

Übungen zu Systemprogrammierung 1 (SP1)

Ü4 – Prozesse

Christian Eichler, Andreas Ziegler, Jürgen Kleinöder

Lehrstuhl für Informatik 4
Verteilte Systeme und Betriebssysteme

Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

SS 2017 – 29. Mai bis 02. Juni 2017

http://www4.cs.fau.de/Lehre/SS17/V_SP1



- 5.1 Adressraumstruktur
- 5.2 Exkurs: Vernünftige Speicherverwaltung
- 5.3 Prozesse
- 5.4 System-Schnittstelle
- 5.5 String-Manipulation mit strtok(3)
- 5.6 Make
- 5.7 Aufgabe 4: clash
- 5.8 Gelerntes anwenden



5.1 Adressraumstruktur

5.2 Exkurs: Vernünftige Speicherverwaltung

5.3 Prozesse

5.4 System-Schnittstelle

5.5 String-Manipulation mit strtok(3)

5.6 Make

5.7 Aufgabe 4: clash

5.8 Gelerntes anwenden



Aufteilung des Adressraums

Aufteilung des Hauptspeichers eines Prozesses in Segmente

- Vgl. Vorlesung A-III, Seite 7f.

```
static int a = 3; static int b;
static int c = 0; const int f = 42;
const char *s = "Hello World\n";
```

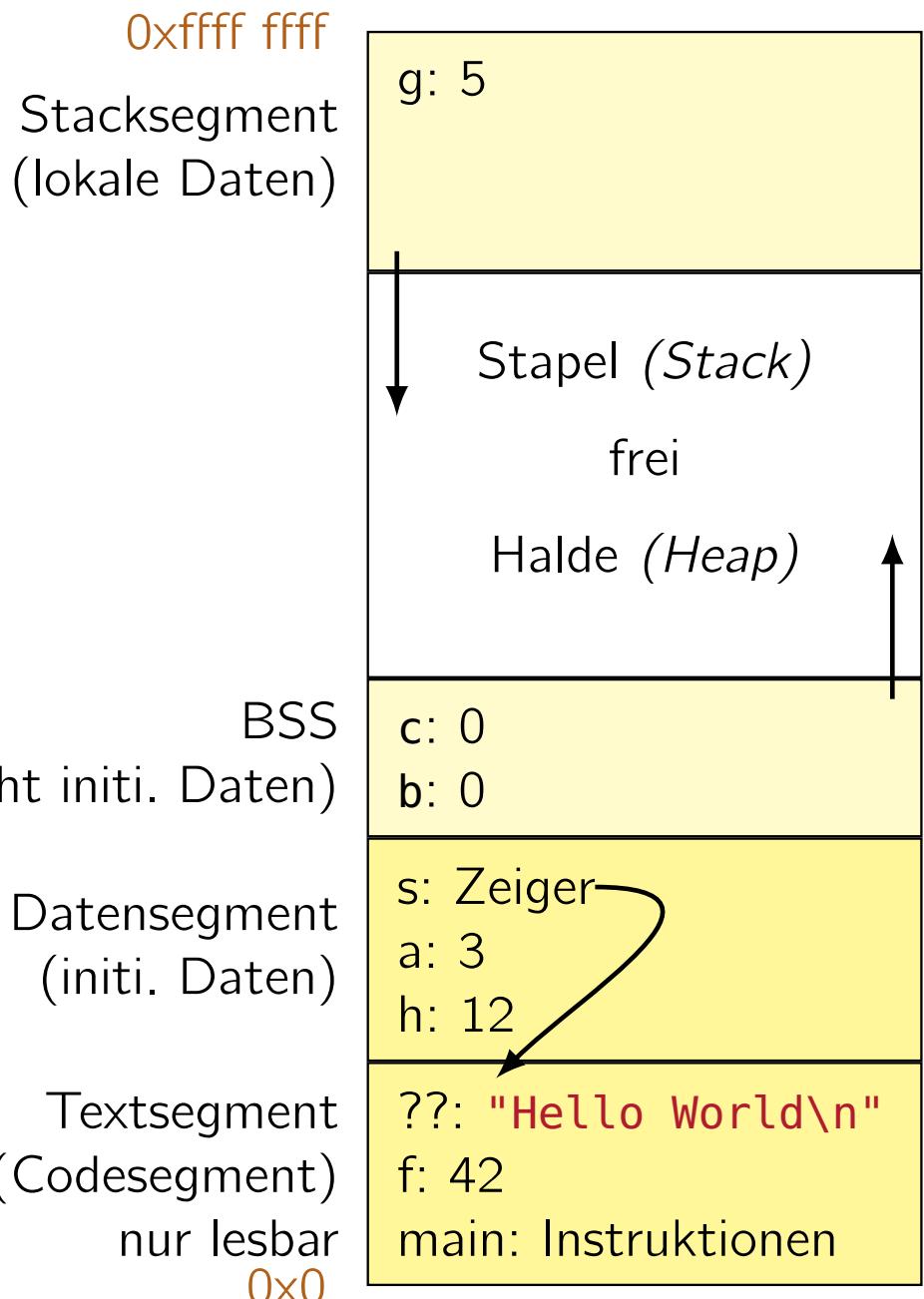
```
int main(void) {
    int g = 5;
    static int h = 12;
}
```

