

Übungen zu Systemnahe Programmierung in C (SPiC) – Sommersemester 2018

Übung 7

Benedict Herzog
Sebastian Maier

Lehrstuhl für Informatik 4
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg



Lehrstuhl für Verteilte Systeme
und Betriebssysteme

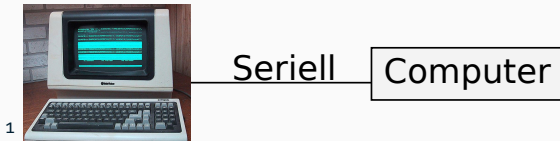


FRIEDRICH-ALEXANDER
UNIVERSITÄT
ERLANGEN-NÜRNBERG

TECHNISCHE FAKULTÄT

Linux

- Als die Computer noch größer waren:

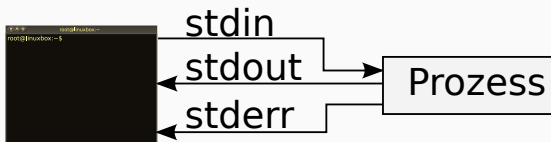


- Als das Internet noch langsam war:



- Farben, Positionssprünge, etc. werden durch spezielle Zeichenfolgen ermöglicht

- Drei Standardkanäle für Ein- und Ausgaben



stdin Eingaben

stdout Ausgaben

stderr Fehlermeldungen

- Standardverhalten
 - Eingaben kommen von der Tastatur
 - Ausgaben & Fehlermeldungen erscheinen auf dem Bildschirm



- stdout Ausgabe in eine Datei schreiben

```
01 find . > ordner.txt
```

- stdout wird häufig direkt mit stdin anderer Programme verbunden

```
01 cat ordner.txt | grep tmp | wc -l
```

- Vorteil von stderr

⇒ Fehlermeldungen werden weiterhin am Terminal ausgegeben

- Übersicht

- > Standardausgabe stdout in Datei schreiben
- >> Standardausgabe stdout an existierende Dateien anhängen
- 2> Fehlerausgabe stderr in Datei schreiben
- < Standardeingabe stdin aus Datei einlesen
- | Ausgabe eines Befehls direkt an einen anderen Befehl weiterleiten



- Wechseln in ein Verzeichnis mit `cd` (change directory)

```
01 cd /proj/i4spic/<login>/aufgabeX
```

- Verzeichnisinhalt auflisten mit `ls` (list directory)

```
01 ls
```

- Datei oder Ordner kopieren mit `cp` (copy)

```
01 cp /proj/i4spic/pub/aufgabeX/vorgabe.h /proj/i4spic/<login>/  
    ↪ aufgabeX
```

- Datei oder Ordner löschen mit `rm` (remove)

```
01 rm test1.c  
02 # Ordner mit allen Dateien löschen  
03 rm -r aufgabe1
```



- Per Signal: CTRL-C (Kann vom Programm ignoriert werden)
- Von einer anderen Konsole aus: `killall cworld` beendet alle Programme mit dem Namen "cworld"
- Von der selben Konsole aus:
 - CTRL-Z hält den aktuell laufenden Prozess an
 - `killall cworld` beendet alle Programme mit dem namen `cworld`
 - ⇒ Programme anderer Benutzer dürfen nicht beendet werden
 - `fg` setzt den angehaltenen Prozess fort
- Wenn nichts mehr hilft: `killall -9 cworld`

- Unter Linux:
 - Kate, gedit, Eclipse cdt, Vim, Emacs,
- Zugriff aus der Windows-Umgebung über SSH (nur Terminalfenster):
 - Editor unter Linux via SSH:
 - mcedit, nano, emacs, vim
 - Editor unter Windows:
 - AVR-Studio ohne Projekt
 - Notepad++
 - Dateizugriff über das Netzwerk
 - Übersetzen und Test unter Linux (z.B. via Putty)



■ Programm mit dem GCC übersetzen²

```
01 gcc -pedantic -Wall -Werror -O3 -std=c11 -D_XOPEN_SOURCE=700 -o  
    ↪ cworld cworld.c
```

