

# System-Programmierung

## 1: Erste Schritte in C

CC BY-SA, Thomas Amberg, FHNW  
(soweit nicht anders vermerkt)

# Ablauf heute

$\frac{1}{3}$  Vorlesung,

$\frac{2}{3}$  Hands-on,

Feedback.

Slides, Code & Hands-on: [tmb.gr/syspr-1](https://tmb.gr/syspr-1)



```
#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
```

# 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**.

# 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.

# 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
```

```
a = b; // Fehler
```

# 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.

# 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;  $N \geq 4$  Byte  $\geq N_{\text{int}}$

**short** s; // bzw. short int s;  $N_{\text{int}} \geq N \geq 2$  Byte

Alle davon auch *unsigned*, ohne Vorzeichen:

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

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



# Hands-on, 20': *int* Wertebereich `range.c`

Hardware bzw. Compiler-abhängige Konstanten:

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

Schreiben Sie ein Programm *my\_range.c*, das für die Typen *char*, *int*, *long*, *short* Wertebereiche so ausgibt:

```
type: TYPE_SIZE byte, TYPE_MIN .. TYPE_MAX
```

Erweitern Sie das Programm für *unsigned* Typen\*.

(Tipp: `$ gcc FILE.c -M` zeigt *include* Pfade an.)

# 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.

# Boolean

Bei **C89** gibt es keinen eingebauten Boolean Typ:

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

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

Bei **C99** gibt es den *bool* Typ in *stdbool.h*:

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

# 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("%3.f", f); // 3 Vorkommastellen
printf("%.2f", f); // 2 Nachkommastellen
printf("%s", b ? "true" : "false"); // bool b
```

# 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
```

# Auswertungsreihenfolge & -richtung

$()^{f(x)} [] -> .$	v.l.n.r.	$\wedge$	v.l.n.r.
$! \sim ++ -- + - * \&$	v.r.n.l.	$ $	v.l.n.r.
$(type) sizeof$		$\&\&$	v.l.n.r.
$* / \%$	v.l.n.r.	$  $	v.l.n.r.
$+ -$ binär, a+b	v.l.n.r.	$?:$	v.r.n.l.
$<< >>$	v.l.n.r.	$= += -= /= \%=$	v.r.n.l.
$< <= > >=$	v.l.n.r.	$\&= \wedge=  = <<=$	
$== !=$	v.l.n.r.	$>>=$	
$\&$ binär, a&b	v.l.n.r.	$,$	v.l.n.r.

# Typkonversion

upper.c

Implizit, bei Zuweisung:

```
int i = 2.3; // .3 fällt weg
```

Explizit, mit Typ-cast:

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

Integer Promotion und arithmetische Konversion:

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

# 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; }
```



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");  
}
```

Bedingte Ausführung mit (mehreren) ~~else~~ *if*:

```
int animal = PLATYPUS;  
if (lays_eggs(animal)) {  
    ...  
} else if (is_mammal(animal)) {  
    ...  
} else {  
    ...  
}
```

# 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;  
}
```

# Wiederholung mit *while*-Schleife:

**while** (*condition*) *statement*

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

## Wiederholung mit *for*-Schleife:

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

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

## 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);
```

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.

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.



## Beliebige Sprünge mit *goto*-Statement:

```
goto label;
```

```
...
```

```
label: statement
```

Nicht verwenden, führt zu absolut unlesbarem Code.

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

# 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;
```

# 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 \*:

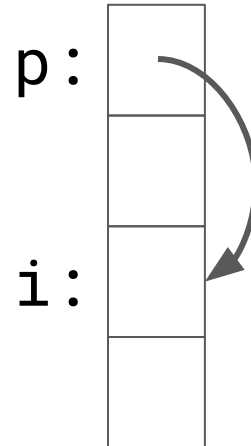

```
j = *p; // j = Wert auf den p zeigt => i
```

# Speichermodell (stark vereinfacht)

Fortlaufend adressierte Speicherzellen.

In jeder Zelle kann ein Wert stehen.

	<i>Adr.</i>	<i>Wert</i>
p:	0003	0001
	0002	0000
i:	0001	0042
	0000	0000



# 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
```

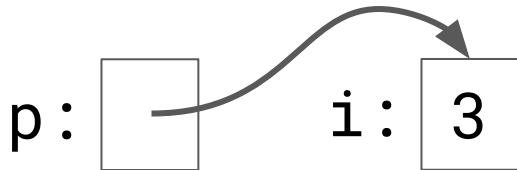
Pointer und Zahlen  $\neq 0$  sind nicht austauschbar:

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

# 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
```



# Adressarithmetik

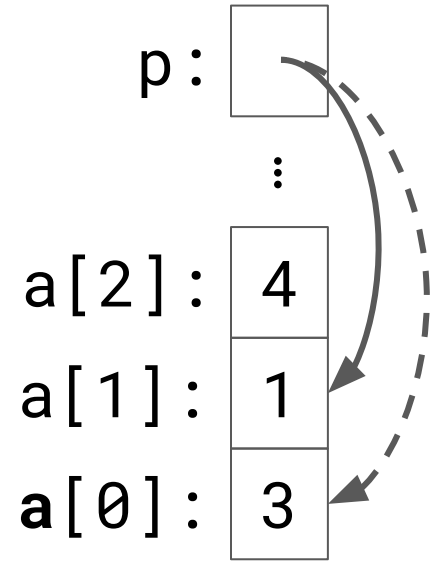
arr\_ptr.c

## 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]
```



# Strings

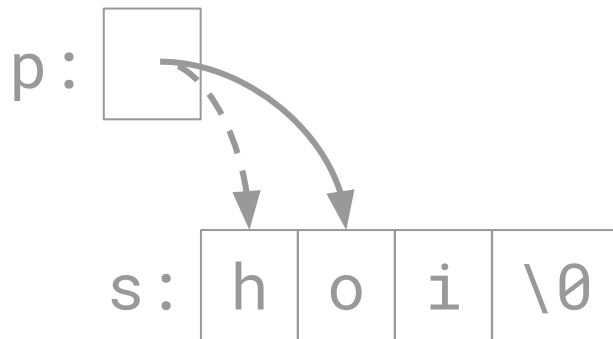
strings.c

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);
```





