

## U3 3. Übung

- Aufgabenbesprechung
  - ◆ Aufgabe 1: lilo
  - ◆ Fehlerbehandlung
  - ◆ Heap- vs. Stackallokation
- Abgabesystem: Partnerabgabe
- Prozesse
  - ◆ Speicheraufbau
  - ◆ Systemschnittstelle: fork(2), exec(3), exit(3), wait(2), waitpid(2)
- Aufgabe 3: clash (Einfache Shell im Eigenbau)
  - ◆ Funktionsprinzip
  - ◆ String-Stückelung mit **strtok(3)**
  - ◆ Ermitteln von Systemlimits mit sysconf(3)

## U3-1 Fehlerbehandlung

- Fehler können aus unterschiedlichsten Gründen im Programm auftreten
  - Systemressourcen erschöpft
    - ➡ **malloc(3)** schlägt fehl
  - Fehlerhafte Benutzereingaben (z.B. nicht existierende Datei)
    - ➡ **open(2)** schlägt fehl
  - Transiente Fehler (z.B. nicht erreichbarer Server)
    - ➡ **connect(2)** schlägt fehl
  - ...
- 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 für Logeintrag
    - ➡ Fehlerbehandlung: IP-Adresse im Log eintragen, Programm läuft weiter
  - ◆ Beispiel 2: Kopierprogramm: Öffnen der Quelldatei schlägt fehl
    - ➡ Fehlerbehandlung: Kopieren nicht möglich, Programm beenden

# 1 Fehler in Bibliotheksfunktionen

- Fehler treten häufig in Funktionen der C-Bibliothek auf
  - erkennbar i.d.R. am Rückgabewert (Manpage, Sektion **RETURN VALUES**)
- Die Fehlerursache wird über die globale Variable **errno** übermittelt
  - Fehlercode für jeden möglichen Fehler (siehe **errno(3)**)
  - Der Wert **errno=0** ist reserviert, alles andere ist ein Fehlercode
  - Bibliotheksfunktionen setzen **errno** im Fehlerfall (sonst nicht *zwingend*)
  - Bekanntmachung im Programm durch Einbinden von **errno.h**
- Fehlercodes können mit den Funktionen **perror(3)** und **strerror(3)** ausgegeben bzw. in lesbare Strings umgewandelt werden

```
char *mem = malloc(...); // malloc gibt im Fehlerfall
if(NULL == mem) {        // NULL zurück
    fprintf(stderr, "%s:%d: malloc failed with reason: %s\n",
        __FILE__, __LINE__-3, strerror(errno));
    perror("malloc");     // Alternative zu strerror + fprintf
    exit(EXIT_FAILURE);   // Programm mit Fehlercode beenden
}
```

# 2 Ausgabe von Fehlermeldungen

- Fehlermeldungen und Warnungen immer auf den Standardfehlerkanal
  - ◆ auch Warnungen des Programms: z.B. "Wort zu lang"
- Keine ungeforderten Ausgaben auf die Standardausgabe
  - ◆ wie z.B. "Hier kommt die sortierte Ausgabe"
  - ◆ beeinträchtigt die Verwendbarkeit des Programms in der Stapelverarbeitung
  - ◆ erschwert die Vergleichbarkeit mit anderen Lösungen

### 3 Fehlererkennung - Spezialfunktionen

- Signalisierung von Fehlern normalerweise durch Rückgabewert
- Nicht bei allen Funktionen möglich, z.B. **fgets(3)**

```
while (fgets(buffer, 102, stdin) != NULL) {
    ...
}
// EOF oder Fehler?
```

- Rückgabewert `NULL` sowohl im Fehlerfall als auch bei End-of-File
- Erkennung im Fall von I/O-Streams mit **ferror(3)** und **feof(3)**

```
while (fgets(buffer, 102, stdin) != NULL) {
    ...
}
// EOF oder Fehler?
if(ferror(stdin)) {
    // Fehler
}
```

### 4 Fehlererkennung - Auswertung von `errno`

- Nicht in allen Fällen existieren solche Spezialfunktionen
- Allgemeiner Ansatz durch Setzen und Prüfen von `errno`

```
#include <errno.h>

while (errno=0, readdir(...) != NULL) {
    ... // keine break-Statements in der Schleife
}
// Ende oder Fehler?
if(errno != 0) {
    // Fehler
}
```

- `errno=0` *unmittelbar* vor Aufruf der problematischen Funktion
  - ➔ `errno` wird nur im Fehlerfall gesetzt und bleibt sonst evtl. unverändert
- Abfrage der `errno` *unmittelbar* nach Rückgabe des pot. Fehlerwerts
  - ➔ `errno` könnte sonst durch andere Funktion verändert werden