Compiler-Fehler

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

Segmentation Fault

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



5.1 Adressraumstruktur

5.2 Exkurs: Vernünftige Speicherverwaltung

5.3 Prozesse

5.4 System-Schnittstelle

5.5 String-Manipulation mit strtok(3)

5.6 Make

5.7 Aufgabe 4: clash

5.8 Gelerntes anwenden



Exkurs: Vernünftige Speicherverwaltung

- 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(3)**):
 - Bis zur expliziten Freigabe mit **free(3)**
 - Nachträgliche Größenänderung mit **realloc(3)** möglich
- **malloc(3)** ist am flexibelsten – aber nicht immer die beste Lösung!
 - Allokation kostet Zeit
 - Aufwändiger Code, Fehlerbehandlung nötig
 - Freigabe darf nicht vergessen werden
- Oft die bessere Wahl: 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**)



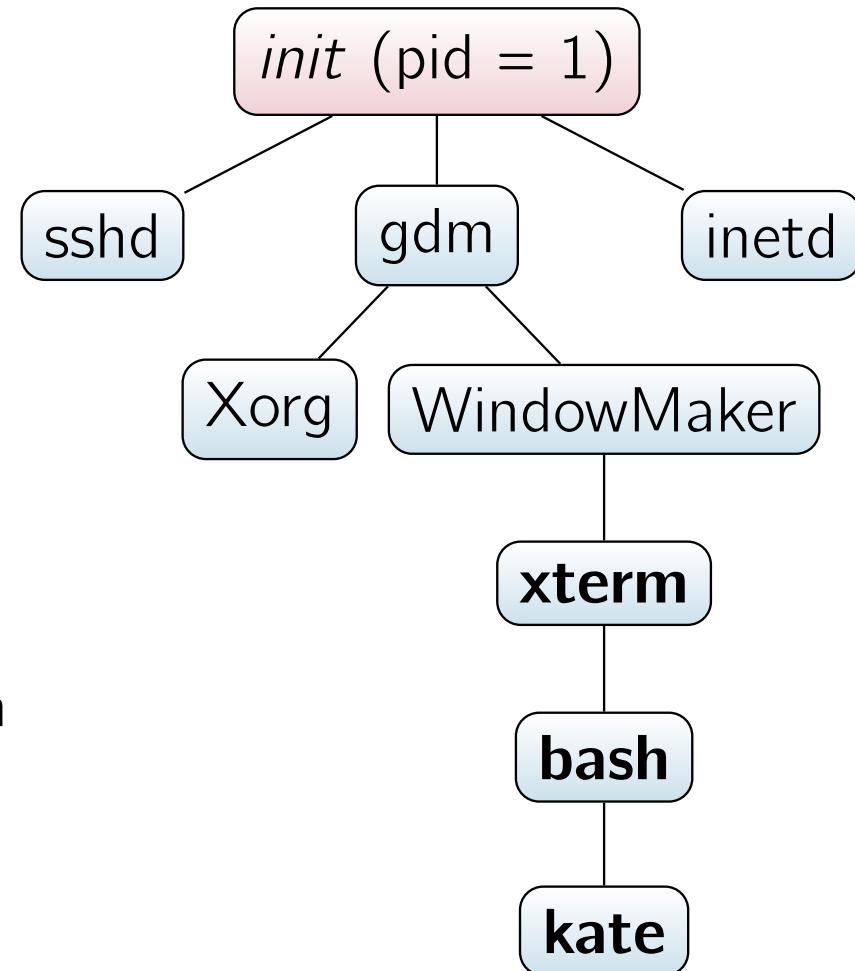
- 5.1 Adressraumstruktur
- 5.2 Exkurs: Vernünftige Speicherverwaltung
- 5.3 Prozesse**
- 5.4 System-Schnittstelle
- 5.5 String-Manipulation mit strtok(3)
- 5.6 Make
- 5.7 Aufgabe 4: clash
- 5.8 Gelerntes anwenden



