

Übungen zu Systemprogrammierung 1

Ü3 – Prozesse

Sommersemester 2025

Luis Gerhorst, Thomas Preisner, Tobias Häberlein, Jürgen Kleinöder

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



Lehrstuhl für Informatik 4
Systemsoftware



Friedrich-Alexander-Universität
Technische Fakultät



5.1 Adressraumstruktur

5.2 Prozesse

5.3 System-Schnittstelle

5.4 String-Manipulation mit strtok(3p)

5.5 Make

5.6 Aufgabe 3: clash

5.7 Gelerntes anwenden



5.1 Adressraumstruktur

5.2 Prozesse

5.3 System-Schnittstelle

5.4 String-Manipulation mit strtok(3p)

5.5 Make

5.6 Aufgabe 3: clash

5.7 Gelerntes anwenden



- Aufteilung des Hauptspeichers eines Prozesses in Segmente

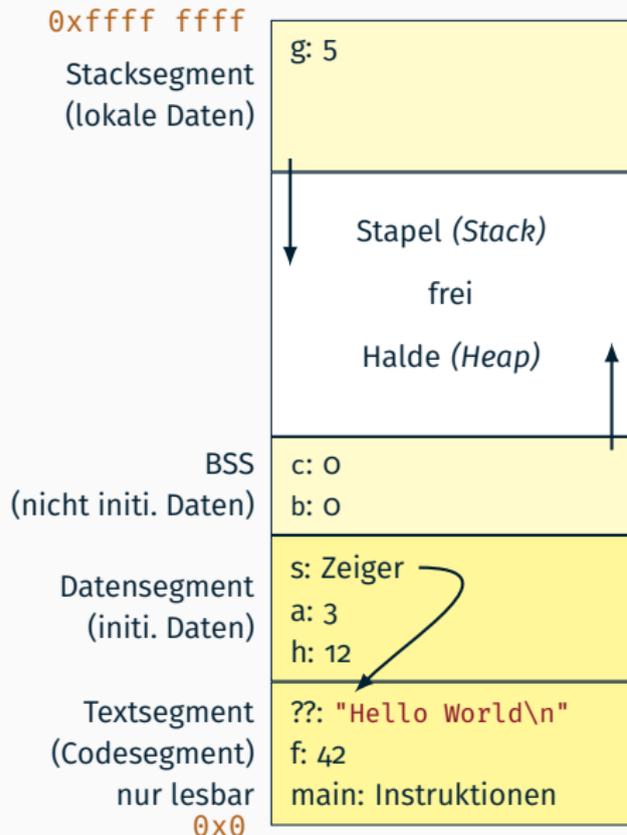
```
static int a = 3; static int b;  
static int c = 0; const int f = 42;  
const char *s = "Hello World\n";  
  
int main(void) {  
    int g = 5;  
    static int h = 12;  
}
```

- Compiler-Fehler

```
s[1] = 'a';  
f = 2;
```

- Segmentation Fault

```
((char *) s)[1] = 'a';  
*((int *) &f) = 2;
```





- Je nach Segment haben Daten unterschiedliche Lebensdauer
 - Stack (lokal nicht-`static`): bis Verlassen des umgebenden Blocks
 - Daten (global / lokal `static`): „unsterblich“ – bis zum Prozessende
 - Heap (dynamisch alloziert mit `malloc(3p)`):
 - Bis zur expliziten Freigabe mit `free(3p)`
 - Nachträgliche Größenänderung mit `realloc(3p)` möglich
- `malloc(3p)` nur wenn unbedingt nötig nutzen
 - Allokation kostet Zeit
 - Aufwändiger Code, Fehlerbehandlung nötig
 - Freigabe darf nicht vergessen werden
- Wann immer möglich: lokales Array auf dem Stack
 - Voraussetzung 1: beschränkte Lebensdauer okay
 - Voraussetzung 2: keine nachträgliche Größenänderung
 - d.h. obere Schranke für Größe muss vorab ermittelbar sein
 - Voraussetzung 3: Array passt ins Stack-Segment (übliche Stack-Größe z. B. 8 MiB, `ulimit -a`)