- Aufrufoptionen des Compilers, um Fehler schnell zu erkennen
 - `-pedantic` liefert Warnungen in allen Fällen, die nicht 100% dem verwendeten C-Standard entsprechen
 - `-Wall` warnt vor möglichen Fehlern (z.B.: `if(x = 7)`)
 - `-Werror` wandelt Warnungen in Fehler um
 - `-O3` führt zu Optimierungen des Programms
 - `-std=c11` setzt verwendeten Standard auf C11
 - `-D_XOPEN_SOURCE=700` fügt unter anderem die POSIX Erweiterungen hinzu, die in C11 nicht enthalten sind
 - `-o cworld` legt Namen der Ausgabedatei fest (Standard: `a.out`)
-
- Ausführen des Programms mit `./cworld`



- Das Linux-Hilfesystem
- aufgeteilt nach verschiedenen Sections
 - 1 Kommandos
 - 2 Systemaufrufe
 - 3 Bibliotheksfunktionen
 - 5 Dateiformate (spezielle Datenstrukturen, etc.)
 - 7 verschiedenes (z.B. Terminaltreiber, IP, ...)
- man-Pages werden normalerweise mit der Section zitiert:
`printf(3)`

```
01 # man [section] Begriff
02 man 3 printf
```

- Suche nach Sections: `man -f Begriff`
- Suche von man-Pages zu einem Stichwort: `man -k Stichwort`

Fehlerbehandlung



- Fehler können aus unterschiedlichsten Gründen im Programm auftreten
 - Systemressourcen erschöpft
 - ⇒ `malloc(3)` schlägt fehl
 - Fehlerhafte Benutzereingaben (z.B. nicht existierende Datei)
 - ⇒ `fopen(3)` schlägt fehl
 - Transiente Fehler (z.B. nicht erreichbarer Server)
 - ⇒ `connect(2)` schlägt fehl

- Gute Software erkennt Fehler, führt eine angebrachte Behandlung durch und gibt eine aussagekräftige Fehlermeldung aus
- Kann das Programm trotz des Fehlers sinnvoll weiterlaufen?
- Beispiel 1: Ermittlung des Hostnamens zu einer IP-Adresse, um beides in eine Logdatei einzutragen
 - ⇒ Fehlerbehandlung: IP-Adresse im Log eintragen, Programm läuft weiter
- Beispiel 2: Öffnen einer zu kopierenden Datei schlägt fehl
 - ⇒ Fehlerbehandlung: Kopieren nicht möglich, Programm beenden
 - ⇒ Oder den Kopiervorgang bei der nächsten Datei fortsetzen
 - ⇒ Entscheidung liegt beim Softwareentwickler

- Fehler treten häufig in Funktionen der C-Bibliothek auf
 - erkennbar i.d.R. am Rückgabewert (Manpage!)
- Fehlerursache wird meist über die globale Variable `errno` übermittelt
 - Bekanntmachung im Programm durch Einbinden von `errno.h`
 - Bibliotheksfunktionen setzen `errno` nur im Fehlerfall
 - Fehlercodes sind immer > 0
 - Fehlercode für jeden möglichen Fehler (siehe `errno(3)`)
- Fehlercodes können mit `perror(3)` und `strerror(3)` ausgegeben bzw. in lesbare Strings umgewandelt werden

```
01 char *mem = malloc(...);    /* malloc gibt im Fehlerfall */
02 if(NULL == mem) {          /* NULL zurück */
03     fprintf(stderr, "%s:%d: malloc failed with reason: %s\n",
04         __FILE__, __LINE__-3, strerror(errno));
05     perror("malloc");        /* Alternative zu strerror + fprintf */
06     exit(EXIT_FAILURE);      /* Programm mit Fehlercode beenden */
07 }
```

- Signalisierung von Fehlern normalerweise durch Rückgabewert
- Nicht bei allen Funktionen möglich, z.B. `getchar(3)`

```
01 int c;  
02 while ((c=getchar()) != EOF) { ... }  
03 /* EOF oder Fehler? */
```

- Rückgabewert EOF sowohl im Fehlerfall als auch bei End-of-File
- Erkennung im Fall von I/O-Streams mit `ferror(3)` und `feof(3)`

```
01 int c;  
02 while ((c=getchar()) != EOF) { ... }  
03 /* EOF oder Fehler? */  
04 if(ferror(stdin)) {  
05     /* Fehler */  
06     ...  
07 }
```

Kommandozeilenparameter



```
01 ...  
02 int main(int argc, char *argv[]){  
03     strcmp(argv[argc - 1], ... )  
04     ...  
05     return EXIT_SUCCESS;  
06 }
```

■ Übergabeparameter:

- `main()` bekommt vom Betriebssystem Argumente
- `argc`: Anzahl der Argumente
- `argv`: Vektor aus Strings der Argumente (Indices von 0 bis `argc-1`)

■ Rückgabeparameter:

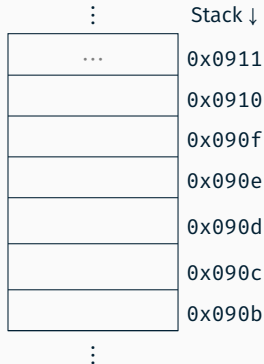
- Rückgabe eines Wertes an das Betriebssystem
- Zum Beispiel Fehler des Programms: `return EXIT_FAILURE;`

Zeiger & Felder



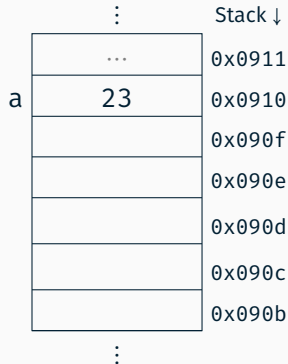
- Variable: `uint8_t x`
- Zeiger: `uint8_t *y`
- Adressoperator: `&x`
- Verweisoperator: `*y`

```
01 uint8_t a = 23;  
02 uint8_t b = 42;  
03 uint8_t * p = &a;  
04 *p = 66;  
05 p = &b;  
06 *p -= 40;  
07 uint8_t c = *p;
```



- Variable: `uint8_t x`
- Zeiger: `uint8_t *y`
- Adressoperator: `&x`
- Verweisoperator: `*y`

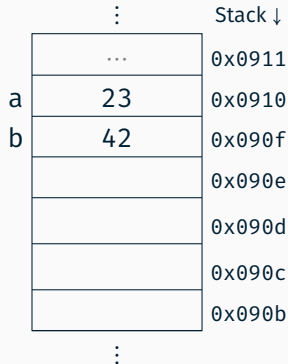
```
01 uint8_t a = 23;  
02 uint8_t b = 42;  
03 uint8_t * p = &a;  
04 *p = 66;  
05 p = &b;  
06 *p -= 40;  
07 uint8_t c = *p;
```



Achtung: Die genaue Anordnung der Variablen auf dem Stack ist abhängig vom Übersetzer und den gewählten Optimierungen!

- Variable: `uint8_t x`
- Zeiger: `uint8_t *y`
- Adressoperator: `&x`
- Verweisoperator: `*y`

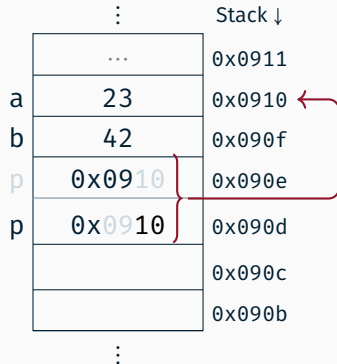
```
01 uint8_t a = 23;  
02 uint8_t b = 42;  
03 uint8_t * p = &a;  
04 *p = 66;  
05 p = &b;  
06 *p -= 40;  
07 uint8_t c = *p;
```



Achtung: Die genaue Anordnung der Variablen auf dem Stack ist abhängig vom Übersetzer und den gewählten Optimierungen!

- Variable: `uint8_t x`
- Zeiger: `uint8_t *y`
- Adressoperator: `&x`
- Verweisoperator: `*y`

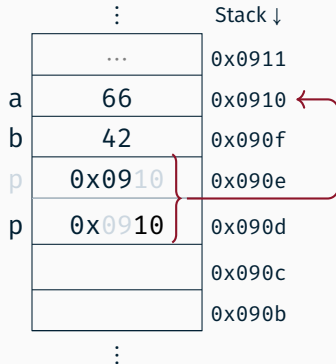
```
01 uint8_t a = 23;  
02 uint8_t b = 42;  
03 uint8_t * p = &a;  
04 *p = 66;  
05 p = &b;  
06 *p -= 40;  
07 uint8_t c = *p;
```



Achtung: ATmega328PB hat 8-bit Register und 16-bit Adressen

- Variable: `uint8_t x`
- Zeiger: `uint8_t *y`
- Adressoperator: `&x`
- Verweisoperator: `*y`