- Prozesse sind eine Ausführumgebung 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 Eltern-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 Exkurs: Vernünftige Speicherverwaltung
- 5.3 Prozesse
- 5.4 System-Schnittstelle**
- 5.5 String-Manipulation mit strtok(3)
- 5.6 Make
- 5.7 Aufgabe 4: clash
- 5.8 Gelerntes anwenden



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

- Erzeugt einen neuen Kindprozess (Vorlesung A-III, S. 14ff.)
- (Fast) exakte Kopie des Elternprozesses ...
 - Datensegment (neue Kopie, gleiche Daten)
 - Stacksegment (neue Kopie, gleiche Daten)
 - Textsegment (gemeinsam genutzt, da nur lesbar)
 - Dateideskriptoren (geöffnete Dateien)
 - ... mit Ausnahme der Prozess-ID
- Kind startet Ausführung hinter dem fork(2) mit dem geerbten Zustand
 - das ausgeführte Programm muss anhand der PID (Rückgabewert von fork(2)) entscheiden, ob es sich um den Eltern- oder den Kindprozess handelt



Kindprozess erzeugen – fork(2)

```
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
    ...
} else {
    // Hier befinden wir uns im Elternprozess
    // p ist die PID des neu erzeugten Kindprozesses
    ...
}
```

Vater (z.B. mit Prozess-ID 41)

a: 5
p: ?

fork()

(1) p: 42

(2) a: 47
p: 42

Kind (z.B. mit Prozess-ID 42)

p: 0 (1)

a: 5 (2)
p: 0 (2)



```
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(3)
 - Dateiname des neuen Programmes
 - Argumente, die der main-Funktion des neuen Programms übergeben werden
- exec kehrt nur im Fehlerfall zurück



Programm ausführen – exec(3)

- Varianten:

```
// Argumentliste variabler Laenge
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(3)` erwarten als letzten Eintrag in der Argumentenliste bzw. im `argv`-Array einen `NULL`-Zeiger



