Übungen zu Systemnahe Programmierung in C (SPiC) – Sommersemester 2019

Übung 8

Benedict Herzog
Bernhard Heinloth

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:

Seriell — Computer

1

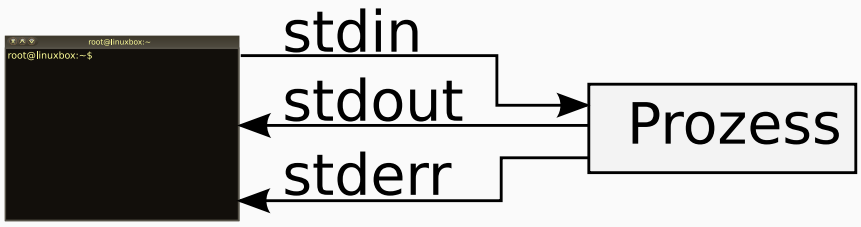
- Als das Internet noch langsam war:

Netzwerk DFÜ — Server

- 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

Terminal - Standardkanäle umleiten

- `stdout` in Datei schreiben

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

- `stdout` als `stdin` für anderer Programme

```
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 exist. Datei anhängen
  - `2>` Fehlerausgabe `stderr` in Datei schreiben
  - `<` Standardeingabe `stdin` aus Datei einlesen
  - `|` Ausgabe eines Befehls als Eingabe für anderen Befehl

Shell - Wichtige Kommandos

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

```
01 cd /proj/i4spic/<login>/aufgabeX/  # absolut in Ordner
02 cd aufgabe5/                       # relativ zum aktuellen Ordner
03 cd ~                               # Benutzerverzeichnis (Home)
04 cd ..                              # übergeordnete Verzeichnis
```

- Verzeichnisinhalt auflisten mit `ls` (list directory)

```
01 ls                          # zeige Dateien im akt. Ordner
02 ls -A                       # zeige auch versteckte Dateien
03 ls -lh                      # zeige mehr Metadaten
```

Shell - Wichtige Kommandos

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

```
01 # Kopiere Datei ampel.c aus dem Home in Projektverzeichnis
02 cp ~/ampel.c /proj/i4spic/xy42abcd/aufgabe5/ampel.c
03
04 # Kopiere Ordner aufgabe5/ aus dem Home in Projektverzeichnis
05 cp -r ~/aufgabe5/ /proj/i4spic/xy42abcd/
```

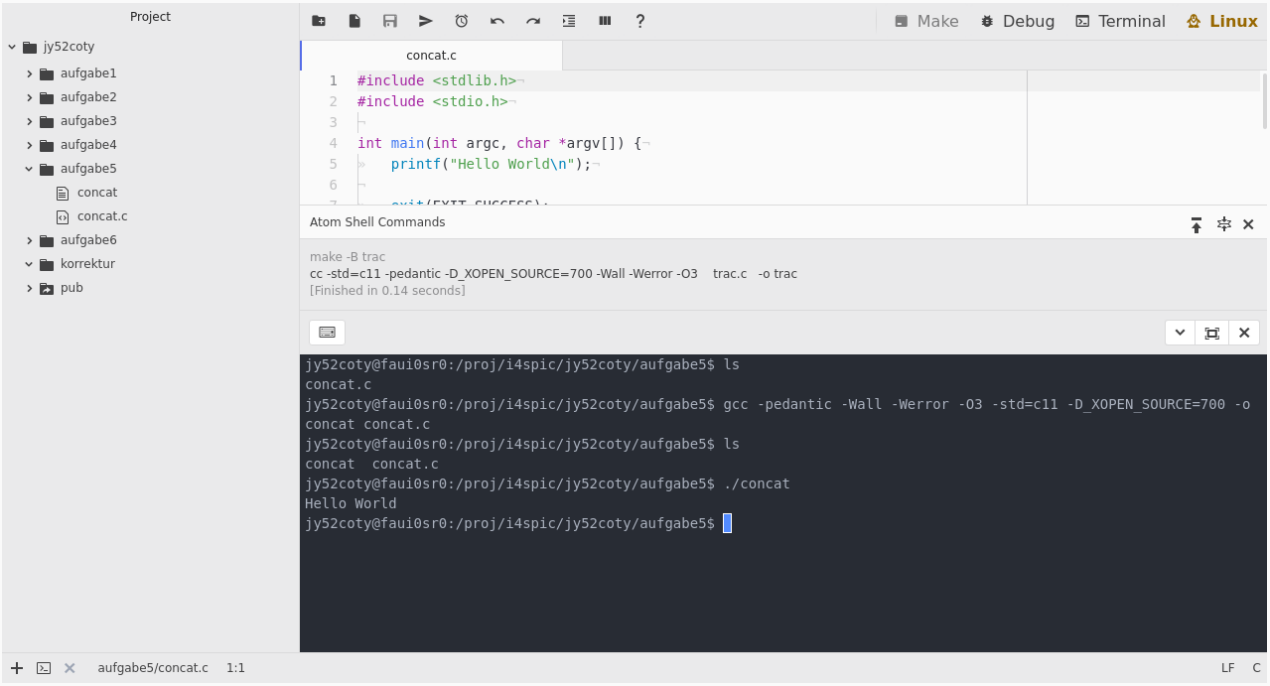
- Datei oder Ordner unwiederbringlich löschen mit `rm` (remove)

