

# System-Programmierung

## 1: Erste Schritte in C

CC BY-SA, Thomas Amberg, FHNW  
(soweit nicht anders vermerkt)  
Slides: [tmb.gr/syspr-1](http://tmb.gr/syspr-1)



## Überblick

Diese Lektion behandelt die *Basics* der Sprache C.

Vieles ist relativ ähnlich wie in Java.

Neu sind *Pointers* (Zeiger).

```
#include <stdio.h>

int main(void) {
    printf("hello, world\n");
    return 0;
}
```

`$ nano hello.c {Text einfügen} CTRL-X Y ENTER`  
`$ gcc -o hello hello.c`  
`$ ./hello`  
`hello, world`

hello.c

3

## C

Entstanden 1970 an den Bell Labs, auf [UNIX](#) / [PDP-11](#).

Entwickelt von Dennis Ritchie aus Vorgänger [B](#), [BCPL](#).

Standardisiert als [C89](#) (auch ANSI C), und später [C99](#).

4

## C im Vergleich mit Java

Die Sprache C ist prozedural, nicht\* Objekt-orientiert.

Manuelle Speicherverwaltung, kein Garbage Collector.

Maschinen-nah, weniger Typ-sicher, explizite Pointers.

5

## Variablen, Konstanten, Zuweisung

Integer Variablen, Initialisierung:

```
int b; int i, j; int k = 0;
```

Integer Konstante mit *const*:

```
const int a = 42;
```

Zuweisung (Assignment):

```
b = a; // b = 42
```

6

## Symbolische Konstanten

Definition symbolischer Konstanten mit `#define`:

```
#define PI 3.14159
```

Jedes Auftreten der Konstante wird textuell ersetzt:

```
f = PI * r^2; // =>
f = 3.14159 * r^2;
```

`#defines` werden ohne `;` und GROSS geschrieben.

7

## Integer Typen

Deklaration von Integer (Ganzzahl) Typen:

```
char c; // Grösse sizeof(char) = 1 Byte
int i; // Hardware-abhängig  $N \geq 4$  Byte
long l; // bzw. long int l;  $N \geq N_{\text{int}} \geq 4$  Byte
short s; // bzw. short int s;  $N_{\text{int}} \geq N \geq 2$  Byte
```

Alle davon auch *unsigned*, ohne Vorzeichen:

```
unsigned int i; // Wertebereich  $0 \dots 2^{N*8}-1$ 
int i; // Wertebereich  $-2^{N*8-1} \dots 2^{N*8-1}-1$ 
```

8

## Hands-on, 15': `int` Wertebereich `range.c`

Schreiben Sie ein Programm `my_range.c`, das den Wertebereich des Typs `int` ausgibt:

```
$ ./my_range
INT_MIN, INT_MAX
```

Nutzen Sie aus, dass `INT_MAX + 1 = INT_MIN` gilt.

Die Ausgabe von `int` Werten ist möglich mit `%d`, z.B.:  
`printf("%d\n", i);` // `\n` = newline character

9

## Floating Point Typen & Wertebereich

Deklaration von Floating Point (Gleitkomma) Typen:

```
float f; // sizeof(float) ist HW-abhängig
double d; // sizeof(double) ist HW-abhängig
long double ld; // sizeof(...) ist HW-abhängig
```

Hardware bzw. Compiler-abhängige Konstanten:

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

Interne Darstellung meistens\* [IEEE 754](#).

10

## Boolean

**C89** hat keinen eingebauten Boolean Typ - aber z.B.:

```
typedef enum { FALSE, TRUE } Boolean; // [TLPI]
Boolean b;
b = TRUE; // bzw. FALSE
```

**C99** hat einen `bool` Typ in `stdbool.h`:

```
#include <stdbool.h>
bool b; // oder _Bool b;
b = true; // bzw. false
```

Achtung: in  
Expressions  
z.B. `if()` gilt  
alles `!= 0`  
als `true`.

