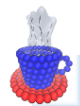


Computergrundlagen Programmieren in C

Axel Arnold

Institut für Computerphysik
Universität Stuttgart

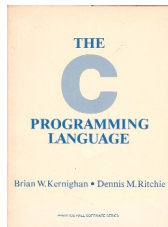
Wintersemester 2013/14



Die Sprache C



D. M. Ritchie, 1941 – 2011



- Entwickelt 1971-1973
- aktueller Standard: C11 (2011), wir benutzen C99
- Compiler: GNU gcc, Intel icc, IBM XL C, PGI Compiler, ...
- geeignet für effiziente und hardwarenahe Programme
- Python-Interpreter und Linux-Kernel sind in C geschrieben
- manuelle Speicherverwaltung, dadurch fehleranfälliger



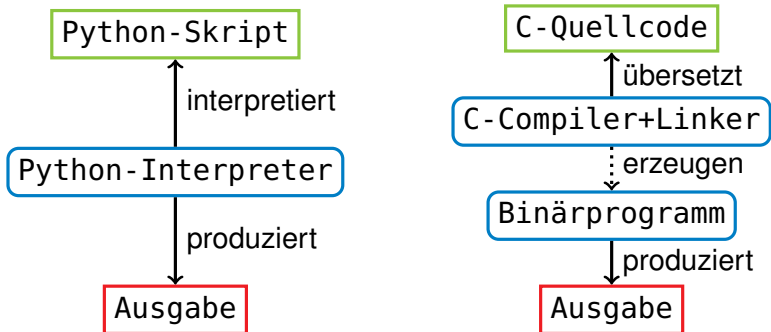
Hello, World!

```
#include <stdio.h>
// main program
int main()
{
    printf("Hello, World\n");
    return 0;
}
```

- C-**Quellcode** muss als Textdatei vorliegen (z.B. helloworld.c)
- Formatierung freier als in Python, siehe auch <http://www.ioccc.org/main.html>
- Vor der Ausführung mit dem GNU-Compiler **compilieren**:
gcc -Wall -O3 -std=c99 -o binary helloworld.c
- Erzeugt ausführbares Programm binary
- Warnt bei möglichen Fehlern (-Wall), optimiert (-O3) und wählt Standard C99



Interpreter- vs. Compilersprachen



- **Interpreter** liest Programm bei Ausführung und führt Anweisungen aus
- Interpreter zur Ausführung nötig

- **Compiler** übersetzt Programm in Maschinsprache
- Programm läuft ohne Compiler, aber nur auf Zielhardware + Betriebssystem



Assembler und Maschinensprache

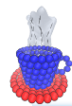
- Maschinensprache sind Zahlenkolonnen

AD 34 12 18 69 2A 8D 34 12 AD 35 12 69 00 8d 35 12

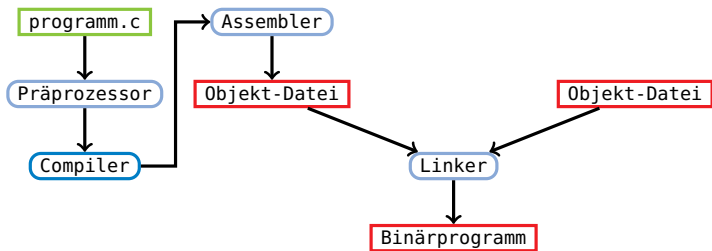
- Assembler ist die menschenlesbare Form:

# Maschinensprache	# Assembler
	X = \$1234
AD 34 12	LDA X
18	CLC
69 2A	ADC #42
8D 34 12	STA X
AD 35 12	LDA X+1
69 00	ADC #00
8d 35 12	STA X+1

- Zeitkritische Anwendungen werden manchmal direkt in Assembler geschrieben



Vom Sourcecode zum Programm



- Ein (C-)Programm durchläuft viele Schritte bis zur fertigen ausführbaren Datei
- **Präprozessor**, **Compiler**, **Assembler** und **Linker** sind meist separate Programme
- meist mehrere Objektdateien aus verschiedenen Quelltextdateien



Komponenten

- **Präprozessor** ersetzt Code textuell
 - **#include** bindet weiteren Quellcode ein
 - **#define** definiert Makros (Textersetzung)
- **Compiler** erzeugt Assembler aus präprozessierten Quellcode
 - übersetzt C in Zwischencode
 - optimiert, weist Prozessorregister zu
 - übersetzt dann in Assembler
- **Assembler** erzeugt eine Objektdatei mit Maschinencode
- **Linker** verbindet Objektdateien zu **Binärprogramm**
 - löst Abhängigkeiten (Aufrufe, globale Variablen) unter den Objektdateien auf
 - Objektdateien können in **Bibliotheken** zusammengefasst werden



Beispiel: Fakultät

Berechnen der Fakultät in C:

