Computergrundlagen
Programmieren in C

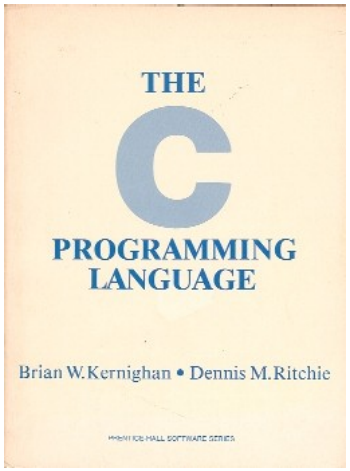
Axel Arnold

Institut für Computerphysik
Universität Stuttgart

Wintersemester 2010/11

Die Compilersprache C

D. M. Ritchie, *1941



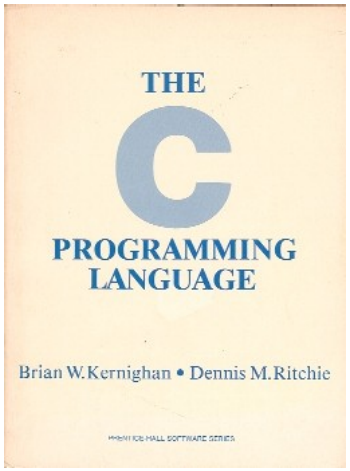
Geschichte

1971-73: Entwickelt von D. M. Ritchie
1978: C-Buch von Kernighan und Ritchie („K&R-C“)
1989: Standard ANSI C89 = ISO C90
1999: Standard ISO C99 (im folgenden benutzt)

- Zur Zeit Arbeiten am nächsten Standard, C1X
- Außerdem Compiler-spezifische Erweiterungen
- Objektorientierte Programmierung: Objective-C, C++

Die Compilersprache C

D. M. Ritchie, *1941

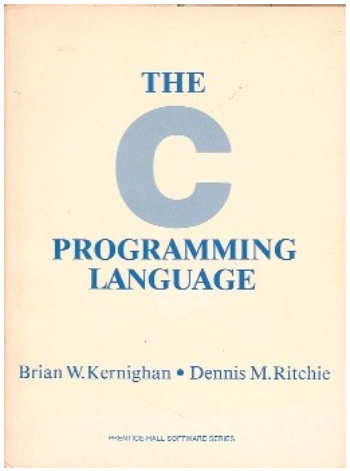


C-Compiler

- übersetzt C-Quellcode in Maschinencode
- GNU gcc, Intel icc, IBM XL C, Portland Group Compiler, ...
- Für praktisch alle Prozessoren gibt es C-Compiler
- Compiler optimieren den Maschinencode
- Compiler übersetzt nur Schleifen, Funktionsaufrufe usw.
- Bibliotheken für Ein-/Ausgabe, Speicherverwaltung usw.

Die Compilersprache C

D. M. Ritchie, *1941

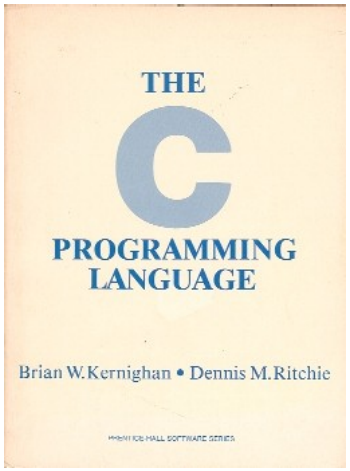


Einsatzgebiete

- C ist geeignet für effiziente und hardwarenahe Programme
- alle modernen Betriebssystem-Kernel sind in C geschrieben
- Der Python-Interpreter ist in C geschrieben
- Gnome oder KDE sind größtenteils C/C++-Code
- Viele physikalische Software ist C (oder Fortran)

Die Compilersprache C

D. M. Ritchie, *1941



Eigenschaften

- C-Code oft deutlich schneller als z.B. Python-Code
- Besonders bei numerischen Problemen
- Intensiver Einsatz von Zeigern
- Kein Schutz gegen Speicherüberläufe
- Erzeugter Maschinencode schwer zu verstehen

Hello, World!

```
#include <stdio.h>

int main()
{
  printf("Hello, World\n");
  return 0;
}
```

- C-**Quellcode** muss als Textdatei vorliegen (z.B. `helloworld.c`)
- Vor der Ausführung mit dem GNU-Compiler **compilieren**:
  `gcc -Wall -O3 -std=c99 -o helloworld helloworld.c`
- Erzeugt ein *Binär*programm `helloworld`,
  d.h. das Programm ist betriebssystem- und architekturspezifisch
- „-Wall -O3 -std=c99“ schaltet alle Warnungen und die Optimierung an, und wählt den ISO C99-Standard anstatt C90

Hello, World!

```
#include <stdio.h>

int main()
{
  printf("Hello, World\n");
  return 0;
}
```

- `printf` und `main` sind **Funktionen**
- `printf`: formatierte Textausgabe (analog „%“ in Python)
- `main`: Hauptroutine, hier startet das Programm
- Rückgabewert vom **Datentyp** **`int`**, keine Parameter („`()`“)
- Code der Funktion: Block in geschweiften Klammern
- Anweisungen werden mit Semikolon beendet

Hello, World!

```
#include <stdio.h>

int main()
{
  printf("Hello, World\n");
  return 0;
}
```

- `return` beendet die Funktion `main`
- Argument von **`return`** ist der Rückgabewert der Funktion (hier 0)
- Der Rückgabewert von `main` geht an die Shell