11

## Formatierung

Formatierung mit `printf`:

```
printf("%c", c); // char c
printf("%d", i); // int i
printf("%f", f); // float f
printf("%f", d); // double d
printf("%.3f", f); // 3 Vorkommastellen
printf("%.2f", f); // 2 Nachkommastellen
printf("%s", b ? "true" : "false"); // bool b
```

12

## Expressions

expr.c

Expression (Ausdruck) vom Typ *int*:

```
int a, b;  
a = 1 + 2 * 3; // Punkt vor Strich  
b = 6 * a; // b = 6 * (1 + (2 * 3))
```

Expression vom Typ *float*:

```
float c, d, e, f;  
c = b * 0.25; // int * float => float  
d = c - e - f; // (c - e) - f => v.l.n.r
```

13

## Auswertungsreihenfolge & -richtung

() <sup>f(x)</sup> [] -> .	v.l.n.r.	^	v.l.n.r.
! ~ ++ -- + - * &	v.r.n.l.		v.l.n.r.
(type) sizeof		&&	v.l.n.r.
* / %	v.l.n.r.		v.l.n.r.
+ - <sup>binär, a+b</sup>	v.l.n.r.	?:	v.r.n.l.
<< >>	v.l.n.r.	= += -= /= %=	v.r.n.l.
< <= > >=	v.l.n.r.	&= ^=  = <<=	
== !=	v.l.n.r.	>>=	
& <sup>binär, a&amp;b</sup>	v.l.n.r.	,	v.l.n.r.

14

## Typumwandlung

upper.c

Implizite Umwandlung, bei Zuweisung, *float* zu *int*:

```
int i = 2.3; // .3 fällt weg
```

Explizite Umwandlung, mit Typcast, *int* zu *float*:

```
float f = (float) i;
```

15

## Typumwandlung in Operationen

Integer Promotion und arithmetische Umwandlung:

{char, short} → int → unsigned int → long →  
unsigned long → float → double → long double

Bei gemischten Operationen gewinnt "grösster" Typ:

```
int i = 42;  
float f = 23.0;  
i + f; // hat Typ float, weil int → ... → float  
// d.h. es wird (float) i + f berechnet
```

16

## Kontrollfluss

Bedingte Ausführung mit *if*:

```
if (condition) statement
```

Bedingte Ausführung mit *if* und *else*:

```
if (condition) statement1 else statement2
```

Empfehlung: Statements jeweils mit Block {}, z.B.

```
if (a < b) { c = a; } else { c = b; }
```

17

Bedingte Ausführung mit (mehreren) *else if*:

```
if (condition1) statement1 else if (condition2)  
statement2 else statement3
```

```
if (result >= 0) {  
    printf("Success\n");  
} else if (result == -1) {  
    printf("Error No. 1\n");  
} else {  
    printf("Unknown error\n");  
}
```

18

### Bedingte Ausführung mit *switch*:

[switch.c](#)

```
switch (expression) {
    case const-expression: statement1;
    default: statement2;
}

int ch = getchar();
switch (ch) {
    case 'y': result = 1; break;
    case 'n': result = 0; break;
    default: result = -1;
}
```

19

### Wiederholung mit *while*-Schleife:

*while* (condition) statement

```
int i = 0;
while (i < 7) {
    printf("%d\n", i);
    i = i + 1;
}
```

20

### Wiederholung mit *for*-Schleife:

*for* (init-expr; condition; loop-expr) statement

```
for (int i = 0; i < 7; i++) {
    printf("%d\n", i);
}
```

```
int i = 0; // init-expr
while (i < 7) {
    printf("%d\n", i);
    i++; // loop-expr
}
```

21

### Wiederholung mit *do-while*-Schleife:

[do\\_while.c](#)

*do* statement *while* (condition)

```
int c;
do {
    printf("enter a number [0-9]: ");
    c = getchar();
} while (c < '0' || '9' < c);
```

22

### Sprung zum Ende des Blocks mit *break*-Statement:

*break*;

```
0: while (1) {
1:     break; // springt zu Zeile 3
2: }
3:
```

Sparsam verwenden, oder mit *switch* zusammen.

23

### Sprung zur nächsten Iteration mit *continue*:

*continue*;

```
0: int i = 0;
1: while (i < 3) {
2:     continue; // springt zu Zeile 1
3:     i++;
4: }
5:
```

Sparsam oder gar nicht verwenden.

24

Beliebige Sprünge mit *goto*-Statement:

```
goto label;
...
label: statement
```

Nicht verwenden, führt zu absolut unlesbarem Code.