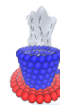
```
#include <stdio.h>
int fakultaet(int n) {
    int fak = 1;
    for (int i = 2; i <= n; ++i) {
        fak *= i;
    }
    return fak;
}
int main(int argc, char **argv)
{
    int n = 20;
    printf("%d\n", fakultaet(n));
    return 0;
}
```



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;
}
```

- Funktionsdefinition
rettyp funktion(typ1 arg1, typ2 arg2,...) {...}
- Ist der Rückgabetyt **void**, gibt die Funktion nichts zurück
- **return** verlässt wie in Python eine Funktion vorzeitig
- Hauptprogramm main ist auch Funktion



Datentypen in C

- anders als in Python sind Variablen fest typisiert
- Grunddatentypen

void	(leer) Datentyp, der nichts enthält nötig für manche Sprachkonstrukte	
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 fester Größe
- **Pointer** (Zeiger): Verweise auf Speicherstellen
- **Structs und Unions**: zusammengesetzte Datentypen, Verbünde
- *keine* Listen oder Wörterbücher



Variablen

```
int foo() {  
    int i = 0;  
    int j, k;  
    int i; // Fehler! i doppelt deklariert  
}
```

```
void bar() {  
    int i = 2; // Ok, da anderer Gueltigkeitsbereich  
    i = k;    // Fehler! k unbekannt  
}
```

- *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
- Gültigkeitsbereich ist innerster Block, markiert durch „*{}*“



Globale Variablen

```
int global;
```

```
void foo() {  
    printf("%d\n", global);  
}
```

```
int bar() {  
    global = 2;  
    funktion();  
}
```

- Globale Variable werden außerhalb von Funktionen deklariert
- Aus allen Funktionen les- und schreibbar



Schleifen – for

```
for (int i = 1; i < 100; ++i) {  
    printf("%d\n", i);  
}  
int k;  
for (k = 100; k > 0; k /= 2) { printf("%d\n", k); }
```

■ Initialisierung

- Beliebige Anweisung
- Deklarierte Variable nur in Schleife gültig

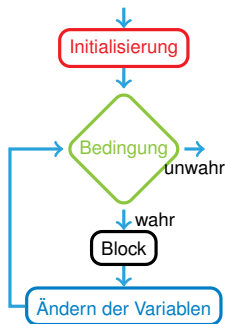
■ Wiederholungsbedingung

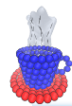
Schleifenende, wenn unwahr

■ Ändern der Schleifenvariablen

hier i um eins erhöhen, k durch 2 teilen

- Abbruch wie in Python mit **break** / **continue**
- Alle Teile können leer sein





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* Auswerten 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
```



Beispiel: Pythagoräische Zahlentripel

Der schnelle Algorithmus in C:

```
#include <stdio.h>
int main() {
    const int c = 10;
    int a = 1, b = c - 1;
    // walk along the arc till diagonal
    while (a <= b) {
        if (a*a + b*b < c*c) { a += 1; }
        else if (a*a + b*b > c*c) { b -= 1; }
        else {
            // found a Pythagorean triple for c
            printf("%d^2 + %d^2 = %d^2\n", a, b, c);
            break;
        }
    }
}
```



Bedingte Ausführung – if

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

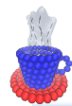
- **if** wie in Python
- Es gibt allerdings kein **elif**

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))`

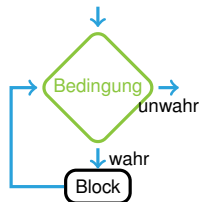


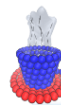
Schleifen – while

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

- **while** (cond) block
führt block aus, solange cond wahr ist
- **break** und **continue** möglich
- Beispiel ist äquivalent zu

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

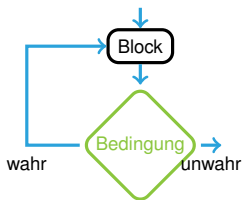




Schleifen – do ... while

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

- **do** block **while** (cond);
führt block aus, solange die Bedingung cond wahr ist
- Unterschied zur **while**-Schleife:
do ... while überprüft nach dem Block



- Ist auch äquivalent zu

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

- Jede Schleife kann äquivalent als **for**-, **while**- oder **do...while**-Schleife geschrieben werden



Beispiel: Sieb des Eratosthenes

■ Problem

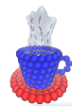
Gegeben: Eine ganze Zahl N

Gesucht: Alle Primzahlen kleiner als N

■ Methode: Sieb des Eratosthenes

- Betrachte Liste aller Zahlen zwischen 2 und N
- Streiche nacheinander alle echten Vielfachen von (Prim-)zahlen
- Was übrig bleibt, sind Primzahlen \implies Sieb

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
40	41	42	43	44	45	46	47	48	49