```
01 # Lösche Datei test1.c im aktuellen Ordner
02 rm test1.c
03
04 # Lösche Unterordner aufgabe1/ mit allen Dateien
05 rm -r aufgabe1
```


Shell - Programme beenden

- Per Signal: `CTRL-C` (kann von Programmen ignoriert werden)
- Von einer anderen Konsole aus: `killall concat` beendet alle Programme mit dem Namen “concat”
- Von der selben Konsole aus:
  - `CTRL-Z` hält den aktuell laufenden Prozess an
  - `killall concat` beendet alle Programme namens `concat`
    - ⇒ Programme anderer Benutzer dürfen nicht beendet werden
  - `fg` setzt den angehaltenen Prozess fort
- Wenn nichts mehr hilft: `killall -9 concat`

SPiC IDE (Linux)



- **Terminal**: öffnet ein Terminal und startet eine Shell
  - effiziente Interaktion mit dem System
  - optional Vollbild
- **Debug**: startet den Debugmodus
- **Make**: siehe nächste Woche

Übersetzen & Ausführen

- Programm mit dem GCC übersetzen

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

`gcc`	ruft den Compiler auf (GNU Compiler Collection)
`-pedantic`	aktiviert Warnungen (Abweichungen vom C-Standards)
`-Wall`	aktiviert Warnungen (typische Fehler, z.B.: `if(x = 7)`)
`-Werror`	wandelt Warnungen in Fehler um
`-O3`	aktiviert Optimierungen (Level 3)
`-std=c11`	setzt verwendeten Standard auf C11
`-D_XOPEN_SOURCE=700`	fügt POSIX Erweiterungen hinzu
`-o concat`	legt Namen der Ausgabedatei fest (Standard: `a.out`)
`concat.c …`	zu kompilierende Datei(en)

- Ausführen des Programms mit `./concat`
- Abgaben werden von uns mit diesen Optionen getestet

Übersetzen & Ausführen

- Programm mit dem GCC übersetzen
  (inklusive Debugsymbole und ohne Optimierungen)

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

`-O0` verhindert Optimierungen des Programms
`-g` belässt Debugsymbole in der ausführbaren Datei

⇒ ermöglicht dem Debugger Verweise zur Quelldatei herzustellen

- Hinweis: Pfeiltaste ⇑ iteriert durch frühere Befehle

⇒ GCC Aufruf nur einmal tippen

Valgrind

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

Manual Pages

- 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)`

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

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

Linux `libc`-API

- Abgespeckte (hübschere) Version der Manpages
- Bieten nur eine Übersicht, keine vollständige Spezifikation
- Aus der SPiC-IDE abrufbar (`Hilfe`-Button wenn im Linux-Modus)
- Auf der Webseite zu finden

  `https://www4.cs.fau.de/Lehre/SS19/V_SPIC/Linux/libc-api/`

- Unsere Übersicht ersetzen die Manpages nicht
- In der Klausur: ausgedruckte Manpages!

Fehlerbehandlung

Fehlerursachen

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

Fehlerbehandlung

- Gute Software:
  - erkennt Fehler
  - führt angebrachte Behandlung durch
  - gibt aussagekräftige Fehlermeldung aus
- Kann ein Programm trotz Fehler sinnvoll weiterlaufen?

  Beispiel 1: Ermittlung des Hostnamens zu einer IP-Adresse, um beides in eine Logdatei einzutragen

  ⇒ IP-Adresse ins 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 in Bibliotheksfunktionen

- Fehler treten häufig in `libc` Funktionen auf
  - erkennbar i.d.R. am Rückgabewert (Manpage)
  - Fehlerüberprüfung essentiell
- Fehlerursache steht meist in `errno` (globale Variable)
  - Einbinden durch `errno.h`
  - Fehlercodes sind `> 0`
  - Fehlercode für jeden möglichen Fehler (siehe `errno(3)`)
- `errno` nur interpretieren, wenn Fehler signalisiert wurde
  - Funktionen dürfen `errno` beliebig verändern

    ⇒ `errno` kann auch im Erfolgsfall geändert worden sein

Fehler in Bibliotheksfunktionen

- Fehlercodes ausgeben:
  - `perror(3)`: Ausgabe auf `stderr`
  - `strerror(3)`: Umwandeln in Fehlermeldung (String)

Beispiel:

