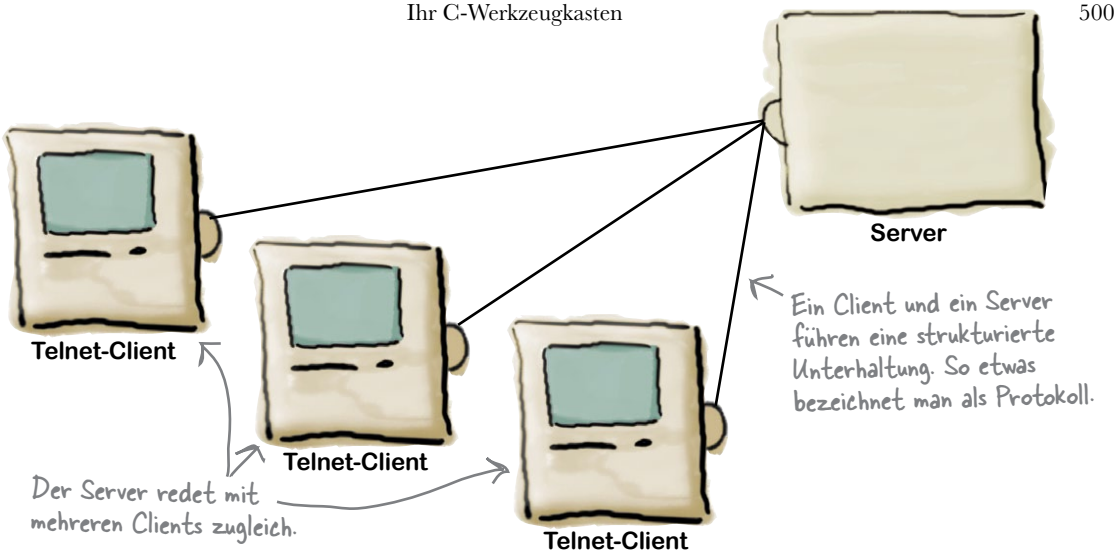
Wenn Sie Strg-C drücken, stellt das Programm die Arbeit ein. Aber warum?

Sockets und Netzwerke

11 127.0.0.1 ist ein toller Ort

Programme auf unterschiedlichen Systemen müssen miteinander reden.

Sie haben gelernt, wie Sie mithilfe von I/O-Operationen mit Dateien reden und wie Prozesse auf dem gleichen System miteinander kommunizieren können. Jetzt werden Sie nach *dem Rest der Welt greifen* und erfahren, wie man C-Programme schreibt, die **über das Netzwerk** und **quer über die ganze *Welt*** mit anderen Programmen reden können. Wenn Sie das Ende des Kapitels erreicht haben, werden Sie dazu in der Lage sein, **Programme zu schreiben, die sich wie Server verhalten, und Programme, die sich wie Clients verhalten**.



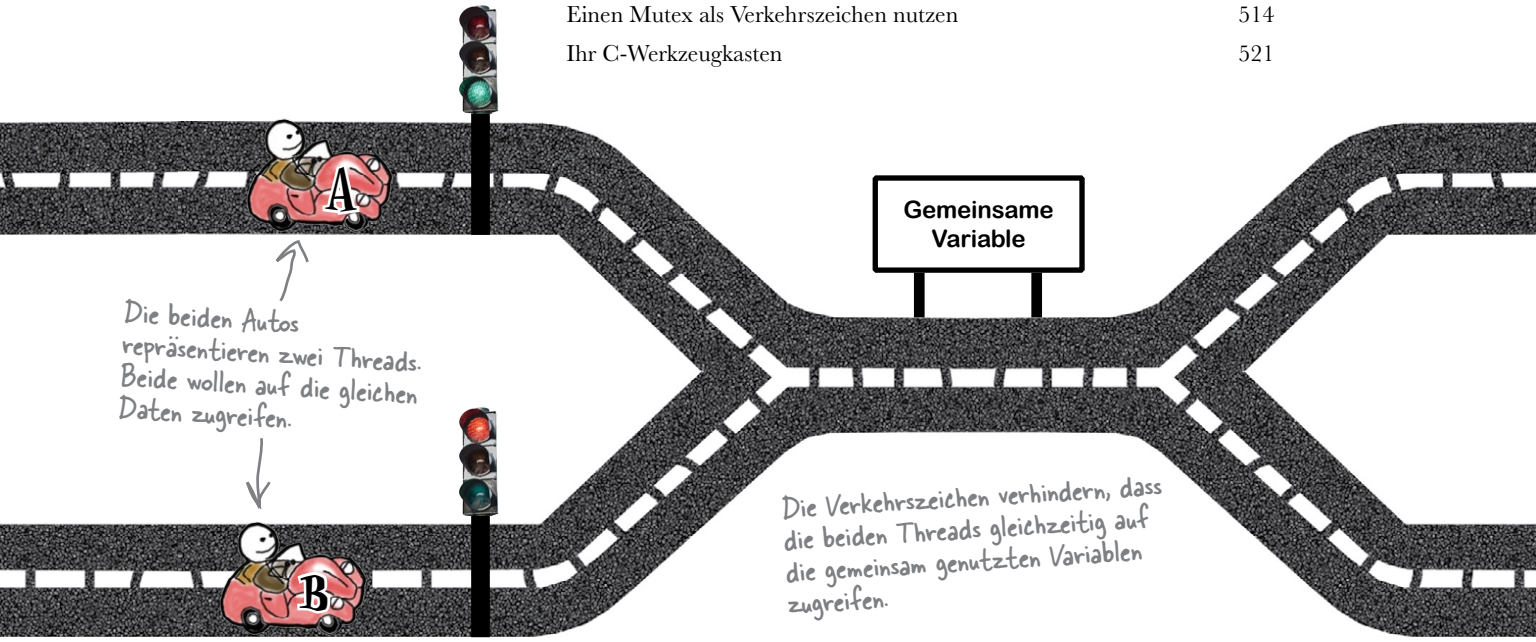
12

Threads

Parallelwelten

Häufig müssen Programme mehrere Dinge gleichzeitig tun.

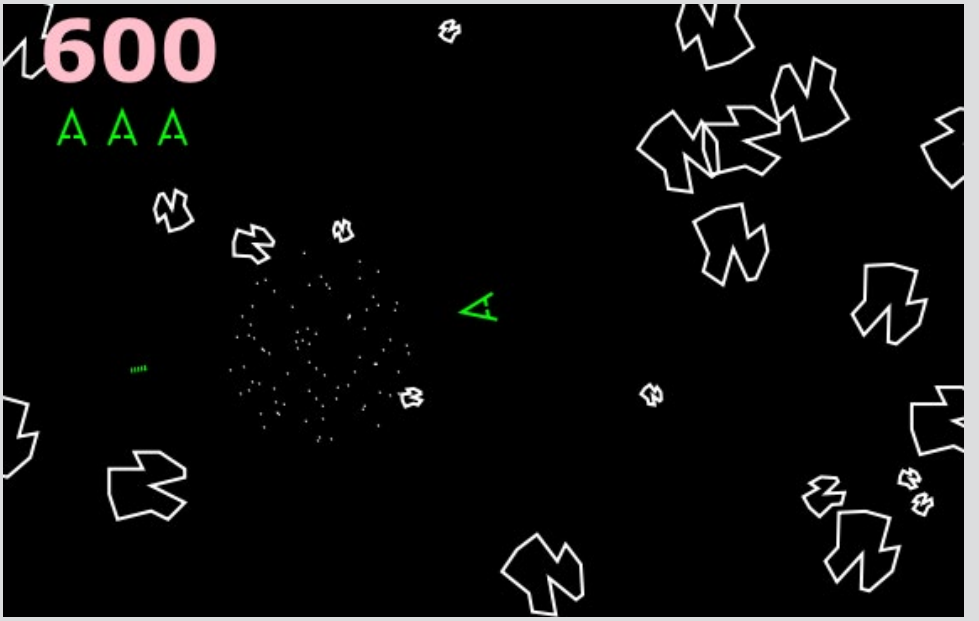
Mit POSIX-Threads können Sie Ihren Code reaktionsfähiger machen, indem **Sie verschiedene Codeteile abspalten und parallel laufen lassen**. Doch aufgepasst! Threads sind mächtige Werkzeuge, und Sie sollten tunlichst vermeiden, dass sie sich in die Quere kommen. In diesem Kapitel werden Sie lernen, wie Sie die **Verkehrsschilder** und **Straßenmarkierungen** einrichten, die ***Codeunfälle verhindern***. Am Ende werden Sie wissen, wie man **POSIX-Threads erstellt** und wie man **Synchronisationsmechanismen nutzt**, um ***die Integrität wichtiger Daten zu sichern***.



3. C-Workshop

Blasteroids

Einer der wichtigsten Gründe dafür, dass die Leute in C programmieren lernen wollen, ist, dass sie dann Spiele schreiben können. In diesem Workshop werden wir einem der beliebtesten und langlebigsten Videospiele aller Zeiten Tribut zollen. Schreiben wir Blasteroids!

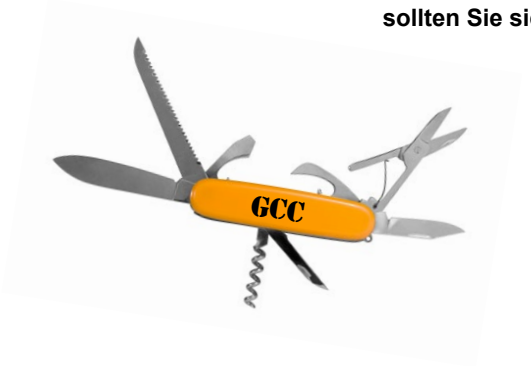


Anhang A: Was übrig bleibt

A Die Top Ten der Dinge (die wir nicht behandelt haben)

Wir haben viel behandelt, und doch bleibt manches offen.

Da sind noch ein paar Dinge, die Sie wahrscheinlich wissen sollten. Wir würden uns nicht wohlfühlen, wenn wir sie nicht erwähnten, auch wenn wir sie nur kurz anreißen können – weil wir Ihnen ein Buch geben wollten, das Sie auch ohne ausgiebiges Muskeltraining noch transportieren können. Bevor Sie das Buch zu den Akten legen, **sollten Sie sich also noch diese Kleinigkeiten ansehen**.

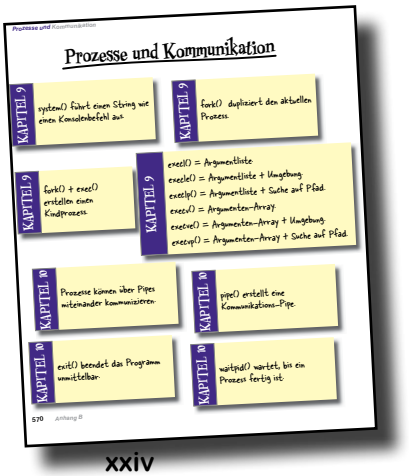


Anhang B: C-Themen

B Zusammenfassungen im Überblick

Träumen Sie auch davon, das gesamte C-Wissen wäre an einem einzigen Ort vorzufinden?

Das ist eine Zusammenfassung aller C-Themen und Prinzipien, die wir in diesem Buch behandelt haben. Werfen Sie einen Blick darauf und schauen Sie, ob Sie sich alle eingeprägt haben. Neben den Merksätzen steht jeweils das Kapitel, aus dem sie kommen, damit Sie leicht an die entsprechende Stelle zurückkehren können, um Ihrem Gedächtnis auf die Sprünge zu helfen. Vielleicht sollten Sie diese Seiten sogar herausschneiden und bei sich an die Wand hängen.

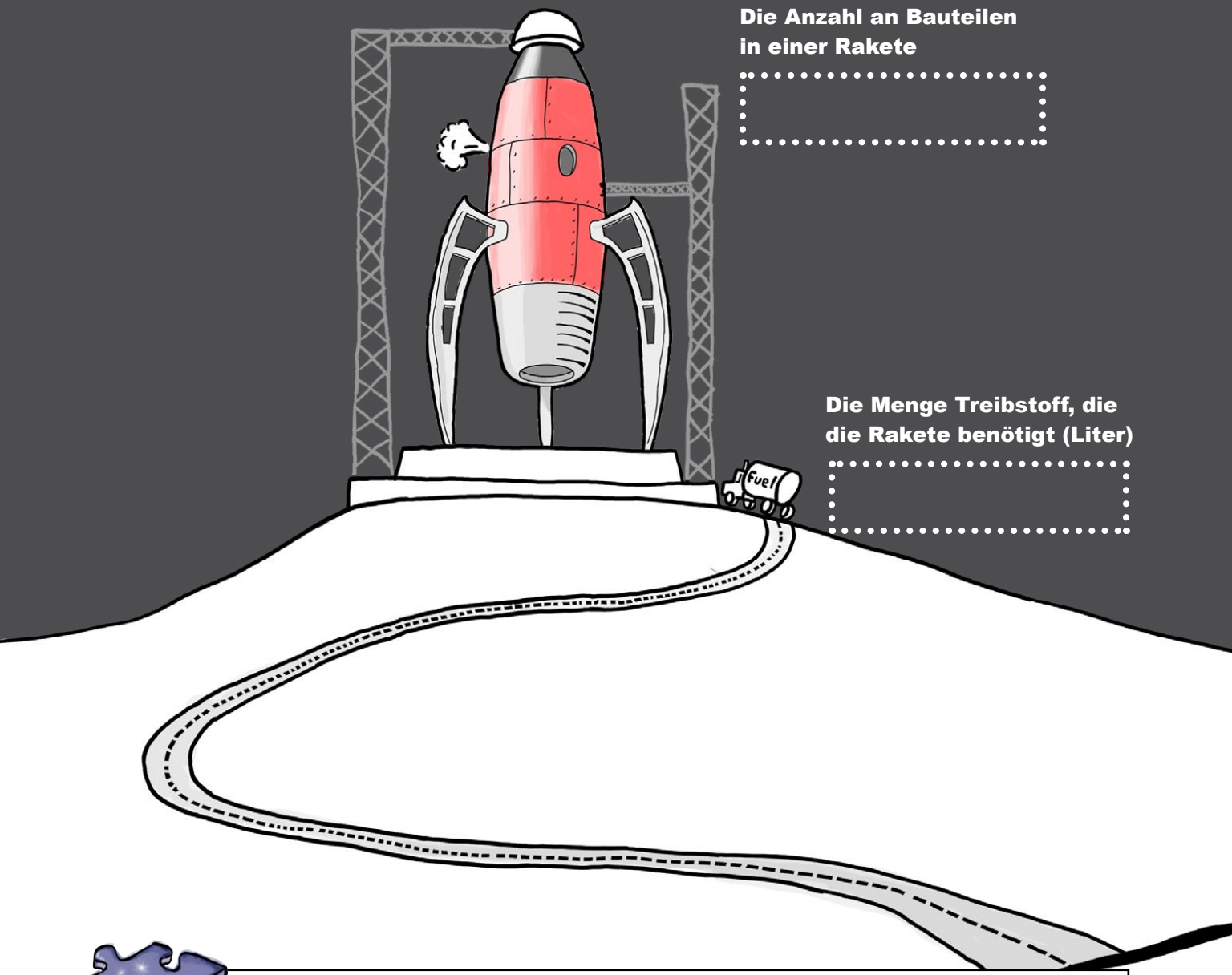


4 Mehrere Quelldateien

Zerlegen und zusammenbauen

Wenn Sie ein großes Programm erstellen, heißt das nicht, dass Sie auch eine große Quelldatei haben wollen.

Können Sie sich vorstellen, wie schwierig und zeitaufwendig die Wartung einer einzigen Quelldatei bei umfangreichen Programmen werden kann? In diesem Kapitel werden Sie erfahren, wie Ihnen C ermöglicht, Quellcode in **kleine, handhabbare Happen** zu zerlegen und diese dann zu **einem großen Programm** zusammenzusetzen. Auf dem Weg dorthin werden Sie etwas mehr über die **Feinheiten von Datentypen** erfahren und werden jemandem über den Weg laufen, der einer Ihrer besten Freunde werden wird: **`make`**.



Erraten Sie den Datentyp

C kann mit einer ganzen Reihe unterschiedlicher Datentypen umgehen: Zeichen, ganzen Zahlen, Gleitkommazahlen für Alltagswerte, Gleitkommazahlen für präzise wissenschaftliche Berechnungen. Ein paar dieser Datentypen werden auf der gegenüberliegenden Seite aufgeführt. Schauen Sie, ob Sie herausfinden können, welcher Datentyp für die jeweiligen Beispiele benötigt wird.

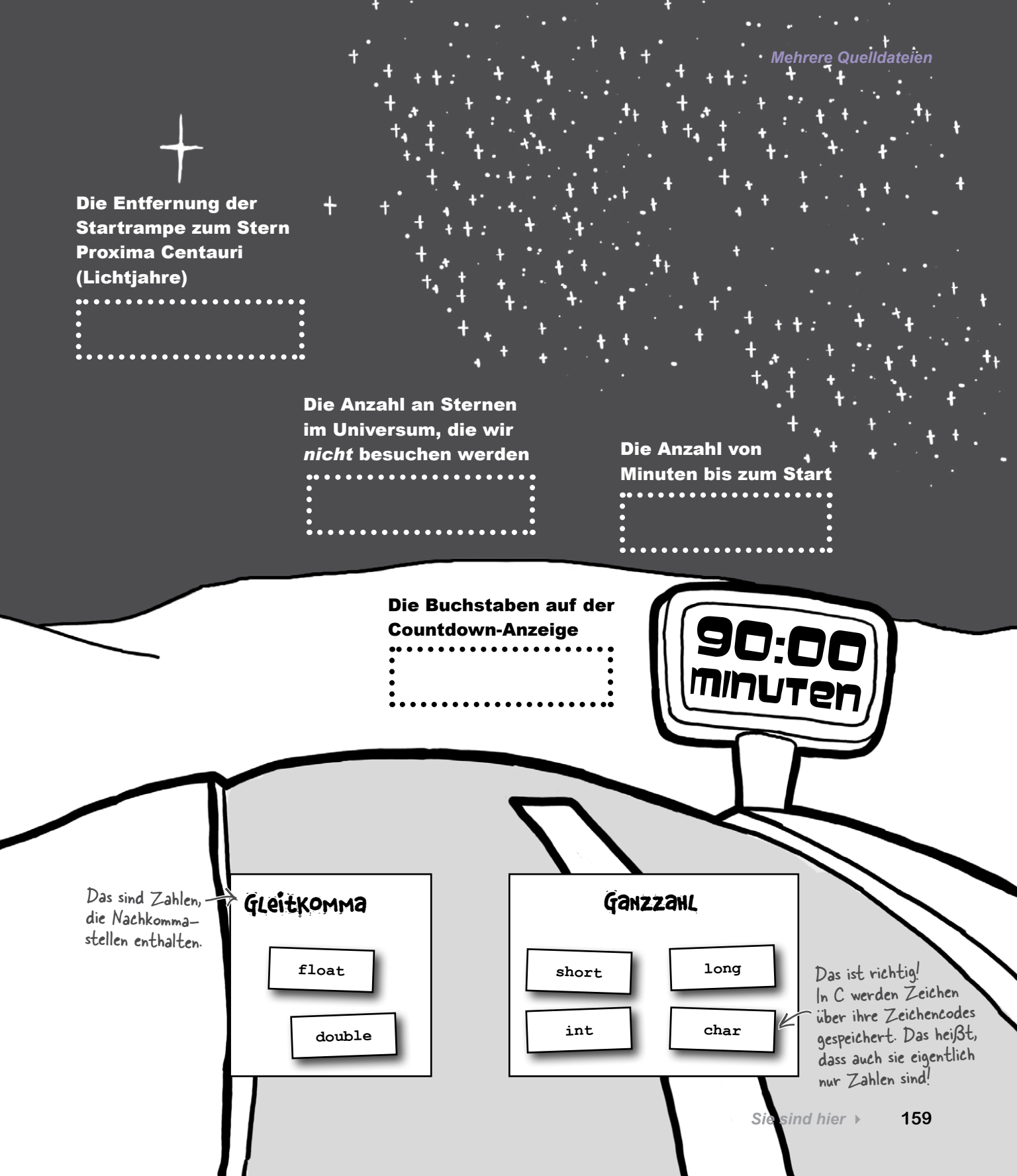
Beachten Sie: Alle Beispiele nutzen unterschiedliche Datentypen.