Implementation

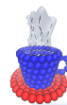
```
#include <stdio.h>
int main() {
    const int N = 100;
    // initially, assume all numbers > 1 are prime
    int is_prime[N];
    for (int i = 2; i < N; ++i) is_prime[i] = 1;
    // now remove true multiples
    for (int i = 2; i < N/2; ++i) {
        if (!is_prime[i]) continue; // multiples already deleted
        for (int multiple = 2*i; multiple < N; multiple += i)
            is_prime[multiple] = 0;
    }
    // print primes to console
    for (int i = 2; i < N; ++i) {
        if (is_prime[i]) printf("%d, ", i); }
    printf("\n");
}
```



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; // kompiliert, 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)



const – unveränderbare Variablen

```
static const float pi = 3.14;
```

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

```
// Funktion ändert 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
- Verwendung wie benannte Konstanten
- „pi“ ist viel klarer als 3.14 im Quelltext
- **static** bei globalen Konstanten



Beispiel: Zeichenketten

In Python:

```
string1 = "Hallo "; string2 = "Welt"  
joined = string1 + string2  
print "{} = {}".format(joined, string1, string2)
```

wird in C zu:

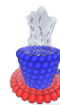
```
#include <stdio.h>  
#include <string.h>  
int main() {  
    char string1[] = "Hallo ", string2[] = "Welt";  
    // result length including terminating 0  
    int len = strlen(string1) + strlen(string2) + 1;  
    char joined[len];  
    strncpy(joined, string1, len - 1);  
    strcat(joined, string2, len - strlen(joined) - 1);  
    printf("%s = %s%s\n", joined, string1, string2);  
}
```



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



Stringfunktionen

```
#include <string.h>
char test[1024];
strncpy(test, "Hallo", 1024);
strncat(test, " Welt!", 1023 - strlen(test));
if (strcmp(test, argv[1], 2) == 0)
    printf("%s und %s starten gleich\n", test, argv[1]);
```

- Headerdatei **string.h** einbinden
- `strlen(quelle)`: Länge eines 0-terminierten Strings
- `strncpy(ziel, quelle, lange)`: kopiert eine Zeichenkette
- `strncat(ziel, quelle, lange)`: hängt eine Zeichenkette an
- `lange` begrenzt die Länge des zu kopierenden Teils
- Korrekte Größe des Zielbereichs und terminierende 0 beachten!
- `strcmp(quelle1, quelle2, lange)`: vergleicht zwei Zeichenketten



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));
```

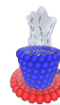
- Lowlevel-Funktionen zum Setzen und Kopieren von Speicherbereichen
- Z.B. zum initialisieren oder kopieren von Arrays
- `memset(ziel, wert, groesse)`: füllt Speicher byteweise mit dem *Byte* wert
- `memcpy(ziel, quelle, groesse)`: kopiert *groesse* viele *Bytes* von *quelle* nach *ziel*
- keine Null-Terminierung
- **sizeof** gibt die Größe eines Datentyps an



printf und scanf

```
#include <stdio.h>
char kette[11];
float fluess;
int ganz;
if (scanf("%10s %f %d", kette, &fluess, &ganz) == 3) {
    printf("%s %10.3f %d\n", kette, fluess, ganz);
}
```

- Lesen und Schreiben von Standardin-/ausgabe
- Headerdatei **stdio.h** einbinden
- Ganzzahlen **%d, %x**, Fließkomma **%e, %f, %g**, Strings **%s**
- Kann mit **Länge.Genauigkeit** ergänzt werden (hier 10 Buchstaben, 3 Stellen in %10.3f)
- scanf gibt Anzahl gelesener Werte zurück, Werte in den gegebenen **Zeigern** auf die Variablen
- Bei Strings auf genug Platz und abschließende 0 achten



Datentypen – Zeiger



- Zeigervariablen (Pointer) zeigen auf Speicherstellen
- Sonst normale Variablen, die selber im Speicher liegen
- 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
- Funktionen können Variablen ändern, auf die sie Zeiger bekommen



Zeiger in C

```
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 (de-)referenzieren

```
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
- so bekommt scanf Zeiger auf die Zielvariablen



Variablen und Zeiger

```
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)

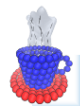


Zeiger als Funktionsparameter

```
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 (**Call by value**)
- 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 (**Call by reference**)
- Bei Zeigern führt das zu Zeigern auf Zeiger (typ **) usw.