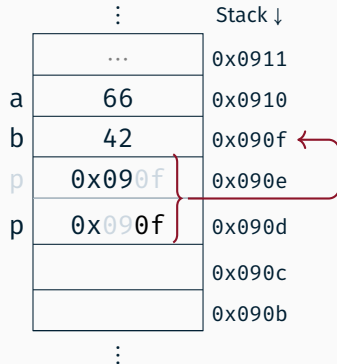
```
01 uint8_t a = 23;  
02 uint8_t b = 42;  
03 uint8_t * p = &a;  
04 *p = 66;  
05 p = &b;  
06 *p -= 40;  
07 uint8_t c = *p;
```



Achtung: ATmega328PB hat 8-bit Register und 16-bit Adressen

- Variable: `uint8_t x`
- Zeiger: `uint8_t *y`
- Adressoperator: `&x`
- Verweisoperator: `*y`

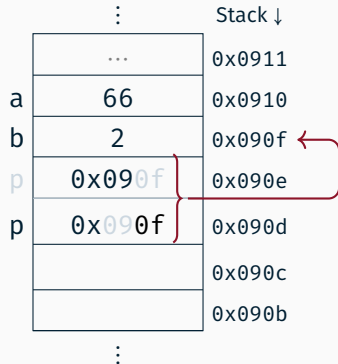
```
01 uint8_t a = 23;  
02 uint8_t b = 42;  
03 uint8_t * p = &a;  
04 *p = 66;  
05 p = &b;  
06 *p -= 40;  
07 uint8_t c = *p;
```



Achtung: ATmega328PB hat 8-bit Register und 16-bit Adressen

- Variable: `uint8_t x`
- Zeiger: `uint8_t *y`
- Adressoperator: `&x`
- Verweisoperator: `*y`

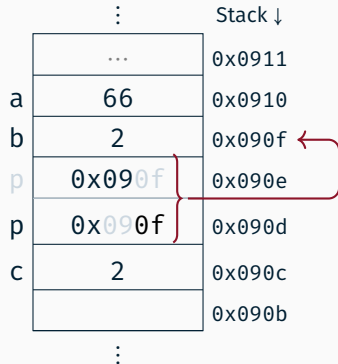
```
01 uint8_t a = 23;  
02 uint8_t b = 42;  
03 uint8_t * p = &a;  
04 *p = 66;  
05 p = &b;  
06 *p -= 40;  
07 uint8_t c = *p;
```



Achtung: ATmega328PB hat 8-bit Register und 16-bit Adressen

- Variable: `uint8_t x`
- Zeiger: `uint8_t *y`
- Adressoperator: `&x`
- Verweisoperator: `*y`

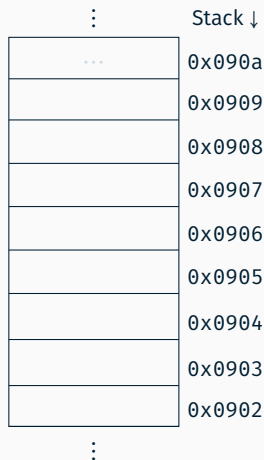
```
01 uint8_t a = 23;  
02 uint8_t b = 42;  
03 uint8_t * p = &a;  
04 *p = 66;  
05 p = &b;  
06 *p -= 40;  
07 uint8_t c = *p;
```



Achtung: ATmega328PB hat 8-bit Register und 16-bit Adressen

- Konstanter Zeiger: `uint8_t a[]`
- Variabler Zeiger: `uint8_t *b`
- Aktuelles Element: `*b`
- x-te Element: `b[x]`
- x-te Element: `*(b+x)`

```
08 uint8_t x[] = {2,4,8,16};
09 uint8_t *y = x;
10 uint8_t z = x[1];
11 z = *y;
12 y = y+2;
13 z = *y;
14 z = x[7];
```



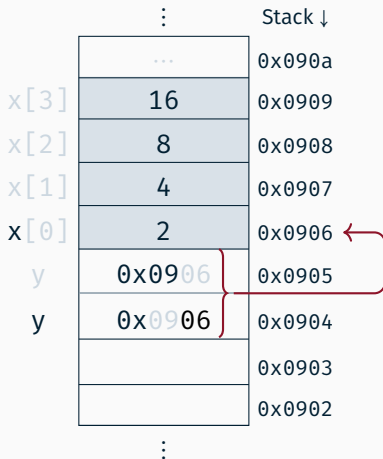
- Konstanter Zeiger: `uint8_t a[]`
- Variabler Zeiger: `uint8_t *b`
- Aktuelles Element: `*b`
- x-te Element: `b[x]`
- x-te Element: `*(b+x)`

```
08 uint8_t x[] = {2,4,8,16};
09 uint8_t *y = x;
10 uint8_t z = x[1];
11 z = *y;
12 y = y+2;
13 z = *y;
14 z = x[7];
```