E. W. Dijkstra: "Go-to statement considered harmful".

25

## Arrays

arrays.c

Deklaration eines *float* Arrays mit 3 Elementen:

```
float temp_values[3];
```

Deklaration und Initialisierung eines Arrays:

```
float temp_values[3] = { 20.1, 23, 15.2 };
```

Lesen / Schreiben einzelner Array-Elemente:

```
t = temp_values[i]; // (0 <= i) && (i < 3)
temp_values[2] = 7.0;
```

26

## Pointers

pointers.c

Ein Pointer (Zeiger) ist eine Variable, welche die Speicheradresse einer anderen Variable enthält:

```
int *p; // p = Pointer auf int Variable
```

Adressoperator &:

```
p = &i; // p = Adresse von i => p zeigt auf i
```

Dereferenzierungsoperator \*:

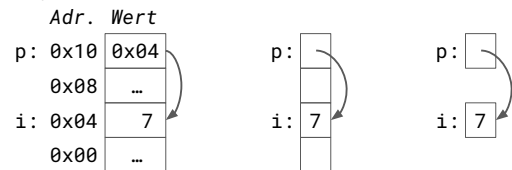
```
int j = *p; // j = Wert auf den p zeigt
```

27

## Speichermodell (stark vereinfacht)

Fortlaufend adressierte Speicherzellen.

In jeder Zelle kann ein Wert stehen.



28

## Null-Pointer

C garantiert, dass 0 keine gültige Speicheradresse ist:

```
char *p = 0; // Zuweisung von 0 ist erlaubt
```

*stdio.h* definiert die symbolische Konstante *NULL*:

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

```
char *p = NULL; // Lesbarer als bloss 0
```

Pointer und Zahlen  $\neq 0$  sind nicht austauschbar:

```
char *p = 7; // Fehler
```

29

## Wert ersetzen, auf den ein Pointer zeigt

Dereferenzierungsoperator kann auch links stehen:

```
int i = 7; // int Variable mit Wert 7
```

```
int *p; // Pointer auf int Variable
```

```
p = &i; // p = Adresse von i => p zeigt auf i
```

```
*p = 3; // Wert an der Stelle auf die p zeigt
```

```
printf("%d", i); // => i hat jetzt den Wert 3
```



30

## Adressarithmetik

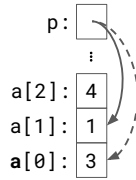
arr\_ptr.c

Pointers und Arrays:

```
int a[] = { 3, 1, 4 };
int *p;
p = &a[0]; // p zeigt auf a[0]
p = p + 1; // +1 * sizeof(int)
int b = *p; // Wert von a[1]
```

Kurzschreibweise:

```
p = a; // bedeutet p = &a[0]
```



31

## Strings

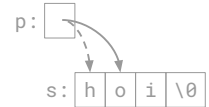
strings.c

Strings sind Arrays von *char*, mit Null terminiert:

```
char s[] = {'h', 'o', 'i', '\0'};
for (char *p = s; *p != '\0'; p++) {
    printf("%c", *p);
}
```

Oder:

```
char *s = "hoi";
printf("%s", s);
```



32

## String Funktionen

Die *string.h* Library enthält Standard-Funktionen.

Länge des Strings `s`, bzw. Index des ersten `'\0'` in `s`:  
`int strlen(const char *s);`

Kopieren von `src` nach `dest`, Pointer auf `dest` zurück:  
`char *strcpy(char *dest, const char *src);`

Anhängen von `src` an `dest`, Pointer auf `dest` zurück:  
`char *strcat(char *dest, const char *src);`

33

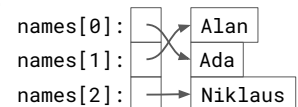
## Pointer Arrays

Pointer Werte können in einem Array enthalten sein:

```
char *names[] = { "Alan", "Ada", "Niklaus" };
```

Sortieren wird so effizienter, ändert nur Pointer:

```
qsort(names, 0, 2, ...);
```



34

## Hands-on, 15': Argumente lesen args.!c

Das System übergibt Command-Line Argumente so:

```
int main(int argc, char *argv[]) { ... }
Schreiben Sie ein Programm my_args.c, das seine
Argumente, d.h. alle Strings im Array argv ausgibt:
$ ./my_args hoi ...
0: ./my_args, 1: hoi, ...
```

Erweitern Sie das Programm so, dass es einen Fehler ausgibt, falls ein Argument nicht aus `[a-z]*` besteht.