Arrays als Funktionsparameter

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

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

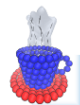
- Arrays verhalten sich auch hier wie Zeiger
- Die Werte des Arrays werden nicht kopiert
- Hintergrund: die Größe von Arrays ist variabel, Speicher für die Kopie müsste aber zur Compilezeit bereitgestellt werden



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;
}
```

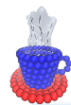
- main ist die Hauptroutine
- erhält als **int** die Anzahl der Argumente
- und als **char **** die Argumente
- Zeiger auf Zeiger auf Zeichen $\hat{=}$ Array von Strings
- Rückgabewert geht an die Shell



Dynamische Arrays – 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



Speicherlecks und andere Fehler

- Wird dauernd Speicher belegt und nicht freigegeben, geht irgendwann der Speicher aus („Speicherleck“):

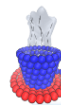
```
// 100 ints anfordern  
int *vek = (int *)malloc(100*sizeof(int));  
// nochmal 200 dazu, macht 300 belegt  
vek = (int *)malloc(200*sizeof(int));  
// aber nur auf die letzten 200 habe ich einen Zeiger
```

- Ein Bereich darf nur einmal freigegeben werden

```
int *vek = (int *)malloc(100*sizeof(int));  
free(vek); free(vek); // Fehler!
```

- free nur auf von malloc erhaltenen Zeiger

```
int *vek = (int *)malloc(100*sizeof(int));  
vek += 5; // ok, aber 5 erste Elemente unerreichbar  
free(vek); // Fehler, free nur auf den malloc-Zeiger
```



Explizite Typumwandlung

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

```
int nenner = 1, zaehler = 1000;
```

```
printf("Ganzzahl: %f\n",  
      (float)(nenner/zaehler)); // → 0.000000
```

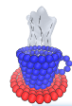
```
printf("Fließkomma: %f\n",  
      ((float) nenner)/zaehler); // → Fließkomma: 0.001000
```

- 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
- insbesondere bei `malloc`, da es **void** * liefert



Beispiel: Mergesort

```
void sort(int A[], int len) {  
    if (len <= 1) { return; }  
    // lengths of sublists to operate on  
    int llen = len/2, rlen = len - llen;  
    // split into copied sublists  
    int *left = copylist(A, llen);  
    int *right = copylist(A + llen, rlen);  
    // sort the two sublists  
    sort(left, llen);  
    sort(right, rlen);  
    // merge them  
    mergelists(A, left, llen, right, rlen);  
    // and free the intermediate memory  
    free(left); free(right);  
}
```



Beispiel: Mergesort

The copying function is easy:

```
#include <stdlib.h>
#include <string.h>

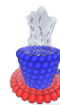
int *copylist(int A[], int len) {
    // allocate temporary heap memory
    int *result = (int *)malloc(sizeof(int)*len);
    // copy A to the temporary heap memory
    memcpy(result, A, sizeof(int)*len);
    return result;
}
```



Beispiel: Mergesort

Merging is a bit shorter in C:

```
void mergelists(int *A, int *l, int ln, int *r, int rn) {  
    // read indexes in left/right lists  
    int lind = 0, rind = 0;  
    for (int i = 0; i < ln + rn; ++i) {  
        /* use from left list if left list is not empty  
         and right list is empty or left element is  
         smaller then the right element */  
        if (lind < ln && (rind >= rn || l[lind] <= r[rind]))  
            A[i] = l[lind++];  
        else  
            A[i] = r[rind++];  
    }  
}
```

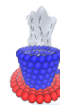



Debugger

- Programmausführung beobachten
- Dazu Programm mit `-g -O0` compilieren
- `gdb <programm>`

Die wichtigsten gdb-Befehle

- `run`: Programm starten
- **break**: Anhalten bei Erreichen einer Codezeile/Funktion
- `cont`: Nach Breakpoint weitermachen
- `next`: Eine Zeile ausführen, Unterfunktionen überspringen
- `step`: Einen Schritt ausführen, in Unterfunktionen anhalten
- `where`: Stack anzeigen
- `up/down`: Navigation auf dem Stack, Funktionsaufrufe
- `print`: Variablen ausgeben



Datenstrukturen: Dynamische Arrays als Listen

- Zentrale Datentypen in Python: Listen und Wörterbücher
- Wie sind diese implementiert?
- Python-Liste entspricht einem dynamischen C-Array

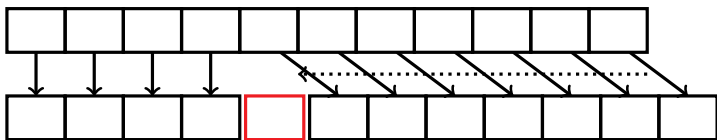
Dynamisches Array

Elementzugriff	$\mathcal{O}(1)$
Einfügen/Löschen	$\mathcal{O}(N)$
Einfügen/Löschen am Ende	$\mathcal{O}(1)$

- Bei großen Listen wird das Einfügen im allgemeinen langsam
- Geht das auch anders? Ja: **verkettete Listen**



Implementierung des Einfügens

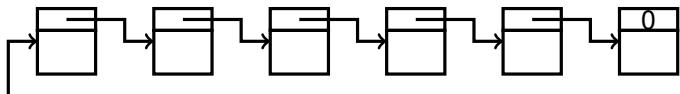


Einfügen von value an Position pos
des Arrays list mit Gesamtlänge len:

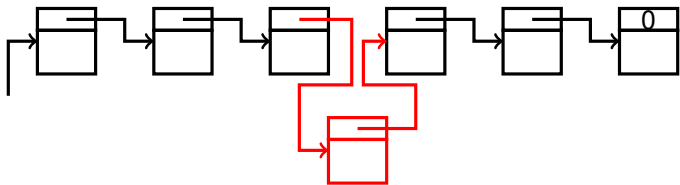
```
int *insert_array(int value, int pos, int *list, int len) {  
    // allocate necessary space  
    list = realloc(list, (len+1)*sizeof(int));  
    // copy starting at the end to avoid overwriting  
    for (int i = len - 1; i >= pos ; --i)  
        list[i+1] = list[i];  
    list[pos] = value;  
    return list;  
}
```

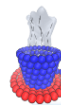


Verkettete Listen



- Jedes Element hat neben den Daten einen *Zeiger* auf das nächste Element
- Zeiger auf das erste Element stellt die Liste dar
- Das letzte Element hat ungültigen Zeiger (NULL, 0)
- Einfügen geht durch lokale Zeigeränderungen:





struct – Datenverbände