5.1 Adressraumstruktur

5.2 Prozesse

5.3 System-Schnittstelle

5.4 String-Manipulation mit strtok(3p)

5.5 Make

5.6 Aufgabe 3: clash

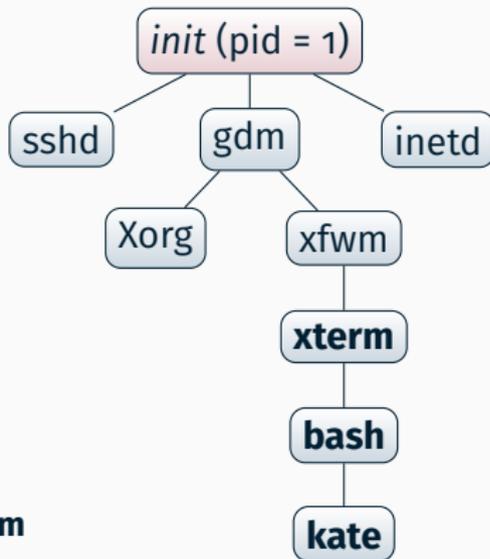
5.7 Gelerntes anwenden



- Prozesse sind eine Ausführungsumgebung für Programme (vgl. Vorlesung A-III, S. 7)
 - haben eine Prozess-ID (PID, ganzzahlig positiv)
 - führen ein Programm aus
- Mit einem Prozess sind Ressourcen verknüpft, z. B.
 - Speicher
 - Adressraum
 - offene Dateien



- Zwischen Prozessen bestehen Elter-Kind-Beziehungen
 - der erste Prozess wird direkt vom Systemkern gestartet (z. B. *init*)
 - es entsteht ein Baum von Prozessen bzw. eine Prozesshierarchie
 - Beispiel:
kate ist ein Kind von **bash**,
bash wiederum ein Kind von **xterm**





5.1 Adressraumstruktur

5.2 Prozesse

5.3 System-Schnittstelle

5.4 String-Manipulation mit strtok(3p)

5.5 Make

5.6 Aufgabe 3: clash

5.7 Gelerntes anwenden



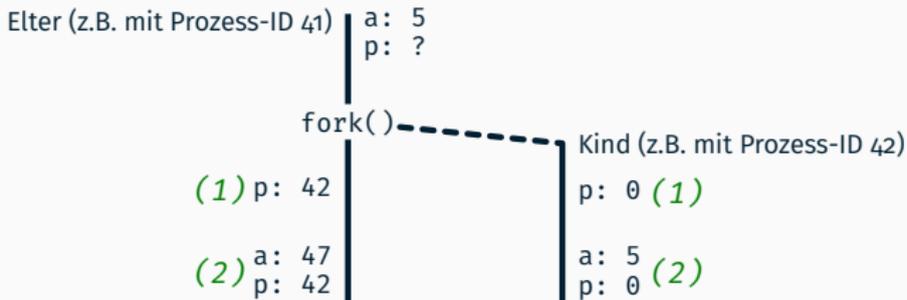
```
pid_t fork(void);
```

- Erzeugt einen neuen Kindprozess (Vorlesung A-III, S. 14ff.)
- (Fast) exakte Kopie des Elterprozesses ...
 - Datensegment (neue Kopie, gleiche Daten)
 - Stacksegment (neue Kopie, gleiche Daten)
 - Textsegment (gemeinsam genutzt, da nur lesbar)
 - Dateideskriptoren (geöffnete Dateien)
 - Registerinhalte
 - ... mit Ausnahme der Prozess-ID
- Kind startet Ausführung hinter dem fork(3p) mit dem geerbten Zustand
 - das ausgeführte Programm muss anhand der PID (Rückgabewert von fork(3p)) entscheiden, ob es sich um den Elter- oder den Kindprozess handelt

Kindprozess erzeugen – fork(3p)



```
int a = 5;
pid_t p = fork(); // (1)
a += p; // (2)
if (p == -1) {
    // fork-Fehler, es wurde kein Kind erzeugt
    ...
} else if (p == 0) {
    // Hier befinden wir uns im Kind
    ...
    exit(EXIT_SUCCESS); // Kindprozess wieder beenden
} else {
    // Hier befinden wir uns im Elterprozess
    // p ist die PID des neu erzeugten Kindprozesses
    ...
}
```





```
int execlp(const char *file, const char *arg, ...);  
int execvp(const char *file, char *const argv[]);
```