```
01 char *mem = malloc(...);
02
03 // Fehlerfall
04 if(NULL == mem) {
05   fprintf(stderr, "%s:%d: malloc failed with reason: %s\n",
06       __FILE__, __LINE__-3, strerror(errno));
07   //alternativ: perror("malloc");
08
09   exit(EXIT_FAILURE);
10 }
```


Erweiterte Fehlerbehandlung

- Signalisierung durch Rückgabewert nicht immer möglich
- Rückgabewert EOF: Fehlerfall **oder** `End-Of-File`

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

- Erkennung bei I/O Streams: `ferror(3)` bzw. `feof(3)`

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

Kommandozeilenparameter

Kommandozeilenparameter

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

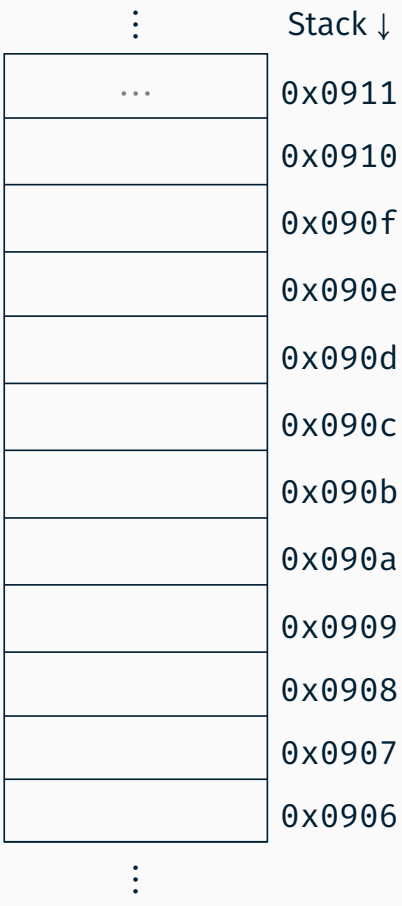
- Übergabeparameter:
  - `main()` bekommt vom Betriebssystem Argumente
  - `argc`: Anzahl der Argumente
  - `argv`: Array aus Zeigern auf Argumente (Indizes von 0 bis argc-1)
- Rückgabeparameter:
  - Rückgabe eines Wertes an das Betriebssystem