	:	Stack ↓
	...	0x090a
x[3]	16	0x0909
x[2]	8	0x0908
x[1]	4	0x0907
x[0]	2	0x0906
		0x0905
		0x0904
		0x0903
		0x0902
	:	

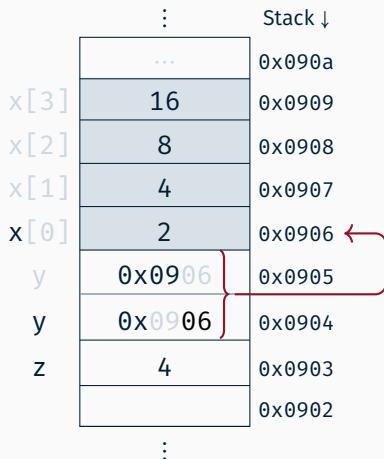
- Konstanter Zeiger: `uint8_t a[]`
- Variabler Zeiger: `uint8_t *b`
- Aktuelles Element: `*b`
- x-te Element: `b[x]`
- x-te Element: `*(b+x)`

```
08 uint8_t x[] = {2,4,8,16};  
09 uint8_t *y = x;  
10 uint8_t z = x[1];  
11 z = *y;  
12 y = y+2;  
13 z = *y;  
14 z = x[7];
```



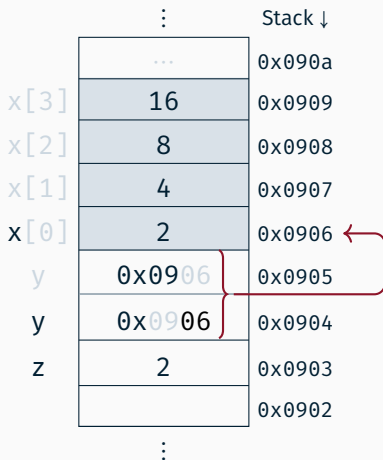
- Konstanter Zeiger: `uint8_t a[]`
- Variabler Zeiger: `uint8_t *b`
- Aktuelles Element: `*b`
- x-te Element: `b[x]`
- x-te Element: `*(b+x)`

```
08 uint8_t x[] = {2,4,8,16};
09 uint8_t *y = x;
10 uint8_t z = x[1];
11 z = *y;
12 y = y+2;
13 z = *y;
14 z = x[7];
```



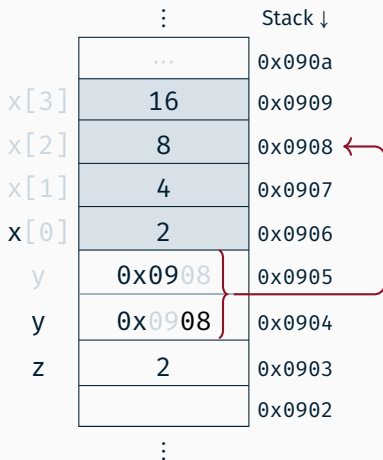
- Konstanter Zeiger: `uint8_t a[]`
- Variabler Zeiger: `uint8_t *b`
- Aktuelles Element: `*b`
- x-te Element: `b[x]`
- x-te Element: `*(b+x)`

```
08 uint8_t x[] = {2,4,8,16};  
09 uint8_t *y = x;  
10 uint8_t z = x[1];  
11 z = *y;  
12 y = y+2;  
13 z = *y;  
14 z = x[7];
```



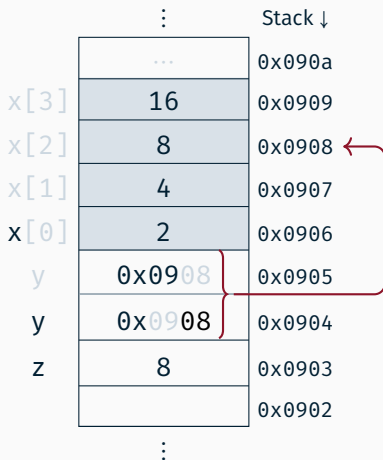
- Konstanter Zeiger: `uint8_t a[]`
- Variabler Zeiger: `uint8_t *b`
- Aktuelles Element: `*b`
- x-te Element: `b[x]`
- x-te Element: `*(b+x)`

```
08 uint8_t x[] = {2,4,8,16};  
09 uint8_t *y = x;  
10 uint8_t z = x[1];  
11 z = *y;  
12 y = y+2;  
13 z = *y;  
14 z = x[7];
```