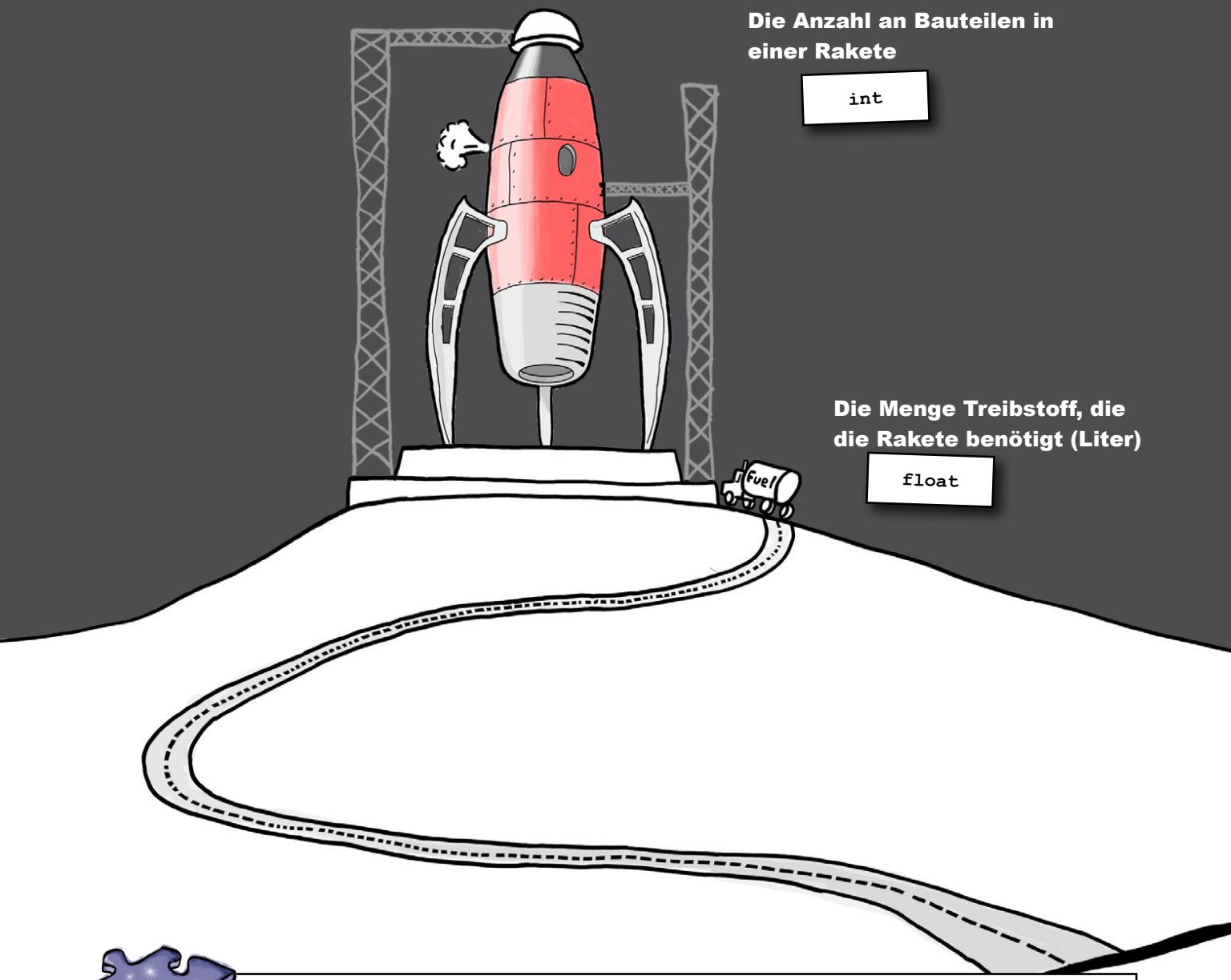
Die Entfernung der Startrampe zum Stern Proxima Centauri (Lichtjahre)

Die Anzahl an Sternen im Universum, die wir *nicht* besuchen werden

Die Anzahl von Minuten bis zum Start

Die Buchstaben auf der Countdown-Anzeige





Erraten Sie den Datentyp, Lösung

C kann mit einer ganzen Reihe unterschiedlicher Datentypen umgehen: Zeichen, ganzen Zahlen, Gleitkommazahlen für Alltagswerte, Gleitkommazahlen für präzise wissenschaftliche Berechnungen. Ein paar dieser Datentypen werden auf der gegenüberliegenden Seite aufgeführt. Sie sollten herausfinden, welcher Datentyp für die jeweiligen Beispiele benötigt wird.

Denken Sie daran: Alle Beispiele nutzen unterschiedliche Datentypen.

Die Entfernung der Startrampe zum Stern Proxima Centauri (Lichtjahre)

double

Die Anzahl an Sternen im Universum, die wir *nicht* besuchen werden

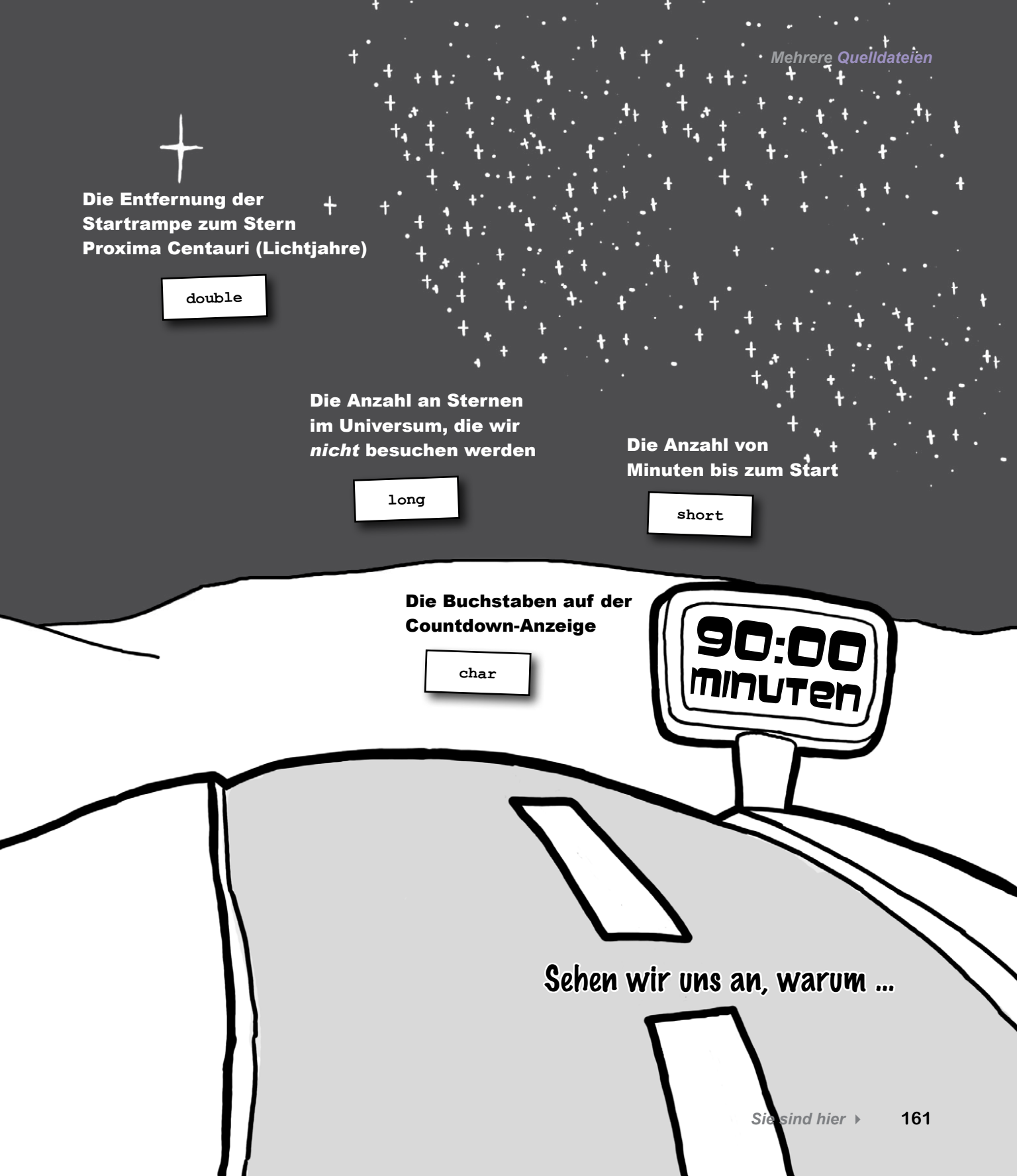
long

Die Anzahl von Minuten bis zum Start

short

Die Buchstaben auf der Countdown-Anzeige

char



Datentypen-Schnellkurs

char

Jedes Zeichen wird im Speicher des Computers als Zeichencode gespeichert. Und der ist nur eine Zahl. Wenn der Computer ein `A` sieht, ist das für ihn das Gleiche, als sähe er die Zahl `65`.

65 ist der ASCII-Code für A.

int

Wenn Sie eine ganze Zahl speichern müssen, können Sie in der Regel einfach `int` nutzen. Wie groß ein `int` werden kann, ist nicht immer gleich, aber er umfasst mindestens 16 Bit. Im Allgemeinen kann `int` Zahlen bis zu ein paar Millionen speichern.

short

Aber manchmal möchten Sie etwas Speicher sparen. Warum sollten Sie einen `int` nutzen, wenn Sie nur Zahlen speichern wollen, die lediglich ein paar Hundert oder Tausend betragen? Dafür ist `short` gedacht. Ein `short` braucht normalerweise halb so viel Platz wie ein `int`.

long

Aber was ist, wenn Sie eine **echt große Anzahl** speichern wollen? Dafür hat man sich den Datentyp `long` ausgedacht. Auf manchen Systemen kann der Datentyp `long` *doppelt* so viel Speicher einnehmen wie ein `int` und kann Zahlen bis in die **Milliarden** festhalten. Aber weil die meisten Computer mit großen `int`s umgehen können, ist `long` auf vielen Systemen *genauso groß wie* `int`. Für einen `long` stehen mindestens 32 Bit bereit.

float

`float` ist der grundlegende Datentyp für die Speicherung von Gleitkommawerten. Bei den meisten im Alltag benötigten Gleitkommazahlen – wie der Menge Flüssigkeit in einem Kölschglas – können Sie `float` verwenden.

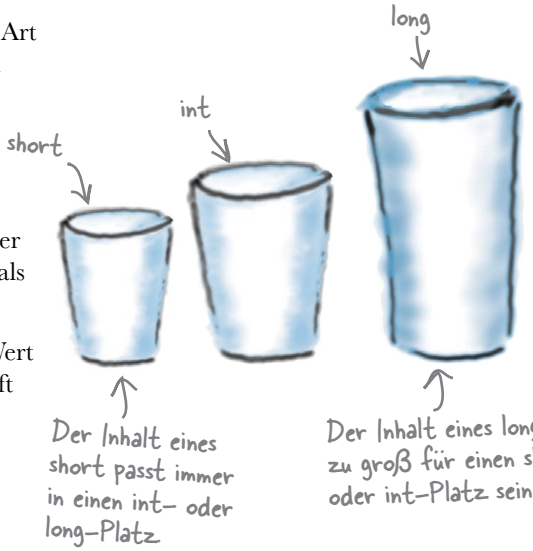
double

Und was ist, wenn es echt **genau** sein muss? Wenn Sie Berechnungen durchführen wollen, die auf eine große Anzahl von **Nachkommastellen** genau sein müssen, sollten Sie einen `double` nutzen. Ein `double` nimmt im Speicher doppelt so viel Platz ein wie ein `float` und nutzt den zusätzlichen Raum, um Zahlen zu speichern, die *größer und genauer* sind.

Großes darf man nicht in Kleines stecken

Wenn Sie Werte herumreichen, müssen Sie darauf achten, dass die Art des Werts der Art von Variablen entspricht, in der Sie ihn speichern werden.

Unterschiedliche Datentypen benötigen unterschiedlich viel Speicherplatz. Sie müssen also aufpassen, dass Sie nicht versuchen, einen Wert zu speichern, der zu groß für den Speicherplatz ist, der für eine Variable reserviert wird. `short`-Variablen brauchen weniger Speicherplatz als `int`s, und `int`s brauchen weniger Speicherplatz als `long`s.



Es entsteht also kein Problem, wenn Sie versuchen, einen `short`-Wert in einer `int`- oder `long`-Variablen zu speichern. Es gibt massenhaft Platz im Speicher, und der Code wird ordentlich funktionieren:

```
short x = 15;
int y = x;
printf("Der Wert von y = %i\n", y);
```

Das sagt, dass y = 15 ist.

Probleme treten auf, wenn Sie den umgekehrten Weg einschlagen – wenn Sie beispielsweise versuchen, einen `int`-Wert in einem `short` zu speichern:

```
int x = 100000;
short y = x;
print("Der Wert von y = %hi\n", y);
```

%hi ist der richtige Formatcode für einen short-Wert.

Manchmal kann der Compiler erkennen, dass Sie versuchen, einen zu großen Wert in einer zu kleinen Variablen zu speichern, und meldet dann eine Warnung. Aber häufig ist der Compiler nicht so schlau und kompiliert den Code ohne Beschwerden. Wenn Sie dann versuchen, den Code auszuführen, kann der Computer die Zahl 100.000 nicht in einer `short`-Variablen speichern. Der Computer wird so viele Einsen und Nullen reinpacken wie möglich, aber die Zahl, die in der Variablen `y` gespeichert wird, wird sich *erheblich von* der *unterscheiden*, die Sie speichern wollten:

```
Der Wert von y = -31072
```

Freak-Futter

Warum erhalten wir eine negative Zahl, wenn wir versuchen, eine zu große Zahl in einem `short` zu speichern? Zahlen werden binär gespeichert. So sieht 100.000 binär aus:

```
x <- 0001 1000 0110 1010 0000
```

Wenn aber der Computer versucht, diesen Wert in einem `short` zu speichern, stehen ihm nur zwei Byte für die Speicherung zur Verfügung. Das Programm speichert nur die *rechte Seite* der Zahl:

```
y <- 1000 0110 1010 0000
```

Vorzeichenbehaftete Werte, deren Binärdarstellung im höchstwertigen Bit eine 1 haben, werden als negative Zahlen betrachtet. Und dieser verkürzte Wert entspricht dieser Dezimalzahl:

```
-31072
```

Mit Casts floats in ganze Zahlen packen

Was, denken Sie, wird der folgende Code anzeigen?

```
int x = 7;
int y = 2;
float z = x / y;
printf("z = %f\n", z);
```

Die Antwort? **3,0000**. Warum das? `x` und `y` sind beide `int`s, also ganze Zahlen, und wenn Sie zwei davon teilen, erhalten Sie immer eine aufgerundete ganze Zahl – hier **3**.

Was aber ist, wenn Sie bei einer Berechnung mit ganzen Zahlen ein Gleitkommaergebnis erhalten wollen? Sie könnten die ganzen Zahlen zuvor in `float`-Variablen speichern, aber das wäre etwas umständlich. Stattdessen können Sie einen **Cast** nutzen, um die Zahlen im Vorübergehen umzuwandeln:

```
int x = 7;
int y = 2;
float z = (float)x / (float)y;
printf("z = %f\n", z);
```

Das **`(float)`** *castet* einen `int`-Wert auf einen `float`-Wert. Die Berechnung funktioniert dann genau so, als würden die ganze Zeit Gleitkommazahlen verwendet. Wenn der Compiler sieht, dass Sie eine Addition, Subtraktion, Multiplikation oder Division mit einem Gleitkommawert und einem ganzzahligen Wert vornehmen, castet er automatisch die Zahlen für Sie. Das heißt, dass Sie die Anzahl expliziter Casts in Ihrem Code reduzieren können:

```
float z = (float)x / y;
```

Der Compiler castet y automatisch auf einen float.

Sie können Datentypen einige weitere Schlüsselwörter hinzufügen, die beeinflussen, wie Zahlen interpretiert werden:

unsigned

Die Zahl ist immer positiv. Weil sie sich nicht darum kümmern müssen, negative Zahlen festzuhalten, können `unsigned`-Zahlen größere Zahlen aufnehmen, da ein Bit mehr zur Speicherung zur Verfügung steht. Ein `unsigned int` speichert also Zahlen von 0 bis zu einem Maximum, das doppelt so groß ist wie die größte Zahl, die in einem `int` gespeichert werden kann. Es gibt auch das Schlüsselwort `signed`, das aber fast nie verwendet wird, da es bei allen Datentypen der Standard ist.

```
unsigned char c;
```

Das speichert wahrscheinlich Zahlen von 0 bis 255.

long

Sie sehen richtig: Sie können einem Datentyp das Wort `long` voranstellen, um ihn länger zu machen. Ein `long int` ist also eine längere Version eines `int`. Das heißt, dass er einen größeren Bereich von Zahlen speichern kann. Und ein `long long` ist länger als ein `long`. Sie können `long` auch für Gleitkommazahlen verwenden.

```
long double d;
```

Eine so RICHTIG genaue Zahl.

long long gibt es nur in C99 und C11.