  - Zum Beispiel Fehler des Programms: `return EXIT_FAILURE;`

Vertiefung C Strings

Vertiefung: Strings

- `char`: Einzelnes Zeichen (z.B. `'a'`)
- String: Array von `char`s (z.B. `"Hello"`)
- In C: Letztes Zeichen eines Strings: `'\0'`
  ⇒ Speicherbedarf: strlen(s) + 1

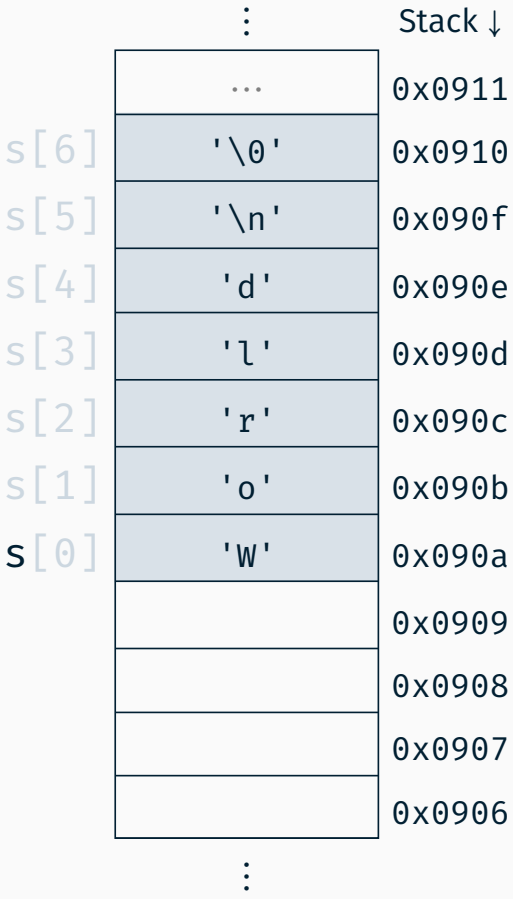
```
01 char *s = "World\n";
02 char c = s[0];
03 char c = s[4];
04 char *s2 = s + 2;
05 char c = s2[1];
```



Vertiefung: Strings

- `char`: Einzelnes Zeichen (z.B. `'a'`)
- String: Array von `char`s (z.B. `"Hello"`)
- In C: Letztes Zeichen eines Strings: `'\0'`
  ⇒ Speicherbedarf: strlen(s) + 1

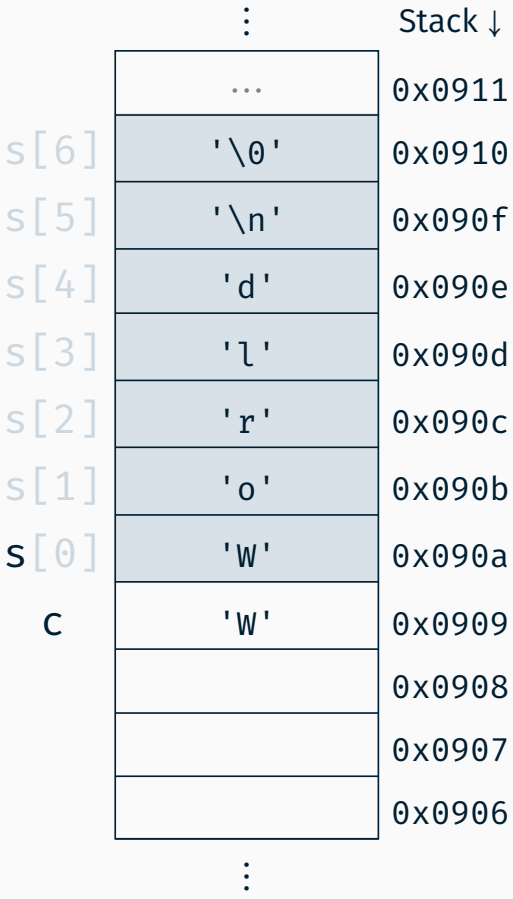
```
01 char *s = "World\n";
02 char c = s[0];
03 char c = s[4];
04 char *s2 = s + 2;
05 char c = s2[1];
```



Vertiefung: Strings

- `char`: Einzelnes Zeichen (z.B. `'a'`)
- String: Array von `char`s (z.B. `"Hello"`)
- In C: Letztes Zeichen eines Strings: `'\0'`
  ⇒ Speicherbedarf: strlen(s) + 1

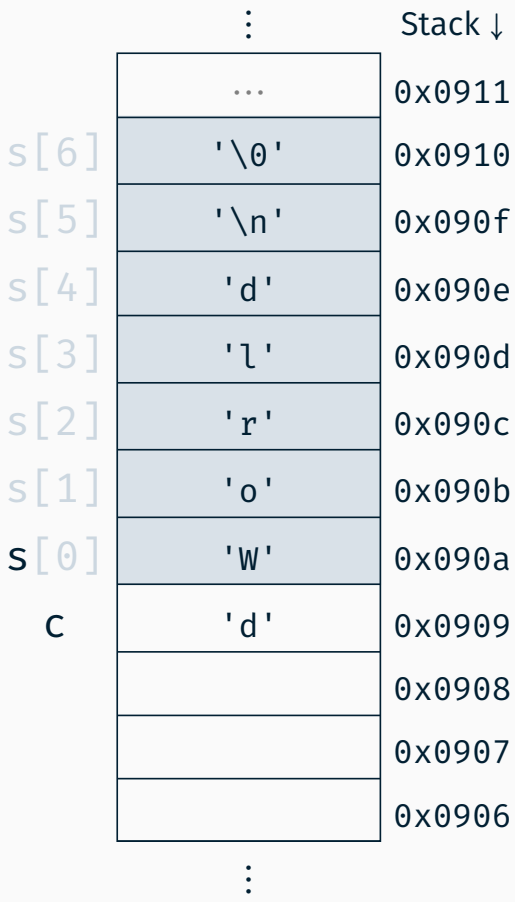
```