## U3-2 Heap - vs. Stackallokation

### ■ Beispiel mit Heapallokation:

```
char *buffer = (char *) malloc(102 * sizeof(char));
if ( NULL == buffer ) {
    perror("malloc"); exit(EXIT_FAILURE);
}
while (fgets(buffer, 102, stdin) != NULL) {
    ... strcpy(somewhere_else, buffer); ...
}
free(buffer);
```

- teure Allokations- und Freigabeoperationen (siehe Aufgabe 4)
- erfordert Fehlerbehandlung
- viel Schreibaarbeit
  - ◆ verschlechtert Code-Lesbarkeit
  - ◆ zeitaufwendig (z.B. in der Klausur)

## U3-2 Heap - vs. Stackallokation

### ■ Alternative: (dynamische) Stackallokation

```
char buffer[102];

while (fgets(buffer, 102, stdin) != NULL) {
    ... strcpy(somewhere_else, buffer); ...
}
```

- Sehr effizient
  - ◆ Allokation: Stackpointer -= 102;
  - ◆ Freigabe: Stackpointer += 102;
- Keine Fehlerbehandlung durch das Programm
  - ◆ Stacküberlauf wird ggf. vom Betriebssystem erkannt (SIGSEGV)
- Implizite Freigabe beim Verlassen der Funktion
- Keine Speicherlecks möglich

## U3-3 Abgabesystem: Team-Arbeit

- Gemeinsame Bearbeitung im Repository eines Teammitglieds
  - ◆ Repository-Eigentümer: *alice*
  - ◆ Partner (nutzt Repository von *alice*): *bob*
- Abgabe erfolgt ebenfalls im Repository des Eigentümers
  - ◆ es ist nur eine Abgabe erforderlich
- **Hinweis:** bei Verständnis-Problemen zu Subversion empfiehlt sich die Lektüre zumindest der ersten beiden Kapitel des SVN-Buchs
  - ◆ <http://svnbook.red-bean.com/>
- Machen Sie sich frühzeitig mit dem Bearbeitungs-/Abgabeprozess vertraut
  - ◆ Arbeiten Sie von Beginn an in Ihrem Projektverzeichnis
  - ◆ Checken Sie auch Zwischenstände Ihrer Bearbeitung in der Repository ein
  - ◆ Sie können zu Beginn auch leere Dateien einchecken und abgeben
  - ◆ selbstverschuldetete verspätete Abgaben werden nicht angenommen!

### 1 Ablauf für den Hauptbearbeiter

- Der Partner wird für jede Team-Aufgabe separat festgelegt

```
alice@fau101$ /proj/i4sp/bin/set-partner aufgabe3 bob
```

- Hintergrund

- ◆ Erzeugung und Commit einer Textdatei `partner` in `trunk/aufgabe3`
- ◆ diese Datei enthält den Login-Namen (*bob*) des Partners für diese Aufgabe
- ◆ Partner erhält Zugriff auf die relevanten Teile des Repositories
  - `trunk/aufgabe3`
  - `branches/aufgabe3`

- Abgabe wie gewohnt

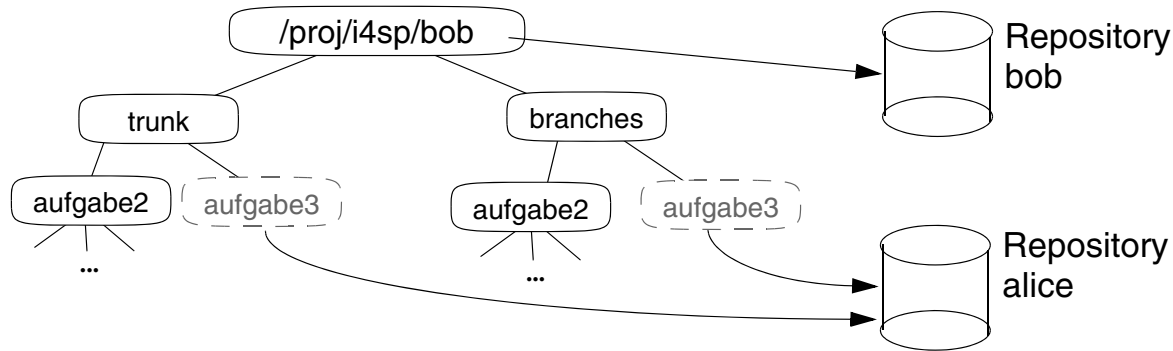
```
alice@fau101$ /proj/i4sp/bin/submit aufgabe3
```