```
struct Position {  
    float x, y, z;  
};  
struct ListElement {  
    struct Position position;  
    struct ListElement *next;  
};
```

- **struct** definiert einen Verbund
- Ein Verbund fasst mehrere Variablen zusammen
- Die Größe von Feldern in Verbänden muss konstant sein
- Ein Verbund kann Verbände enthalten
- Offensichtlich nur *Zeiger* auf sich selber



Variablen mit einem struct-Typ

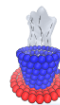
```
struct Position pos, *ptr = &pos;
```

```
pos.x = 42.0;  
ptr->y = 0.3;
```

```
struct Position pos1 = { 1, 0, 0 };
```

```
struct Position pos2 = { .x = 1, .y = 2, .z = 3 };
```

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

```
struct Position pos;  
Particle pos1; // beides ist ok, selber Typ
```

```
Vektor3D vektor; // auch ok  
struct Vektor3D vektor; // nicht ok, da struct namenlos
```

- **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**



Structs als 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 verhalten sich wie einfache Datentypen
- Wenn diese Arrays enthalten, werden diese kopiert
- In diesem Fall ist die Größe des Arrays im Voraus bekannt



Verkettete Liste

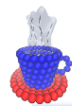
Datenstruktur

```
typedef struct Element {  
    struct Element *next;  
    int value;  
} Element;
```

Die Liste wird durch einen Zeiger auf das erste Element dargestellt

Erzeugen eines neuen Elements

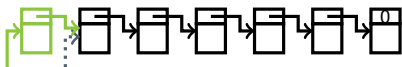
```
Element *make_element(int value, Element *next) {  
    Element *element = (Element *)malloc(sizeof(Element));  
    element->value = value; element->next = next;  
    return element;  
}
```



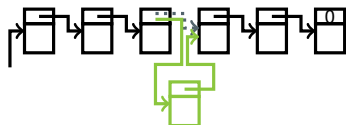
Einfügen bei einer verketteten Liste

```
Element *insert_after(int value, Element *pos,  
                    Element **listhead) {  
    if (pos == NULL) {  
        // insert at head  
        return *listhead = makeElement(value, *listhead);  
    }  
    // insert inbetween, just update given element  
    pos->next = makeElement(value, pos->next);  
    return pos->next;  
}
```

Einfügen am Listenanfang



Einfügen in der Listennitte



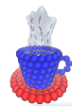


Iterieren über eine verkettete Liste

Eine Schleife über eine verkettete Liste:

```
Element *search(int value, Element *list) {  
    for (Element *element = list; element;  
         element = element->next) {  
        if (element->value == value)  
            return element;  
    }  
    return NULL;  
}
```

- Sucht Wert value in der Liste
- Gibt NULL zurück, wenn nicht gefunden



Datenstrukturen: verkettete Listen

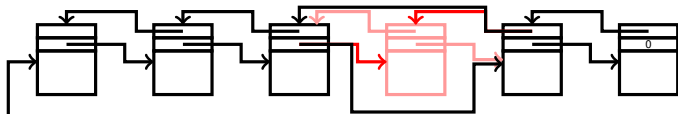
Verkettete Liste

Elementzugriff	$\mathcal{O}(N)$
Einfügen	$\mathcal{O}(1)$
Löschen	$\mathcal{O}(N)$
Löschen am Anfang	$\mathcal{O}(1)$

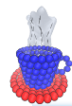
Doppelt verkettete Listen

Elementzugriff	$\mathcal{O}(N)$
Einfügen	$\mathcal{O}(1)$
Löschen	$\mathcal{O}(1)$

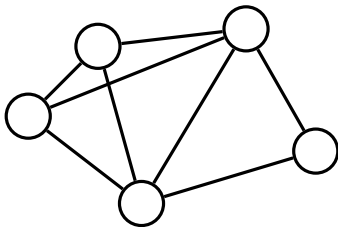
Doppelt verkettete Listen:



- Schnelleres Löschen durch Rückzeiger: Vorgänger bekannt



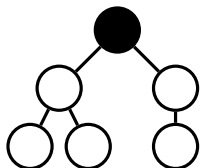
Datenstruktur: Graphen



- Abstrakte Datenstruktur aus Ecken und Kanten
- Kanten können gerichtet sein oder Gewichte tragen
- Beschreiben Beziehungen, z. B. durch Straßen/Fluglinien verbundene Städte
- Darstellung: jeder Knoten hat Liste von Zeigern auf seine Nachbarn

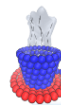


Datenstruktur: Bäume