01 char *s = "World\n";
02 char c = s[0];
03 char c = s[4];
04 char *s2 = s + 2;
05 char c = s2[1];
```



Vertiefung: Strings

- `char`: Einzelnes Zeichen (z.B. `'a'`)
- String: Array von `char`s (z.B. `"Hello"`)
- In C: Letztes Zeichen eines Strings: `'\0'`
  ⇒ Speicherbedarf: strlen(s) + 1

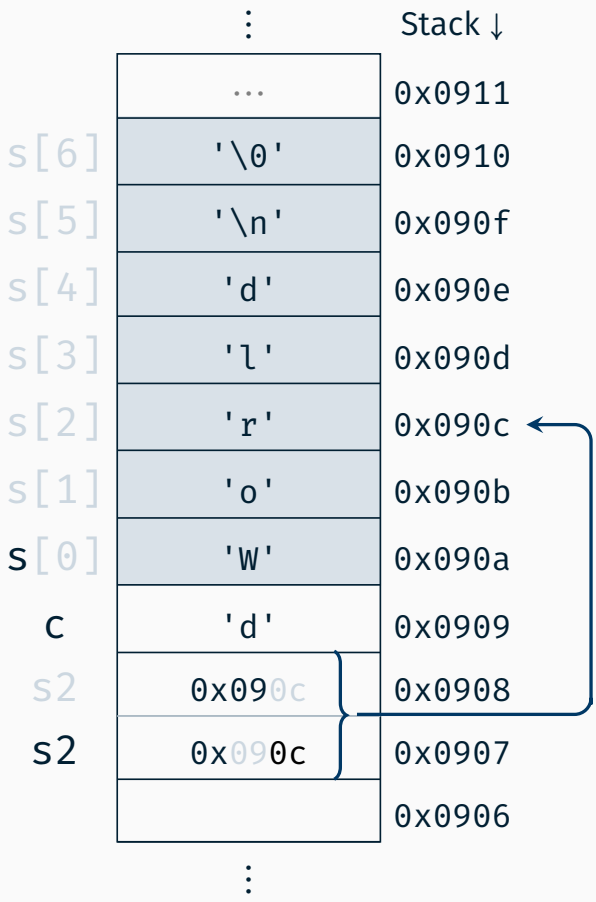
```
01 char *s = "World\n";
02 char c = s[0];
03 char c = s[4];
04 char *s2 = s + 2;
05 char c = s2[1];
```



Vertiefung: Strings

- `char`: Einzelnes Zeichen (z.B. `'a'`)
- String: Array von `char`s (z.B. `"Hello"`)
- In C: Letztes Zeichen eines Strings: `'\0'`
  ⇒ Speicherbedarf: strlen(s) + 1

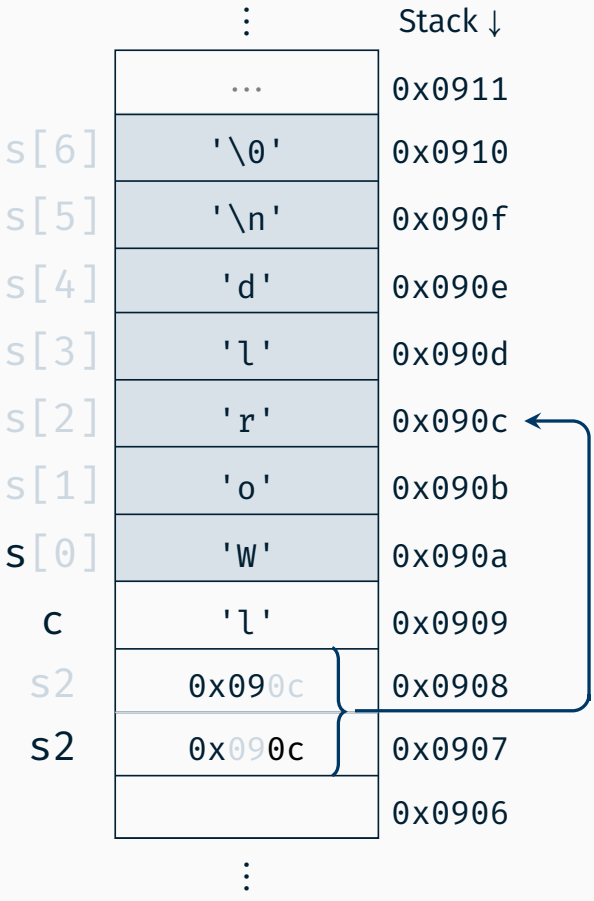
```
01 char *s = "World\n";
02 char c = s[0];
03 char c = s[4];
04 char *s2 = s + 2;
05 char c = s2[1];
```



Vertiefung: Strings

- `char`: Einzelnes Zeichen (z.B. `'a'`)
- String: Array von `char`s (z.B. `"Hello"`)
- In C: Letztes Zeichen eines Strings: `'\0'`
  - ⇒ Speicherbedarf: strlen(s) + 1