## 2 Ablauf für den Partner

- Partner setzt in seinem Repository einen Verweis auf Hauptrepository

```
bob@fau01$ /proj/i4sp/bin/import-from-partner aufgabe3 alice
```

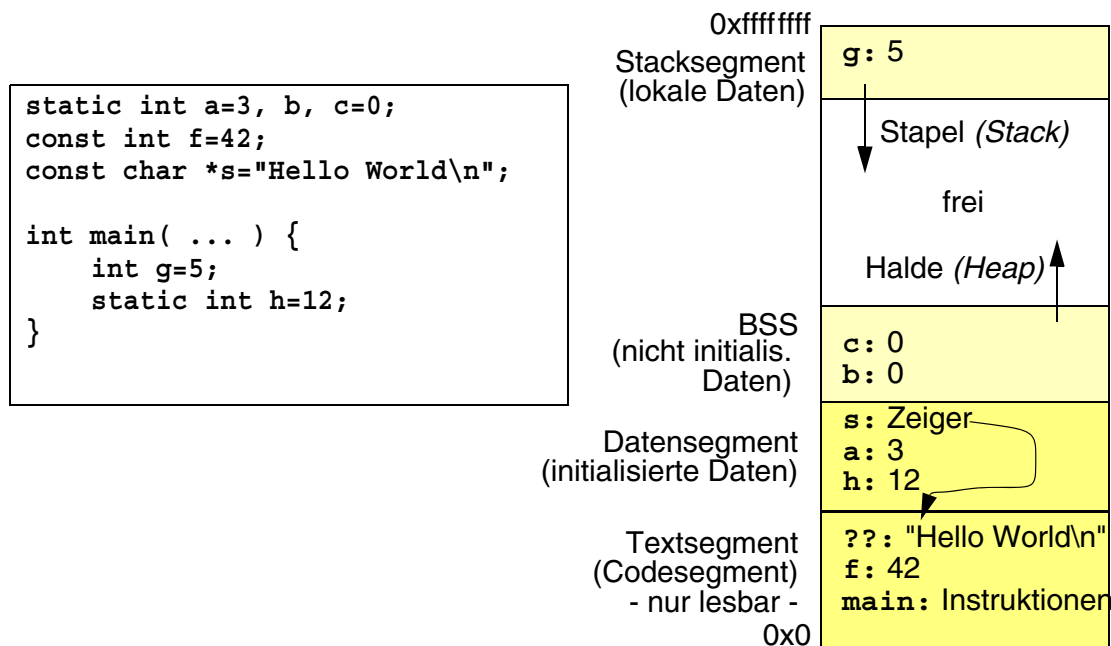
- ◆ technisch: svn:external-Property
- ◆ irrelevant für Abgabe, unterstützt nur den Prozess der Teamarbeit
- ◆ Achtung: Abgabe im eigenen Repository überlagert Partnerabgabe
  - ➔ zum Umstieg auf Teamarbeit eigene Abgabe löschen (Übungsleiter hilft)



- Arbeit und Abgabe in der eigenen Arbeitskopie normal möglich

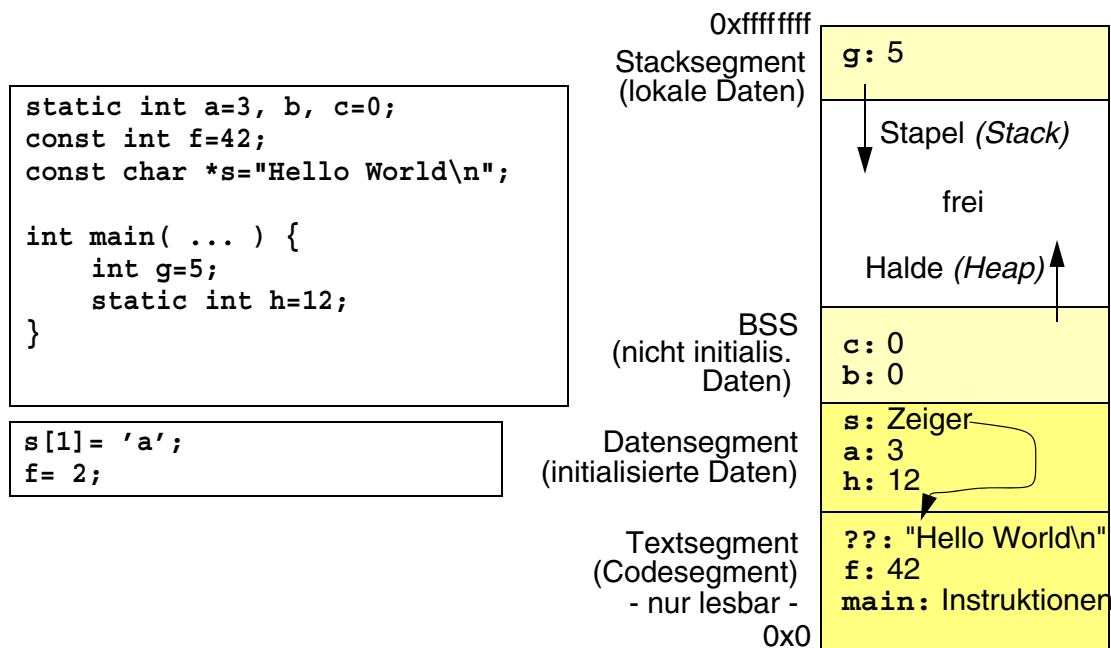
## U3-4 Speicheraufbau eines Prozesses (UNIX)