```
struct Node {  
    type data;  
    struct Node *left, *right;  
};  
struct Node *root;
```

- Graph ohne Zyklen
- Genau ein ausgezeichnetener Knoten (**Wurzel**)
- Alle anderen Knoten sind Kinder von Kindern der Wurzel
- **Blätter** sind Knoten ohne Kinder
- **Binäre** Bäume: maximal zwei Kinder pro Knoten
- Binärer Baum in C:
 - Knoten-**struct** enthält Zeiger auf Kinder
 - Zeiger auf die Wurzel
 - NULL-Zeiger, wenn kein weiteres Kind mehr



Wörterbücher

- Wörterbücher enthalten **Schlüssel-Wert**-Paare:
 - „Axel“ → 1,0
 - „Bernd“ → 1,3
 - „Christian“ → 1,0
- Beispiel: dict in Python
- Wie kann ich das in C *effizient* implementieren?

Implementation mit dynamischen Arrays

- Speichern der Schlüssel-Wert-Paare
- Anfügen erfordert $\mathcal{O}(1)$ Operationen 😊
- Elementzugriff erfordert Suche
 - ⇒ Schleife über alle Paare
 - ⇒ $\mathcal{O}(N)$ Operationen 😞



Schnellere Suche: Bisektion

- Speichere Schlüssel-Wert-Paare *sortiert* nach Schlüssel
- Vergleiche Wörterbuch, Telefonbuch, ...
- Bisektion:

Betrachte Pivotelement in der Arraymitte

1. Element ist der gesucht Schlüssel \implies gefunden!
2. Element ist kleiner \implies durchsuche größere Elemente (rechts)
3. Element ist größer \implies durchsuche kleinere Elemente (links)

Halbiert Listenlänge in jedem Schritt $\implies \mathcal{O}(\log N)$ Schritte 😊

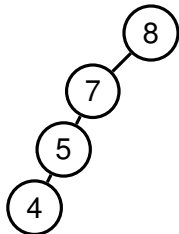
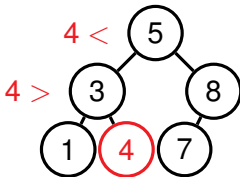
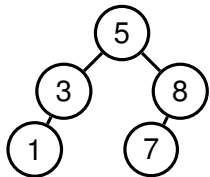
Beispiel

1	3	4	5	7	8	$4 < 5 \implies$ links weitersuchen
1	3	4	5	7	8	$4 > 3 \implies$ rechts weitersuchen
1	3	4	5	7	8	gefunden!

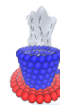
- Aber sortiertes Einfügen i. a. $\mathcal{O}(N)$ 😞



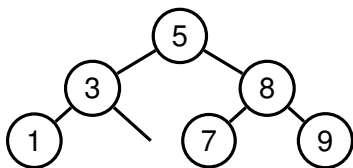
Binäre Suchbäume



- Linkes Kind ist kleiner als der Elter, rechtes Kind größer
- Werte werden stets als Blätter hinzugefügt
- Einfügen und Suchen besuchen immer nur eins von zwei Kindern
⇒ erfordern $\mathcal{O}(\log N)$ Operationen 😊
- Aber: im ungünstigsten Fall ist der Baum eine verkettete Liste! 😞
(wenn Elemente sortiert eingefügt werden)
- Abhilfe: **Balancierte** Bäume, z. B. Red-Black-Bäume



Sortieren mit Suchbäumen

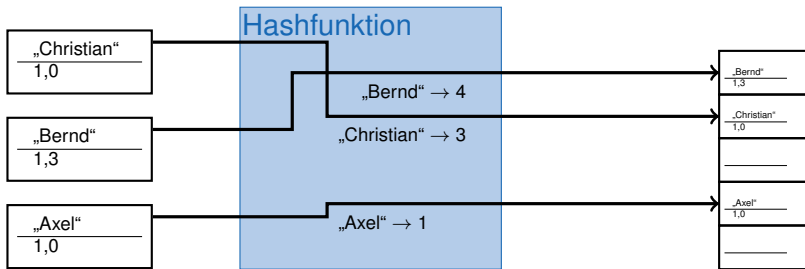


- Sortiere Teilchen wieder so, dass überall die kleineren Schlüssel im linken Ast sind, die größeren im rechten
- Die aufsteigend sortierte Liste ergibt sich rekursiv durch **symmetrische Traversierung**:

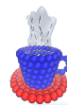
```
def print_tree_sorted(tree):  
    if tree.left: print_tree_sorted(tree.left)  
    print tree.key  
    if tree.right: print_tree_sorted(tree.right)
```

- Rechter Baum wird zuerst besucht \implies Liste absteigend sortiert

Datenstruktur: Hashtables



- Python benutzt eine **Hashtable** für das Wörterbuch
- Weitere Anwendungen in Datenbankindexing, Cacheing,...
- Die wahrscheinlich wichtigste bekannte Datenstruktur (S. Yegge)
- Dynamisches Array von Schlüssel-Wert-Paaren
- Position wird aus Schlüssel durch **Hashfunktion** bestimmt
- Kein Umsortieren beim Einsortieren $\implies \mathcal{O}(1)$ 😊
- Auslesen wie aus dynamischem Array $\implies \mathcal{O}(1)$ 😊



Hashfunktionen

- Schlüssel möglichst gleichmässig über das Array verteilen
- Kein Muster sollte zu Häufungen / Lücken führen (z. B. Zeichenketten nur aus Großbuchstaben oder Zahlen)
- Indizes müssen in das Array passen, daher meist:
Zeichenkette → Ganzzahl modulo Array-Größe

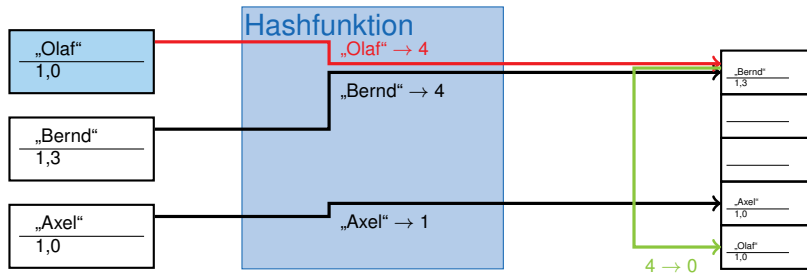
Beispiel Zeichenketten (Dan Bernstein)