```
01 char *s = "World\n";
02 char c = s[0];
03 char c = s[4];
04 char *s2 = s + 2;
05 char c = s2[1];
```



Umgang mit Strings

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

Aufgabe: concat

Aufgabe: concat

- Zusammensetzen der übergebenen Kommandozeilenparameter zu einer Gesamtzeichenfolge und anschließende Ausgabe
- Ablauf:
  - Bestimmung der Gesamtlänge
  - Dynamische Allokation eines Puffers
  - Schrittweises Befüllen des Puffers
  - Ausgabe der Zeichenfolge auf dem Standardausgabekanal
  - Freigabe des dynamisch allokierten Speichers
- Reimplementierung der Stringfunktionen der `string.h`:
- Wichtig: Identisches Verhalten (auch im Fehlerfall)

```
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)
```

- `malloc(3)` allokiert Speicher auf dem Heap
  - reserviert mindestens `size` Byte Speicher
  - liefert Zeiger auf diesen Speicher zurück
  - schlägt potenziell fehl
- `free(3)` gibt Speicher wieder frei

```
01 char* s = (char *) malloc(...);
02 if(s == NULL) {
03   perror("malloc");
04   exit(EXIT_FAILURE);
05 }
06
07 // [...]
08
09 free(s);
```


Hands-on: Buffer Overflow

Hands-on: Buffer Overflow

- Passwortgeschütztes Programm

```
# Usage: ./print_exam <password>
./print_exam spic
Correct Password
Printing exam...
```


Hands-on: Buffer Overflow

- Passwortgeschütztes Programm

```
# Usage: ./print_exam <password>
./print_exam spic
Correct Password
Printing exam...
```

- Ungeprüfte Benutzereingaben ⇒ Buffer Overflow

```
long check_password(const char *password) {
  char buff[8];
  long pass = 0;

  strcpy(buff, password);
  if(strcmp(buff, "spic") == 0) {
    pass = 1;
  }
  return pass;
}
```

Hands-on: Buffer Overflow

- Passwortgeschütztes Programm

```
# Usage: ./print_exam <password>
./print_exam spic
Correct Password
Printing exam...
```

- Ungeprüfte Benutzereingaben ⇒ Buffer Overflow

```
long check_password(const char *password) {
  char buff[8];
  long pass = 0;

  strcpy(buff, password);
  if(strcmp(buff, "spic") == 0) {
    pass = 1;
  }
  return pass;
}
```


Hands-on: Buffer Overflow

```
long check_password(const char *password) {
  char buff[8];
  long pass = 0;

  strcpy(buff, password);
  if(strcmp(buff, "spic") == 0) {
    pass = 1;
  }
  return pass;
}
```

- Mögliche Lösungen
  - Prüfen der Benutzereingabe
  - Dynamische Allokation des Puffers
  - Sichere Bibliotheksfunktionen verwenden ⇒ z.B. `strncpy(3)`