Hier ist ein neues Programm, das den Kellnern im Von Kopf bis Fuß-Restaurant hilft, die Tischrechnung zu erstellen. Der Code rechnet automatisch die Beträge zusammen und schlägt die Mehrwertsteuer auf. Versuchen Sie, die Lücken zu füllen.

Hinweis: In diesem Programm könnten unterschiedliche Datentypen genutzt werden, aber welche würden Sie für die Art von Beträgen einsetzen, die Sie hier erwarten?

```
#include <stdio.h>

.....summe = 0.0;
.....anzahl = 0;
.....steuersatz = 19;

.....mit_steuer_addieren(float f)
{
  .....steuer = 1 + steuersatz / 100 ..... ;
  summe = summe + (f * steuer);
  anzahl = anzahl + 1;
  return summe;
}

int main()
{
  .....wert;
  printf("Betrag für Posten: ");
  while (scanf("%f", &wert) == 1) {
    printf("Zwischensumme: %.2f\n", mit_steuer_addieren(wert));
    printf("Betrag für Posten: ");
  }
  printf("\nGesamtsumme: %.2f\n", summe);
  printf("Anzahl Posten: %hi\n", anzahl);
  return 0;
}
```

%.2f formatiert eine Gleitkommazahl auf zwei Nachkommastellen.

%hi wird zur Formatierung von shorts genutzt.

LÖSUNG ZUR ÜBUNG

Hier ist ein neues Programm, das den Kellnern im Von Kopf bis Fuß-Restaurant hilft, die Tischrechnung zu erstellen. Der Code rechnet automatisch die Beträge zusammen und schlägt die Mehrwertsteuer auf. Sie sollten versuchen, die Lücken zu füllen.

Hinweis: In diesem Programm könnten unterschiedliche Datentypen genutzt werden, aber welche würden Sie für die Art von Beträgen einsetzen, die Sie hier erwarten?

```
#include <stdio.h>

float summe = 0.0;
short anzahl = 0;
short steuersatz = 19;

float mit_steuer_addieren(float f)
{
  float steuer = 1 + steuersatz / 100 .0 ;
  summe = summe + (f * steuer);
  anzahl = anzahl + 1;
  return summe;
}

int main()
{
  float wert;
  printf("Betrag für Posten: ");
  while (scanf("%f", &wert) == 1) {
    printf("Zwischensumme: %.2f\n", mit_steuer_addieren(wert));
    printf("Betrag für Posten: ");
  }
  printf("\nGesamtsumme: %.2f\n", summe);
  printf("Anzahl Posten: %hi\n", anzahl);
  return 0;
}
```

Hier brauchen Sie eine kleine Gleitkommazahl für den Betrag.

Eine Rechnung hat nur wenige Posten, wir beschränken uns deswegen auf einen short.

Wir liefern eine kleine Menge Bargeld zurück; das ist also ein float.

Für diesen Bruch ist ein float in Ordnung.

Wenn Sie .0 anhängen, sorgen Sie dafür, dass die Berechnung float-basiert ist. Hätten Sie 100 stehen gelassen, hätten Sie eine ganze Zahl zurückerhalten.

1 + steuersatz / 100; würde den Wert 1 liefern, weil bei einer ganzzahligen Berechnung 6/100 == 0 gilt.

Alle Preise passen locker in einen float.

Datentypgrößen unter der Lupe

Datentypen haben auf unterschiedlichen Plattformen unterschiedliche Größen. Wie aber bringen Sie in Erfahrung, wie groß ein `int` ist oder wie viele Bytes ein `double` einnimmt? Glücklicherweise bietet die C-Standardbibliothek einige Header, die die entsprechenden Informationen bieten. Folgendes Programm informiert Sie über die Größe von `int`s und `float`s:

```
#include <stdio.h>
#include <limits.h>
#include <float.h>

int main()
{
  printf("Der Wert von INT_MAX ist %i\n", INT_MAX);
  printf("Der Wert von INT_MIN ist %i\n", INT_MIN);
  printf("Ein int hat %z Bytes\n", sizeof(int));

  printf("Der Wert von FLT_MAX ist %f\n", FLT_MAX);
  printf("Der Wert von FLT_MIN ist %.50f\n", FLT_MIN);
  printf("Ein float hat %u Bytes\n", (unsigned int) sizeof(float));

  return 0;
}
```

Enthält die Werte für ganzzahlige Typen wie int und char.

Enthält die Werte für floats und doubles.

Das ist der höchste Wert.

Das ist der geringste Wert.

sizeof liefert die Anzahl an Bytes, die ein Datentyp einnimmt.

Wenn Sie diesen Code kompilieren und ausführen, werden Sie eine Ausgabe folgender Form erhalten:

```
Datei Bearbeiten Fenster Hilfe WieGroßIstGroß
Der Wert von INT_MAX ist 2147483647
Der Wert von INT_MIN ist -2147483648
Ein int hat 4 Bytes
Der Wert von FLT_MAX ist 340282346638528859811704183484516925440.000000
Der Wert von FLT_MIN ist 0.00000000000000000000000000000000000011754943508222
Ein float hat 4 Bytes
```

Die Werte, die Sie auf Ihrem Rechner sehen, werden wahrscheinlich anders lauten.

Was ist, wenn Sie Informationen zu `char`s oder `double`s suchen? Oder `long`s? Kein Problem. Ersetzen Sie einfach `INT` und `FLT` durch `CHAR` (`char`), `DBL` (`double`), `SHRT` (`short`) oder `LNG` (`long`).

Es gibt keine Dummen Fragen

F: Warum sind die Datentypen nicht bei allen Betriebssystemen gleich? Wäre es nicht weniger verwirrend, wenn sie überall gleich wären?

A: C nutzt unterschiedliche Datentypen auf den verschiedenen Betriebssystemen und Prozessoren, damit die Hardware sie optimal ausnutzen kann.

F: In welcher Weise?

A: Als C geschaffen wurde, basierten die meisten Systeme auf 8 Bit, heute sind es 32 oder 64 Bit. Weil C die Größe der Datentypen nicht genau vorgibt, konnte es mit der Zeit gehen. Und wenn neue Systeme aufkommen, wird C auch das Beste aus ihnen herausholen können.

F: Was heißt »auf 8 Bit oder 64 Bit basieren« eigentlich?

A: Technisch gesehen, kann diese Zahl verschiedene Dinge bezeichnen, z. B. die Breite der CPU-Instruktionen oder die Datenmenge, die die CPU aus dem Speicher lesen kann. Diese Bitgröße gibt die bevorzugte Größe für die Zahlen an, mit denen der Computer arbeitet.

F: Und was hat das mit der Größe von `int`s und `double`s zu tun?

A: Wenn ein Computer für die Arbeit mit 32-Bit-Zahlen optimiert ist, ist es sinnvoll, den grundlegenden Datentyp – `int` – 32 Bit breit zu machen.

F: Wie ganze Zahlen wie `int`s funktionieren, verstehe ich, aber wie werden `float`s und `double`s gespeichert? Wie stellt der Computer eine Zahl mit Nachkommastellen dar?

A: Das ist kompliziert. Die meisten Computer nutzen einen Standard, der von der IEEE veröffentlicht wurde (*http://tinyurl.com/6defkv6*).

F: Muss ich verstehen, wie Gleitkommazahlen funktionieren?

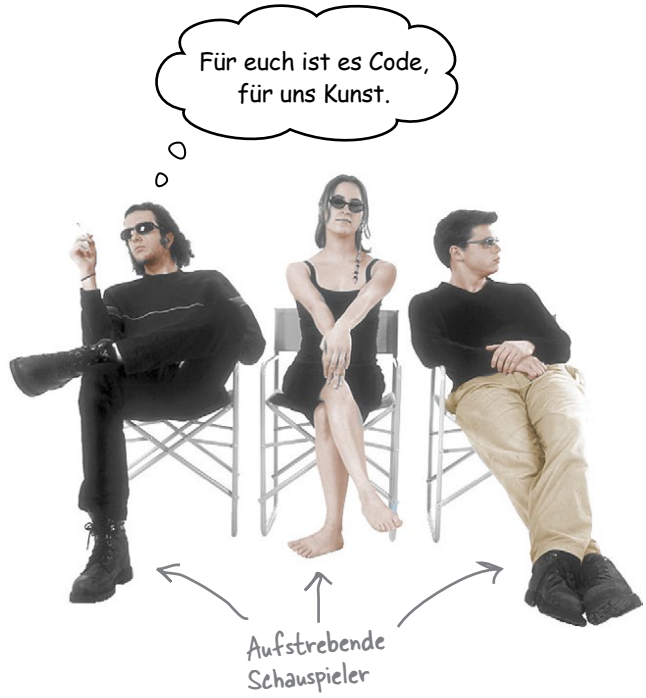
A: Nein. Die große Mehrheit der Entwickler nutzt `float`s und `double`s, ohne sich über die Details Gedanken zu machen.

Oh nein, arbeitslose Schauspieler am Werk …

Manche Menschen sind einfach nicht zum Programmierer geboren. Es scheint, dass einige aufstrebende Schauspieler rollenlose Zeiten *überbrücken*, indem sie ihre Börse damit aufbessern, nebenbei etwas Code zu kreieren. Sie haben beschlossen, etwas Zeit in die Aufbesserung des Codes für das Rechnungsprogramms zu stecken.

Einmal in die Mangel genommen, gefiel den Schauspielern der Code anschließend schon um einiges besser … es gab nur ein winziges Problem.

Der Code ließ sich nicht mehr kompilieren.



Schauen wir uns an, was dem Code widerfahren ist

Das haben die Schauspieler mit dem Code angestellt. Sie können sehen, dass sie eine Reihe von Dingen geändert haben.

```
#include <stdio.h>

float summe = 0.0;
short anzahl = 0;
/* 19%. Da nimmt mein Agent ja weniger ...*/
short steuersatz = 19;

int main()
{
  /* Künstlerisch betrachtet, hat das kaum Wert. */
  float wert;
  printf("Betrag für Posten: ");
  while (scanf("%f", &wert) == 1) {
    printf("Zwischensumme: %.2f\n", mit_steuer_addieren(wert));
    printf("Betrag für Posten: ");
  }
  printf("\nGesamtsumme: %.2f\n", summe);
  printf("Anzahl Posten: %hi\n", anzahl);
  return 0;
}

float mit_steuer_addieren(float f)
{
  float steuer = 1 + steuersatz / 100.0;
  /* Was ist mit Trinkgeld? Sprecherziehung kostet.*/
  summe = summe + (f * steuer);
  anzahl = anzahl + 1;
  return summe;
}
```

Dem Code wurden Kommentare hinzugefügt, und außerdem wurde die **Abfolge der Funktionen geändert**. Andere Modifizierungen wurden nicht vorgenommen.

Eigentlich sollte es also keine Probleme geben. Der Code müsste einsatzbereit sein. Alles war in Ordnung, bis sie daran gingen, **den Code zu kompilieren …**

Testlauf

Wenn Sie die Konsole öffnen und versuchen, das Programm zu kompilieren, geschieht Folgendes:

```
Datei Bearbeiten Fenster Hilfe SchusterBleibBeiDeinenLeisten
> gcc rechnung.c -o rechnung && ./rechnung
rechnung.c: In function "main":
rechnung.c:14: warning: format "%.2f" expects type
"double", but argument 2 has type "int"
rechnung.c: At top level:
rechnung.c:23: error: conflicting types for "mit_steuer_addieren"
rechnung.c:14: error: previous implicit declaration of
"mit_steuer_addieren" was here
```

Mist.

Das ist gar nicht gut. Was heißt dieses `error: conflicting types for 'mit_steuer_addieren'`? Was dieses *previous implicit declaration*? Und warum meint der Compiler, die Zeile, die die Gesamtsumme ausgibt, erhalte jetzt einen `int`? Sollte das nicht eigentlich ein `float` sein?

Der Compiler ignoriert die Änderungen, die an den Kommentaren vorgenommen wurden. Die sollten also eigentlich keinen Unterschied machen. Das heißt, dass das Problem **durch die Änderung der Abfolge der Funktionen** entstanden sein muss. Aber wenn die Abfolge das Problem ist, warum liefert der Compiler dann nicht einfach eine Meldung mit folgendem Gehalt:

Das ist ganz ernst gemeint. Warum unterstützt uns der Compiler hier nicht?

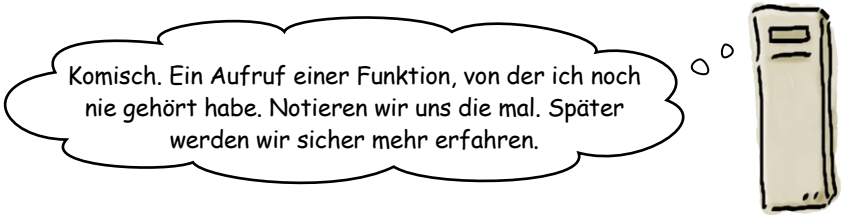
Wenn Sie genau verstehen wollen, was hier geschieht, müssen Sie sich eine Weile in den Compiler hineinversetzen und die Angelegenheit aus seiner Perspektive betrachten. Dann werden Sie feststellen, dass der Compiler vielleicht sogar versucht, *etwas zu hilfreich* zu sein.

Compiler mögen keine Überraschungen

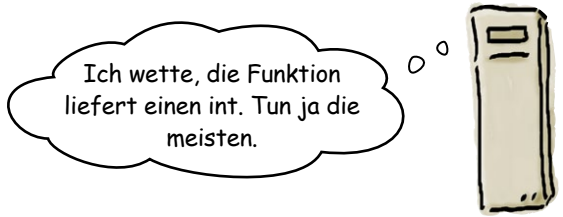
Was genau geschieht also, wenn der Compiler diese Codezeile sieht?

```
printf("Zwischensumme: %.2f\n", mit_steuer_addieren(wert));
```

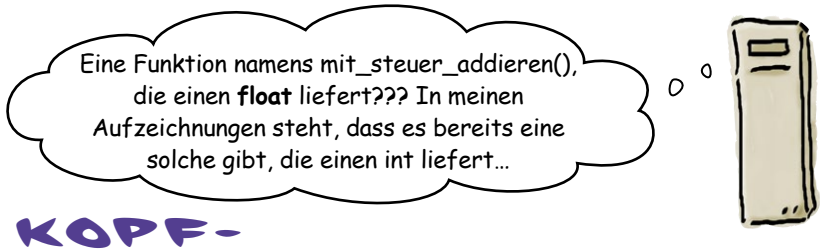
1. **Der Compiler sieht eine Funktion, die er nicht kennt.**
Statt sich zu beschweren, denkt sich der Compiler, dass er später in der Datei wahrscheinlich mehr über die Funktion erfahren wird. Der Compiler merkt sich einfach, dass er weiter hinten in der Datei auf die Funktion achten muss. Genau das aber ist das Problem …



2. **Der Compiler muss wissen, welchen Datentyp die Funktion liefert.**
Natürlich kann der Compiler noch nicht wissen, was die Funktion liefern wird, und stellt deswegen eine ***Vermutung*** an. Der Compiler geht davon aus, dass sie einen `int` liefert.

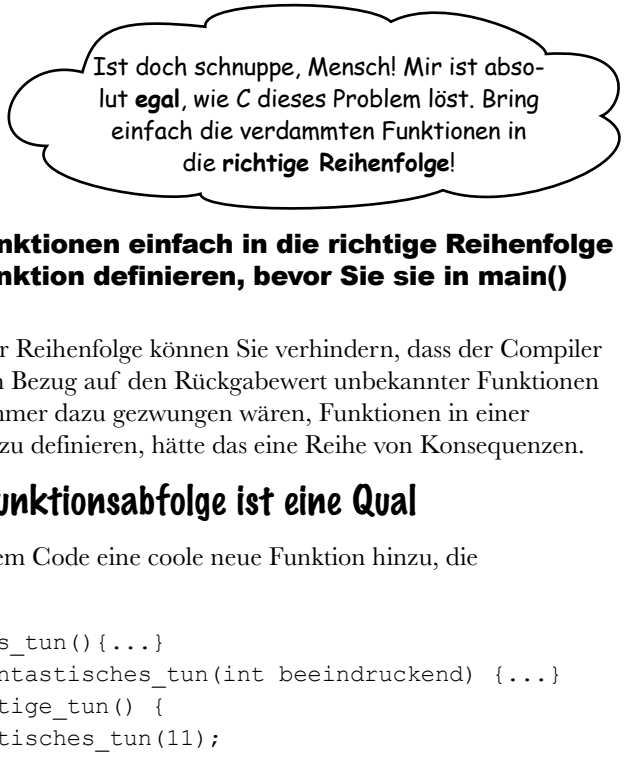


3. **Wenn er den Code für die eigentliche Funktion erreicht, liefert er die Meldung »conflicting types for 'mit_steuer_addieren'«.**
Das liegt daran, dass der Compiler denkt, er habe zwei Funktionen gleichen Namens. Eine Funktion ist die echte Funktion in der Datei. Die andere ist die, die der Compiler erwartet, die, die einen `int` liefern sollte.



KOPF-NUSS

Der Computer vermutet, dass die Funktion einen `int` liefert, obwohl sie eigentlich einen `float` liefert. Wie hätten Sie dieses Problem gelöst, wenn Sie der Erfinder von C wären?



Sie könnten die Funktionen einfach in die richtige Reihenfolge bringen und die Funktion definieren, bevor Sie sie in main() aufrufen.

Durch eine Änderung der Reihenfolge können Sie verhindern, dass der Compiler gefährliche Annahmen in Bezug auf den Rückgabewert unbekannter Funktionen macht. Aber wenn Sie immer dazu gezwungen wären, Funktionen in einer bestimmten Reihenfolge zu definieren, hätte das eine Reihe von Konsequenzen.