- Lädt Programm zur Ausführung in den aktuellen Prozess (vgl. Vorlesung A-III, S. 10f.)
 - aktuell ausgeführtes Programm wird ersetzt (Text-, Daten- und Stacksegment)
 - erhalten bleiben: Dateideskriptoren (= geöffnete Dateien), Arbeitsverzeichnis, ...
- Aufrufparameter für exec(3p)
 - Dateiname des neuen Programmes
 - Argumente, die der main-Funktion des neuen Programms übergeben werden
- exec kehrt nur im Fehlerfall zurück



- Varianten:

```
// Argumentliste variabler Länge  
int execlp(const char *file, const char *arg0, ... /*, NULL */);  
  
// Argumente als Array  
int execvp(const char *file, char *const argv[]);
```

- Zum Suchen von `file` wird die Umgebungsvariable `PATH` verwendet
- Name der Programmdatei muss **doppelt** übergeben werden – als `file` und als `arg0` bzw. `argv[0]`!
- Alle Varianten von `exec(3p)` erwarten als letzten Eintrag in der Argumentenliste bzw. im `argv`-Array einen `NULL`-Zeiger



```
void exit(int status);
```

- beendet aktuellen Prozess mit angegebenem Exitstatus
 - `EXIT_SUCCESS` = 0
 - `EXIT_FAILURE` != 0, meist 1
- gibt alle Ressourcen frei, die der Prozess allokiert hat, z. B.
 - Speicher
 - Dateideskriptoren (schließt alle offenen Dateien)
- Prozess geht in den *Zombie*-Zustand über
 - ermöglicht es dem Elterprozess auf den Tod des Kindes zu reagieren
 - Zombie-Prozesse belegen Ressourcen und sollten zeitnah beseitigt werden (mit `waitpid(3p)`)!
 - ist der Elterprozess schon vor dem Kind terminiert, so wird der Zombie an den Prozess mit PID 1 (z. B. *init*) weitergereicht, welcher diesen sofort beseitigt



```
pid_t waitpid(pid_t pid, int *wstatus, int options);
```

- `waitpid(3p)` liefert Informationen über einen terminierten Kindprozess (*Zombie*):
 - als Parameter kann ein Zeiger auf einen `int`-Wert mitgegeben werden, in dem unter anderem der Exitstatus des Kindprozesses abgelegt wird
 - in den Status-Bits wird eingetragen, „was dem Kindprozess zugestoßen ist“, Details können über Makros abgefragt werden:
 - Prozess mit `exit(3p)` terminiert: `WIFEXITED(wstatus)`
 - Exitstatus: `WEXITSTATUS(wstatus) = Argument, das an exit(3p) übergeben wurde`
 - weitere siehe `waitpid(3p)`
- Verbleibende Ressourcen des Zombies werden aufgeräumt
 - PID wird als frei markiert
 - Prozesskontrollblock wird freigegeben
- Falls aktuell der Kindprozess nicht im Zombie-Zustand ist, wartet `waitpid(3p)` bis zum Terminieren des Kindprozesses und räumt diesen dann ab



```
pid_t waitpid(pid_t pid, int *wstatus, int options);
```

- Mit Argument `pid == -1` kann auf beliebige Kindprozesse gewartet werden
- Verhalten mit Optionen (Parameter `options`) anpassbar
 - **WNOHANG**: `waitpid(3p)` kehrt sofort zurück, wenn kein passender Zombie verfügbar ist
 - eignet sich zum periodischen Abfragen (*Polling*) nach Zombieprozessen
- `wait(&wstatus)` entspricht `waitpid(-1, &wstatus, 0)`



5.1 Adressraumstruktur

5.2 Prozesse

5.3 System-Schnittstelle

5.4 String-Manipulation mit strtok(3p)

5.5 Make

5.6 Aufgabe 3: clash

5.7 Gelerntes anwenden



```
char *strtok(char *str, const char *delim);
```

- strtok(3p) teilt einen String in Tokens auf, die durch bestimmte Trennzeichen getrennt sind