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

- beendet aktuellen Prozess mit angegebenem Exitstatus
 - 0 = EXIT_SUCCESS
 - 1 = EXIT_FAILURE
- gibt alle Ressourcen frei, die der Prozess belegt hat, z. B.
 - Speicher
 - Dateideskriptoren (schließt alle offenen Dateien)
 - Kerndaten, die für die Prozessverwaltung verwendet wurden
- Prozess geht in den *Zombie*-Zustand über
 - ermöglicht es dem Elternprozess auf den Tod des Kindes zu reagieren
 - *Zombie*-Prozesse belegen Ressourcen und sollten zeitnah beseitigt werden (mit `wait(2)` bzw. `waitpid(2)`)!
 - ist der Elternprozess 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 wait(int *status);
```

- `wait(2)` liefert Informationen über einen terminierten Kindprozess (*Zombie*):
 - PID dieses Kindprozesses wird als Rückgabewert geliefert
 - 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(3)` terminiert: `WIFEXITED(status)`
 - Exitstatus: `WEXITSTATUS(status)` = Argument, das an `exit(3)` übergeben wurde
 - weitere siehe `wait(2)`
- Verbleibende Ressourcen des Zombies werden aufgeräumt
- Falls aktuell kein Kindprozess im Zombie-Zustand ist, wartet `wait(2)` bis zum Terminieren des nächsten Kindprozesses und räumt diesen dann ab



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

- Mächtigere Variante von `wait(2)`
- Wartet auf Statusänderung eines
 - bestimmten Prozesses: `pid > 0`
 - beliebigen Kindprozesses: `pid == -1`
- Verhalten mit Optionen (Parameter `options`) anpassbar
 - `WNOHANG`: `waitpid(2)` kehrt sofort zurück, wenn kein passender Zombie verfügbar ist
 - eignet sich zum periodischen Abfragen (*Polling*) nach Zombieprozessen

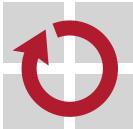


- 5.1 Adressraumstruktur
- 5.2 Exkurs: Vernünftige Speicherverwaltung
- 5.3 Prozesse
- 5.4 System-Schnittstelle
- 5.5 String-Manipulation mit strtok(3)
- 5.6 Make
- 5.7 Aufgabe 4: clash
- 5.8 Gelerntes anwenden



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

- **strtok(3)** teilt einen String in Tokens auf, die durch bestimmte Trennzeichen getrennt sind
- Wird sukzessive aufgerufen und liefert jeweils einen Zeiger auf das nächste Token (mehrere aufeinanderfolgende Trennzeichen werden hierbei übersprungen)
 - **str** ist im ersten Aufruf ein Zeiger auf den zu teilenden String, in allen Folgeaufrufen **NULL**
 - **delim** ist ein String, der alle Trennzeichen enthält, z. B. "**\t\n**"
- Bei jedem Aufruf wird das einem Token folgende Trennzeichen durch '**\0**' ersetzt
- Ist das Ende des Strings erreicht, gibt **strtok(3)** **NULL** zurück



String-Manipulation mit strtok(3)

cmdline

→ ls -l /tmp\0

```
a[0] = strtok(cmdline, " ");
```

```
a[1] = strtok(NULL, " ");
```

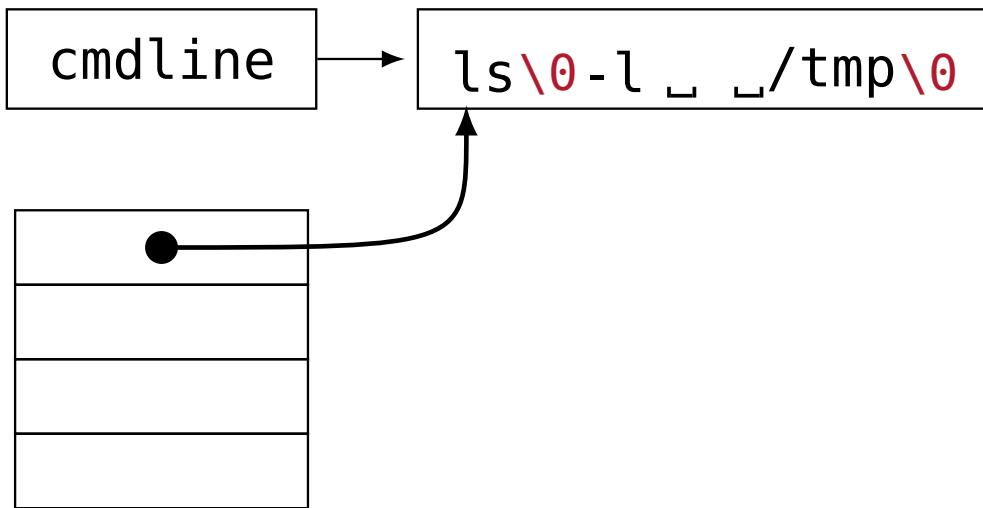
```
a[2] = strtok(NULL, " ");
```