- Aufteilung des Hauptspeichers eines Prozesses in Segmente



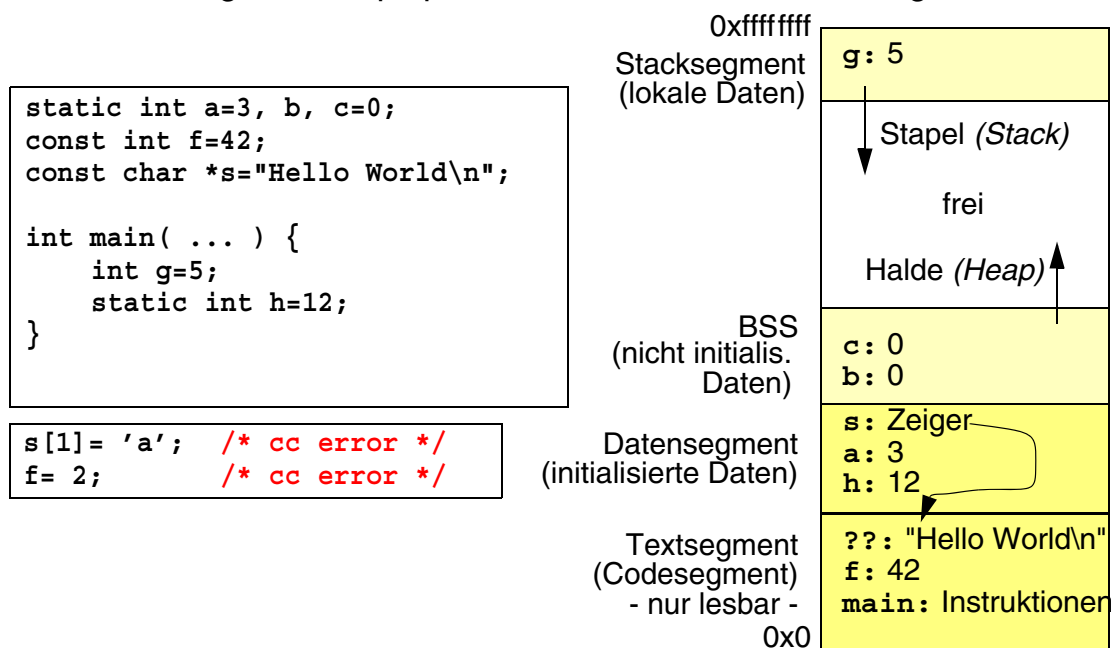
## U3-4 Speicheraufbau eines Prozesses (UNIX)