Das Reparieren der Funktionsabfolge ist eine Qual

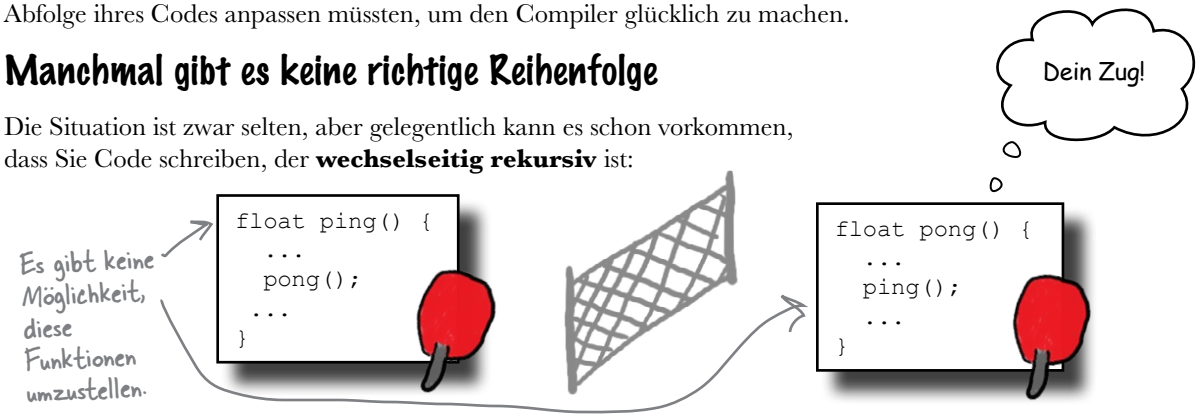
Angenommen, Sie fügen Ihrem Code eine coole neue Funktion hinzu, die alle umwerfend finden:

```
int irgendwas_tun(){...}
float was_fantastisches_tun(int beeindruckend) {...}
int das_richtige_tun() {
  was_fantastisches_tun(11);
}
```

Was passiert, wenn Sie *später* entscheiden, dass Ihr Programm sogar noch *besser* wird, wenn Sie in den `irgendwas_tun()`-Code einen `was_fantastisches_tun()`-Aufruf einbauen? Dann müssen Sie die **Funktion** in der Datei **nach oben verschieben**. Die meisten Programmierer wollen ihre Zeit mit der Optimierung dessen verbringen, was ihr Code leisten kann. Es wäre besser, wenn sie nicht die Abfolge ihres Codes anpassen müssten, um den Compiler glücklich zu machen.

Manchmal gibt es keine richtige Reihenfolge

Die Situation ist zwar selten, aber gelegentlich kann es schon vorkommen, dass Sie Code schreiben, der **wechselseitig rekursiv** ist:



Wenn Sie zwei Funktionen haben, *die sich gegenseitig aufrufen*, wird eine **davon immer aufgerufen, bevor sie in der Datei definiert wird**.

Aus beiden Gründen wäre es wirklich nützlich, wenn man Funktionen in eben der Reihenfolge definieren könnte, die gerade am einfachsten ist. Aber wie?

Die Deklaration von der Definition trennen

Erinnern Sie sich, dass sich der Compiler eine Notiz zu der Funktion machte, die er später in der Datei erwartete? Dass der Compiler derartige Annahmen überhaupt macht, können Sie vermeiden, indem Sie ***ihm explizit sagen, welche Funktionen er erwarten soll***. Wenn Sie den Compiler über eine Funktion informieren, bezeichnet man das als **Funktionsdeklaration**:

Die Deklaration sagt dem Compiler, welchen Rückgabewert er erwarten soll.

```
float mit_steuer_addieren();
```

Eine Deklaration enthält keinen Funktionsinhalt.

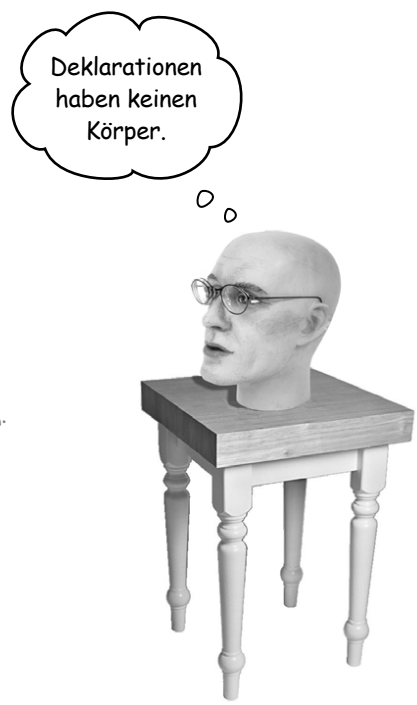
Sie endet einfach mit einem ; (Semikolon).

Die Deklaration ist einfach nur eine **Funktionssignatur**: eine Notiz, die sagt, wie eine Funktion heißt, welche Art Parameter sie erwartet und **welchen Typ an Daten sie zurückliefert**.

Haben Sie eine Funktion deklariert, muss der Compiler keine Annahmen mehr machen, und es gibt auch keine Probleme mehr, wenn Sie eine Funktion erst nach der ersten Verwendung definieren.

Wenn Ihr Code viele Funktionen enthält und wenn Sie sich keine Gedanken über deren Abfolge in der Datei machen wollen, können Sie Ihrem C-Programmcode eine Liste von Funktionsdeklarationen voranstellen:

```
float was_fantastisches_tun();
double beeindruckend_2_punkt_0();
int schwarzer_peter();
char margarita_mixen(int zahl);
```



Noch besser ist, dass C es Ihnen ermöglicht, ganze Sätze von Deklarationen *aus Ihrem Code herauszuziehen* und in eine **Header-Datei** zu stecken. Header-Dateien haben Sie bereits genutzt, um Code aus der C-Standardbibliothek einzufügen:

```
#include <stdio.h>
```

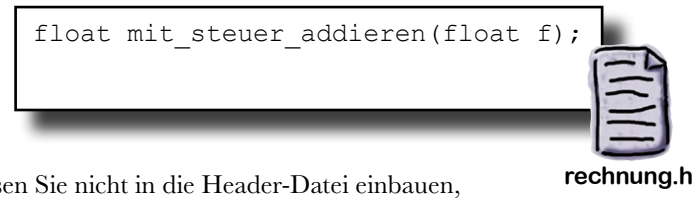
Diese Zeile schließt den Inhalt der Header-Datei mit dem Namen stdio.h ein.

Schauen wir uns an, wie man eigene Header-Dateien erstellt.

Ihre erste Header-Datei

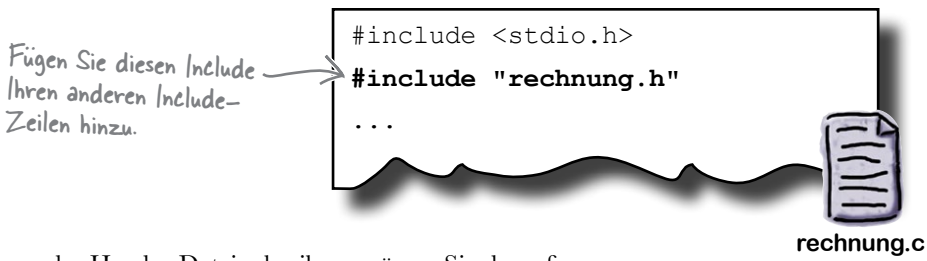
Zur Erstellung eines Headers müssen Sie nur **zwei Dinge** tun:

1. **Erstellen Sie eine neue Datei mit der Dateinamenserweiterung .h.**
Wenn Sie ein Programm namens `rechnung` aufbauen, erstellen Sie eine Datei namens *rechnung.h* und stecken in diese Ihre Deklarationen:



Die Funktion `main()` müssen Sie nicht in die Header-Datei einbauen, da sie nie von anderem Code aufgerufen wird.

2. **Fügen Sie die Header-Datei in das Programm ein.**
Zu Anfang Ihres Programms sollten Sie eine weitere `include`-Zeile ergänzen:



Wenn Sie den Namen der Header-Datei schreiben, müssen Sie darauf achten, dass Sie ihn in doppelte Anführungszeichen einschließen und nicht in spitze Klammern. Warum dieser Unterschied? Wenn der Compiler einen `include` mit spitzen Klammern sieht, geht er davon aus, dass er die Header-Datei in einem der Verzeichnisse findet, in denen Bibliothekscode gespeichert ist. Aber **Ihre** Header-Datei befindet sich im gleichen Verzeichnis wie Ihre ***.c***-Datei. Wenn Sie den Header-Namen in Anführungszeichen setzen, sagen Sie dem Compiler, dass er nach einer lokalen Datei suchen soll.

Lokale Header-Dateien können auch Verzeichnisnamen enthalten, aber üblicherweise stecken Sie sie in das gleiche Verzeichnis wie die C-Datei.

Wenn der Compiler das `#include` im Code antrifft, liest er den Inhalt der Header-Datei ein, als wäre er in den Code eingegeben worden.

Lagern Sie Ihre Deklarationen in eine separate Header-Datei aus, hält das nicht nur Ihren Code kürzer, sondern hat außerdem *einen weiteren Vorteil*, den Sie in ein paar Seiten erfahren werden.

Zunächst aber wollen wir uns ansehen, ob eine Header-Datei das Problem löst.

#include ist eine Präprozessor-Instruktion.

Testlauf

Wenn Sie den Code jetzt kompilieren, geschieht Folgendes:

Keine Fehlermeldungen mehr.

```
Datei Bearbeiten Fenster Hilfe MitKöpfchen
> gcc rechnung.c -o rechnung
```

Der Compiler liest die Funktionsdeklaration aus der Header-Datei und muss nicht mehr raten, welchen Rückgabetyp die Funktion hat. Die Abfolge der Funktionen spielt keine Rolle mehr.

Um zu prüfen, ob alles in Ordnung ist, können Sie das generierte Programm testen, um sich zu versichern, dass es genau so funktioniert wie zuvor.

```
Datei Bearbeiten Fenster Hilfe MitKöpfchen
> ./rechnung
Betrag für Posten: 1.23
Zwischensumme: 1.30
Betrag für Posten: 4.57
Zwischensumme: 6.15
Betrag für Posten: 11.92
Zwischensumme: 18.78
Betrag für Posten: ^D
Gesamtsumme: 18.78
Anzahl Posten: 3
```

Drücken Sie hier Strg-D, damit das Programm nicht weiter nach Beträgen fragt.

Spielen Sie Compiler

Schauen Sie sich das Programm unten an. Ein Teil fehlt. Spielen Sie also Compiler und sagen Sie, was Sie tun würden, wenn die jeweiligen auf der rechten Seite aufgelisteten Kandidatenfragmente in die Lücke eingesetzt würden.

Hier kommt der Kandidatencode rein.

```
#include <stdio.h>

  printf("Auf dem Merkur hat ein Tag %f Stunden\n", tag);
  return 0;
}

float merkurtage_in_erdtagen()
{
  return 58.65;
}

int stunden_in_erdtag()
{
  return 24;
}
```

Hier sind die Codefragmente.

```
float merkurtage_in_erdtagen();
int stunden_in_erdtag();

int main()
{
  float taglaenge = merkurtage_in_erdtagen();
  int stunden = stunden_in_erdtag();
  float tag = taglaenge * stunden;
```

Setzen Sie Ihre Häkchen in die richtigen Kästen.

- ☐ Code kompilierbar.
- ☐ Warnung anzeigen.
- ☐ Programm funktioniert.

```
float merkurtage_in_erdtagen();

int main()
{
  float taglaenge = merkurtage_in_erdtagen();
  int stunden = stunden_in_erdtag();
  float tag = taglaenge * stunden;
```

- ☐ Code kompilierbar.
- ☐ Warnung anzeigen.
- ☐ Programm funktioniert.

```
int main()
{
  float taglaenge = merkurtage_in_erdtagen();
  int stunden = stunden_in_erdtag();
  float tag = taglaenge * stunden;
```

- ☐ Code kompilierbar.
- ☐ Warnung anzeigen.
- ☐ Programm funktioniert.

```
float merkurtage_in_erdtagen();
int stunden_in_erdtag();

int main()
{
  int taglaenge = merkurtage_in_erdtagen();
  int stunden = stunden_in_erdtag();
  float tag = taglaenge * stunden;
```

- ☐ Code kompilierbar.
- ☐ Warnung anzeigen.
- ☐ Programm funktioniert.

Spielen Sie Compiler, Lösung

Schauen Sie sich das Programm unten an. Ein Teil fehlt. Sie sollten Compiler spielen und sagen, was Sie tun würden, wenn die jeweiligen auf der rechten Seite aufgelisteten Kandidatenfragmente in die Lücke eingesetzt würden.

```
#include <stdio.h>

  printf("Auf dem Merkur hat ein Tag %f Stunden\n", tag);
  return 0;
}

float merkurtage_in_erdtagen()
{
  return 58.65;
}

int stunden_in_erdtag()
{
  return 24;
}
```

```
float merkurtage_in_erdtagen();
int stunden_in_erdtag();

int main()
{
  float taglaenge = merkurtage_in_erdtagen();
  int stunden = stunden_in_erdtag();
  float tag = taglaenge * stunden;
```

- [x] Code kompilierbar.
- [ ] Warnung anzeigen.
- [x] Programm funktioniert.

```
float merkurtage_in_erdtagen();

int main()
{
  float taglaenge = merkurtage_in_erdtagen();
  int stunden = stunden_in_erdtag();
  float tag = taglaenge * stunden;
```

Es gibt eine Warnung, weil stunden_in_erdtag() vor dem Aufruf nicht deklariert wurde. Das Programm funktioniert trotzdem, weil der Rückgabetyp int richtig angenommen wird.

- [x] Code kompilierbar.
- [x] Warnung anzeigen.
- [x] Programm funktioniert.

```
int main()
{
  float taglaenge = merkurtage_in_erdtagen();
  int stunden = stunden_in_erdtag();
  float tag = taglaenge * stunden;
```

Die Kompilierung scheitert, weil eine float-Funktion vor der Deklaration aufgerufen wird.

- [ ] Code kompilierbar.
- [x] Warnung anzeigen.
- [ ] Programm funktioniert.

```
float merkurtage_in_erdtagen();
int stunden_in_erdtag();

int main()
{
  int taglaenge = merkurtage_in_erdtagen();
  int stunden = stunden_in_erdtag();
  float tag = taglaenge * stunden;
```

Die Variable taglaenge sollte ein float sein.

Das Programm kompiliert, funktioniert aber nicht, weil es Rundungsfehler gibt.

- [x] Code kompilierbar.
- [ ] Warnung anzeigen.
- [ ] Programm funktioniert.

Es gibt keine Dummen Fragen

F: `int`-Funktionen muss ich dann also nicht deklarieren?

A: Nicht unbedingt, wenn Sie Ihren Code nicht teilen wollen. Mehr dazu erfahren Sie gleich.

F: Ich bin verwirrt. Sie erwähnten eine *Vorverarbeitung* durch den Compiler. Warum macht der *Compiler* das?

A: Genau genommen kümmert sich der Compiler wirklich nur um den Kompilierungsschritt: Er wandelt den C-Quellcode in Maschinencode um. Allgemeiner gesagt, bezeichnet man sämtliche Phasen der Umwandlung des C-Quellcodes in ein ausführbares Programm als *Kompilierung*, und `gcc` steuert sämtliche Phasen dieses Prozesses – die Vorverarbeitung durch den Präprozessor und die Kompilierung.

F: Was ist der Präprozessor?

A: Der Präprozessor kümmert sich um die ersten Schritte bei der Verarbeitung des C-Quellcodes in ein funktionierendes Programm. Bei dieser »Vorverarbeitung« wird eine modifizierte Version des Quellcodes erstellt, bevor die *eigentliche* Kompilierung beginnt. In Ihrem Code kümmert sich der Präprozessor darum, dass der Inhalt der Header-Datei in die eigentliche Datei eingelesen wird.

F: Erstellt der Präprozessor eine richtige Datei?

A: Nein, Compiler nutzen gewöhnlich Pipes, um Daten effizienter zwischen den Phasen des Compilers auszutauschen.

F: Warum nutzen manche Header Anführungszeichen, andere hingegen spitze Klammern?

A: Genau genommen hängt das von der Funktionsweise Ihres Compilers ab. Anführungszeichen bedeuten üblicherweise, dass über einen relativen Pfad nach einer Datei gesucht wird. Wenn Sie nur den Dateinamen ohne einen Verzeichnisnamen angeben, sucht der Compiler im aktuellen Verzeichnis. Werden spitze Klammern genutzt, sucht er in vorab festgelegten Verzeichnissen.

F: In welchen Verzeichnissen sucht der Compiler, wenn er nach Header-Dateien sucht?

A: Der `gcc`-Compiler weiß, wo die Standard-Header gespeichert sind. Auf einem Unix-ähnlichen Betriebssystem befinden sich Header-Dateien üblicherweise an Orten wie */usr/local/include*, */usr/include* oder ein paar anderen.

F: So funktioniert das also bei Standard-Headern wie *stdio.h*?

A: Ja. Auf einem Unix-basierten System finden Sie die Datei *stdio.h* unter */usr/include/stdio.h*. Wenn Sie unter Windows den MinGW-Compiler nutzen, steckt er wahrscheinlich in *C:\MinGW\include\stdio.h*.

F: Kann ich eigene Bibliotheken erstellen?

A: Ja. Wie Sie das tun, erfahren Sie später in diesem Buch.

Punkt für Punkt

- Wenn der Compiler auf den Aufruf einer Funktion stößt, von der er noch nicht gehört hat, geht er davon aus, dass die Funktion einen `int` liefert.
- Versuchen Sie, eine Funktion aufzurufen, bevor Sie sie definieren, kann das zu Problemen führen.
- Funktionsdeklarationen sagen dem Compiler, wie Ihre Funktionen aussehen, bevor Sie sie definieren.
- Wenn Funktionsdeklarationen am Anfang Ihres Quellcodes stehen, gerät der Compiler nicht in Verwirrung in Bezug auf den Rückgabetyp.
- Funktionsdeklarationen werden häufig in Header-Dateien gepackt.
- Sie können dem Compiler mit `#include` sagen, dass er den Inhalt einer Header-Datei lesen soll.
- Der Compiler behandelt durch `#include` eingeschlossenen Code genau so wie Code, der direkt in die Quelldatei eingegeben wurde.

Diese Tabelle ist reserviert ...

C ist eine sehr kleine Sprache. Hier ist eine vollständige Liste der reservierten Wörter (in keiner bestimmten Abfolge).