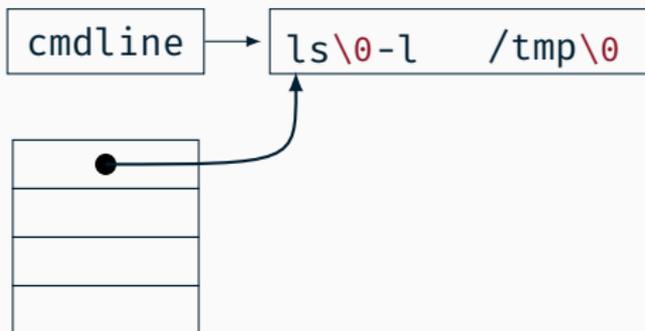
```
cmdline = "ls -l /tmp";  
a[0] = strtok(cmdline, " ");  
a[1] = strtok(NULL, " ");  
a[2] = strtok(NULL, " ");  
a[3] = strtok(NULL, " ");
```

- Kommandozeile liegt als '`\0`'-terminierter String im Speicher



```
char *strtok(char *str, const char *delim);
```

- strtok(3p) teilt einen String in Tokens auf, die durch bestimmte Trennzeichen getrennt sind



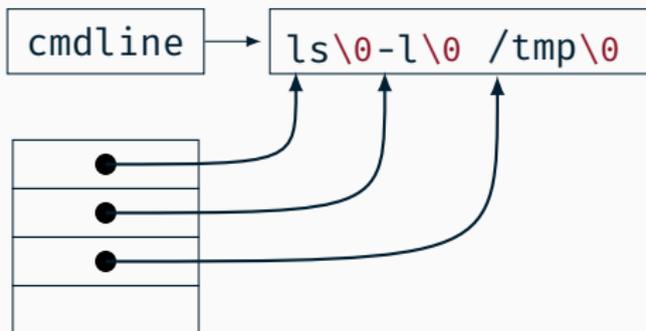
```
cmdline = "ls -l /tmp";  
a[0] = strtok(cmdline, " ");  
a[1] = strtok(NULL, " ");  
a[2] = strtok(NULL, " ");  
a[3] = strtok(NULL, " ");
```

- Kommandozeile liegt als '\\0'-terminierter String im Speicher
- Erster Aufruf mit dem Zeiger auf diesen Speicherbereich liefert Zeiger auf erstes Token ls und ersetzt den Folgetrenner mit '\\0'



```
char *strtok(char *str, const char *delim);
```

- strtok(3p) teilt einen String in Tokens auf, die durch bestimmte Trennzeichen getrennt sind

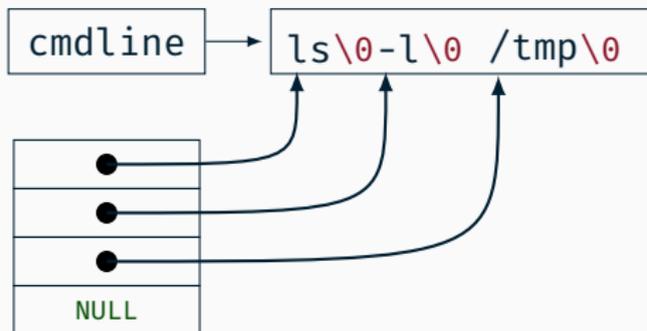


```
cmdline = "ls -l /tmp";  
a[0] = strtok(cmdline, " ");  
a[1] = strtok(NULL, " ");  
a[2] = strtok(NULL, " ");  
a[3] = strtok(NULL, " ");
```

- Kommandozeile liegt als '`\0`'-terminierter String im Speicher
- Erster Aufruf mit dem Zeiger auf diesen Speicherbereich liefert Zeiger auf erstes Token `ls` und ersetzt den Folgetrenner mit '`\0`'
- Weitere Aufrufe von strtok(3p) nun mit einem `NULL`-Zeiger liefern jeweils Zeiger auf das nächste Token

```
char *strtok(char *str, const char *delim);
```

- strtok(3p) teilt einen String in Tokens auf, die durch bestimmte Trennzeichen getrennt sind



```
cmdline = "ls -l /tmp";  
a[0] = strtok(cmdline, " ");  
a[1] = strtok(NULL, " ");  
a[2] = strtok(NULL, " ");  
a[3] = strtok(NULL, " ");
```

