

# Übungen zu Betriebssysteme

## Ü6 – Prozesse & Aufgabe: clash

---

Sommersemester 2023

Henriette Hofmeier, Manuel Vögele, Benedict Herzog, Timo Hönig

Bochum Operating Systems and System Software Group (BOSS)



RUHR  
UNIVERSITÄT  
BOCHUM

RUB

# Agenda

6.1 Adressraumstruktur

6.2 Prozesse

6.3 System-Schnittstelle

6.4 String-Manipulation mit strtok(3)

6.5 Aufgabe: clash

6.6 Gelerntes anwenden

# Agenda

6.1 Adressraumstruktur

6.2 Prozesse

6.3 System-Schnittstelle

6.4 String-Manipulation mit strtok(3)

6.5 Aufgabe: clash

6.6 Gelerntes anwenden

- Aufteilung des Hauptspeichers  
eines Prozesses in Segmente

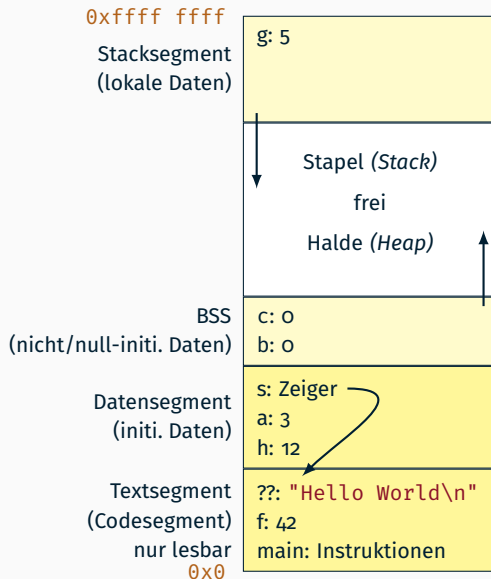
```
static int a = 3; static int b;  
static int c = 0; const int f = 42;  
const char *s = "Hello World\n";  
  
int main(void) {  
    int g = 5;  
    static int h = 12;  
}
```

# Aufteilung des Adressraums

- 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;  
}
```



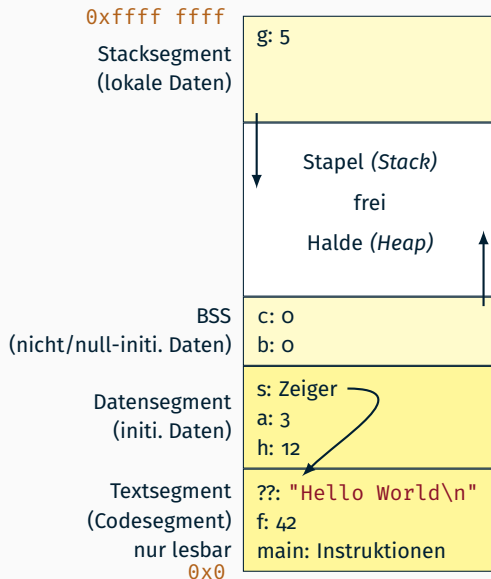
# Aufteilung des Adressraums

## ■ 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;  
}
```

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



# Aufteilung des Adressraums

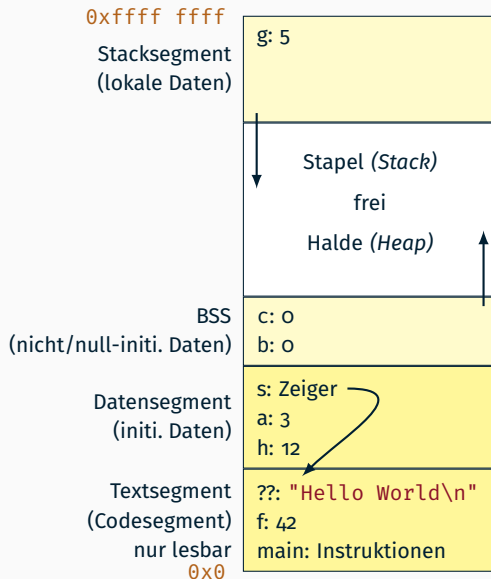
## ■ Aufteilung des Hauptspeichers eines Prozesses in Segmente

```
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;
```



# Aufteilung des Adressraums

## ■ Aufteilung des Hauptspeichers eines Prozesses in Segmente

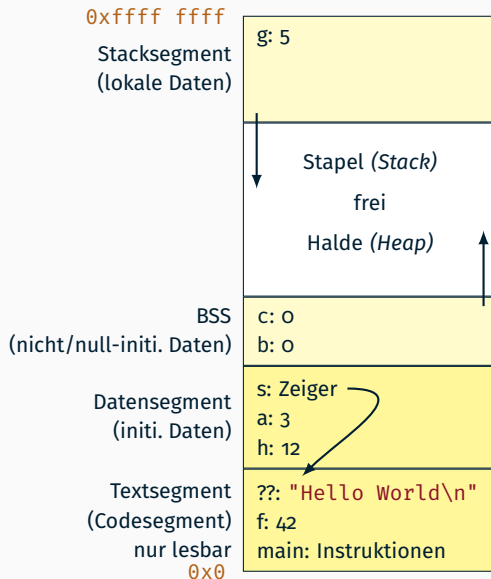
```
static int a = 3; static int b;  
static int c = 0; const int f = 42;  
const char *s = "Hello World\n";
```