Hello, World!

```
#include <stdio.h>

int main()
{
  printf("Hello, World\n");
  return 0;
}
```

- **`#include`** ist **Präprozessor-Anweisung**
- Bindet den Code der **Headerdatei** `stdio.h` ein
- Headerdateien beschreiben Funktionen anderer Module
  z.B. `stdio.h` Ein-/Ausgabefunktionen wie `printf`
- `stdio.h` ist Systemheaderdatei, Bestandteil der C-Umgebung
- Systemheaderdateien liegen meist unter `/usr/include`

Formatierung

```c
#include <stdio.h>

int main()
{
  printf("Hallo Welt\n");
  return 0;
}
```

```c
#include <stdio.h>
    int main(){printf(
"Hallo Welt\n");return 0;}
```

- C lässt viele Freiheiten bei der Formatierung des Quelltexts
- Aber: falsche Einrückung erschwert Fehlersuche

Lesbarer C-Code erfordert Disziplin!

- Weitere Beispiele: The International Obfuscated C Code Contest
  `http://www.ioccc.org/main.html`

Datentypen in C

- **Grunddatentypen**

`char`	8-Bit-Ganzzahl, für Zeichen	'1','a','A',...
`int`	32- oder 64-Bit-Ganzzahl	1234, -56789
`float`	32-Bit-Fließkommazahl	3.1415, -6.023e23
`double`	64-Bit-Fließkommazahl	-3.1415, +6.023e23

- **Arrays** (Felder): ganzzahlig indizierter Vektor
- **Pointer** (Zeiger): Verweise auf Speicherstellen
- **Structs und Unions**: zusammengesetzte Datentypen, Datenverbünde
- **`void`** (nichts): Datentyp, der nichts speichert
  - Rückgabewert von Funktionen, die nichts zurückgeben
  - Zeiger auf Speicherstellen unspezifierten Inhalts

Typumwandlung

```
int nenner = 1;
int zaehler = 1000;
printf("Ganzzahl: %f\n",
  (float)(nenner/zaehler)); // → 0.000000
printf("Fliesskomma: %f\n",
  ((float) nenner)/zaehler); //→ Fliesskomma: 0.001000
```

- C wandelt Typen nach Möglichkeit automatisch um
- Explizite Umwandlung: geklammerter Typname vor Ausdruck
  Beispiel: `(int)( ((float) a) / b)`
- Notwendig bei Umwandlung
  - **int** ↔ **float**
  - von Zeigern
- Umwandlung in **void** verwirft den Ausdruck

Variablen

```
int global;
int main() {
  int i = 0, j, k;
  global = 2;
  int i;  // Fehler! i doppelt deklariert
}
void funktion() {
  int i = 2; // Ok, da anderer Gueltigkeitsbereich
  i = global;
}
```

Variablen

- *müssen* vor Benutzung mit ihrem Datentyp **deklariert** werden
- dürfen *nur einmal* deklariert werden
- können bei der Deklaration mit Startwert **initialisiert** werden
- Mehrere Variablen desselben Typs mit „,“ getrennt deklarieren

Variablen

```
int global;
int main() {
  int i = 0, j, k;
  global = 2;
  int i;  // Fehler! i doppelt deklariert
}
void funktion() {
  int i = 2; // Ok, da anderer Gueltigkeitsbereich
  i = global;
}
```

Globale Variablen

- hier: Die Ganzzahl `global`
- Deklaration außerhalb von Funktionen
- Aus allen Funktionen les- und schreibbar

Variablen

```
int global;
int main() {
  int i = 0, j, k;
  global = 2;
  int i;  // Fehler! i doppelt deklariert
}
void funktion() {
  int i = 2; // Ok, da anderer Gueltigkeitsbereich
  i = global;
}
```

Lokale Variablen

- hier: Die Ganzzahl `i`
- Gültigkeitsbereich ist der innerste offene Block
- daher kann `i` in `main` und `funktion` deklariert werden

Bedingte Ausführung – if

```
if (anzahl == 1) { printf("ein Auto\n"); }
else             { printf("%d Autos\n", anzahl); }
```

- **`if`** wie in Python
- Es gibt allerdings kein `elif`

Bedingungen

Ähnlich wie in Python, aber

- logisches „und“: „&&“ statt „and“
- logisches „oder“: „||“ statt „or“
- logisches „nicht“: „!“ statt „not“

Also z.B.: `!((a == 1) || (a == 2))`

Schleifen – for

```
for (int i = 1; i < 100; ++i) {
  printf("%d\n", i);
}
```

for-Schleifen bestehen aus

- Initialisierung der Schleifenvariablen
  - Eine hier deklarierte Variable ist nur in der Schleife gültig
  - Hier kann eine beliebige Anweisung stehen (z.B. auch nur `i = 1`)
  - Dann muss die Schleifenvariable bereits deklariert sein
- Wiederholungsbedingung:
  die Schleife wird abgebrochen, wenn die Bedingung unwahr ist
  (hier, bis i bzw. k = 100)
- Erhöhen der Schleifenvariablen

Schleifen – for

```
int i, j;
for (i = 1; i < 100; ++i) {
  if (i == 2) continue;
  printf("%d\n", i);
  if (i >= 80) break;
}
for (j = 1; j < 100; ++j) printf("%d\n", i);
```