- Kommandozeile liegt als `'\0'`-terminierter String im Speicher
- Erster Aufruf mit dem Zeiger auf diesen Speicherbereich liefert Zeiger auf erstes Token `ls` und ersetzt den Folgetrenner mit `'\0'`
- Weitere Aufrufe von strtok(3p) nun mit einem `NULL`-Zeiger liefern jeweils Zeiger auf das nächste Token
- Am Ende liefert strtok(3p) `NULL`



```
char *strtok(char *str, const char *delim);
```

- `delim` ist ein String, der alle Trennzeichen enthält, z. B. "`\t\n`"
- `strtok(3p)` nutzt jedes Zeichen in `delim` als mögliches Trennzeichen
- Mehrere aufeinanderfolgende Trennzeichen werden übersprungen
- Vorsicht: `strtok(3p)` gibt bei Strings nur aus Trennzeichen `NULL` zurück, ohne den String zu verändern!



5.1 Adressraumstruktur

5.2 Prozesse

5.3 System-Schnittstelle

5.4 String-Manipulation mit strtok(3p)

5.5 Make

5.6 Aufgabe 3: clash

5.7 Gelerntes anwenden



.c-Dateien

lilo	1
vim 9.0	188
OpenSSH 9.3	290
Linux 6.3.1	> 73000

X von Hand übersetzen: zu aufwändig

X Dauer bei wiederholtem Übersetzen

→ Automatisiertes Übersetzen **modifizierter Dateien**





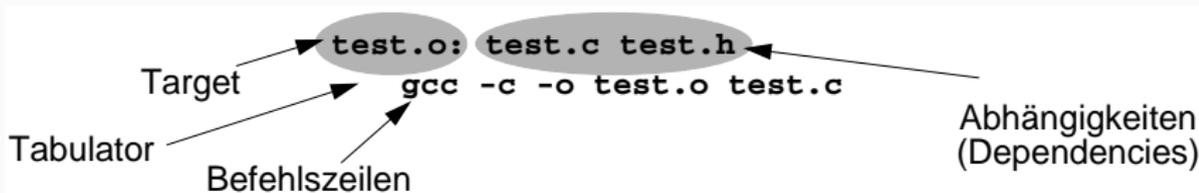
- Grundsätzlich: Erzeugung von Dateien aus anderen Dateien
 - für uns interessant: Erzeugung einer .o-Datei aus einer .c-Datei



- Falls Quelle(n) sich ändert wird der Befehl neu ausgeführt
- Änderung auf Basis der Modifikationszeit



■ Regeldatei mit dem Namen Makefile



- Target (was wird erzeugt?)
 - Name der zu erstellenden Datei
 - Abhängigkeiten (woraus?)
 - Namen aller Eingabedateien (direkt oder indirekt)
 - Können selbst Targets sein
 - Befehlszeilen (wie?)
 - Erzeugt aus den Abhängigkeiten das Target
-
- zu erstellendes Target bei make-Aufruf angeben: `make test.o`
 - Falls nötig baut make die angegebene Datei neu
 - Davor werden rekursiv alle veralteten Abhängigkeiten aktualisiert
 - Ohne Target-Angabe bearbeitet make das erste Target im Makefile



- In einem Makefile können Makros definiert werden

```
SOURCE = test.c func.c
```

- Verwendung der Makros mit $\$(NAME)$ oder $\${NAME}$

```
test:  $\$(SOURCE)$   
    gcc -o test  $\$(SOURCE)$ 
```

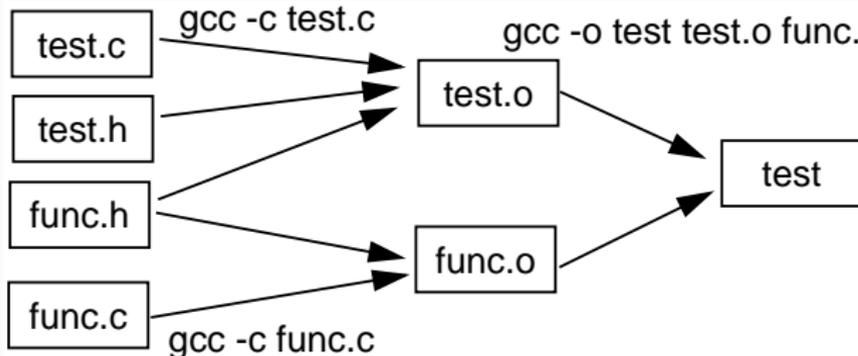
- Erzeugung neuer Makros durch Konkatenation

```
ALLOBJS =  $\$(OBJJS)$  hallo.o
```