```
unsigned int hash(unsigned char *str) {  
    unsigned int hash = 5381;  
    for (int i = 0; str[i] != 0; ++i)  
        hash = 33*hash + str[i];  
    return hash;  
}
```

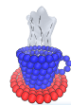
- **Kryptographische Hashes:** Rekonstruktion äußerst schwer, zur Verifikation von Daten



Kollisionenbehandlung



- Verschiedene Schlüssel haben gleichen Hash \implies **Kollision**
- Immer möglich, da Arraygröße beschränkt
- Um die Chance klein zu halten, mindestens 20% Slots leer lassen
- Mögliche Lösungen:
 - (Verkettete) Listen für jeden Schlüssel
 - Bei Kollision Hashwert ändern, z. B. um eins erhöhen



Pythons Hashfunktion

- Ganzzahlen sind ihr eigener Hash (außer -1, das Hash -2 hat)
- Für Strings sieht die Hashfunktion ungefähr so aus:

```
int string_hash(const char *p)
{
    long x; // hash to compute
    x = p[0] * 128;
    int i;
    for (i = 0; p[i] != 0; ++i)
        x = (1000003*x) ^ p[i];
    x ^= i; // xor length of the string
    if (x == -1) x = -2;
    return x;
}
```

<http://svn.python.org/projects/python/trunk/Objects/stringobject.c>



Pythons Kollisionsbehandlung

- Python passt die Hashwerte an, und zwar ungefähr so:

```
find_key(const char *key, KeyValuePair *slot, int mask) {  
    int i = string_hash(key);  
    for (long perturb = hash; ; perturb >>= 5) {  
        i = 5*i + perturb + 1 & mask;  
        if (is_empty(slot[i].key)  
            return NULL; // not in the hash table  
        else if (strcmp(slot[i].key, key) == 0)  
            return slot[i]; // found  
        // if we get here, we had a collision, one more round  
    }  
}
```

<http://svn.python.org/projects/python/trunk/Objects/dictobject.c>

- Bei ca. 2/3 Füllstand wird die Tabellengröße verdoppelt

Beispiel: Datenanalyse

Gegeben: Laaange Zahlenkolonne in einer Datei

Gesucht: Mittelwert

$$M = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

und Standardabweichung

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2 - M^2}$$

der Daten

oder

ein Histogramm mit variable Größe



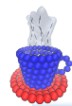
Implementation: Mittelwert und Standardabweichung

```
#include <math.h>
/* compute first and second moment (mean and variance) */
void moments(const double *data, int len,
             double *mean, double *stddev)
{
    double _m1 = 0, _m2 = 0;
    for (int i = 0; i < len; ++i) {
        _m1 += data[i];
        _m2 += data[i]*data[i];
    }
    *mean = _m1/len;
    *stddev = sqrt(_m2/len - (*mean)*(*mean));
}
```



Implementation: Lesen aus der Datei