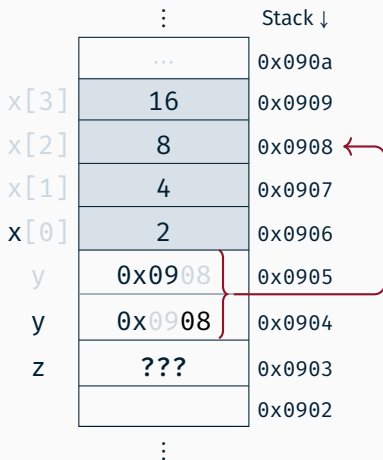
- Konstanter Zeiger: `uint8_t a[]`
- Variabler Zeiger: `uint8_t *b`
- Aktuelles Element: `*b`
- x-te Element: `b[x]`
- x-te Element: `*(b+x)`

```
08 uint8_t x[] = {2,4,8,16};  
09 uint8_t *y = x;  
10 uint8_t z = x[1];  
11 z = *y;  
12 y = y+2;  
13 z = *y;  
14 z = x[7];
```



- Konstanter Zeiger: `uint8_t a[]`
- Variabler Zeiger: `uint8_t *b`
- Aktuelles Element: `*b`
- x-te Element: `b[x]`
- x-te Element: `*(b+x)`

```
08 uint8_t x[] = {2,4,8,16};  
09 uint8_t *y = x;  
10 uint8_t z = x[1];  
11 z = *y;  
12 y = y+2;  
13 z = *y;  
14 z = x[7]; // ???
```



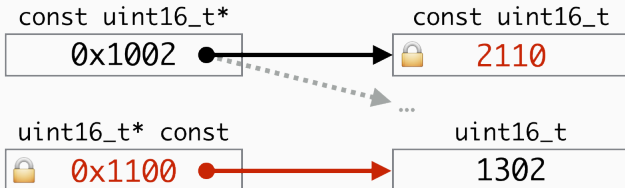


■ const uint8_t*

- ein Pointer auf einen uint8_t-Wert, der konstant ist
- Wert nicht über den Pointer veränderbar

■ uint8_t* const

- ein **konstanter Pointer** auf einen (beliebigen) uint8_t-Wert
- Pointer darf nicht mehr auf eine andere Speicheradresse zeigen



Aufgabe: concat



- Zusammensetzen der übergebenen Kommandozeilenparameter zu einer Gesamtzeichenfolge und anschließende Ausgabe
 - Bestimmung der Gesamtlänge
 - Dynamische Allokation eines Buffers
 - Schrittweises Befüllen des Buffers
 - Ausgabe der Zeichenfolge auf dem Standardausgabekanal
 - Freigabe von dynamisch allokiertem Speicher
- Implementierung eigener Hilfsfunktionen:

```
01  size_t str_len(const char *s)
02  char *str_cpy(char *dest, const char *src)
03  char *str_cat(char *dest, const char *src)
```

- Wichtig: Korrekte Behandlung von Fehlern (!)



```
01 void *malloc(size_t size);  
02 void free(void *ptr);
```

- `malloc(3)` allokiert Speicher auf dem Heap
 - reserviert mindestens `size` Byte Speicher
 - liefert Zeiger auf diesen Speicher zurück
- `malloc(3)` kann fehlschlagen $\Rightarrow$ Fehlerüberprüfung notwendig

```
01 char* s = (char *) malloc(strlen(...) + 1);  
02 if(s == NULL){  
03     perror("malloc");  
04     exit(EXIT_FAILURE);  
05 }
```

- Speicher muss später mit `free(3)` wieder freigegeben werden

```
01 free(s);
```

- Was ist ein Segfault?
 - $\Rightarrow$ Zugriff auf Speicher der dem Prozess nicht zugeordnet ist
 - $\neq$ Speicher der reserviert ist



"hallo" $\equiv$

■ Repräsentation von Strings

- Zeiger auf erstes Zeichen der Zeichenfolge
- null-terminiert: Null-Zeichen kennzeichnet Ende

$\Rightarrow$ `strlen(s) !=` Speicherbedarf

■ `printf(3)` Formatierungsstrings

`%s` String

`%d` Dezimalzahl

`%c` Character

`%p` Pointer

...