### ■ Aufteilung des Hauptspeichers eines Prozesses in Segmente



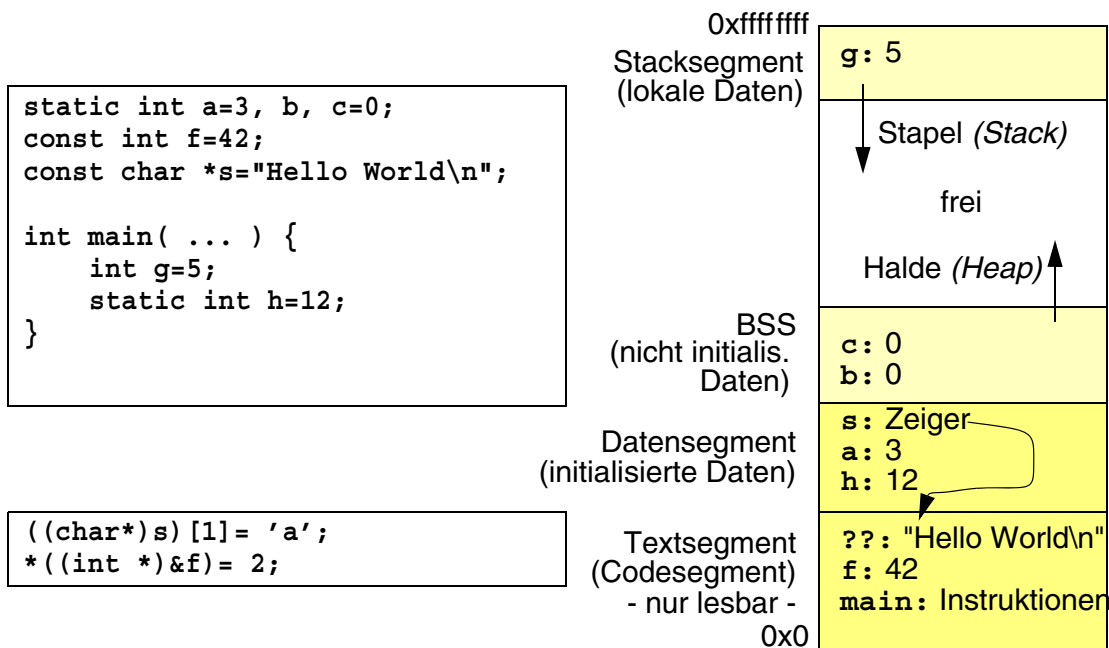
## U3-4 Speicheraufbau eines Prozesses (UNIX)

### ■ Aufteilung des Hauptspeichers eines Prozesses in Segmente



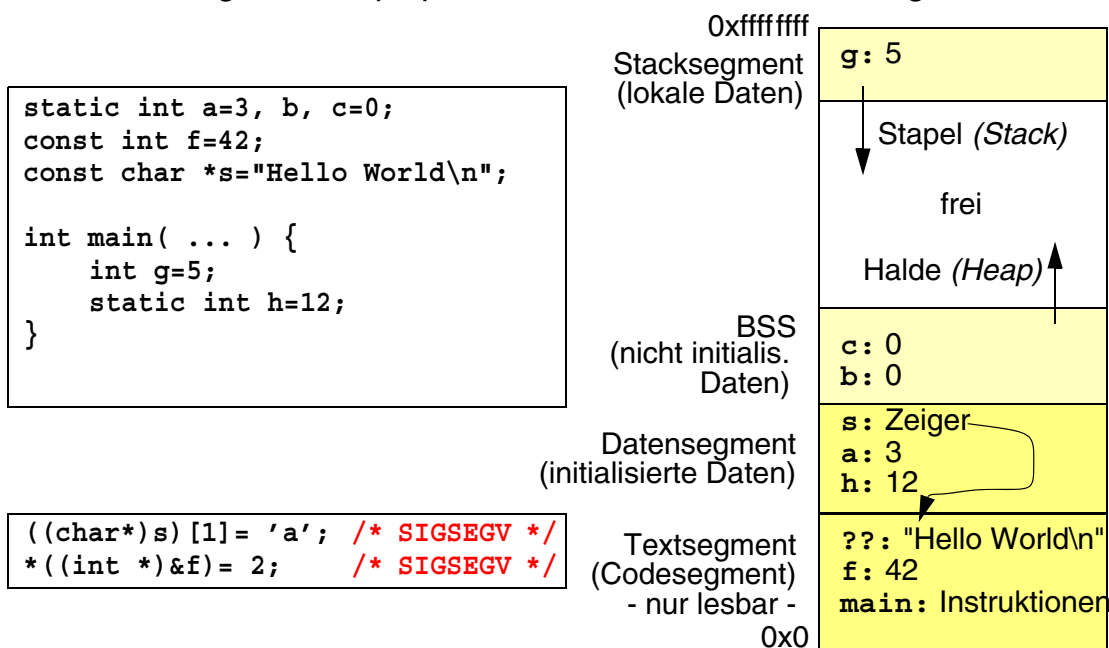
## U3-4 Speicheraufbau eines Prozesses (UNIX)