- **`break`** verlässt die Schleife vorzeigt
- **`continue`** überspringt Rest der Schleife (analog Python)
- Jeder Teil kann ausgelassen werden – **`for`**`(;;)` ist eine Endlosschleife („forever“)
- Deklaration in der **`for`**-Anweisung erst seit C99 möglich
- Vorteil: Verhindert unbeabsichtigte Wiederverwendung von Schleifenvariablen

Inkrement und Dekrement

Kurzschreibweisen zum Ändern von Variablen:

- `i += v, i -= v; i *= v; i /= v`
  - Addiert *sofort* v zu i (zieht v von `i` ab, usw.)
  - Wert im Ausdruck ist der *neue* Wert von `i`

```
int k, i = 0;
k = (i += 5);
printf("k=%d i=%d\n", k, i); →i=5 k=5
```

- `++i` und `--i` sind Kurzformen für `i+=1` und `i-=1`
- `i++` und `i--`
  - Erhöhen / erniedrigen i um 1 *nach* der Auswertung des Ausdrucks
  - Wert im Ausdruck ist also der *alte* Wert von `i`

```
int k, i = 0;
k = i++;
printf("k=%d i=%d\n", k, i); →i=1 k=0
```

Arrays

```
float x[3] = {0, 0, 0};
float A[2][3];
for (int i = 0; i < 2; ++i) {
  for (int j = 0; j < 3; ++j) {
    A[i][j] = 0.0;
  }}
x[10] = 0.0; // compiliert, aber Speicherzugriffsfehler
```

- Arrays (Felder) werden mit eckigen Klammern indiziert
- Mehrdimensionale Arrays erhält man durch mehrere Klammern
- Beim Anlegen wird die Speichergröße festgelegt
- Später lernen wir, wie man Arrays variabler Größe anlegt
- Es wird nicht überprüft, ob Zugriffe innerhalb der Grenzen liegen
- Die Folge sind Speicherzugriffsfehler (segmentation fault)

Zeichenketten

```
char string[] = "Ballon";
string[0] = 'H';
string[5] = 0;
printf("%s\n", string); → Hallo
```

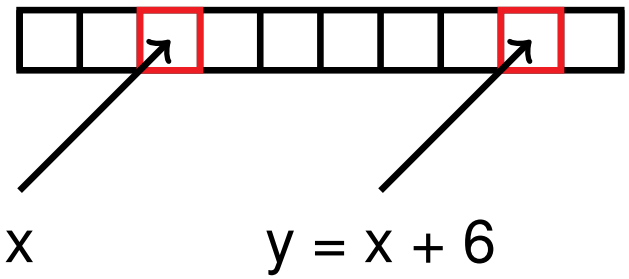
- Strings sind Arrays von Zeichen (Datentyp **char**)
- Das String-Ende wird durch eine Null markiert
- Daher ist es einfach, mit Strings Speicherzugriffsfehler zu bekommen
- Zusammenhängen usw. von Strings erfordert Handarbeit oder Bibliotheksfunktionen (später)

Funktionen

```
#include <math.h>
void init(float a)
{
  if (a <= 0) return;
  printf("%f\n", log(a));
}
float max(float a, float b)
{
  return (a < b) ? b : a;
}
```

- Funktionen werden definiert mit
  `rettyp funktion(typ1 arg1, typ2 arg2,...) {...}`
- Ist der Rückgabetyp **`void`**, gibt die Funktion nichts zurück
- **`return`** verlässt eine Funktion vorzeitig (bei Rückgabetyp **`void`**)
- **`return`** `wert` liefert zusätzlich `wert` zurück

Datentypen – Zeiger



- Zeigervariablen (Pointer) zeigen auf Speicherstellen
- Ihr Datentyp bestimmt, als was der Speicher interpretiert wird (**`void`** $*$ ist unspezifiziert)
- Es gibt keine Kontrolle, ob die Speicherstelle gültig ist (existiert, les-, oder schreibbar)
- Pointer verhalten sich wie Arrays,
  bzw. Arrays wie Pointer auf ihr erstes Element

Datentypen – Zeiger

```
char x[] = "Hallo Welt";
x[5] = 0;
char *y = x + 6, *noch_ein_pointer, kein_pointer;
y[2] = 0;
printf("%s-%s\n", y, x); → We-Hallo
```

- Zeiger werden mit einem führendem Stern deklariert
- Bei Mehrfachdeklarationen: genau die Variablen mit führendem Stern sind Pointer
- `+`, `-`, `+=`, `-=`, `++`, `--` funktionieren wie bei Integern
- `p += n` z.B. versetzt p um n Elemente
- Pointer werden immer um ganze Elemente versetzt
- Datentyp bestimmt, um wieviel sich die Speicheradresse ändert

Zeiger – Referenzieren und Dereferenzieren

```
float *x;
float array[3] = {1, 2, 3};
x = array + 1;
printf("*x = %f\n", *x); // →*x = 2.000000
float wert = 42;
x = &wert;
printf("*x = %f\n", *x); // →*x = 42.000000
printf("*x = %f\n", *(x + 1)); // undefinierter Zugriff
```

- `*p` gibt den Wert an der Speicherstelle, auf die Pointer `p` zeigt
- `*p` ist äquivalent zu `p[0]`
- `*(p + n)` ist äquivalent zu `p[n]`
- `&v` gibt einen Zeiger auf die Variable `v`

Größe von Datentypen – sizeof

```
int x[10], *px = x;
printf("int: %ld int[10]: %ld int *: %ld\n",
       sizeof(int), sizeof(x), sizeof(px));
// → int: 4 int[10]: 40 int *: 8
```