Jedes C-Programm, das Ihnen je begegnen wird, wird aus diesen paar Wörtern und ein paar Zeichen bestehen. Wenn Sie eins dieser Wörter als Namen verwenden, wird das den Compiler schrecklich aufregen.

auto	if	break
int	case	long
char	register	continue
return	default	short
do	sizeof	double
static	else	struct
entry	switch	extern
typedef	float	union
for	unsigned	goto
while	enum	void
const	signed	volatile

Bei Gemeinsamkeiten ...

Je mehr C-Programme Sie schreiben, umso wahrscheinlicher wird es, dass Sie feststellen werden, dass Sie Funktionen und Einrichtungen in anderen Programmen wiederverwenden können. Schauen Sie sich beispielsweise die Spezifikationen für die beiden Programme rechts an.

datei_kodierer

Inhalt einer Datei lesen und eine mit XOR verschlüsselte Version erstellen.

text_kodierer

Strings von der Standardeingabe lesen und mit XOR verschlüsselte Versionen auf der Standardausgabe ausgeben.

Die XOR-Verschlüsselung ist ein sehr einfaches Verfahren zur Tarnung von Text, bei dem jedes Zeichen per XOR mit einem Wert verknüpft wird. Sie ist nicht sonderlich sicher, lässt sich aber recht einfach durchführen. Und derselbe Code, der zur Verschlüsselung genutzt wurde, kann auch zur Entschlüsselung verwendet werden:

```
void kodieren(char *nachricht)
{
  char c;
  while (*nachricht) {
    *nachricht = *nachricht ^ 31;
    nachricht++;
  }
}
```

void heißt: kein Rückgabewert.

Die Funktion erhält einen Zeiger auf ein Array.

Das Array durchlaufen und alle Zeichen durch eine verschlüsselte Version ersetzen.

Das bedeutet, alle Zeichen per XOR mit der Zahl 31 verknüpfen.

Mit Zeichen rechnen? Das geht, weil char ein numerischer Datentyp ist.

... ist teilen gut

Offensichtlich werden beide Programme dieselbe `kodieren()`-Funktion benötigen. Kein Problem, denken Sie? Ich kopiere den Code einfach in das zweite Programm? Wenn die zu kopierende Codemenge klein ist, ist das nicht so aufwendig ... aber was ist, wenn die zu kopierende Codemenge umfangreicher wird? Oder wenn sich die Funktionsweise der Funktion `kodieren()` später ändern muss? Wenn es zwei Exemplare von `kodieren()` gibt, müssen Sie den Code an zwei Stellen ändern.

Möchten Sie dieses Problem auch bei umfangreicherem Code im Griff behalten, müssen Sie eine Möglichkeit finden, gemeinsame Codeteile wiederzuverwenden – eine Möglichkeit, Funktionen zu nehmen und sie einem Haufen unterschiedlicher Programme zur Verfügung zu stellen.

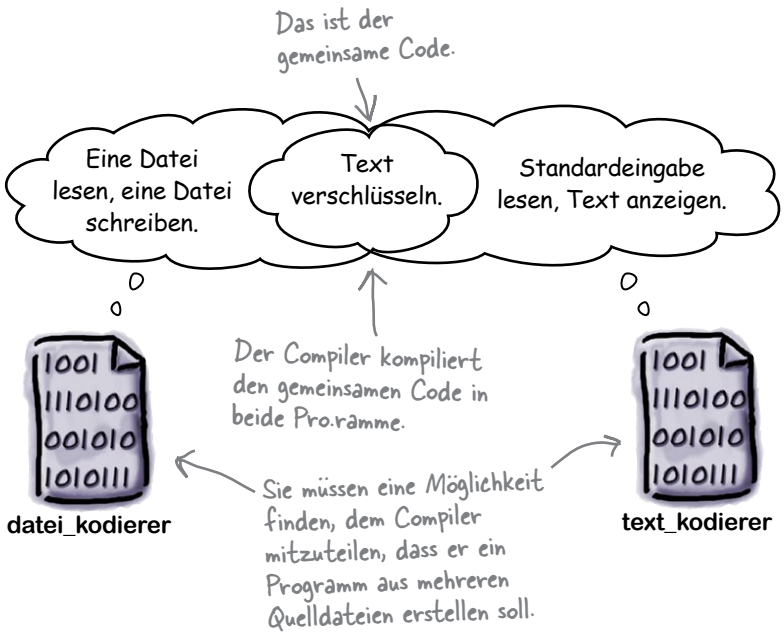
KOPF-NUSS

Stellen Sie sich vor, Sie möchten eine Gruppe von Funktionen in mehreren Programmen nutzen. Wie hätten Sie das Teilen von Code ermöglicht, wenn Sie der Schöpfer von C gewesen wären?

Wie könnte man das tun?

Sie können Code auf mehrere Dateien aufteilen

Wenn Sie eine Codemenge haben, die Sie in mehreren Dateien nutzen wollen, ist es sinnvoll, diesen gemeinsam genutzten Code in eine eigene ***.c***-Datei zu packen. Sofern der Compiler den gemeinsam genutzten Code irgendwie einschließen kann, wenn er das Programm kompiliert, können Sie den gleichen Code in mehreren Kompilierungseinheiten nutzen. Sollte sich der gemeinsam genutzte Code irgendwann ändern müssen, muss er nur an einer Stelle geändert werden.



Wenn Sie eine eigene *.c*-Datei für den gemeinsamen Code nutzen wollen, haben wir ein *Problem*. Alle Programme, die wir bislang erstellt haben, bestanden nur aus einer einzigen *.c*-Quelldatei. Hätten Sie ein Programm namens `blitz_hack`, hätten Sie es aus einer einzigen Quellcodedatei mit dem Namen *blitz_hack.c* erstellt.

Aber jetzt brauchen Sie eine Möglichkeit, dem Compiler **mehrere Quellcodedateien zu geben** und dann zu sagen: »Mach mir ein Programm daraus.« Wie macht man das? Welche Syntax nutzt man dazu beim `gcc`-Compiler? Und wichtiger noch, was heißt es für einen Compiler, eine einzige ausführbare Datei aus mehreren Dateien zu erstellen? Wie würde das funktionieren? Wie würde man sie zusammennähen?

Wenn wir verstehen wollen, wie der C-Compiler ein Programm aus mehreren Dateien erstellen kann, müssen wir uns ansehen, wie die Kompilierung funktioniert ...

Kompilieren – was steckt dahinter?

Wenn wir verstehen wollen, wie der Compiler mehrere Dateien zu einem Programm kompilieren kann, müssen wir den Vorhang lüften und uns ansehen, wie die Kompilierung wirklich funktioniert.

1 **Präprozessor: Die Quellen reparieren.**
Zunächst muss der Compiler die Quellen aufbereiten. Er muss alle Header-Dateien reinmischen, die mit `#include`-**Direktiven** angegeben wurden. Außerdem muss er eventuell Bereiche des Programms expandieren oder überspringen. Ist das geschehen, ist der Code für die eigentliche Kompilierung bereit.

Das kann er mit Befehlen wie #define und #ifdef tun. Wie Sie die verwenden, erfahren Sie später im Buch.

2 **Kompilierung: In Assembler übersetzen.**
Wahrscheinlich erscheint Ihnen C als Programmiersprache schon recht primitiv, trotzdem ist es *immer noch nicht so einfach*, dass der Computer es verstehen kann. Der Computer versteht nur völlig »primitive« Instruktionen in **Maschinensprache, und der erste Schritt** zur Generierung von Maschinensprache ist es, den C-Quellcode in **Assembler-Symbole** folgender Art zu verwandeln:

```
movq   -24(%rbp), %rax
movzbl(%rax), %eax
movl   %eax, %edx
```

Und? Sieht das primitiv und obskur aus? Assembler beschreibt die einzelnen Instruktionen, die die CPU befolgen muss, wenn sie das Programm ausführt. Der C-Compiler beherrscht einen ganzen Berg an Rezepten für die verschiedenen Teile der Programmiersprache C. Diese Rezepte sagen ihm, wie er eine `if`-Anweisung oder einen Funktionsaufruf in eine Folge von Assembler-Instruktionen übersetzt. Aber für die Maschine ist selbst Assembler nicht einfach genug. Deswegen muss …

3 Assembler: Objektcode generieren.

Der Compiler muss die Symbolcodes *assemblieren*, um *Maschinen-* oder **Objektcode** zu erzeugen. Das ist der eigentliche Binärcode, der von den Schaltkreisen in der CPU ausgeführt wird.

Das ist ein garstiger Scherz in Maschinensprache.

```
10010101 00100101 11010101 01011100
```

Und ist damit alles erledigt? Schließlich wurde der ursprüngliche C-Quellcode in die Nullen und Einsen umgewandelt, die die Schaltkreise des Computers benötigen. Doch nein, es steht immer noch ein Schritt aus. Wenn Sie dem Computer für ein Programm mehrere Dateien zur Kompilierung geben, generiert der Compiler jeweils Objektcode für jede dieser Quelldateien. Aber wenn diese Objektdateien ein ausführbares Programm bilden sollen, muss noch ein Schritt folgen …

4 Linken: Die Teile verbinden.

Wenn Sie alle Teile des Objektcodes haben, müssen diese wie die Teile eines Puzzles zusammengesetzt werden, bis sie das vollständige **ausführbare Programm** bilden. Der Compiler verbindet Code in einem Teil des Objektcodes mit Code in einem anderen Teil des Objektcodes, wenn er eine Funktion in jenem Teil aufruft. Das Linken sorgt auch dafür, dass das Programm Bibliothekscode richtig aufrufen kann. Schließlich wird das Programm in eine Programmdatei geschrieben – in einem Format, das vom Betriebssystem unterstützt wird. Das Dateiformat ist wichtig, weil es dem Betriebssystem ermöglicht, das Programm in den Speicher zu laden und auszuführen.

Und wie sagt man dem gcc nun, dass er aus mehreren Dateien eine Programmdatei bauen soll?

Der gemeinsame Code braucht einen Header

Wenn Sie den *kodieren.c*-Code in mehreren Programmen nutzen wollen, brauchen Sie eine Möglichkeit, diese Programme über den Verschlüsselungscode zu informieren. Das tun Sie mit einer Header-Datei.

```
void kodieren(char *nachricht);
```

kodieren.h

Sie fügen den Header in kodieren.c ein.

```
#include "kodieren.h"

void kodieren(char *nachricht)
{
  char c;
  while (*nachricht) {
    *nachricht = *nachricht ^ 31;
    nachricht++;
  }
}
```

kodieren.c

kodieren.h in Ihr Programm einschließen

Hier nutzen Sie die Header-Datei nicht, damit Sie die Funktionen beliebig anordnen können. Sie nutzen sie, um **andere Programme über die `kodieren()`-Funktion zu informieren**:

Sie fügen kodieren.h ein, damit das Programm die Deklaration der kodieren()-Funktion hat.

```
#include <stdio.h>
#include "kodieren.h"

int main()
{
  char text[80];
  while (fgets(text, 80, stdin)) {
    kodieren(text);
    printf("%s", text);
  }
}
```

text_kodierer.c

Wird *kodieren.h* in das Hauptprogramm eingefügt, erfährt der Compiler so viel über die Funktion `kodieren()`, dass er den Code kompilieren kann. Beim Linken kann der Compiler den `kodieren(text)`-Aufruf in *text_kodierer.c* mit der eigentlichen `kodieren()`-Funktion in *kodieren.h* verbinden.

Um alles gemeinsam zu kompilieren, müssen Sie `gcc` nur noch die Quellcodedateien übergeben

```
gcc text_kodierer.c kodieren.c -o text_kodierer
```

Variablen teilen

Sie haben gesehen, wie man Funktionen zwischen verschiedenen Dateien teilt. Aber was ist, wenn Sie Variablen teilen wollen? Quellcodedateien haben üblicherweise ihre eigenen Variablen, damit sich eine Variable aus der einen Datei nicht auf eine Variable gleichen Namens in einer anderen Datei auswirken kann. Wollen Sie jedoch unbedingt Variablen teilen, deklarieren Sie diese in der Header-Datei und stellen ihr das Schlüsselwort **`extern`** voran:

```
extern int passcode;
```

Testlauf

Schauen wir uns an, was passiert, wenn Sie das `text_kodierer`-Programm kompilieren:

Sie müssen den Code mit beiden Dateien kompilieren.

Wenn Sie das Programm ausführen, können Sie Text eingeben und sich die verschlüsselte Version ansehen.

Sie können ihm sogar den Inhalt der Datei kodieren.h zur Verschlüsselung übergeben.

Das text_kodierer-Programm nutzt die kodieren()-Funktion aus kodieren.c.

```
Datei Bearbeiten Fenster Hilfe Shhh...
> gcc text_kodierer.c kodieren.c -o text_kodierer
> ./text_kodierer
Das ist eine geheime Botschaft!
[~l?vlk?zvqz?xzwzvrz?]pkl|w~yk>
> ./text_kodierer < kodieren.h
ipv{?tp{vzmzq7|w~m?5q~|wmv|wk6$
>
```

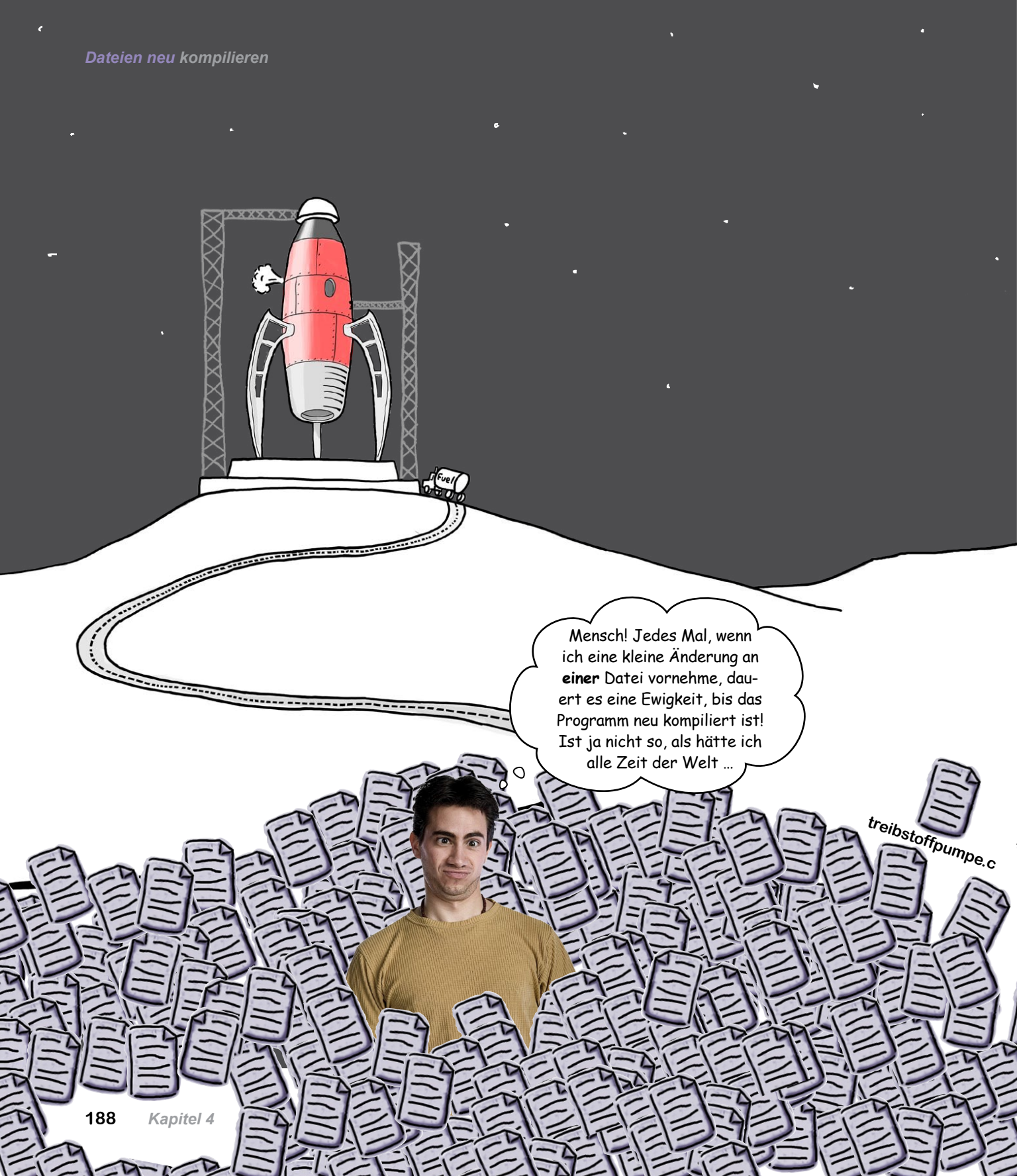
Das Programm funktioniert. Nachdem Sie die `kodieren()`-Funktion in eine separate Datei gesteckt haben, können Sie sie in jedem beliebigen Programm nutzen. Wenn Sie `kodieren()` je ändern wollen, beispielsweise um die Funkion etwas sicherer zu machen, müssen Sie nur an der Datei *kodieren.c* arbeiten.

Punkt für Punkt

- Sie können Code teilen, indem Sie ihn in eine eigene C-Datei stecken.
- Sie müssen die Funktionsdeklaration in eine eigene *.h*-Header-Datei stecken.
- Schließen Sie die Header-Datei in alle C-Dateien ein, die den gemeinsamen Code nutzen müssen.
- Führen Sie alle benötigten C-Dateien im Kompilierungsbefehl auf.

Abseits der Piste

Schreiben Sie ein eigenes C-Programm, das die Funktion `kodieren()` nutzt. Denken Sie daran, dass Sie die gleiche Funktion für die Entschlüsselung des Texts nutzen können.