### ■ Aufteilung des Hauptspeichers eines Prozesses in Segmente



## U3-4 Speicheraufbau eines Prozesses (UNIX)

### ■ Aufteilung des Hauptspeichers eines Prozesses in Segmente



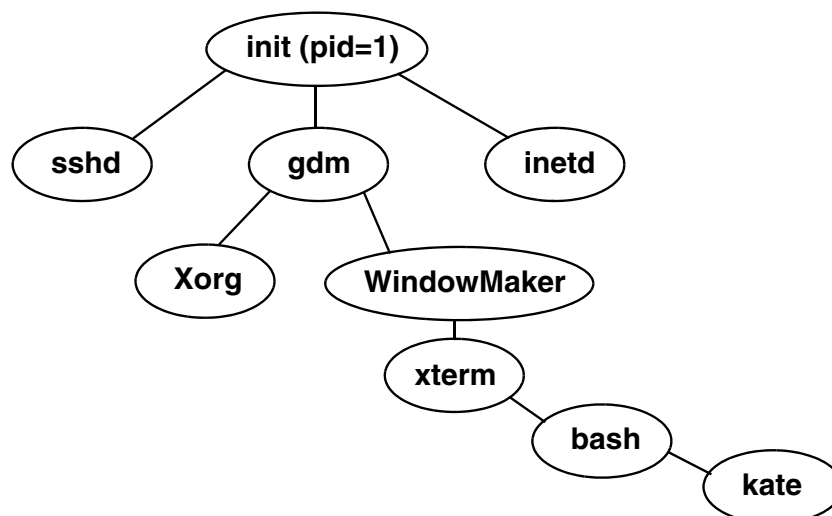


## U3-5 Prozesse: Überblick

- 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

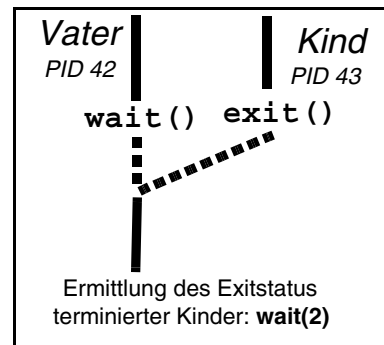
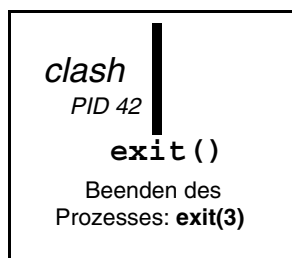
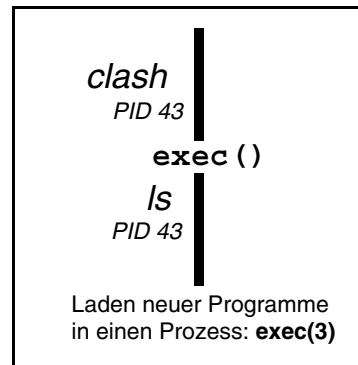
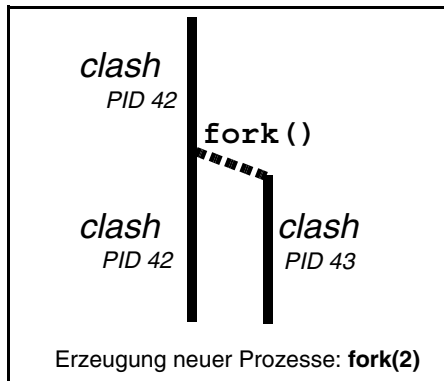
## U3-5 UNIX-Prozesshierarchie

- Zwischen Prozessen bestehen Vater-Kind-Beziehungen
  - ◆ der erste Prozess wird direkt vom Systemkern gestartet (z.B. System V *init*)
  - ◆ es entsteht ein Baum von Prozessen bzw. eine Prozesshierarchie



- ◆ Beispiel: **kate** ist ein Kind von **bash**, **bash** wiederum ein Kind von **xterm**

