

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

Terminal - historisches (etwas vereinfacht)



- Als die Computer noch größer waren:



- Als das Internet noch langsam war:



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

Terminal - Funktionsweise



- 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

3



- 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
```

4



- 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

5



- 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)

6



■ 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`

7

Fehlerbehandlung

■ 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`

8

Fehlerursachen



■ 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

9



- 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

10

- 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 }

```

11

Erweiterte Fehlerbehandlung



- 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 }

```

12

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;

13

Zeiger & Felder

Wiederholung: Zeiger



- 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;

```

⋮	Stack ↓
...	0x0911
	0x0910
	0x090f
	0x090e
	0x090d
	0x090c
	0x090b
⋮	

Wiederholung: Zeiger



- 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;

```

⋮	Stack ↓
...	0x0911
a 23	0x0910
	0x090f
	0x090e
	0x090d
	0x090c
	0x090b
⋮	

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

14

14



- 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;

```

:	:	Stack ↓
	...	0x0911
a	23	0x0910
b	42	0x090f
		0x090e
		0x090d
		0x090c
		0x090b
:	:	:

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

14

- 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;

```

:	:	Stack ↓
	...	0x0911
a	23	0x0910
b	42	0x090f
p	0x0910	0x090e
p	0x0910	0x090d
		0x090c
		0x090b
:	:	:

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

14



- 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;

```

:	:	Stack ↓
	...	0x0911
a	66	0x0910
b	42	0x090f
p	0x0910	0x090e
p	0x0910	0x090d
		0x090c
		0x090b
:	:	:

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

14

- 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;

```

:	:	Stack ↓
	...	0x0911
a	66	0x0910
b	42	0x090f
p	0x090f	0x090e
p	0x090f	0x090d
		0x090c
		0x090b
:	:	:

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

14

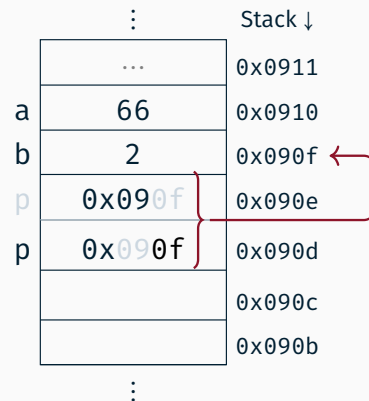


- Variable: `uint8_t x`
- Zeiger: `uint8_t *y`
- Adressoperator: `&x`
- Verweisoperator: `*y`

```

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

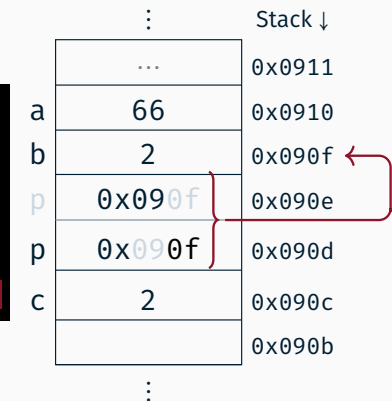
14

- 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

14

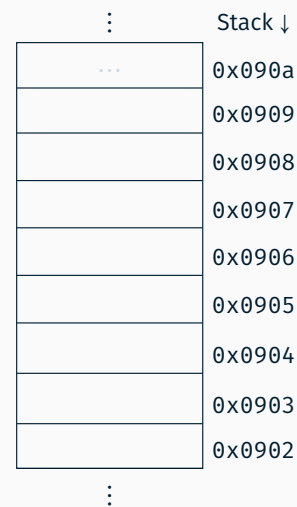


- Konstanter Zeiger: `uint8_t a[]`
- Variabler Zeiger: `uint8_t *b`
- Aktuelles Element: `*b`
- x-te Element: `b[x]`
- x-te Element: `*(b+x)`

```

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];

```



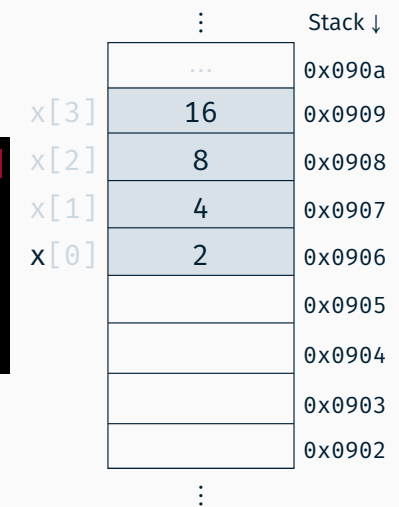
15

- 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];

```



15

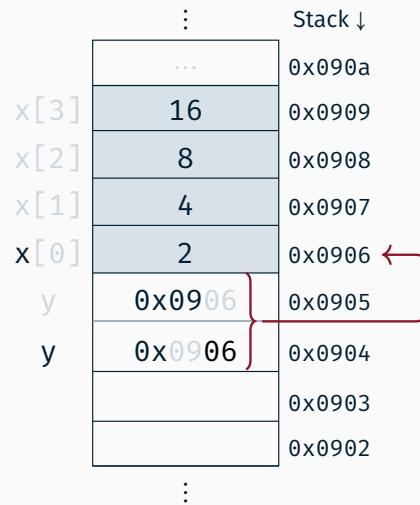


- Konstanter Zeiger: `uint8_t a[]`
- Variabler Zeiger: `uint8_t *b`
- Aktuelles Element: `*b`
- x-te Element: `b[x]`
- x-te Element: `*(b+x)`