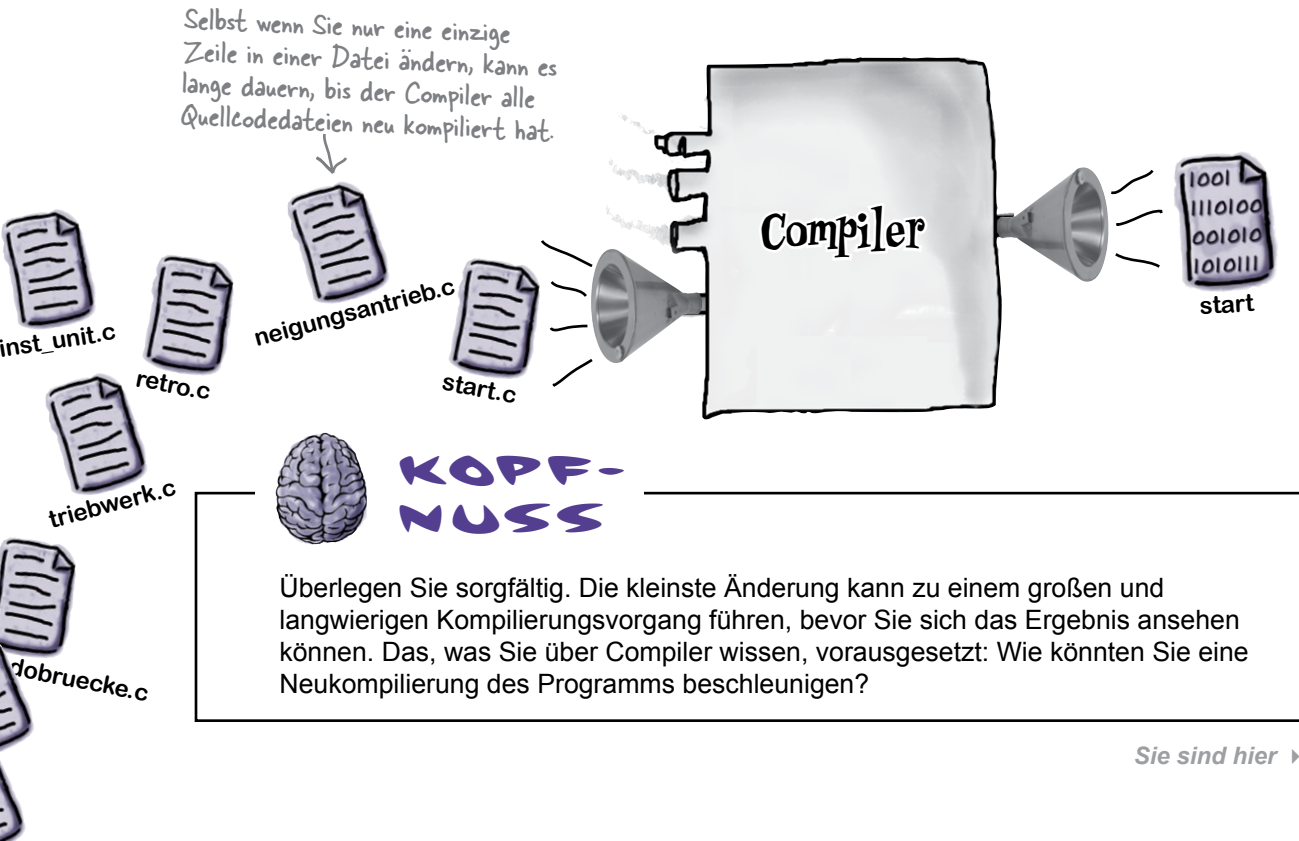

Fuel
Mensch! Jedes Mal, wenn ich eine kleine Änderung an **einer** Datei vornehme, dauert es eine Ewigkeit, bis das Programm neu kompiliert ist! Ist ja nicht so, als hätte ich alle Zeit der Welt …
treibstoffpumpe.c

Es ist kein Mysterium ... oder doch?

Dass Sie Ihr Programm auf mehrere Quelldateien verteilen, sorgt nicht nur dafür, dass Sie *den gleichen Code* in mehreren Programmen nutzen können, es heißt auch, dass Sie damit beginnen können, so *richtig große* Programme aufzubauen. Warum das? Weil Sie jetzt damit Ihr Programm in kleinere, **in sich abgeschlossene** Codeeinheiten gliedern können. Sie sind nicht gezwungen, mit einer *gewaltigen* Quelldatei zu arbeiten, sondern können stattdessen viele *einfachere* Dateien nutzen, die leichter zu verstehen, zu warten und zu testen sind.

Auf der Habenseite sehen Sie also, dass Sie jetzt so richtig große Programme aufbauen können. Und auf der Sollseite? Auch dort steht, dass Sie nun beginnen können, richtig große Programme aufzubauen! C-Compiler sind ausgesprochen effiziente Softwaregeschöpfe. Sie unterziehen Ihr Programm einigen sehr komplexen Transformationen, sie können Ihren Quelltext modifizieren, Hunderte von Dateien zusammenbinden, ohne dass der Speicher hochgeht, und nebenbei auch noch den Code optimieren, den Sie geschrieben haben. Und obwohl sie all diese Dinge tun, schaffen sie es trotzdem, schnell zu laufen.

Aber wenn Sie Programme erstellen, die mehr als ein paar Dateien umfassen, wird die Zeit, die die Kompilierung des Codes in Anspruch nimmt, relevant. Angenommen, es dauert eine Minute, um ein großes Projekt zu kompilieren. Das hört sich gar nicht so viel an, aber es ist mehr als genug, um Ihren Arbeitsfluss zu unterbrechen. Wenn Sie eine Änderung an einer Codezeile vornehmen, wollen Sie die Folgen dieser Änderung so schnell wie möglich sehen. Wenn Sie jedes Mal eine vollständige Minute warten müssen, bis Sie sich die Auswirkungen Ihrer Änderungen ansehen können, wird Sie das erheblich ausbremsen.



KOPF-NUSS

Überlegen Sie sorgfältig. Die kleinste Änderung kann zu einem großen und langwierigen Kompilierungsvorgang führen, bevor Sie sich das Ergebnis ansehen können. Das, was Sie über Compiler wissen, vorausgesetzt: Wie könnten Sie eine Neukompilierung des Programms beschleunigen?

Nicht alles neu kompilieren

Wenn Sie nur eine oder zwei Quellcodedateien geändert haben, ist es Verschwendung, alle Quelldateien für Ihr Programm neu zu kompilieren. Überlegen Sie, was passiert, wenn Sie einen Befehl folgender Art absetzen:

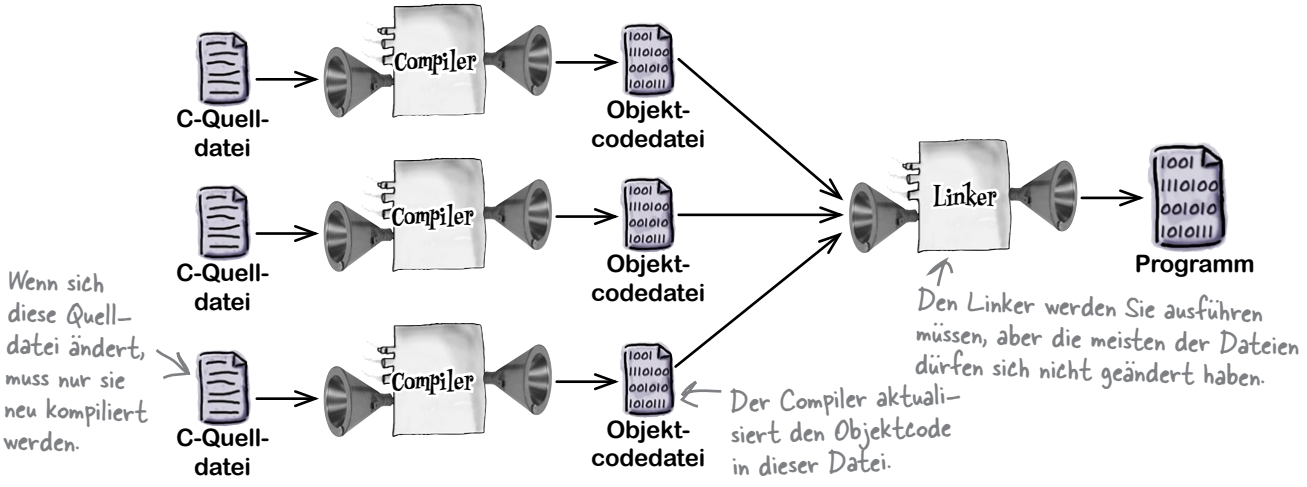
Hier werden ein paar Dateinamen weggelassen.

```
gcc rcs.c neigungsantrieb.c ... triebwerk.c -o start
```

Was tut der Compiler jetzt? Er führt die Präprozessor-, Compiler- und Assembler-Schritte für *jede Quelldatei durch*. Auch für jene, die sich nicht geändert haben. Aber wenn sich der Quellcode nicht geändert hat, ändert sich auch der für diese Datei generierte **Objektcode** nicht. Was also müssen Sie tun, wenn der Compiler jedes Mal für alle Dateien Objektcode generiert?

Kopien des generierten Codes speichern

Wenn Sie dem Compiler sagen, dass er den generierten Objektcode in einer Datei speichern soll, müsste er ihn eigentlich nur dann neu erzeugen, wenn sich die Quelldatei ändert. Sobald sich eine Datei *ändert*, können Sie den Objektcode für diese **eine Datei** neu erstellen lassen und dann den ganzen Satz von Objektdateien an den Compiler zum Linken übergeben.



Wenn Sie nur eine Datei ändern, müssen Sie die Objektcodedatei für diese Datei neu erstellen, aber für keine der anderen Dateien. Anschließend übergeben Sie sämtliche Objektcodedateien an den Linker und erstellen eine neue Version des Programms.

Aber wie sagen Sie gcc, dass er den Objektcode in einer Datei speichern soll? Und wie bringen Sie den Compiler dazu, die Objektdateien zu linken?

Erst aus Quellen Objektdateien machen

Sie brauchen Objektcode für alle Quelldateien, und das erreichen Sie mit folgendem Befehl:

Das erstellt den Objektcode für die Datei. → `gcc -c *.c` ← Das Betriebssystem ersetzt *.c durch alle C-Dateinamen.

Das `*.c` wird zu allen C-Dateien im aktuellen Verzeichnis expandiert, und das `-c` sagt dem Compiler, dass für jede C-Datei eine Objektdatei erstellt werden soll, dass diese aber noch nicht zur ausführbaren Programmdatei verlinkt werden sollen.

Dann Objektdateien linken

Wenn Sie einen Satz von Objektdateien haben, können Sie diese mit einem einfachen Kompilierungsbefehl linken. Aber dabei geben Sie dem Compiler nicht die Namen der C-Quelldateien, sondern die Namen der Objektdateien:

Das ähnelt den Compiler-Befehlen, die Sie bereits genutzt haben. → `gcc *.o -o start` ← Führen Sie statt der C-Quelldateien die Objektdateien auf.

Das findet alle Objektdateien im aktuellen Verzeichnis.

Der Compiler ist clever genug, Objektdateien als Objektdateien und nicht als Quelldateien zu erkennen, überspringt also die meisten Kompilierungsschritte und verlinkt bloß noch die Objektdateien zu einem ausführbaren Programm namens `start`.

Schön, jetzt haben Sie das Programm kompiliert wie vorher auch. Aber Sie haben auch einen Satz von Objektdateien, die zur Verlinkung bereit sind, sobald Sie sie wieder benötigen. Wenn Sie eine der Dateien ändern, müssen Sie also nur diese neu kompilieren und können das Programm dann wieder linken:

Nur diese Datei hat sich geändert. → `gcc -c steuerduese.c` ← Das erstellt die Datei steuerduese.o neu.

`gcc *.o -o start` ← Das linkt alles zusammen.

Obgleich Sie jetzt zwei Befehle eingeben müssen, sparen Sie eine *Menge* Zeit:

	Vorher	Nachher
Kompilierzeit:	2 min 30 sek	2 sek
Linkzeit:	6 sek	6 sek

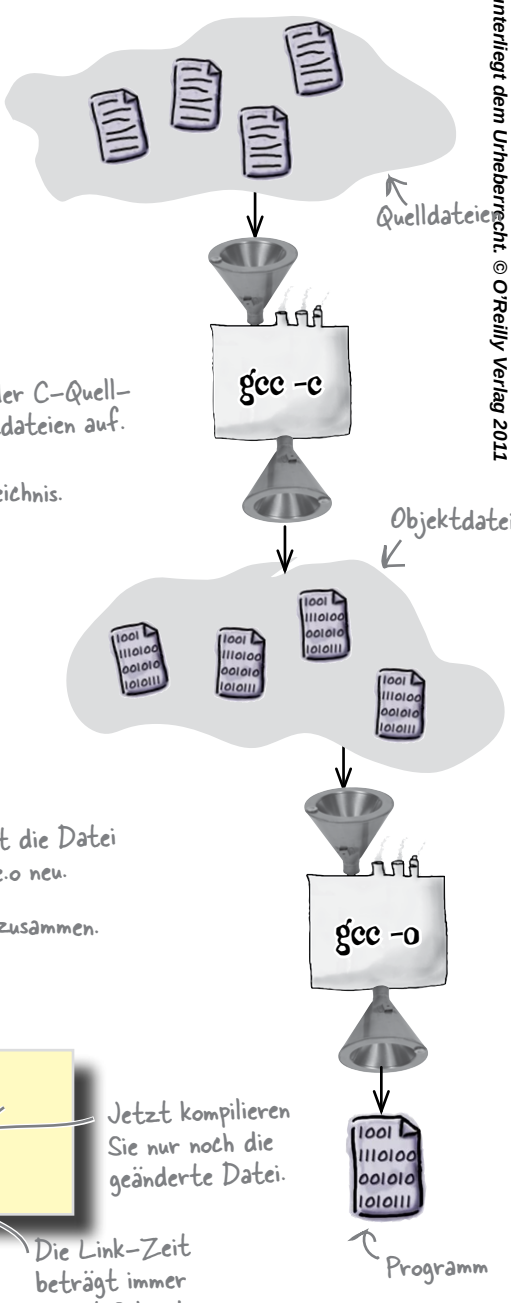
Jetzt kompilieren Sie nur noch die geänderte Datei.

Vorher haben Sie alle Dateien kompiliert.

Die Kompilierung ist um 95 % schneller.

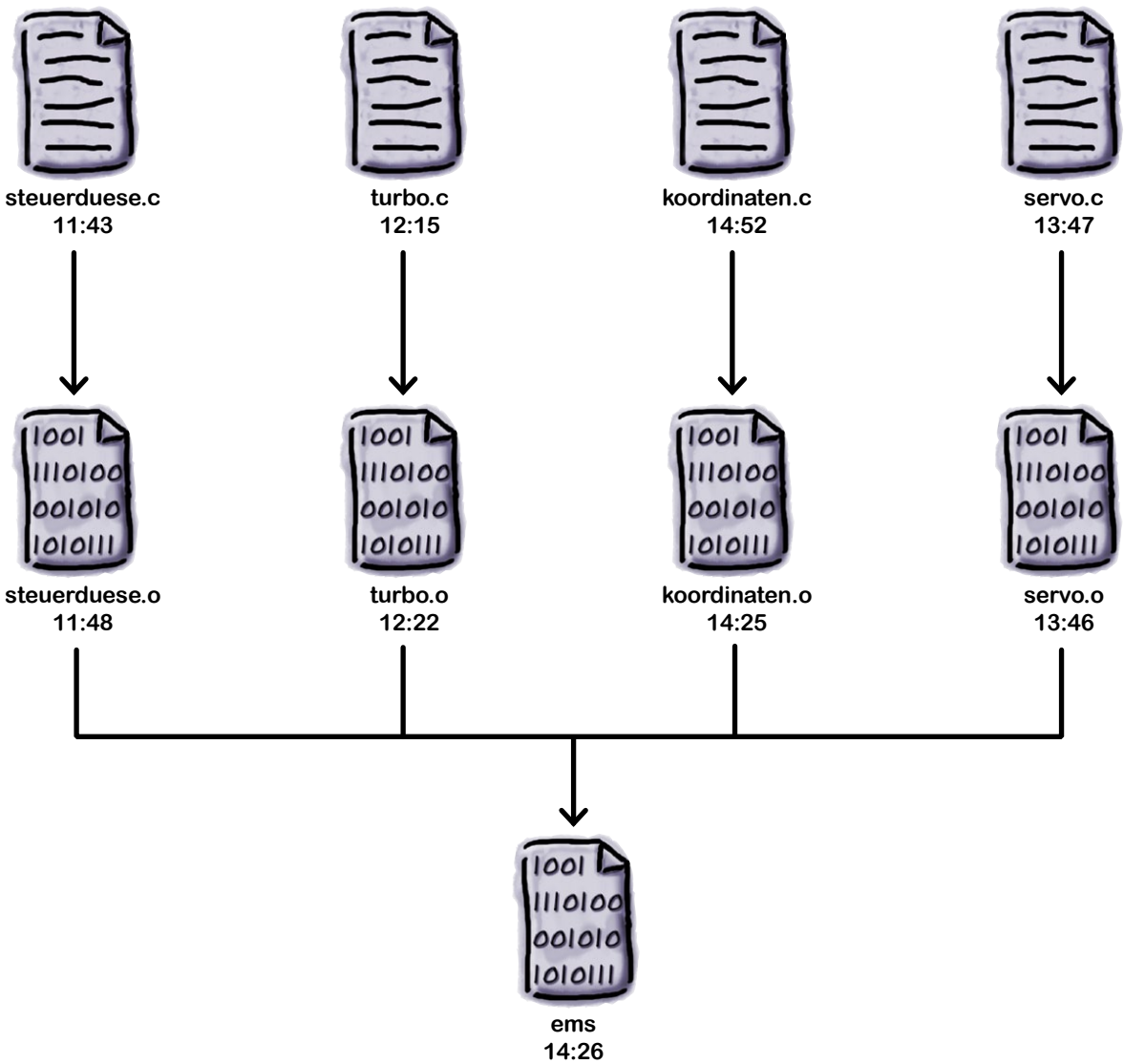
Die Link-Zeit beträgt immer noch 6 Sekunden.

gcc -c kompiliert den Code, linkt ihn aber nicht.