- `sizeof(datentyp)` gibt an, wieviel Speicher eine Variable vom Typ `datentyp` belegt
- `sizeof(variable)` gibt an, wieviel Speicher die Variable `variable` belegt
- Bei Arrays: Länge multipliziert mit der Elementgröße
- Zeiger haben immer dieselbe Größe (8 Byte auf 64-Bit-Systemen)
- Achtung: Das Ergebnis ist 64-bittig (Typ `long unsigned int`), daher bei Ausgabe „%ld“ verwenden

Unterschied zwischen Variablen und Zeigern

```
int a, b;
int *ptr1 = &a, *ptr2 = &a;

b = 2; a = b; b = 4;
printf("a=%d b=%d\n", a, b); // →a=2 b=4

*ptr1 = 5; *ptr2 = 3;
printf("*ptr1=%d *ptr2=%d\n", *ptr1, *ptr2);
// →ptr1=3 ptr2=3
```

- Zuweisungen von Variablen in C sind tief, Inhalte werden kopiert
- Entspricht einfachen Datentypen in Python (etwa Zahlen)
- Mit Pointern lassen sich flache Kopien erzeugen, in dem diese auf denselben Speicher zeigen
- Entspricht komplexen Datentypen in Python (etwa Listen)

struct – Datenverbünde

```
struct Position {
  float x, y, z;
};
struct Particle {
  struct Position position;
  float ladung;
  int identitaet;
};
```

- **`struct`** definiert einen Verbund
- Ein Verbund fasst mehrere Variablen zusammen
- Die Größe von Feldern in Verbünden muss konstant sein
- Ein Verbund kann Verbünde enthalten

Variablen mit einem struct-Typ

```
struct Particle part, *ptr = &part;

part.identitaet = 42;
ptr->ladung = 0;

struct Particle part1 = { {1, 0, 0}, 0, 42};
struct Particle part2 = { .position = { 1, 0, 0 },
                          .ladung = 0,
                          .identitaet = 43};
struct Particle part3 = { .identitaet = 44};
```

- Elemente des Verbunds werden durch „.“ angesprochen
- Kurzschreibweise für Zeiger: `(*pointer).x = pointer->x`
- Verbünde können wie Arrays initialisiert werden
- Initialisieren einzelner Elemente mit Punktnotation

typedef

```
typedef float real;
typedef struct Particle Particle;
typedef struct { real v[3]; } Vektor3D

struct Particle part;
Particle part1;        // beides ist ok, selber Typ

Vektor3D vektor; // auch ok
struct Vektor3D vektor; // nicht ok, struct Vektor3D fehlt
```

- **typedef** definiert neue Namen für Datentypen
- **typedef** ist nützlich, um Datentypen auszutauschen, z.B. double anstatt float
- Achtung: **struct** Particle und Particle können auch verschiedene Typen bezeichnen!
- **typedef struct** {...} typ erzeugt keinen Typ **struct** typ

Funktionsparameter

```
void aendern(int ganz) { ganz = 5; }
int ganz = 42;
aendern(ganz);
printf("%d\n", ganz); // → 42

void wirklich_aendern(int *ganz) { *ganz = 5; }
wirklich_aendern(ganz);
printf("%d\n", ganz); // → 5
```

- In C werden alle Funktionsparameter kopiert
- Die Variablen bleiben im aufrufenden Code stets unverändert
- Hintergrund: um Werte zu ändern, müssten deren Speicheradressen bekannt sein
- Abhilfe: Übergabe der Speicheradresse der Variablen in Zeiger
- Bei Zeigern führt das zu Zeigern auf Zeiger (`typ **`) usw.

Funktionsparameter

```
void aendern(int array[5]) { array[0] = 5; }

int array[10] = { 42 };
aendern(array);
printf("%d\n", array[0]); // → 5
```

- Arrays verhalten sich auch hier wie Zeiger
- Die Werte des Arrays werden nicht kopiert
- Hintergrund: die Größe von Arrays ist variabel, Speicher für die Kopie müsste aber zur Compilezeit bereitgestellt werden

Funktionsparameter

```
struct Position { int v[3]; };

void aendern(struct Position p) { p.v[0] = 5; }

struct Position pos = {{ 1, 2, 3 }};
aendern(pos);
printf("%d\n", pos.v[0]); // → 1
```

- Strukturen wiederum verhalten sich auch hier wie Zeiger
- Wenn diese Arrays enthalten, werden diese kopiert
- In diesem Fall ist die Größe des Arrays im Voraus bekannt

main – die Hauptroutine

```
int main(int argc, char **argv)
{
  printf("der Programmname ist %s\n", argv[0]);
  for(int i = 1; i < argc; ++i) {
    printf("Argument %d ist %s\n", i, argv[i]);
  }
  return 0;
}
```

- `main` ist die Hauptroutine
- erhält als **`int`** die Anzahl der Argumente
- und als **`char`** `**` die Argumente
- Zeiger auf Zeiger auf Zeichen $\widehat{=}$ Array von Strings
- Rückgabewert geht an die Shell

Schleifen – while und do ... while

```
for(int i = 0; i < 10; ++i) { summe += i; }
```

```
int i = 0;
while (i < 10) { summe += i; ++i; }
```

```
int i = 0;
do { summe += i; ++i; } while (i < 10);
```