```

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];

```



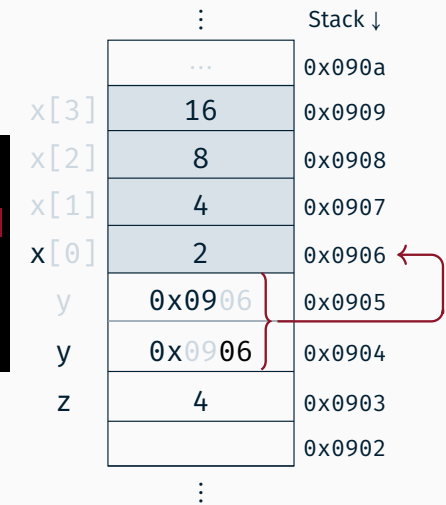
15

- 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];

```



15

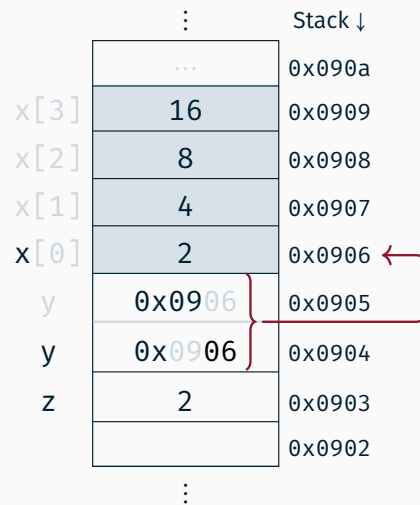


- Konstanter Zeiger: `uint8_t a[]`
- Variabler Zeiger: `uint8_t *b`
- Aktuelles Element: `*b`
- x-te Element: `b[x]`
- x-te Element: `*(b+x)`

```

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];

```



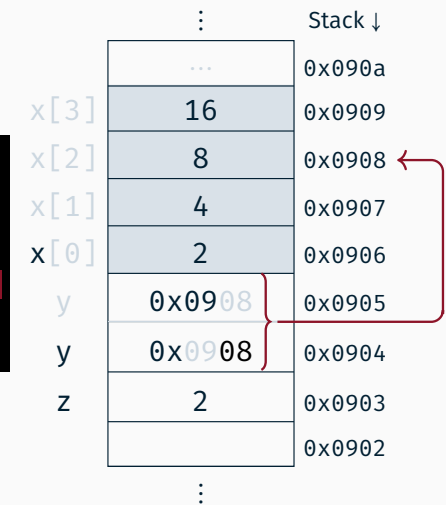
15

- 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];

```



15

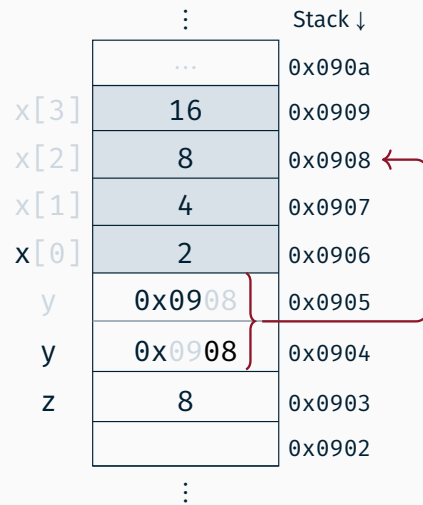


- Konstanter Zeiger: `uint8_t a[]`
- Variabler Zeiger: `uint8_t *b`
- Aktuelles Element: `*b`
- x-te Element: `b[x]`
- x-te Element: `*(b+x)`

```

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];

```



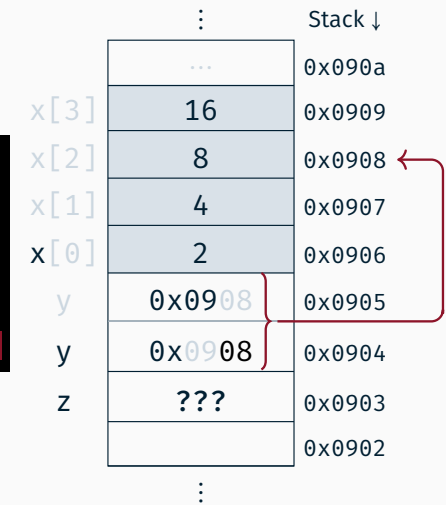
15

- 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]; // ???

```

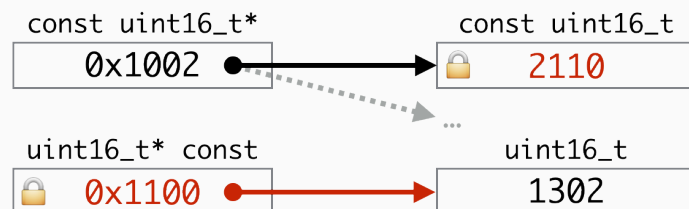


15

const uint8_t* vs. uint8_t* const



- `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 (!)

17

```
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 ⇒ 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?
 - ⇒ Zugriff auf Speicher der dem Prozess nicht zugeordnet ist
 - ≠ Speicher der reserviert ist

18

Umgang mit Strings (1)



"hallo" ≡ 

- Repräsentation von Strings
 - Zeiger auf erstes Zeichen der Zeichenfolge
 - null-terminiert: Null-Zeichen kennzeichnet Ende
 ⇒ strlen(s) != Speicherbedarf
- printf(3) Formatierungsstrings
 - %s String
 - %d Dezimalzahl
 - %c Character
 - %p Pointer
 - ...

19

Umgang mit Strings (2)



- 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 (⇒ 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 (⇒ strncat(3))

20



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 ..`

21

Debuggen



Valgrind



```
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!**

22

■ 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`

23



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 }
```

24

Hands-on: 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 }
```

■ Mögliche Lösungen

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