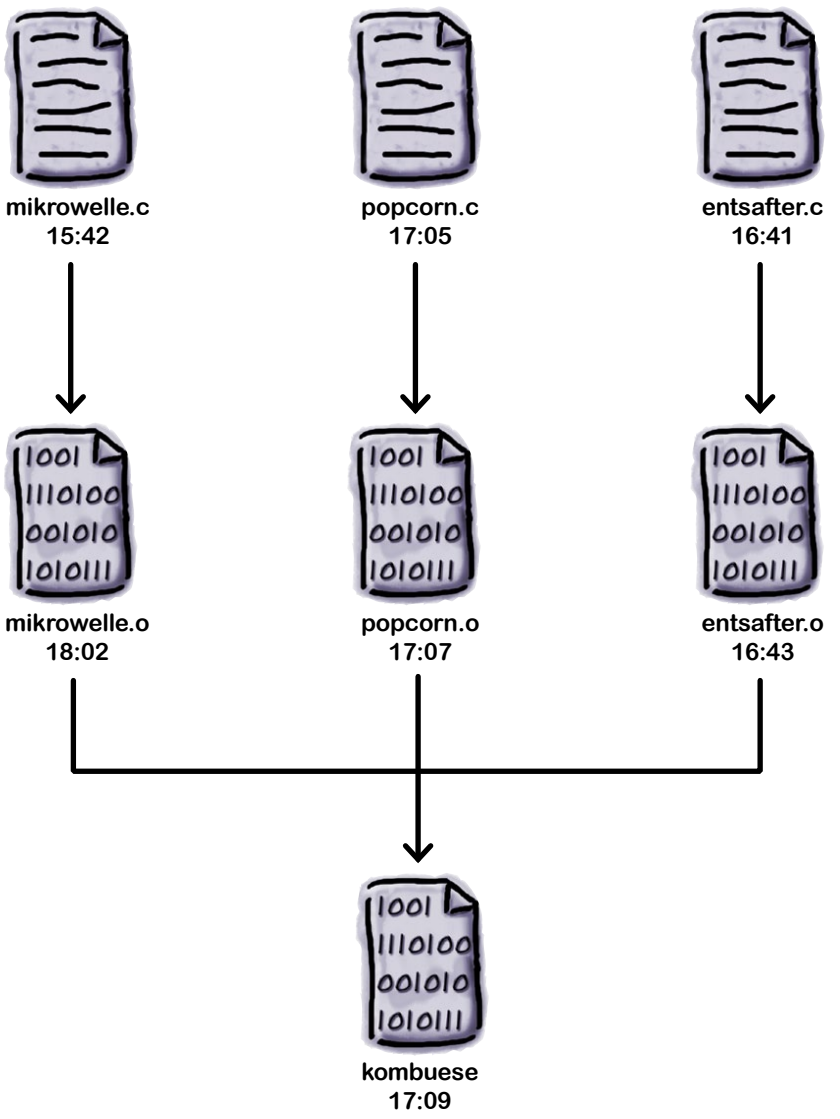


Lange Übung

Hier ist etwas Code, der zur Steuerung der Schiffsturbinen eingesetzt wird. Alle Dateien tragen einen Zeitstempel. Welche Dateien müssen neu erstellt werden, damit das Programm `ems` wieder aktuell ist? Kreisen Sie die Dateien ein, die aktualisiert werden müssen.

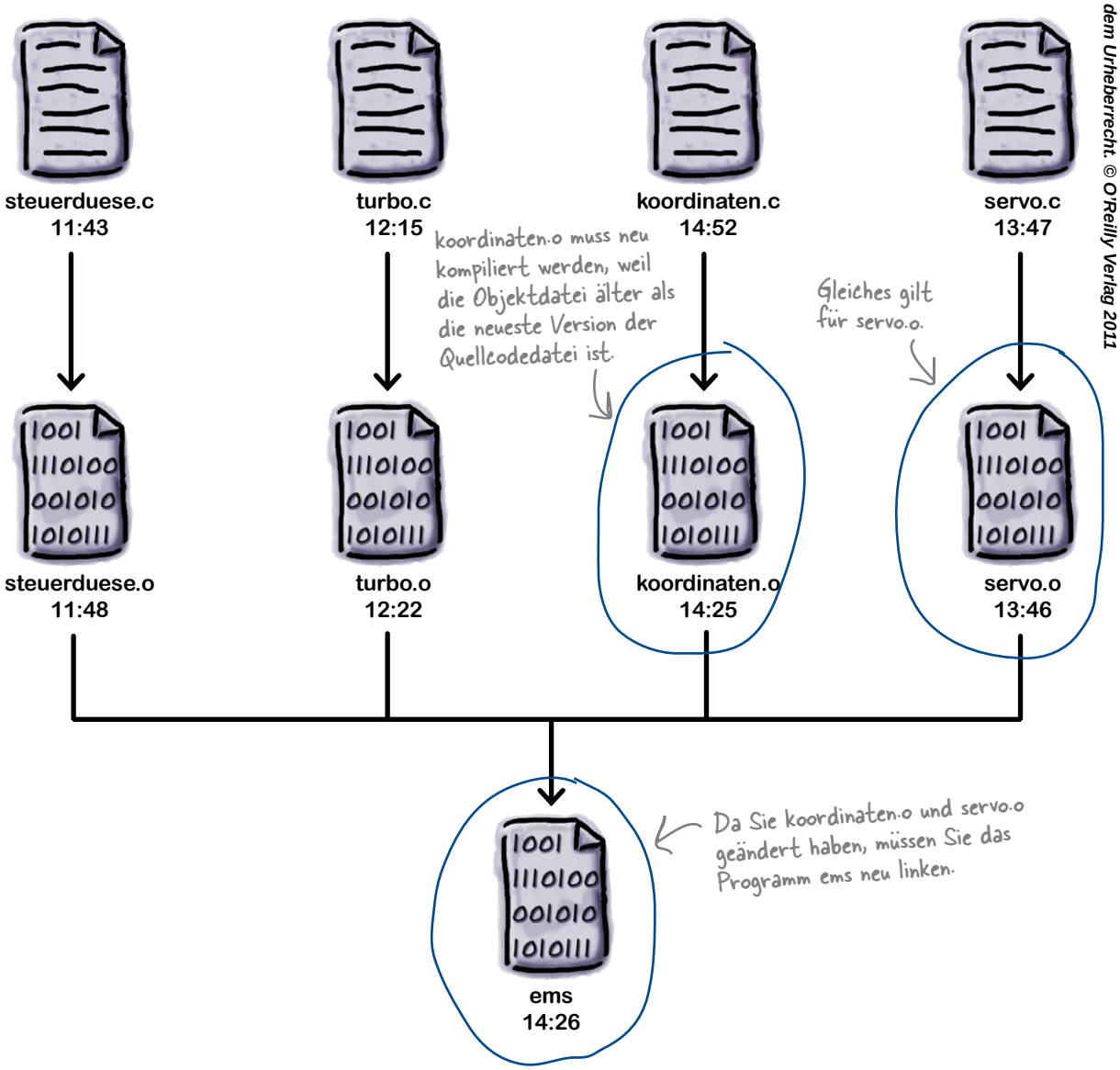


Und in der Kombüse muss auch geprüft werden, ob der Code aktuell ist. Schauen Sie sich wieder die Zeitstempel der Dateien an. Welche Dateien müssen aktualisiert werden?

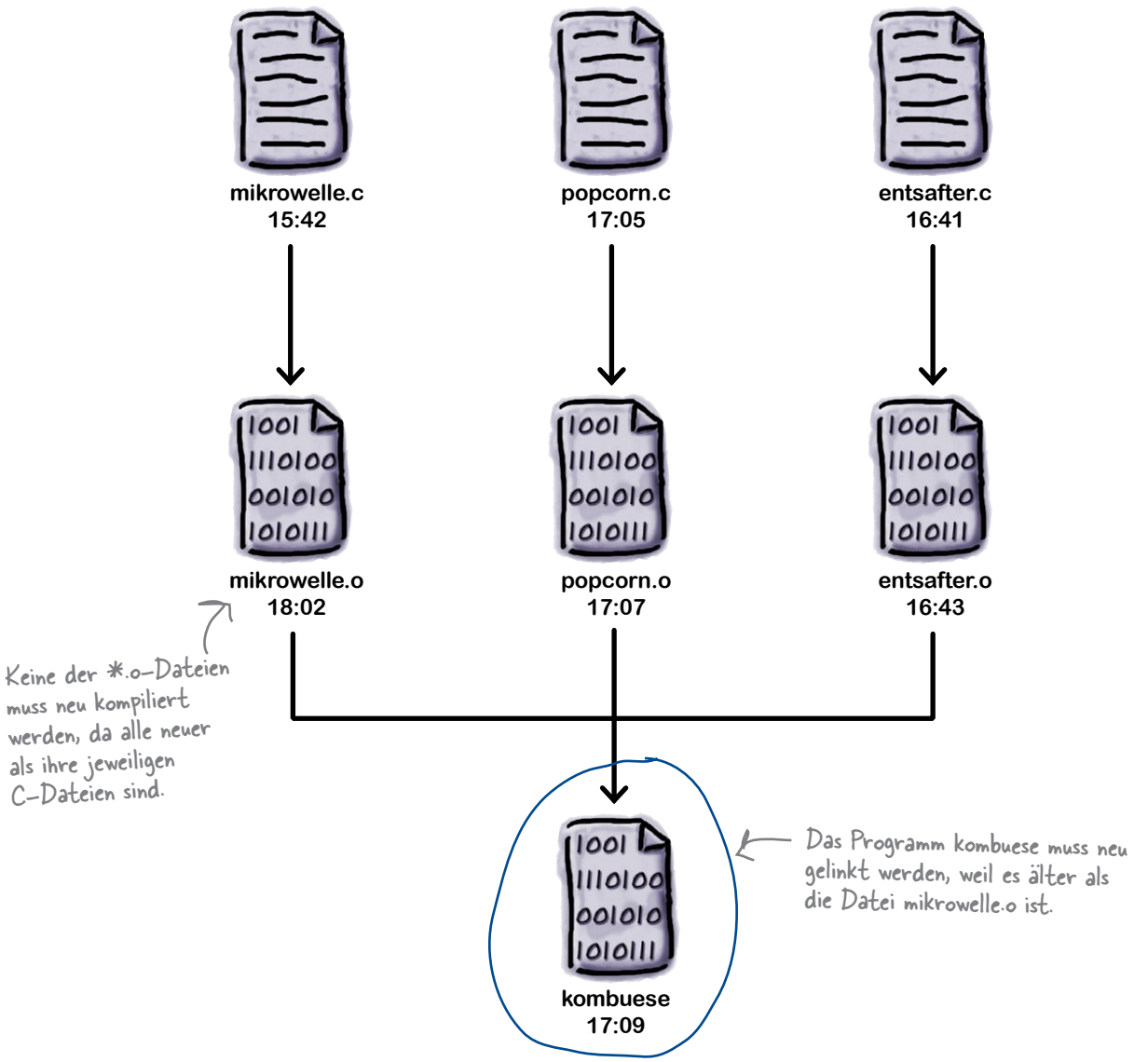


Lange Übung Lösung

Hier ist etwas Code, der zur Steuerung der Schiffsturbinen eingesetzt wird. Alle Dateien tragen einen Zeitstempel. Welche Dateien müssen neu erstellt werden, damit das Programm `ems` wieder aktuell ist? Sie sollten die Dateien einkreisen, die aktualisiert werden müssen.



Und in der Kombüse muss auch geprüft werden, ob der Code aktuell ist. Sie sollten ermitteln, welche Dateien aktualisiert werden mussten.



Das Nachhalten der Dateien ist aufwendig

Das stimmt: Teilkompilierungen sind schneller, aber Sie müssen sich mehr Gedanken darüber machen, dass Sie tatsächlich die richtigen Dinge kompilieren.

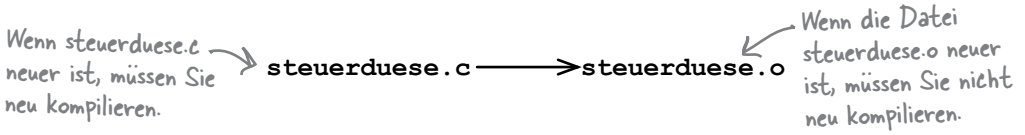
Solange Sie nur an einer einzigen Quellcodedatei arbeiten, wird die Sache recht klar sein. Aber wenn Sie mehrere Dateien geändert haben, vergisst man sehr schnell, einige davon neu zu kompilieren. Das führt dazu, dass in das neu kompilierte Programm nicht alle Änderungen übernommen werden, die Sie vorgenommen haben. Wenn Sie Ihr Programm endgültig *ausliefern*, können Sie natürlich darauf achten, dass eine vollständige Neukompilierung *aller* Dateien erfolgt, aber während Sie den Code entwickeln, wollen Sie das tunlichst vermeiden.

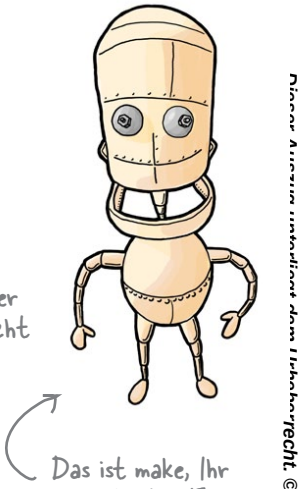
Obgleich die Suche nach den Dateien, die kompiliert werden müssen, ein recht **mechanischer Vorgang** ist, werden Sie sicher schnell eine Änderung übersehen, wenn Sie das manuell tun.

Gibt es nicht etwas, das wir nutzen können, um den **Vorgang zu automatisieren**?

Die Erstellung mit make automatisieren

Sie können Ihre Anwendungen mit `gcc` recht schnell kompilieren, solange Sie sich merken, welche Dateien sich geändert haben. Manuell wäre das eine recht komplizierte Sache, die sich glücklicherweise aber leicht automatisieren lässt. Stellen Sie sich vor, Sie haben eine Datei, die auf Basis einer anderen Datei erstellt wurde. Nehmen wir an, es sei eine Objektdatei, die aus einer Quelldatei kompiliert wird:





Wie stellen Sie fest, ob die Datei *steuerduese.o* neu kompiliert werden muss? Sie schauen sich einfach die Zeitstempel der beiden Dateien an. Wenn die Datei *steuerduese.o* älter als die Datei *steuerduese.c* ist, muss die Datei *steuerduese.o* neu erstellt werden. Andernfalls ist sie aktuell.

Das ist eine sehr einfache Regel. Und wenn Sie für irgendetwas eine einfache Regel haben, denken Sie nicht weiter darüber nach – **automatisieren Sie sie** …

`make` ist ein Werkzeug, das für Sie den Kompilierungsbefehl ausführen kann. `make` prüft für Sie den Zeitstempel der Quelldateien und der generierten Dateien und kompiliert die Dateien nur, wenn etwas nicht mehr aktuell ist.

Aber bevor Sie all das machen können, müssen Sie `make` über Ihren Quellcode informieren. Es muss genau wissen, welche Dateien von welchen Dateien abhängen. Und Sie müssen ihm auch genau sagen, wie der Code erstellt werden soll.

Was muss make wissen?

Die Dateien, die `make` kompiliert, bezeichnet man als **Target** oder **Ziel**. Genau genommen ist `make` nicht auf das Kompilieren von Dateien beschränkt. Ein Ziel ist eine beliebige Datei, die auf Basis von anderen Dateien *generiert* wird. Das Ziel könnte also ebenso ein Zip-Archiv sein, das auf Basis von zu komprimierenden Dateien erstellt wird.

Für jedes Ziel muss `make` *zwei Dinge* wissen:

- **Die Abhängigkeiten.**
  Die Dateien, auf deren Basis das Ziel generiert wird.
- **Das Rezept.**
  Der Satz an Anweisungen, die ausgeführt werden müssen, um die Datei zu generieren.

Gemeinsam bilden die Abhängigkeiten und das Rezept eine **Regel**. Eine Regel sagt `make` alles, was es wissen muss, um die Zieldatei zu erstellen.

Wie make funktioniert

Angenommen, Sie wollen *steuerduese.c* zu Objektcode in *steuerduese.o* kompilieren. Was sind die Abhängigkeiten, und was ist das Rezept?

```
steuerduese.c ⟶ steuerduese.o
```

Die Dateien *steuerduese.o* ist das ***Ziel***, weil das die Datei ist, die Sie generieren wollen. *steuerduese.c* ist eine Abhängigkeit, weil das eine Datei ist, die der Compiler braucht, um *steuerduese.o* zu erstellen. Und was ist das Rezept? Das ist der Kompilierungsbefehl, der *steuerduese.c* in *steuerduese.o* umwandelt.

```
gcc -c steuerduese.c
```

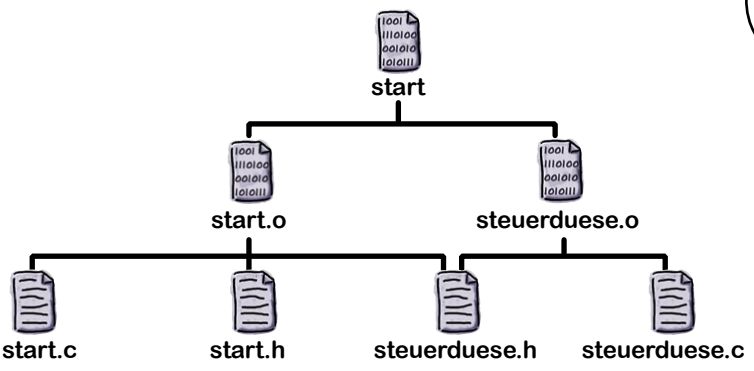
Das ist die Regel zur Erstellung von steuerduese.o.

Verstanden? Wenn Sie `make` über die Abhängigkeiten und das Rezept informieren, können Sie `make` die Entscheidung überlassen, wann *steuerduese.o* neu kompiliert werden muss.

Aber Sie können noch weitergehen. Wenn Sie die Datei *steuerduese.o* erstellen, können Sie sie nutzen, um das Programm `start` zu erstellen. Das heißt, dass die Datei `start` auch als Ziel eingerichtet werden kann, weil das eine Datei ist, die Sie generieren wollen. Die Abhängigkeiten für `start` sind alle *.o*-Objektdateien. Das Rezept ist dieser Befehl:

```
gcc *.o -o start
```

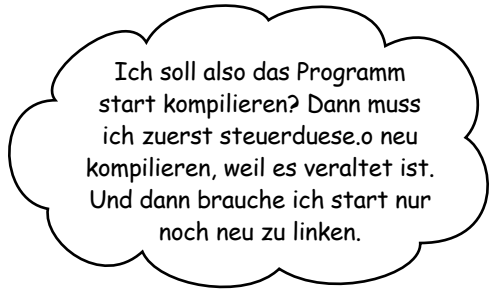
Kennt `make` alle Details der Abhängigkeiten und Regeln, müssen Sie ihm nur sagen, dass es die Datei `start` erstellen soll. `make` kümmert sich dann um die Details.

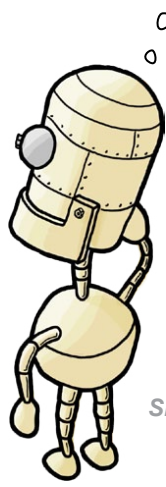


Aber wie informieren Sie make über die Abhängigkeiten und Rezepte? Finden wir es heraus.

`make` kann unter Windows einen anderen Namen haben.