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

## ■ Compiler-Fehler

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

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





# Aufteilung des Adressraums

- 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";
```

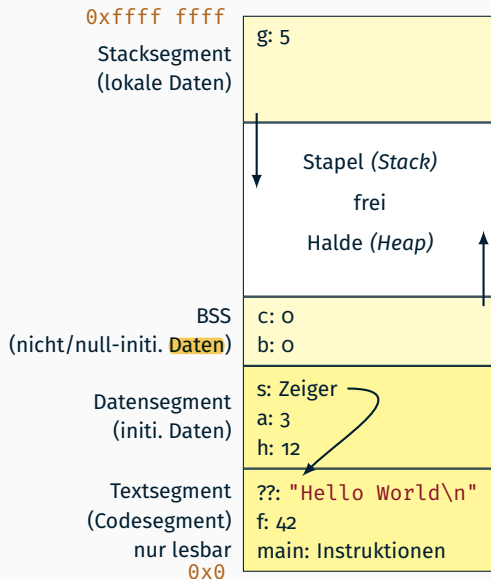
```
int main(void) {  
    int g = 5;  
    static int h = 12;  
}
```

- 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(3)`):
    - Bis zur expliziten Freigabe mit `free(3)`
    - Nachträgliche Größenänderung mit `realloc(3)` möglich

# 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

# 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`)

# Agenda

6.1 Adressraumstruktur

**6.2 Prozesse**

6.3 System-Schnittstelle

6.4 String-Manipulation mit strtok(3)

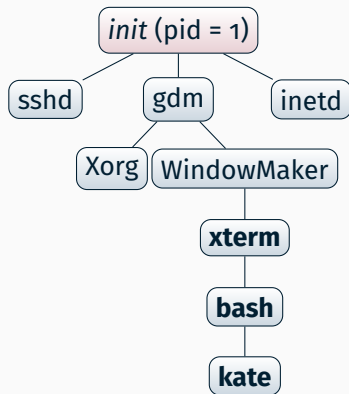
6.5 Aufgabe: clash

6.6 Gelerntes anwenden

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

# Prozesshierarchie

- 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**



# Agenda

6.1 Adressraumstruktur

6.2 Prozesse

**6.3 System-Schnittstelle**

6.4 String-Manipulation mit strtok(3)

6.5 Aufgabe: clash

6.6 Gelerntes anwenden



## Kindprozess erzeugen – fork(2)

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

- Erzeugt einen neuen Kindprozess
- (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

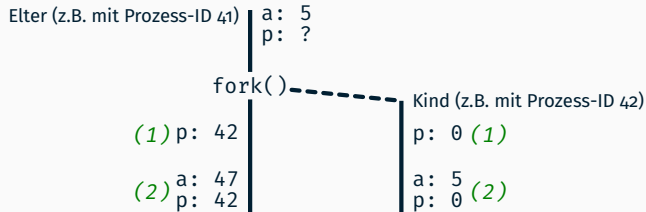
## Kindprozess erzeugen – fork(2)

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

- Erzeugt einen neuen Kindprozess
- (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(2) mit dem geerbten Zustand
  - das ausgeführte Programm muss anhand der PID (Rückgabewert von fork(2)) entscheiden, ob es sich um den Elter- 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) {
    // Kindprozess
    ...
} else {
    // Elternprozess
    // p ist die PID des neu
    // erzeugten Kindprozesses
    ...
}
```



## Programm ausführen – exec(3)

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

- Lädt Programm zur Ausführung in den aktuellen Prozess
  - aktuell ausgeführtes Programm wird ersetzt (Text-, Daten- und Stacksegment)
  - erhalten bleiben: Dateideskriptoren (= geöffnete Dateien), Arbeitsverzeichnis, ...

## Programm ausführen – exec(3)

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

- Lädt Programm zur Ausführung in den aktuellen Prozess
  - 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 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(3) erwarten als letzten Eintrag in der Argumentenliste bzw. im argv-Array einen **NULL**-Zeiger

## Prozess beenden – `exit(3)`

```
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 beenden – `exit(3)`

```
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 `wait(2)` bzw. `waitpid(2)`)!
  - 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



## Auf Kindprozess warten – wait(2)

```
pid_t wait(int *wstatus);
```

- 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(wstatus)`
    - Exitstatus: `WEXITSTATUS(wstatus)` = Argument, das an `exit(3)` übergeben wurde
    - weitere siehe `wait(2)`
- Verbleibende Ressourcen des Zombies werden aufgeräumt
  - PID wird als frei markiert
  - Prozesskontrollblock wird freigegeben