- **while** (cond) block und **do** block **while** (cond); führen block aus, solange die Bedingung cond wahr ist
- Unterschied zwischen den beiden Formen:
  - **while** überprüft die Bedingung cond *vor* Ausführung von block
  - **do ... while** erst danach
- Die drei Beispiele sind äquivalent
- Jede Schleife kann äquivalent als **for**-, **while**- oder **do...while**-Schleife geschrieben werden

Bedingte Ausführung – switch

```
char buch = argv[1][0];
switch (buch) {
case 'a':
  printf("a, rutscht durch zu b\n");
case 'b':
  printf("b, hier geht es nicht weiter\n");
  break;
default:
  printf("Buchstabe '%c' ist unerwartet \n", buch);
}
```

- Das Argument von **`switch`** `(wert)` muss ganzzahlig sein
- Die Ausführung geht bei **`case`** `konst:` weiter, wenn `wert=konst`
- **`default`**: wird angesprungen, wenn kein Wert passt
- Der **`switch`**-Block wird ganz abgearbeitet
- Kann explizit durch **`break`** verlassen werden

#define – Makros

```
#define PI 3.14
/* Position eines Teilchens
   x sollte Zeiger auf Particle sein */
#define POSITION(x) ((x)->position)
POSITION(part).z = PI;
#undef PI
float test = PI; // Fehler, PI undefiniert
```

- **#define** definiert Makros
- **#undef** entfernt Definition wieder
- Ist Präprozessorbefehl, d.h. Makros werden *textuell* ersetzt
- Ohne Parameter wie Konstanten einsetzbar
- Makros mit Parametern nur sparsam einsetzen!
- Klammern vermeiden unerwartete Ergebnisse
- **#ifdef** testet, ob eine Makro definiert ist

const – unveränderbare Variablen

```
static const float pi = 3.14;

pi = 5; // Fehler, pi ist nicht schreibbar

// Funktion aendert nur, worauf ziel zeigt, nicht quelle
void strcpy(char *ziel, const char *quelle);
```

- Datentypen mit **`const`** sind konstant
- Variablen mit solchen Typen können nicht geändert werden
- Statt Makros besser Variablen mit konstantem Typ
- Diese können nicht verändert werden
- Anders als Makros haben sie einen Typ
- Vermeidet seltsame Fehler, etwa wenn einem Zeiger ein **`float`**-Wert zugewiesen werden soll
- **`static`** ist nur bei Verwendung mehrerer Quelldateien wichtig

Bibliotheksfunktionen

- In C sind viele Funktionen in Bibliotheken realisiert
- Diese sind selber in C / Assembler geschrieben
- Basisfunktionen sind Teil der C-Standardbibliothek
- Andere Bibliotheken müssen mit -l geladen werden, z.B.
  `gcc -Wall -O3 -std=c99 -o mathe mathe.c -lm`
  zum Laden der Mathematik-Bibliothek „libm“
- Um die Funktionen benutzen zu können, sind außerdem Headerdateien notwendig

Speicherverwaltung – malloc und free

```
#include <stdlib.h>
// Array mit Platz fuer 10000 integers
int *vek = (int *)malloc(10000*sizeof(int));
for(int i = 0; i < 10000; ++i) vek[i] = 0;
// Platz verdoppeln
vek = (int *)realloc(vek, 20000*sizeof(int));
for(int i = anzahl; i < 20000; ++i) vek[i] = 0;
free(vek);
```

- Speicherverwaltung für variabel große Bereiche im *Freispeicher*
- `malloc` reserviert Speicher
- `realloc` verändert die Größe eines reservierten Bereichs
- `free` gibt einen Bereich wieder frei

Speicherverwaltung – malloc und free

```
#include <stdlib.h>
// Array mit Platz fuer 10000 integers
int *vek = (int *)malloc(10000*sizeof(int));
for(int i = 0; i < 10000; ++i) vek[i] = 0;
// Platz verdoppeln
vek = (int *)realloc(vek, 20000*sizeof(int));
for(int i = anzahl; i < 20000; ++i) vek[i] = 0;
free(vek);
```

- Wird dauernd Speicher belegt und nicht freigegeben, geht irgendwann der Speicher aus („Speicherleck“)
- Dies kann z.B. so passieren:

```
int *vek = (int *)malloc(100*sizeof(int));
vek = (int *)malloc(200*sizeof(int));
```

- Ein Bereich darf auch nur einmal freigegeben werden

math.h – mathematische Funktionen

```
#include <math.h>

float pi = 2*asin(1);

for (float x = 0; x < 2*pi; x += 0.01) {
  printf("%f %f\n", x, pow(sin(x), 3)); // x, sin(x)^3
}
```

- `math.h` stellt mathematische Standardoperationen zur Verfügung
- Bibliothek einbinden mit
  `gcc -Wall -O3 -std=c99 -o mathe mathe.c -lm`
- Beispiel erstellt Tabelle mit Werten x und $sin(x)^3$

string.h – Stringfunktionen

```c
#include <string.h>

char test[1024];
strcpy(test, "Hallo");
strcat(test, " Welt!");
// jetzt ist test = "Hallo Welt!"
if (strcmp(test, argv[1]) == 0)
  printf("%s = %s (%d Zeichen)\n", test, argv[1],
         strlen(test));
```