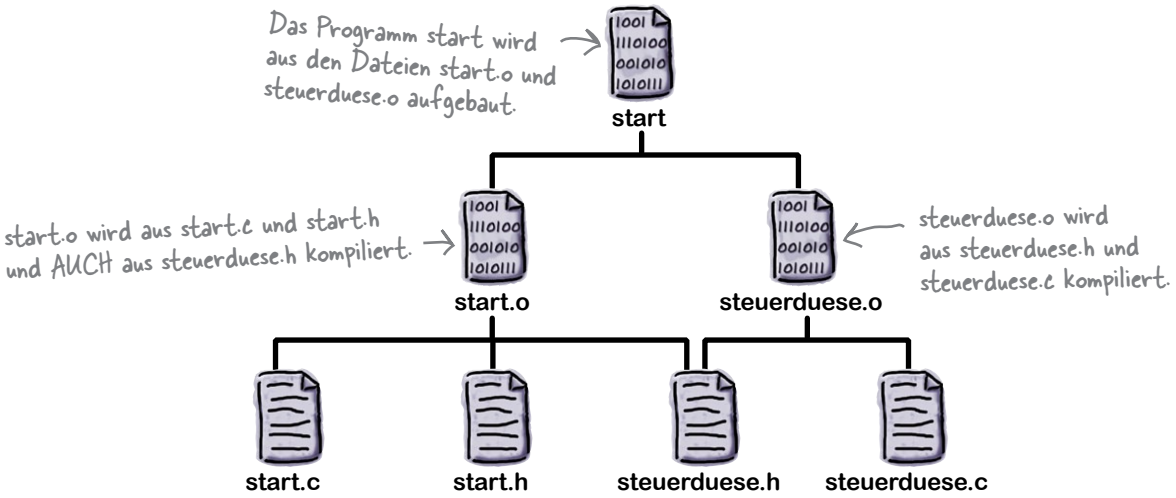
Weil `make` aus der Unix-Welt stammt, gibt es unter Windows verschiedene Varianten. MinGW enthält eine `make`-Version namens `mingw32-make`, und Microsoft bietet eine eigene Version namens `NMAKE`.





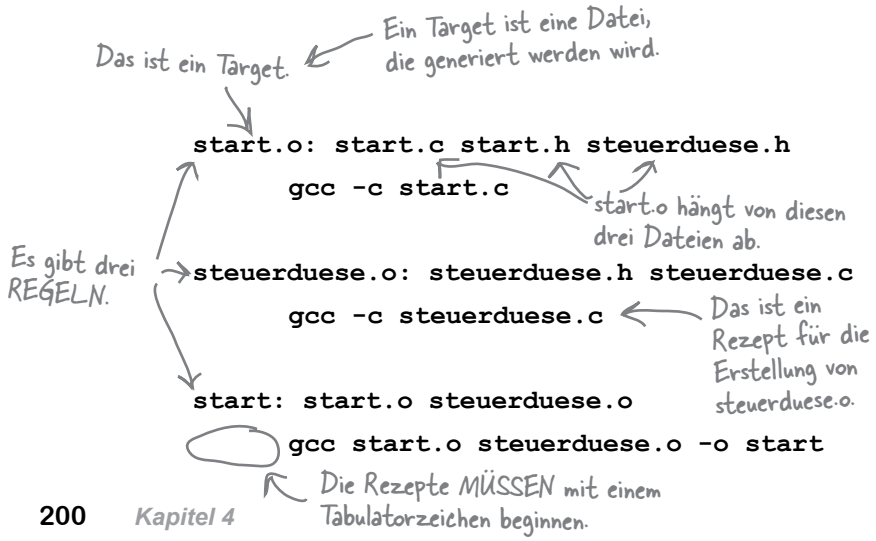
make mit einem makefile über Ihren Code informieren

Alle Informationen über Targets, Abhängigkeiten und Rezepte müssen in einer Datei gespeichert werden, die entweder *makefile* oder *Makefile* heißt. Wenn Sie sich vorstellen wollen, wie das funktioniert, stellen Sie sich vor, Sie hätten einen Satz von Quelldateien, die gemeinsam das `start`-Programm bilden:



Das Programm `start` wird erstellt, indem die Dateien *start.o* und *steuerduese.o* verlinkt werden. Diese Dateien werden aus den entsprechenden C-Dateien und Header-Dateien kompiliert, aber die Datei *start.o* hängt *auch* von der Datei *steuerduese.h* ab, weil sie Code enthält, der eine Funktion im `steuerduese`-Code aufrufen muss.

So beschreiben Sie diesen Erstellungsvorgang in einem Makefile:



Alle Rezeptzeilen MÜSSEN mit einem Tabulatorzeichen beginnen.

Wenn Sie versuchen, die Zeilen mit Leerzeichen einzurücken, funktioniert das Erstellen nicht.

Testlauf

Speichern Sie Ihre `make`-Regeln in einer Textdatei mit dem Namen *Makefile* im gleichen Verzeichnis. Öffnen Sie dann die Konsole und geben Sie Folgendes ein:

Sie sagen make, dass es die Datei start erstellen soll.

Erst erstellt make mit dieser Zeile start.o.

Dann muss make mit dieser Zeile steuerduese.o erstellen.

Schließlich linkt make die Objektdatei, um das Programm start zu erstellen.

```
Datei Bearbeiten Fenster Hilfe MachEsSo
> make start
gcc -c start.c
gcc -c steuerduese.c
gcc start.o steuerduese.o -o start
```

Sie sehen, dass `make` die Abfolge der Befehle herausfinden konnte, die zur Erstellung von `start` erforderlich ist. Aber was ist, wenn Sie eine Änderung an der Datei *steuerduese.c* vornehmen und dann wieder `make` ausführen?

make muss start.c nicht mehr kompilieren.

start.o ist bereits aktuell.

```
Datei Bearbeiten Fenster Hilfe MachEsSo
> make start
gcc -c steuerduese.c
gcc start.o steuerduese.o -o start
```

`make` kann die Erstellung einer neuen Version von *start.o* überspringen. Stattdessen wird nur *steuerduese.o* kompiliert, und dann wird das Programm neu gelinkt.

Es gibt keine Dummen Fragen

F: Ist `make` wie `ant`?

A: Wahrscheinlich vergleicht man Build-Werkzeuge wie `ant` und `rake` besser mit `make`. `make` war eins der ersten Werkzeuge, die zur Automatisierung der Erstellung von Programmen aus Quellcode entwickelt wurden.

F: Es scheint eine Menge Arbeit zu sein, nur um den Quellcode zu kompilieren. Bringt das wirklich etwas?

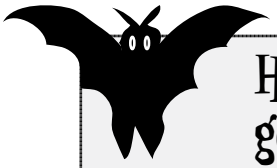
A: Ja, wirklich, `make` ist ungewöhnlich nützlich. Bei kleinen Projekten scheint `make` vielleicht nicht so viel Zeit zu sparen, aber wenn man erst einmal eine Handvoll Dateien hat, kann das Kompilieren und Linken eine ziemliche Qual werden.

F: Wenn ich ein Makefile für ein Windows-System schreibe, funktioniert das dann auch auf einem Mac oder einem Linux-Rechner?

A: Weil Makefiles Befehle auf dem zugrunde liegenden Betriebssystem ausführen, funktionieren sie auf anderen Betriebssystemen gelegentlich nicht.

F: Kann ich Makefiles zu anderen Dingen als zur Kompilierung von Code verwenden?

A: Ja. `make` wird am häufigsten zur Kompilierung von Code eingesetzt. Aber es kann auch als Kommandozeilen-Installationsprogramm oder als Werkzeug für die Versionskontrolle dienen. Im Prinzip können Sie es für alle Aufgaben einsetzen, die Sie auf der Kommandozeile ausführen können.



Horror-geschichten

Warum mit Tabulatoren einrücken?

Man könnte die Rezepte ebenso gut mit Leerzeichen wie mit Tabulatoren einrücken. Warum besteht `make` auf dem Einsatz von Tabulatoren? Hier ist ein Zitat vom Schöpfer von `make`, Stuart Feldman:

»Wieso der Tabulator in Spalte 1? … Er funktionierte, also blieb er. Und nach ein paar Wochen hatte ich dann rund ein Dutzend Nutzer, die meisten davon Freunde, und ich wollte meiner Gefolgschaft nicht schaden. Der Rest ist, traurigerweise, Geschichte.«

Freak-Futter

`make` nimmt der Kompilierung von Dateien eine Menge des Schreckens. Aber sollten Sie den Eindruck haben, dass das nicht reicht, sollten Sie sich ein Werkzeug namens **`autoconf`** ansehen.

http://www.gnu.org/software/autoconf/

`autoconf` wird zur Generierung von Makefiles genutzt. C-Programmierer erstellen häufig Werkzeuge zur Automatisierung der Erstellung von Software. Eine wachsende Zahl von ihnen ist auf der GNU-Website verfügbar.

Make-Magneten

Finden Sie auch, dass das, was man heute so an Musik vorgesetzt bekommt, recht schwungfrei ist? Dann wird Ihnen das Programm gefallen, das die Jungs aus der KopfüBar geschrieben haben! `oggswing` ist ein Programm, das eine Ogg Vorbis-Audiodatei einliest und eine Swingversion davon erstellt. Nice! Schauen Sie, ob Sie das makefile vervollständigen können, das `oggswing` kompiliert und es dann nutzt, um eine *.ogg*-Datei zu transformieren:

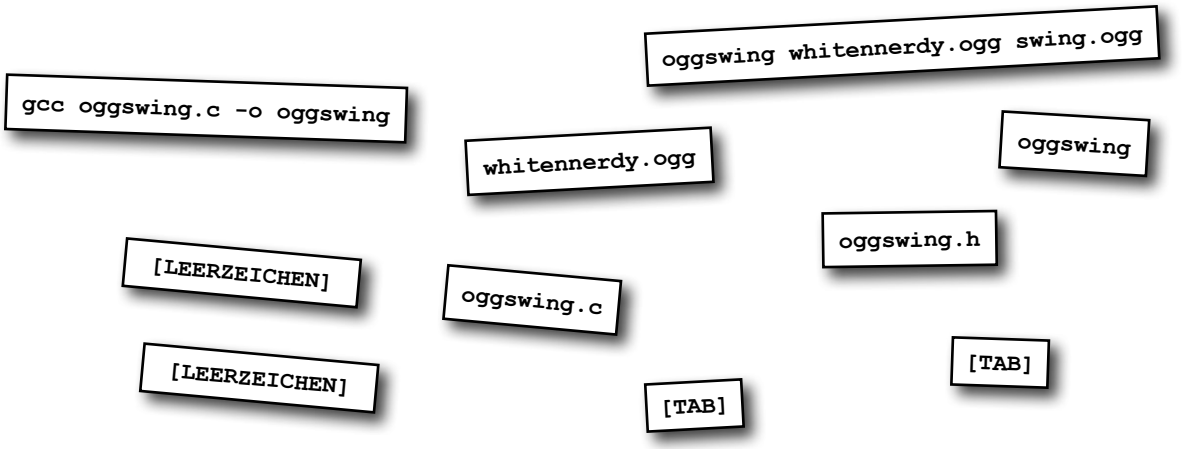
Wandelt whitennerdy.ogg in swing.ogg um.

```
oggswing: ..........

..........

swing.ogg: ..........

..........
```



Make-Magneten, Lösung

Finden Sie auch, dass das, was man heute so an Musik vorgesetzt bekommt, recht schwungfrei ist? Dann wird Ihnen das Programm gefallen, das die Jungs aus der KopfüBar geschrieben haben! `oggswing` ist ein Programm, das eine Ogg Vorbis-Audiodatei einliest und eine Swingversion davon erstellt. Nice! Sie sollten das makefile vervollständigen, das `oggswing` kompiliert und es dann nutzt, um eine *.ogg*-Datei zu kompilieren:

```
oggswing: oggswing.c oggswing.h
[TAB] gcc oggswing.c -o oggswing

swing.ogg: whitennerdy.ogg oggswing
[TAB] oggswing whitennerdy.ogg swing.ogg
```

[LEERZEICHEN]

[LEERZEICHEN]

Freak-Futter

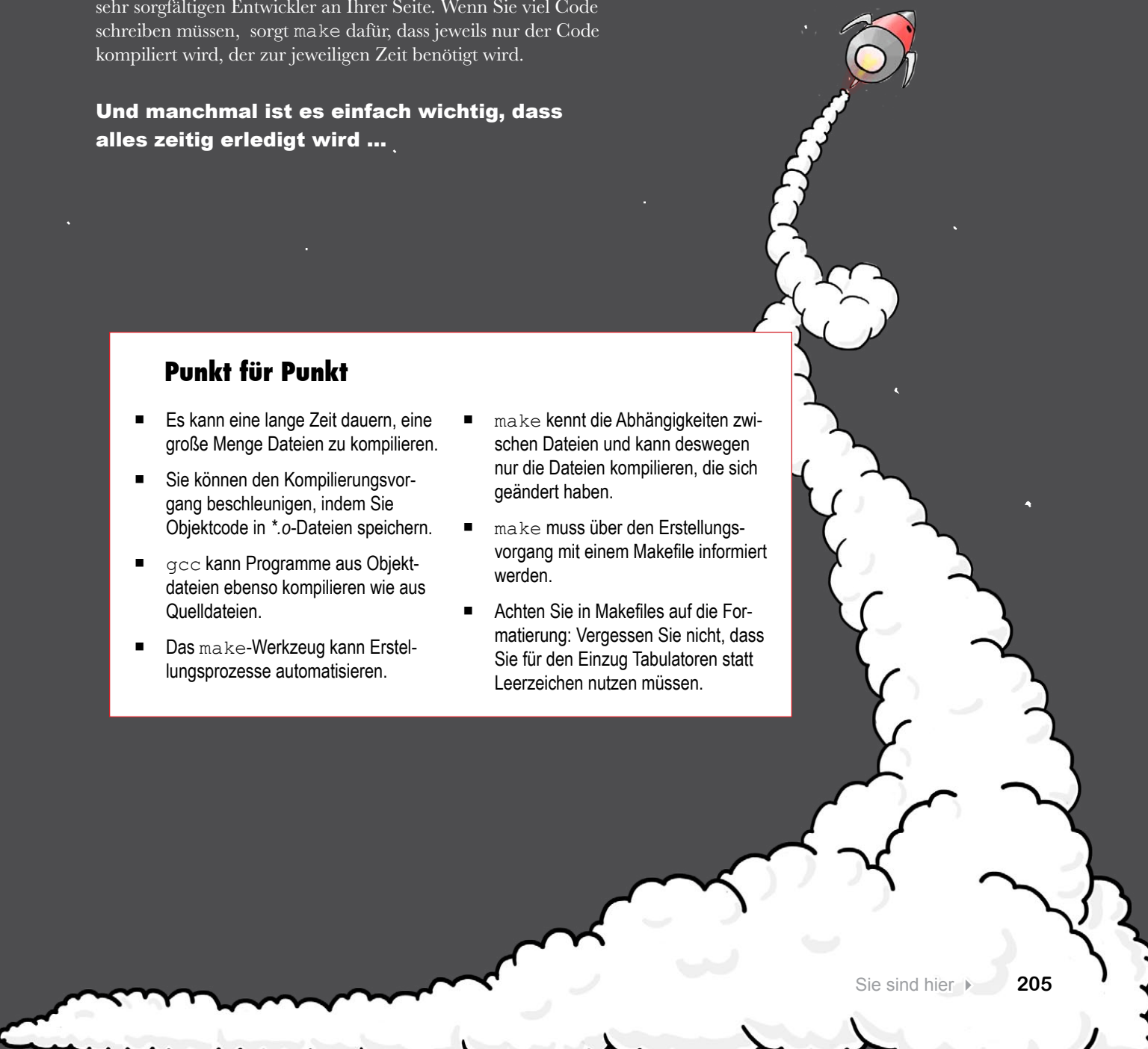
Das `make`-Werkzeug kann erheblich mehr, als wir hier betrachten können. Mehr über `make` und das, was es für Sie leisten kann, erfahren Sie im *GNU Make Manual* unter:

http://tinyurl.com/yczmjx

Abheben!

Wenn Ihr Erstellungsprozess sehr langsam läuft, kann `make` ihn erheblich beschleunigen. Die meisten Entwickler sind so daran gewöhnt, Ihren Code mit `make` zu erstellen, dass sie es sogar für kleine Programme verwenden. `make` ist, als hätten Sie einen sehr sorgfältigen Entwickler an Ihrer Seite. Wenn Sie viel Code schreiben müssen, sorgt `make` dafür, dass jeweils nur der Code kompiliert wird, der zur jeweiligen Zeit benötigt wird.

Und manchmal ist es einfach wichtig, dass alles zeitig erledigt wird ...



Punkt für Punkt

- Es kann eine lange Zeit dauern, eine große Menge Dateien zu kompilieren.
- Sie können den Kompilierungsvorgang beschleunigen, indem Sie Objektcode in **.o*-Dateien speichern.
- `gcc` kann Programme aus Objektdateien ebenso kompilieren wie aus Quelldateien.
- Das `make`-Werkzeug kann Erstellungsprozesse automatisieren.
- `make` kennt die Abhängigkeiten zwischen Dateien und kann deswegen nur die Dateien kompilieren, die sich geändert haben.
- `make` muss über den Erstellungsvorgang mit einem Makefile informiert werden.
- Achten Sie in Makefiles auf die Formatierung: Vergessen Sie nicht, dass Sie für den Einzug Tabulatoren statt Leerzeichen nutzen müssen.

Ihr C-Werkzeugkasten

Jetzt haben Sie Kapitel 4 intus und Ihrem Werkzeugkasten Datentypen, Header-Dateien und make einverleibt. Eine vollständige Liste aller Werkzeuge in diesem Buch finden Sie in Anhang B.

chars sind Zahlen.

Nutzen Sie shorts für kleine ganze Zahlen.

Nutzen Sie ints für die meisten ganzen Zahlen.

Nutzen Sie longs für große ganze Zahlen.

Nutzen Sie floats für die meisten Gleitkommazahlen.

Nutzen Sie doubles für richtig genaue Gleitkommazahlen.

Trennen Sie Funktionsdeklarationen von -definitionen.

Stecken Sie Deklarationen in eine Header-Datei.

#include <> für Bibliotheks-Header.

#include "" für lokale Header.

Speichern Sie Objektcode in Dateien, um die Erstellung zu beschleunigen.

Nutzen Sie make zur Steuerung Ihrer Erstellungsvorgänge.