# 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);
```

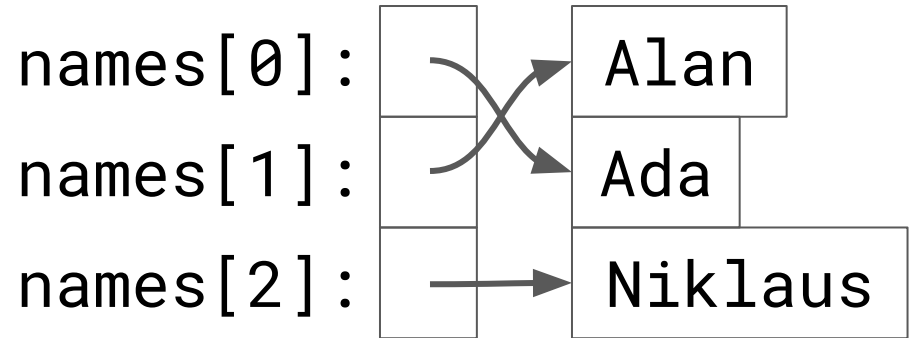
# Pointer Arrays

Pointer sind Variablen, können in Arrays drin sein:

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

Sortieren wird so effizienter, ändert nur Pointer:

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



# Hands-on, 20': Argumente lesen `args.!c`

Command-Line Argumente als Parameter von *main*:

```
int main(int argc, char *argv[]);
```

Schreiben Sie ein Programm *my\_args.c*, das alle

Command-Line Argumente mit Index ausgibt:

```
$ ./my_args hoi => 0: ./my_args, 1: hoi
```

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

# 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
```

# 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;
```

# 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 deshalb auch kürzer, mit -> Notation:

```
p->x;
```

# 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
```

# 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
```



# Hands-on, 20': 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*.

Erweitern Sie den *Node* Typ für Bäume mit variabler Anzahl ( $N > 2$ ) Ästen, wie [Darwin's Tree of Life](#).

# Unions als "Variant Record"

variants.c

Ein Union-Typ nimmt einen von mehreren Typen an:

```
union variant { // union variant ist
    int int_value; // entweder ein int
    float float_value; // oder ein float
} v; // sizeof(v) gross genug für grössten Typ
```

Auch mit *typedef*, wie bei *struct*:

```
typedef union variant { ... } Variant;
Variant v = { .float_value = 23.0 };
```

# Unions und Bit-weiser Zugriff unions.c

Mehrere Typen als "Sicht" auf dieselbe Speicherstelle:

```
typedef union packet {  
    unsigned char byte_value;  
    struct bit_layout {  
        unsigned int lo_nibble : 4;  
        unsigned int hi_nibble_lsb : 1;  
    } bit_values; // Hardware-abhängig!  
} Packet;          // $ lscpu => Little Endian
```

# Hands-on, 30': BLE Pakete

ble.!c

Erstellen Sie ein C Struct Typ für **BLE** Pakete gemäss:  
<https://devzone.nordicsemi.com/f/nordic-q-a/12211/ble-packet-structure> in einer neuen Datei *my\_ble.c*

Zudem eine C Union, um auf **Heart Rate** Messwerte zuzugreifen, gemäss: [https://www.bluetooth.com/specifications/gatt/viewer?attributeXmlFile=org.bluetooth.characteristic.heart\\_rate\\_measurement.xml](https://www.bluetooth.com/specifications/gatt/viewer?attributeXmlFile=org.bluetooth.characteristic.heart_rate_measurement.xml)

# 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
```

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

## Einfaches *makefile*

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

```
$ cat makefile
```

...

## Builden (bauen) mit *make*

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

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

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

# 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*.

# Selbststudium, 3h: Functions & Structure

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

Die nächste Lektion fasst den Lesestoff zusammen,  
ohne Selbststudium wird das Tempo eher hoch sein.



# Feedback?

Gerne im [Slack](#) oder an [thomas.amberg@fhnw.ch](mailto:thomas.amberg@fhnw.ch)

Programmierfragen am besten schriftlich.

Sprechstunde auf Voranmeldung :)

Slides, Code & Hands-on: [tmb.gr/syspr-1](https://tmb.gr/syspr-1)



Home





**Andy Matuschak**  
@andy\_matuschak

Wonder, blunder, ...  
empowering futur  
education with tea



**Andy Matuschak** 

@andy\_matuschak

Follow



Replying to @rsnous @danluu

I was part of a project trying to cut one frame of latency out of iOS's touch response. Cutting just a few ms down required changes top-to-bottom in the OS!

Alt story: iOS touch code had a fun rule—zero dynamic allocations allowed between touch HW event and app code!

12:53 AM - 1 Sep 2018

4 Retweets 21 Likes



3



4



21



Tweet