- `strlen(quelle)`: Länge eines 0-terminierten Strings
- `strcat(ziel, quelle)`: kopiert Zeichenketten
- `strcpy(ziel, quelle)`: kopiert eine Zeichenkette
- `strcmp(quelle1, quelle2)`: vergleicht zwei Zeichenketten, Ergebnis ist < 0, wenn lexikalisch `quelle1` $<$ `quelle2`, $= 0$, wenn gleich, und > 0 wenn `quelle1` $>$ `quelle2`

string.h – Stringfunktionen

```
#include <string.h>

char test[1024];
strncpy(test, "Hallo", 1024);
strncat(test, " Welt!", 1023 - strlen(test));
if (strncmp(test, argv[1], 2) == 0)
  printf("die 1. 2 Zeichen von %s und %s sind gleich\n",
    test, argv[1]);
```

- Zu allen `str`-Funktionen gibt es auch `strn`-Versionen
- Die `strn`-Versionen überprüfen auf Überläufe
- Die Größe des Zielbereichs muss *korrekt* angegeben werden
- Die terminierende 0 benötigt ein Extra-Zeichen!
- Die `str`-Versionen sind oft potentielle Sicherheitslücken!

string.h – memcpy und memset

```
#include <string.h>

float test[1024];
memset(test, 0, 1024*sizeof(float));
// erste Haelfte in die zweite kopieren
memcpy(test, test + 512, 512*sizeof(float));
```

- Lowlevel-Funktionen zum Setzen und Kopieren von Speicherbereichen
- Z.B. zum initalisieren oder kopieren von Arrays
- `memset(ziel, wert, groesse)`: füllt Speicher byteweise mit dem *Byte* `wert`
- `memcpy(ziel, quelle, groesse)`: kopiert `groesse` viele *Bytes* von `quelle` nach `ziel`

stdio.h – printf und scanf

```
#include <stdio.h>
char  kette[11];
float fliess;
int   ganz;
if (scanf("%10s %f %d", kette, &fliess, &ganz) == 3) {
  printf("%s %f %d\n", kette, fliess, ganz);
}
```

- `printf` gibt formatierten Text auf Standardausgabe aus
- `printf` liest Werte von der Standardeingabe
- Beide benutzen ähnliche Formatangaben wie auch Python

scanf

- Benötigt *Zeiger* auf die Variablen, um die Werte zu setzen
- Bei Zeichenketten unbedingt die Größe des Puffers angeben!
- Gibt zurück, wieviele Werte gelesen werden konnten

stdio.h – Datei-Ein-/Ausgabe


```
#include <stdio.h>
FILE *datei = fopen("test.txt", "r");
if (datei == 0) {
  fprintf(stderr, "Kann Datei nicht oeffnen\n");
  return -1;
}
if (fscanf(datei, "%f %d", &fliess, &ganz) == 2) {
  fprintf(stdout, "%f %d\n", fliess, ganz);
}
fclose(datei);
```

- `stdio.h` stellt Dateien durch *Filehandles* vom Typ `FILE *` dar
- Handle ist Zeiger auf 0, wenn Datei nicht geöffnet werden kann
- Dateien öffnen mit `fopen`, schließen mit `fclose`
- Zum Schreiben öffnen mit Modus „w“ oder „a“ statt „r“

stdio.h – Datei-Ein-/Ausgabe

```
#include <stdio.h>
FILE *datei = fopen("test.txt", "r");
if (datei == 0) {
  fprintf(stderr, "Kann Datei nicht oeffnen\n");
  return -1;
}
if (fscanf(datei, "%f %d", &fliess, &ganz) == 2) {
  fprintf(stdout, "%f %d\n", fliess, ganz);
}
fclose(datei);
```

- `fprintf` und `fscanf` funktionieren wie `printf` und `scanf`
- Aber auf beliebigen Dateien statt `stdout` und `stdin`
- `stdin`, `stdout` und `stderr` sind Handles für die Standardgeräte

stdio.h – sscanf

```c
#include <stdio.h>

int main(int argc, char **argv) {
  if (argc < 2) {
    fprintf(stderr, "Kein Parameter gegeben\n");
    return -1;
  }
  if (sscanf(argv[1], "%f", &fliess) == 1) {
    fprintf(stdout, "%f\n", fliess);
  }
  return 0;
}
```

- `sscanf` liest statt aus einer Datei aus einem 0-terminierten String
- Dies ist nützlich, um Argumente umzuwandeln
- Es gibt auch `sprintf` (gefährlich!) und `snprintf`

#ifdef – bedingte Compilierung

```
#define USE_STDIO_H

#ifdef USE_STDIO_H
#include <stdio.h>
#endif
```

- **#ifdef** MAKRO bindet Quellcode nur ein, wenn das Makro MAKRO definiert ist
- **#ifndef** MAKRO bindet Quellcode nur ein, wenn das Makro MAKRO *nicht* definiert ist
- Code für verschiedene Umgebungen, Bibliotheken, ... anpassen
- Abschalten nicht immer benötigten Codes
- Makros können auch auf der Kommandozeile definiert werden:
  `gcc -Wall -O3 -std=c99 -DUSE_STDIO_H -o test test.c`

#ifdef – bedingte Compilierung

```
#define LANG_EN

void printer(char *str) {
#ifdef LANG_EN
  printf("String <%s>", str);
#else
  printf("Zeichenkette <%s>", str);
} // Autsch, das geht schief!
#endif
```

- Ersetzung erfolgt nur textuell
- Klammerung kann leicht verletzt werden
- Compilieren klappt hier nur, wenn das Makro nicht definiert ist

Modularisierung

Einteilen eines Programms in mehrere Quelldateien

- Übersichtlicherer Code
- Wiederverwendbarkeit von Teilen des Codes
- Schnelleres Neucompilieren bei kleinen Codeänderungen