# U3-6 POSIX Prozess-Systemfunktionen

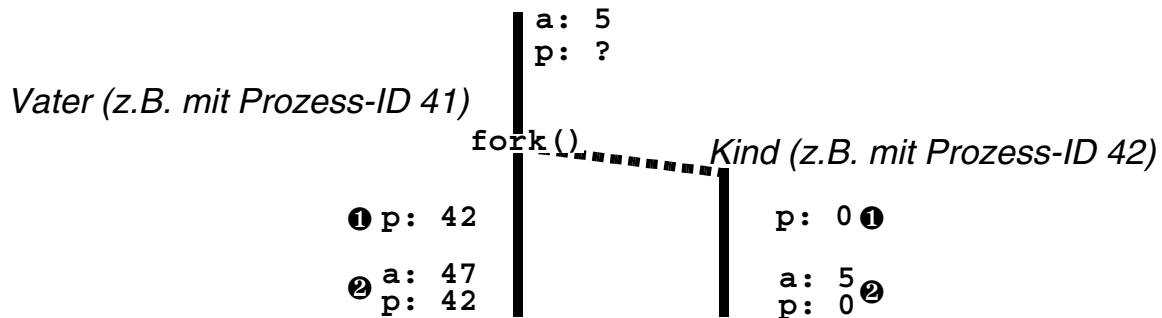


## 1 fork(2): Erzeugung eines neuen Prozesses

- Erzeugt einen neuen Kindprozess
- Exakte Kopie des Vaters...
  - ◆ Datensegment (neue Kopie, gleiche Daten)
  - ◆ Stacksegment (neue Kopie, gleiche Daten)
  - ◆ Textsegment (gemeinsam genutzt, da nur lesbar)
  - ◆ Filedescriptoren (geöffnete Dateien)
  - ◆ ...
- ...mit Ausnahme der Prozess-ID
- Kind startet Ausführung hinter dem fork() mit dem geerbten Zustand
  - das ausgeführte Programm muss anhand der PID (Rückgabewert von **fork()**) entscheiden, ob es sich um den Vater- oder den Kindprozess handelt

## 1 fork(2): Beispiel

```
int a=5; pid_t p = fork(); ❶
a += p; ❷
switch(p) {
    case -1: // fork-Fehler, es wurde kein Kind erzeugt
        ...
    case 0: // Hier befinden wir uns im Kind
        ...
    default: // Hier befinden wir uns im Vater
        ...
}
```



## 2 exec(3)

- Lädt Programm zur Ausführung in den aktuellen Prozess
- **ersetzt** aktuell ausgeführtes Programm: Text-, Daten- und Stacksegment
- behält: Filedescriptoren (= geöffnete Dateien), Arbeitsverzeichnis, ...
- Aufrufparameter:
  - ◆ Dateiname des neuen Programmes (z.B. `"/bin/cp"`)
  - ◆ Argumente, die der `main`-Funktion des neuen Programms übergeben werden (z.B. `"/bin/cp"`, `"/etc/passwd"`, `"/tmp/passwd"`)
  - ◆ evtl. Umgebungsvariablen

### ■ Beispiel

```
execl("/bin/cp", "/bin/cp", "/etc/passwd", "/tmp/passwd", NULL);
```

- `exec` kehrt nur **im Fehlerfall** zurück

## 2 exec(3) Varianten

- mit Angabe des vollen Pfads der Programm-Datei in `path`

```
int execl(const char *path, const char *arg0, ...
          /*, (char *) NULL */);
```

```
int execv(const char *path, char *const argv[]);
```

- zum Suchen von `file` wird die Umgebungsvariable `PATH` verwendet

```
int execlp(const char *file, const char *arg0, ...
          /*, (char *) NULL */);
```

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

## 3 exit(3)

- beendet aktuellen Prozess mit einem Status-Byte
  - Konvention: Status 0 bedeutet Erfolg, alles andere eine Fehlernummer
  - Bedeutung der Exitstatus üblicherweise in Manpage dokumentiert
  - Exitstatus `EXIT_FAILURE` und `EXIT_SUCCESS` vordefiniert

- gibt alle Ressourcen frei, die der Prozess belegt hat, z.B.

- ◆ Speicher
- ◆ Filedeskriptoren (schließt alle offenen Files)
- ◆ Kerndaten, die für die Prozessverwaltung verwendet wurden

- Prozess geht in den *Zombie*-Zustand über

- ◆ ermöglicht es dem Vater auf den Tod des Kindes zu reagieren (**wait(2)**)
- ◆ Zombie-Prozesse belegen Systemressourcen und sollten schnellstmöglich beseitigt werden!
- ◆ ist der Vater schon vor dem Kind terminiert, so wird der Zombie an den Prozess mit PID 1 (z.B. *init*) weitergereicht, welcher diesen sofort beseitigt

## 4 wait(2)

- Warten auf Statusinformationen von Kind-Prozessen (Rückgabe: PID)  
`pid_t wait(int *status);`

- Beispiel:

```
int main(int argc, char *argv[]) {
    pid_t pid;
    if ((pid=fork()) > 0) { // Vater
        int status;
        wait(&status);      // Fehlerbehandlung nicht vergessen
        printf("Kindstatus: %x", status); // nackte Status-Bits ausg.
    } else if (pid == 0) { // Kind
        execl("/bin/cp", "/bin/cp", "x.txt", "y.txt", NULL);
        // diese Stelle wird nur im Fehlerfall erreicht
        perror("exec /bin/cp"); exit(EXIT_FAILURE);
    } else {
        // Fehler bei fork
        ...
    }
}
```