- Verpflichtende Standard-Makros:
 - CC: C-Compiler-Befehl
 - CFLAGS: Optionen für den C-Compiler



- Rechner beim Erzeugen von ausführbaren Dateien „entlasten“



- Zwischenprodukte verwenden und somit Übersetzungszeit sparen
- Beispiel:

```
test: test.o func.o
    gcc -o test test.o func.o

test.o: test.c test.h func.h
    gcc -c test.c

func.o: func.c func.h
    gcc -c func.c
```



- Dienen nicht der Erzeugung einer gleichnamigen Datei
 - so deklarierte Targets werden immer gebaut
 - Deklaration als Abhängigkeit des Spezial-Targets `.PHONY` nötig
- Beispiel: Erzeugen einer ausführbaren Datei mit `make all`

```
.PHONY: all clean
all: clash
clean:
    rm -f clash clash.o
clash: clash.o #...
    # build clash
```

- Konventionen
 - `all` muss erstes reguläres Target im Makefile sein und baut die komplette Anwendung
 - `clean` löscht alle durch `make` erzeugte Dateien
 - **Hinweis:** bei Aufruf von `rm` den Parameter `-f` verwenden
⇒ kein Abbruch bei nicht existierenden Dateien



5.1 Adressraumstruktur

5.2 Prozesse

5.3 System-Schnittstelle

5.4 String-Manipulation mit strtok(3p)

5.5 Make

5.6 Aufgabe 3: clash

5.7 Gelerntes anwenden

Ziele der Aufgabe:

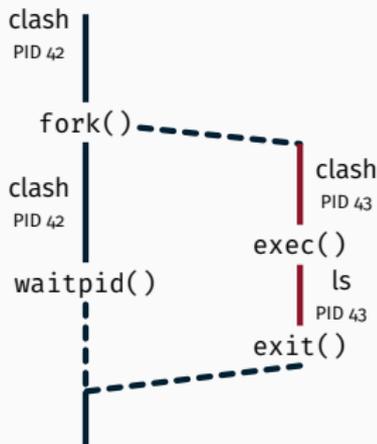
- Arbeiten mit dem UNIX-Prozesskonzept
- Verstehen von Quellcode anderer Personen (`plist.c`)
- Erstellen eines Makefiles mit Pseudo-Targets

Hinweise:

- Verbindliche Schnittstellendokumentation zu `plist.c` auf der Website (Übung -> Aufgaben)
- Gruppenabgabe in 3er Gruppen



- Eingabezeile, aus der der Benutzer Programme starten kann
 - Länge der Eingabezeile und damit Anzahl der Argumente unbekannt
 - Für die clash (willkürlich) auf 1337 Zeichen beschränkt
- Erzeugt einen **neuen Prozess** und startet in diesem das Programm
 - Vordergrundprozess: Wartet auf die Beendigung des Prozesses und gibt anschließend dessen Exitstatus aus
 - Hintergrundprozess: Wartet nicht auf Beendigung des Prozesses. Exitstatus wird bei der Anzeige des Promptes ausgegeben





5.1 Adressraumstruktur

5.2 Prozesse

5.3 System-Schnittstelle

5.4 String-Manipulation mit strtok(3p)

5.5 Make

5.6 Aufgabe 3: clash

5.7 Gelerntes anwenden



„Aufgabenstellung“

- Programm schreiben, welches ein Kommando mit jedem der übergebenen Parameter einmal ausführt.
 - `./listRun <program> <arguments...>`
 - Beispiel:

```
$ ./listRun echo Das ist ein Test
Das
ist
ein
Test
```

- Optional: `arguments`-Array vor dem Ausführen sortieren