```
a[3] = strtok(NULL, " ");
```

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



String-Manipulation mit strtok(3)

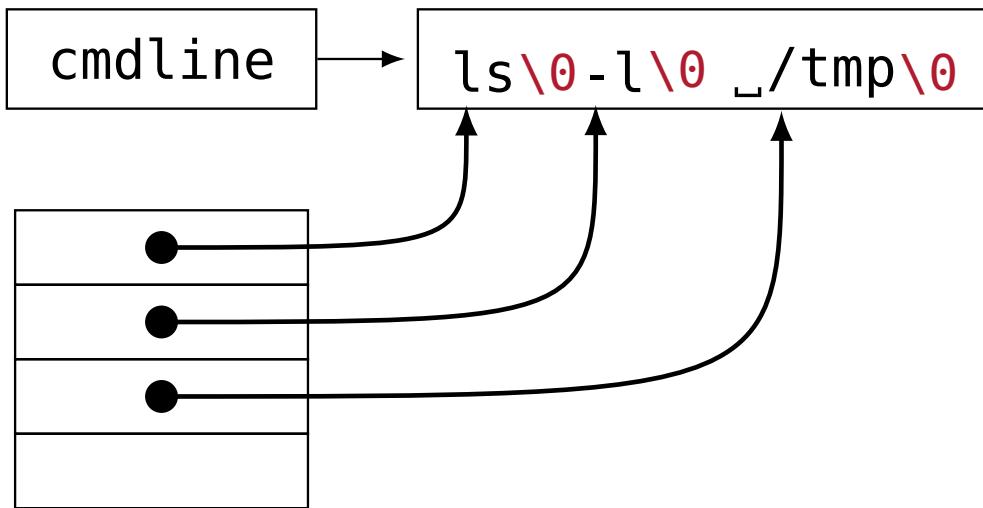


```
a[0] = strtok(cmdline, " ");
a[1] = strtok(NULL, " ");
a[2] = strtok(NULL, " ");
a[3] = strtok(NULL, " ");
```

- Kommandozeile liegt als '\0'-terminierter String im Speicher
- Erster strtok(3)-Aufruf mit dem Zeiger auf diesen Speicherbereich liefert Zeiger auf erstes Token ls und ersetzt den Folgetrenner mit '\0'



String-Manipulation mit strtok(3)

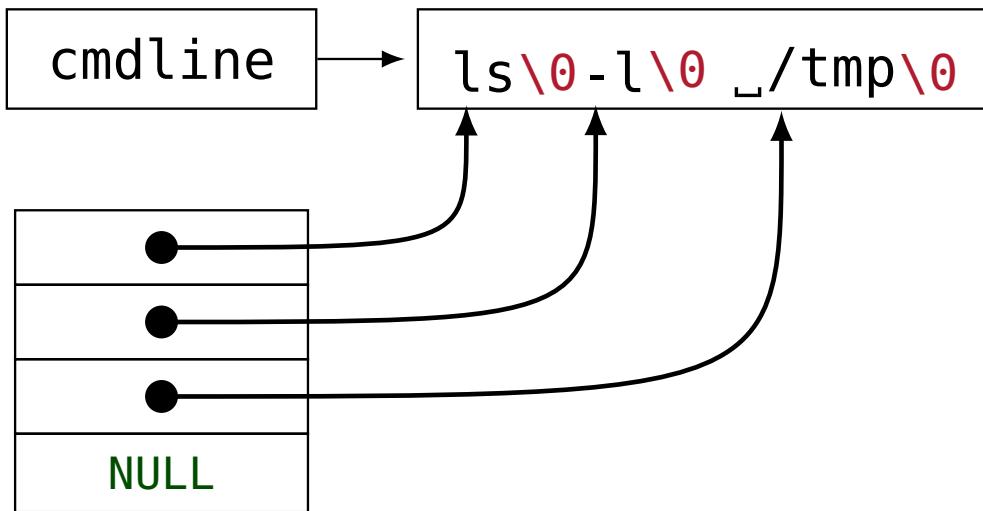