Modularisierung in C

Headerdateien

- haben üblicherweise Endung „.h“
- beschreiben, welche Funktionen und Variablen eine Objektdatei/Bibliothek bereitstellt (**exportiert**)
- beschreiben **Signatur** der Funktionen (Typ von Parametern)
- beschreiben den Typ von exportierten Variablen

Objektdateien

- haben üblicherweise Endung „.o“
- werden wie Progamme aus C-Quellcode erzeugt
- oder aus Fortran, Assembler,...-Code
- enthalten Programmcode und/oder globale Variablen

- Namen von Headerdatei und Objektdatei sind unabhängig
- **Bibliotheken** sind Sammlungen von Objektdateien

extern und static

```
// nur fuer die aktuelle Objektdatei
static char *string1;
// fuer alle sichtbar
       char *string2;
// kommt woanders her
extern char *string3;
```

- *globale* Variablen können in mehreren Objektdateien verwendet werden
- **extern** und **static** ändern ihre Sichtbarkeit

extern und static

```
// nur fuer die aktuelle Objektdatei
static char *string1;
// fuer alle sichtbar
       char *string2;
// kommt woanders her
extern char *string3;
```

static (string1)

- Platz für diese Variable wird in dieser Objektdatei belegt
- Zugriff nur von der aktuellen Objektdatei
- Kann daher in mehreren Objektdateien definiert werden
- Konstanten sollten daher statisch deklariert werden:
  `static const double PI = 3;`

extern und static

```
// nur fuer die aktuelle Objektdatei
static char *string1;
// fuer alle sichtbar
       char *string2;
// kommt woanders her
extern char *string3;
```

ohne Vorgabe (`string2`)

- Platz für diese Variable wird in dieser Objektdatei belegt
- Zugriff auch von außen
- Darf nur in einer Objektdatei definiert werden
- Bei mehrfachem Auftreten gibt der gcc/ld sonst den Fehler „multiple definition of ‘var’“
- Insbesondere, wenn eine Objektdatei doppelt eingelinkt wird:
  `gcc -o programm test1.o test1.o`

extern und static

```
// nur fuer die aktuelle Objektdatei
static char *string1;
// fuer alle sichtbar
       char *string2;
// kommt woanders her
extern char *string3;
```

extern (string3)

- Platz für diese Variable wird *nicht* in dieser Objektdatei belegt (wenn keine unqualifizierte Definition folgt)
- Diese Variable muss in einer anderen Objektdatei liegen
- In genau einer Objektdatei muss diese Variable ohne **extern** definiert werden
- Ist die Variable in allen Objektdateien nur extern deklariert, gibt gcc/ld den Fehler „undefined reference to ‘var’“

Aufbau von Headerdateien

modul.h

```
#ifndef MODUL_H
#define MODUL_H
// Funktionsdeklaration
const char *funktion();
// Variablendeklaration
extern const char *var;
#endif
```

- Der **#ifdef/#define**-Kostrukt sichert, dass die Headerdatei modul.h nur einmal pro Objektdatei eingebunden wird
- Variablen werden hier **extern** deklariert
- Funktionen werden einfach ohne Funktionskörper deklariert
- Variablen und Funktionen müssen in genau einer Objektdatei definiert werden

Aufbau der Quelldateien

modul.c

```
#include "modul.h"

// die exportierte Funktion
const char *funktion() { return "Hello"; }
// und die exportierte Variable
const char *var = "World";
```

- Normaler C-Code wie gehabt, aber i.A. ohne `main`
- `main` muss in genauer einer Objektdatei definiert sein
- Üblicherweise bindet man die zugehörige Headerdatei ein
- Dadurch fallen Unterschiede in Deklaration und Definition schneller auf (z.B. Änderung der Parameter einer Funktion)

Compilieren und Linken

```
# Das Modul modul.o aus modul.c erzeugen
gcc –Wall –O3 –std=c99 -c modul.c

# und main.o aus main.c
gcc –Wall –O3 –std=c99 -c main.c

# programm aus main und modul zusammenbauen
gcc –o programm main.o modul.o
```

- C-Quellcode wird mit der Option „-c“ in Objektdatei übersetzt
- Der Compiler verbindet mehrere Objektdateien zu einem Programm (**linken**)
- Tatsächlich ruft er dazu den Linker (ld) auf
- make kann benutzt werden, um den Vorgang zu automatisieren

Bibliotheken

- Statische Bibliotheken sind Archive von Objektdateien
- Erzeugen eines Archivs:

```
ar rcs libbib.a bib_hello.o bib_world.o
```

- Linken mit allen Objektdateien in der Bibliothek:

```
gcc main.c –L. -lbib
```

- Bei Angabe von „-lbib“ lädt der Compiler automatisch `libbib.a`
- Mit „-L“ werden Suchpfade für Bibliotheken angegeben („-L.“ = aktuelles Verzeichnis)
- Mit `nm` lassen sich die definierten Symbole auslesen:

```
nm libbib.a
```

```
bib_hello.o:
0000000000000000 T get_hello
0000000000000000 d hello

bib_world.o:
0000000000000000 D world
```

make – automatisiertes Bauen

Makefile

```
default: bib
libbib.a: bib_hello.o bib_world.o
        ar rcs $@ $^
bib: main.o libbib.a
        gcc -o bib main.o -L. -lbib
clean:
        rm -f bib libbib.a *.o
```

- Die Regeldatei muss `Makefile` oder `makefile` heißen
- besteht aus Regeln der Form

  ```
  ziel: quelle1 quelle2 ...
          Shell-Befehl
  ```