35

## Mehrdimensionale Arrays

2-D Matrix von 3 x 4 *int* Werten:

```
int m[3][4] = { // 3-er Array von 4-er Arrays
    {0, 0, 0, 0}, {0, 0, 0, 0}, {0, 7, 0, 0}
};
int x = m[2][1]; // nicht m[2,1]; x = 7;
```

Unterschied zu Pointers:

```
int m[3][4]; // 12 int-grosse Speicherzellen
int *n[3]; // 3 Pointer, nicht initialisiert
```

36

## Structs

structs.c

Struct-Typ namens *point* mit *int* Feldern *x* und *y*:

```
struct point { int x; int y; };
```

Deklaration einer Variable vom Struct-Typ *point*:

```
struct point p = { 3, 2 };
```

```
struct point q; // immer mit struct keyword
```

Zugriff auf Struct Felder mit Punkt-Notation:

```
q.x = p.y;
```

37

## Pointer auf Structs

Pointer auf Struct-Typ namens *point*:

```
struct point *p;
```

Zugriff auf Struct Feld erfordert Klammern:

```
(*p).x; // weil . vor * ausgewertet wird
```

Dasselbe geht aber auch kürzer, mit -> Notation:

```
p->x;
```

38

## Typen definieren mit *typedef*

typedef.c

Typ namens *Point* mit *int* Feldern *x* und *y*:

```
typedef struct point { int x; int y; } Point;
```

Deklaration einer Variable vom Typ *Point*:

```
Point p = { 3, 2 };
```

```
Point q; // ohne struct keyword
```

Struct-Typen können geschachtelt werden:

```
typedef struct rect { Point a; Point b; } Rect
```

39

## Speicher allozieren

Speicher auf dem Stack allozieren, zur Compile-Zeit:

```
Point ps; // alloziert Speicher auf dem Stack
```

```
Point *p = &ps; // p zeigt auf Adresse von ps
```

Speicher auf dem Heap allozieren mit *malloc*:

```
Point *p = malloc(sizeof(Point));
```

Heap-Speicher freigeben mit *free*:

```
free(p); // manuell, kein Garbage Collector
```

40

## Hands-on, 15': Bäume

tree.!c, \_v2.!c

Erstellen Sie eine Datei *my\_tree.c* mit einem Struct Typ *Node* mit Zeigern auf *left*, *right* vom selben Typ, und einem String *label* von maximal 32 Byte Länge.

Instanzieren Sie einen binären Baum mit 3 Blättern, verwenden Sie dazu die Funktionen *malloc* und *free*.

41

## Empfohlene Compiler Flags

Für eine möglichst strikte Analyse im *gcc* Compiler:

```
$ gcc my.c
```

```
-std=c99 // oder -std=c89 (auch -ansi)
```

```
-pedantic // Strikte ISO C Warnungen
```

```
-pedantic-errors // Strikte ISO C Errors
```

```
-Werror // Handle Warnungen als Errors
```

```
-Wall // Einschalten "aller" Warnungen
```

```
-Wextra // Einschalten von extra Warnungen
```

42

## Programme bauen mit *make* **makefile**

Einfaches *makefile*

```
$ cd fhnw-syspr/01
```

```
$ cat makefile
```

...

Bilden (bauen) mit *make*

```
$ make all           Alle Programme bauen
```

```
$ make hello        Einzelnes Programm bauen
```

```
$ make clean        Erzeugte Programme löschen
```

43

## Hands-on, 15': Makefile

Erstellen Sie ein *makefile* für Ihren Hands-on Code.

Verwenden Sie die Compiler Flags aus dem Script.

Korrigieren Sie allfällige neue Kompilationsfehler.

Führen Sie *make clean* aus, vor dem *git commit*.

44

## Selbststudium, 3h: Functions & Structure

Als Vorbereitung auf die nächste Lektion, lesen Sie  
[K&R] 4: *Functions & Program Structure* bis p.88.

45

## Feedback oder Fragen?

Gerne im Slack <https://fhnw-syspr.slack.com/>

Oder per Email an [thomas.amberg@fhnw.ch](mailto:thomas.amberg@fhnw.ch)

Danke für Ihre Zeit.

46