- `size_t strlen(const char *s)`
 - Bestimmung der Länge einer Zeichenkette `s` (ohne abschließendes Null-Zeichen)
 - Rückgabewert: Länge
 - Dokumentation: `strlen(3)`
- `char *strcpy(char *dest, const char *src)`
 - Kopieren einer Zeichenkette `src` in einen Buffer `dest` (inkl. Null-Zeichen)
 - Rückgabewert: `dest`
 - Dokumentation: `strcpy(3)`
 - Gefahr: Buffer Overflow ($\Rightarrow$ `strncpy(3)`)
- `char *strcat(char *dest, const char *src)`
 - Anhängen einer Zeichenkette `src` an eine existierende Zeichenkette im Buffer `dest` (inkl. Null-Zeichen)
 - Rückgabewert: `dest`
 - Dokumentation: `strcat(3)`
 - Gefahr: Buffer Overflow ($\Rightarrow$ `strncat(3)`)

Anhang

■ Navigieren & Kopieren:

```
01 cp /proj/i4spic/pub/aufgabeX/vorgabe.h /proj/i4spic/<login>/  
    ↪ aufgabeX  
02 # oder  
03 cd /proj/i4spic/<login>/aufgabeX  
04 cp /proj/i4spic/pub/aufgabeX/vorgabe.h .
```

■ Kompilieren:

```
01 gcc -pedantic -Wall -Werror -O3 -std=c11 -D_XOPEN_SOURCE=700 -o  
    ↪ cworld cworld.c
```

■ Bereits eingegebene Befehle: Pfeiltaste nach oben

■ Besondere Pfadangaben:

- . aktuelles Verzeichnis
- .. übergeordnetes Verzeichnis
- ~ Home-Verzeichnis des aktuellen Benutzers

⇒ Eine Verzeichnisebene nach oben wechseln: `cd ..`



```
01 gcc -g -pedantic -Wall -Werror -O0 -std=c11 -D_XOPEN_SOURCE=700 -  
    ↪ o cworld cworld.c
```

- -g aktiviert das Einfügen von Debug-Symbolen
- -O0 deaktiviert Optimierungen
- Standard-Debugger: gdb

```
01 gdb ./cworld
```

- „schönerer“ Debugger: cgdb

```
01 cgdb --args ./cworld arg0 arg1 ...
```

- Kommandos
 - b(reak): Breakpoint setzen
 - r(un): Programm bei main() starten
 - n(ext): nächste Anweisung (nicht in Unterprogramme springen)
 - s(tep): nächste Anweisung (in Unterprogramme springen)
 - p(rint) <var>: Wert der Variablen var ausgeben

⇒ **Debuggen ist (fast immer) effizienter als Trial-and-Error!**

- Informationen über:
 - Speicherlecks (malloc/free)
 - Zugriffe auf nicht gültigen Speicher
- Ideal zum Lokalisieren von Segmentation Faults (SIGSEGV)
- Aufrufe:
 - `valgrind ./cworld`
 - `valgrind --leak-check=full --show-reachable=yes`
↳ `--track-origins=yes ./cworld`

Hands-on: Buffer Overflow



■ Passwortgeschütztes Programm

```
01 # Usage: ./print_exam <password>
02 ./print_exam spic
03 Correct Password
04 Printing exam...
```

■ Ungeprüfte Verwendung von Benutzereingaben ⇒ Buffer Overflow

```
01 long check_password(const char *password){
02     char buff[8];
03     long pass = 0;
04
05     strcpy(buff, password); // buffer overflow
06     if(strcmp(buff, "spic") == 0){
07         pass = 1;
08     }
09     return pass;
10 }
```



```
01 long check_password(const char *password){
02     char buff[8];
03     long pass = 0;
04
05     strcpy(buff, password); // buffer overflow
06     if(strcmp(buff, "spic") == 0){
07         pass = 1;
08     }
09     return pass;
10 }
```

■ Mögliche Lösungen

- Prüfen der Benutzereingabe und/oder dynamische Allokation des Buffers
- Sichere Bibliotheksfunktionen verwendeten ⇒ z. B. strncpy(3)