```
/* read a file of double data into an array */
int read_data(const char *argv, double **data, int *len) {
    FILE *file = fopen(argv, "r");
    if (!file) { return -1; }
    // initialize empty data list
    double *_data = NULL; int _len = 0;
    while (!feof(file)) {
        _len++;
        _data = (double *)realloc(_data, _len*sizeof(double));
        fscanf(file, "%lg", &_data[_len - 1]);
    }
    *data = _data; *len = _len;
    return 0;
}
```



Implementation: Parsen der Kommandozeile

Wir nutzen die getopt-Bibliothek:

```
// histogram parameters with defaults
int bins = 20; double min = 0, max = 1;
int task = MOMENTS;
// use getopt to parse the commandline
while (getopt(argc, argv, "hb:m:M:") != -1) {
    switch (optopt) {
        case 'h': task = HISTOGRAM; break;
        case 'b': bins = atoi(optarg); break;
        case 'm': min = atof(optarg); break;
        case 'M': max = atof(optarg); break;
        default: return usage();
    }
}
// skip parsed options
argc -= optind; argv += optind;
```



Bedingte Ausführung – switch

```
char buch = argv[1][0];
switch (buch) {
case 'a':
    printf("a, rutscht durch zu b\n");
    // fall through!
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
- Abarbeitung stoppt nicht an **case**, durch **break** verlassen



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



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 $\sin(x)^3$



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);
```

- stdin, stdout und stderr sind **Handles** für die Standardgeräte
- Dateien öffnen mit fopen, schließen mit fclose
- Handle ist NULL, wenn Datei nicht geöffnet werden kann
- Zum Schreiben öffnen mit Modus „w“ oder „a“ statt „r“
- fprintf und fscanf funktionieren wie printf und scanf

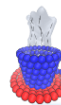


stdio.h – sscanf

```
#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;
}
```

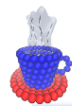
- sscanf liest statt aus einer Datei aus einem 0-terminierten String
- Dies ist nützlich, um Argumente umzuwandeln
- Es gibt auch sprintf zum Schreiben in Strings



getopt.h – Kommandozeile parsen

```
#include <unistd.h>
int main(int argc, char **argv) {
    int bins = 20;
    while (getopt(argc, argv, "hb:") != -1) {
        switch (optopt) {
            case 'b': bins = atoi(optarg); break;
            case 'h':
                default: return usage();
        }
    }
    argc -= optind; argv += optind;
}
```

- getopt: Parsen einbuchstabiger Optionen
- Doppelpunkt hinter Option: diese hat ein Argument
- optind: Index des aktuellen Arguments in argc
- optarg: Argument, falls Doppelpunkt (String)
- optopt: Buchstabe der aktuellen Option



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 Objektda-
te/Bibliothek bereitstellt (**exportiert**)
- beschreiben **Signatur** der Funktionen (Typ von Parametern)
- beschreiben den Typ von exportierten Variablen

Objektdateien

- haben üblicherweise Endung „.o“
- werden wie Programme aus C-Quellcode erzeugt
- oder aus Fortran, Assembler,...-Code
- enthalten Programmcode und/oder globale Variablen
- **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
- **static**
 - Nur in dieser Objektdatei, nach außen unsichtbar
 - Für private globale Variablen von Bibliotheken
- **extern**
 - Diese Variable *muss* in genau einer anderen Objektdatei liegen
 - Sonst gibt es „undefined reference“-Fehler



Aufbau von Headerdateien

modul.h

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

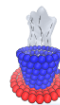
- Der **#ifdef/#define**-Konstrukt sichert, dass die Headerdatei modul.h nur einmal pro Objektdatei eingebunden wird
- Variablen werden hier **extern** deklariert
- Funktionen werden einfach ohne Funktionskörper deklariert
- Variablen und Funktionen müssen in genau einer Objektdatei definiert werden



#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 – 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
- Meist benutzt, um Headerdateien nicht doppelt einzubinden

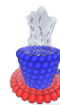


Aufbau der Quelldateien

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



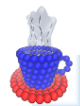
Bibliotheken

- 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:  
000000000000000000 T get_hello  
000000000000000000 d hello
```

```
bib_world.o:  
000000000000000000 D world
```

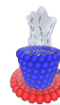


make – automatisiertes Bauen

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 zum Erzeugen von ziel
- make ziel baut ziel nur neu, wenn eine Quelle neuer ist
- Automatische Regeln für Objektdateien aus C-Quellcode



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:

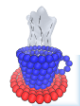
- `--help`: beschreibt alle Konfigurationsmöglichkeiten
- `--prefix`: wohin das Paket installiert werden soll.
Hier einen Platz im eigenen Home-Directory angeben, sonst kann nur root das Paket installieren
- `--with-OPTION`: schaltet Optionen an (z.B. GUI, Unterstützung für double,...)
- `--without-OPTION`: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