```
a[0] = strtok(cmdline, " ");
a[1] = strtok(NULL, " ");
a[2] = strtok(NULL, " ");
a[3] = strtok(NULL, " ");
```

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



String-Manipulation mit strtok(3)



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



- 5.1 Adressraumstruktur
- 5.2 Exkurs: Vernünftige Speicherverwaltung
- 5.3 Prozesse
- 5.4 System-Schnittstelle
- 5.5 String-Manipulation mit strtok(3)
- 5.6 Make**
- 5.7 Aufgabe 4: clash
- 5.8 Gelerntes anwenden



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

.PHONY: *all clean install*

all: *clash*

clean:

rm -f clash

install: *clash*

cp clash /usr/bin

clash: *clash.c #...*

build clash

- Konventionen
 - **all** ist immer erstes Target im Makefile 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



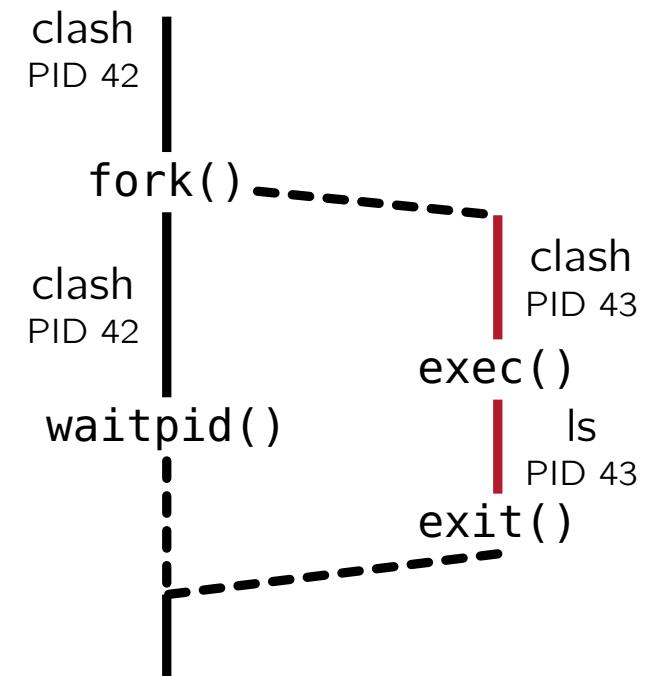
- 5.1 Adressraumstruktur
- 5.2 Exkurs: Vernünftige Speicherverwaltung
- 5.3 Prozesse
- 5.4 System-Schnittstelle
- 5.5 String-Manipulation mit strtok(3)
- 5.6 Make
- 5.7 Aufgabe 4: clash**
- 5.8 Gelerntes anwenden



- Arbeiten mit dem UNIX-Prozesskonzept
- Verstehen von Quellcode anderer Personen (`plist.c`)
- Erstellen eines Makefiles mit Pseudo-Targets
- (Verbindliche) Schnittstellendokumentation zu `plist.c` auf der Website (Übung -> Aufgaben)



- Eingabezeile, aus der der Benutzer Programme starten kann
 - Länge der Eingabezeile und damit Anzahl der Argumente unbekannt
 - Abfrage von Konfigurationsoptionen des Betriebssystems mit **sysconf(3)**
 - Maximale Länge einer Zeichenkette, die auf einmal eingelesen werden kann (**stdin** oder Datei) (Parameter **_SC_LINE_MAX**)
- 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 Exkurs: Vernünftige Speicherverwaltung
- 5.3 Prozesse
- 5.4 System-Schnittstelle
- 5.5 String-Manipulation mit strtok(3)
- 5.6 Make
- 5.7 Aufgabe 4: clash
- 5.8 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