- Shell-Befehl erzeugt aus den Quellen die Datei `ziel`

make – automatisiertes Bauen

Makefile

```
default: bib
libbib.a: bib_hello.o bib_world.o
        ar rcs $@ $^
bib: main.o libbib.a
        gcc -o bib main.o -L. -lbib
clean:
        rm -f bib libbib.a *.o
```

- Aufruf einfach mit `make ziel`
- `ziel` wird nur neu gebaut, wenn eine Quelle neuer ist
- Bei Bedarf werden auch alle Quellen erneuert
- Im Beispiel:
  - `make default` baut das Programm `bib`
  - `make libbib.a` baut nur die Bibliothek `libbib.a`

make – automatisiertes Bauen

Makefile

```
default: bib
libbib.a: bib_hello.o bib_world.o
        ar rcs $@ $^
bib: main.o libbib.a
        gcc -o bib main.o -L. -lbib
clean:
        rm -f bib libbib.a *.o
```

- Automatische Regeln für Objektdateien aus C-Quellcode
- Beispiel: `make bib_hello.o` baut die Objektdatei `bib_hello.o` aus `bib_hello.c`, wenn vorhanden
- Regeln ohne Quellen („clean“) werden immer ausgeführt
- Regeln ohne Befehl („default“) erneuern nur die Quellen
- Im Beispiel: `make default` entspricht `make bib`

Pakete selber compilieren

- Es gibt im WWW eine riesige Menge an Programmpaketen
- Meist gibt es Installer bzw. fertige Pakete für die eigene Distribution

Selber bauen ist aber nötig, wenn

- man keine Root-Rechte hat und der Admin ein Paket nicht installieren will (z.B. auf Großrechnern)
- es kein fertiges Paket für die Distribution gibt
- das fertige Paket ein Feature noch nicht bietet / einen Bug hat
- man an dem Paket weiterentwickeln will

Das geht natürlich nur mit Open-Source-Paketen, wenn ich nicht gerade den Autor kenne!

Linux-Dreisprung

- Die meisten Open-Source-Pakete lassen sich mit drei Befehlen compilieren:

```
./configure

make

make install
```

- Davor muss das Paket natürlich ausgepackt werden:

```
tar -xzf paket-1.2.3.tgz!        oder
tar -xjf paket-1.2.3.tar.bz2!
```

- erzeugt normalerweise ein Unterverzeichnis `paket-1.2.3`
- Skript `configure` konfiguriert das Paket zum Bauen, erzeugt ein Makefile
- Wird vom Paket-Maintainer mit Hilfe der GNU-autotools erzeugt

configure

```
./configure --prefix=WOHIN \
    --with-OPTION --without-OPTION \
    CPPFLAGS="-I$HOME/include" \
    LDFLAGS="-L$HOME/include"
```

`configure`-Optionen können variieren, es gibt (fast) immer:

- `--help`: beschreibt alle Konfigurationsmöglichkeiten
- `--prefix`: wohin das Paket installiert werden soll.
  Hier einen Platz im eigenen Home-Directory angeben, sonst kann nur root das Paket installieren
- `--with-OPTION`: schaltet Optionen an (z.B. GUI, Unterstützung für double,...)
- `--without-OPTION`: schaltet Optionen aus

configure

```
./configure --prefix=WOHIN \
    --with-OPTION --without-OPTION \
    CPPFLAGS="-I$HOME/include" \
    LDFLAGS="-L$HOME/include"
```

`configure`-Optionen können variieren, es gibt (fast) immer:

- `CPPFLAGS`: Flags für den C-Präprozessor.
  Hier kann man weitere Verzeichnisse mit Headerdateien angeben
  (`CPPFLAGS="-I/my/include -I$HOME/include"`)
- `LDFLAGS`: Flags für den Linker.
  Hier kann man weitere Verzeichnisse mit Bibliotheken angeben
  (`LDFLAGS="-L/my/lib -L$HOME/lib"`)
- Das ist insbesondere bei selbstcompilierten Pakten notwendig
- Viele Pakete installieren ein Programm `paket-config`, das über die benötigten Pfade Auskunft gibt

Linux-Dreisprung: make

- Das Paket wird dann einfach mit `make` gebaut
- Je nach Komplexität kann das auch mal Stunden dauern...
- Tipp:
  `make -j N`
  compiliert N Objektdateien gleichzeitig
- Ist der Computer nicht anderweitig belastet, ist es am schnellsten, wenn N der doppelten Anzahl der Prozessor-Kerne entspricht
- Auf einem Quadcore also `make -j 8`
- `make install` installiert das compilierte Paket
  - Ausführbare Dateien landen in `PREFIX/bin`
  - Bibliotheken in `PREFIX/lib`
  - Headerdateien in `PREFIX/include`
  - Hilfedateien in `PREFIX/share/man/man*`

Beispiele nützlicher Bibliotheken für C

- GSL – GNU Scientific Library

  `http://www.gnu.org/software/gsl`

  - viele Zufallszahlengeneratoren
  - Spezielle Funktionen (Bessel-, Gammafunktion, ...)
  - Auswertetools (Statistik, Histogramme, ...)
- FFTW – Fastest Fourier Transform in the West

  `http://www.fftw.org`
- GTK für graphische Interfaces à la GIMP, GNOME, XFCE, ...

  `http://www.gtk.org`
- Open MPI, eine MPI-Implementation für viele Plattformen

  `http://www.open-mpi.org`