## Auf Kindprozess warten – `wait(2)`

```
pid_t wait(int *wstatus);
```

- `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(wstatus)`
    - Exitstatus: `WEXITSTATUS(wstatus)` = Argument, das an `exit(3)` übergeben wurde
    - weitere siehe `wait(2)`
- Verbleibende Ressourcen des Zombies werden aufgeräumt
  - PID wird als frei markiert
  - Prozesskontrollblock wird freigegeben
- Falls aktuell kein Kindprozess im Zombie-Zustand ist, wartet `wait(2)` bis zum Terminieren des nächsten Kindprozesses und räumt diesen dann ab

## Auf speziellen Kindprozess warten – `waitpid(2)`

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

- **Mächtigere** Variante von `wait(2)`
- Wartet auf Statusänderung eines
  - bestimmten Prozesses: `pid > 0`
  - beliebigen Kindprozesses: `pid == -1`
  - weitere siehe `waitpid(2)`
- 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

# Agenda

6.1 Adressraumstruktur

6.2 Prozesse

6.3 System-Schnittstelle

**6.4 String-Manipulation mit strtok(3)**

6.5 Aufgabe: clash

6.6 Gelerntes anwenden

## String-Manipulation mit strtok(3)

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

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

## String-Manipulation mit strtok(3)

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

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



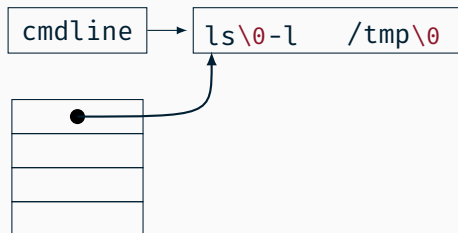
```
cmdline = "ls -l /tmp";
```

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

## String-Manipulation mit strtok(3)

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

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



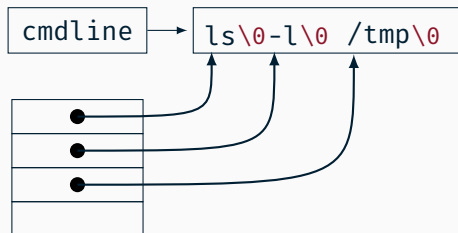
```
cmdline = "ls -l /tmp";  
a[0] = strtok(cmdline, " ");
```

- 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'`

## String-Manipulation mit strtok(3)

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

- `strtok(3)` 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, " ");
```

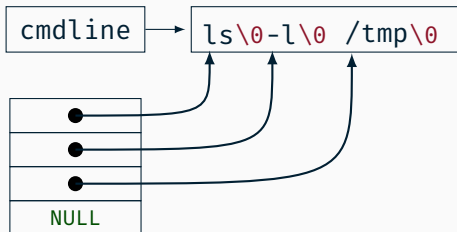
- Kommandozeile liegt als `'\0'`-terminierter String im Speicher
- Erster Aufruf mit dem Zeiger auf diesen Speicherbereich liefert Zeiger auf erstes Token `ls` und ersetzt den Folgetrenner mit `'\0'`
- Weitere Aufrufe von `strtok(3)` nun mit `NULL`-Zeiger liefern jeweils Zeiger auf das nächste Token



## String-Manipulation mit strtok(3)

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

- `strtok(3)` 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(3)` nun mit `NULL`-Zeiger liefern jeweils Zeiger auf das nächste Token
- Am Ende liefert `strtok(3)` `NULL`

## String-Manipulation mit strtok(3)

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

- `delim` ist ein String, der alle Trennzeichen enthält, z. B. " \t\n"
- `strtok(3)` nutzt jedes *Zeichen* in `delim` als mögliches Trennzeichen
- Mehrere aufeinanderfolgende Trennzeichen werden übersprungen

## String-Manipulation mit strtok(3)

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

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

# Agenda

6.1 Adressraumstruktur

6.2 Prozesse

6.3 System-Schnittstelle

6.4 String-Manipulation mit strtok(3)

**6.5 Aufgabe: clash**

6.6 Gelerntes anwenden

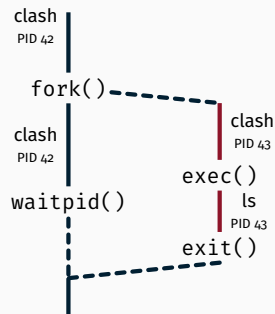
# Ziele der Aufgabe

- Arbeiten mit dem UNIX-Prozesskonzept
- Verstehen von Quellcode anderer Personen (`plist.c`)
- Erstellen eines Makefiles mit Pseudo-Targets
- Verbindliche Schnittstellendokumentation zu `plist.c` ist in der `plist.h` zu finden

- 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

# Funktionsweise der clash

- 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



# Agenda

6.1 Adressraumstruktur

6.2 Prozesse

6.3 System-Schnittstelle

6.4 String-Manipulation mit strtok(3)

6.5 Aufgabe: clash

**6.6 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