## 4 wait(2)

- `wait` blockiert, bis ein Kind-Prozess terminiert oder gestoppt wird
  - ◆ `pid` dieses Kind-Prozesses wird als Rückgabewert geliefert
  - ◆ als Parameter kann ein Zeiger auf einen `int`-Wert mitgegeben werden, in dem der Exitstatus (**16 Bit**) des Kind-Prozesses abgelegt wird
  - ◆ in den Status-Bits wird eingetragen "was dem Kind-Prozess zugestoßen ist", Details können über Makros abgefragt werden:
    - Prozess mit `exit()` terminiert: `WIFEXITED(status)`
      - exit-Parameter (unteres Byte): `WEXITSTATUS(status)`
    - Prozess durch Signal abgebrochen: `WIFSIGNALED(status)`
      - Nummer des Signals: `WTERMSIG(status)`
  - ◆ weitere siehe man 2 wait

## 5 waitpid(2)

### ■ Mächtigere Variante von wait(2)

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

### ■ Wartet auf Statusänderung

- ◆ *bestimmten* Prozesses: `pid > 0`
- ◆ *beliebigen* Kindprozesses: `pid == -1`
- ◆ eines Prozesses derselben Prozessgruppe: `pid == 0`
- ◆ eines Prozesses einer *bestimmten* Prozessgruppe: `pid < -1`

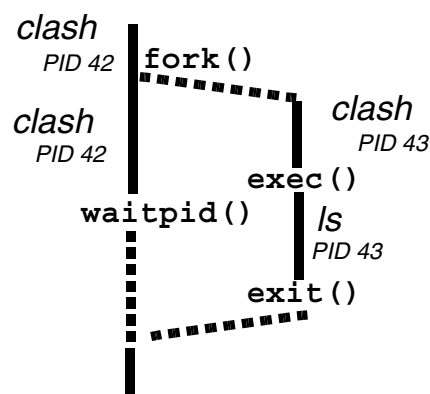
### ■ Verhalten mit *Optionen* anpassbar

- ◆ **WNOHANG**: **waitpid** kehrt sofort zurück, wenn kein passender Zombie verfügbar ist
- ◆ eignet sich zum Polling nach Zombieprozessen

## U3-7 Aufgabe 4: Einfache Shell im Eigenbau

### 1 Funktionsweise

#### ■ Eingabezeile, aus der der Benutzer Programme starten kann



#### ■ Erzeugt einen neuen Prozess und startet in diesem das Programm

#### ■ Wartet auf Ende des Prozesses und gibt dann dessen Exitstatus aus

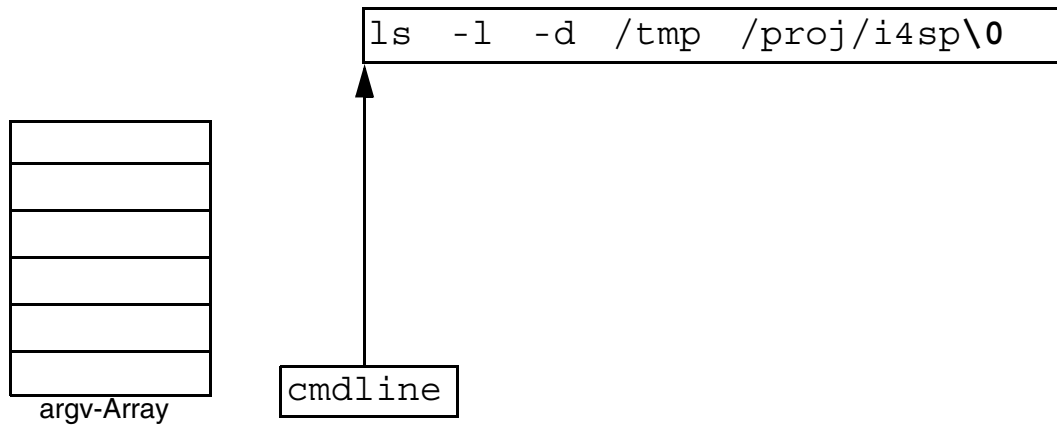
## 2 Aufteilung der Kommandozeile

- Anzahl der Kommandoparameter beim Programmieren
  - gibt der Benutzer mit der Eingabe vor
  - können von Kommando zu Kommando unterschiedlich sein
  - die l-Varianten von exec können nicht verwendet werden
- Die v-Varianten von exec erhalten ein Argumentenarray als Parameter
  - dieses kann zur Laufzeit konstruiert werden
  - hierzu muss die Kommandozeile in aufgeteilt werden (Trenner '\t' und ' ')
  - das Argumentenarray ist ein Feld von Zeigern auf die einzelnen Token
  - terminiert mit einem NULL-Zeiger
- Zum Aufteilen der Kommandozeile kann **strtok(3)** benutzt werden

## 2 strtok

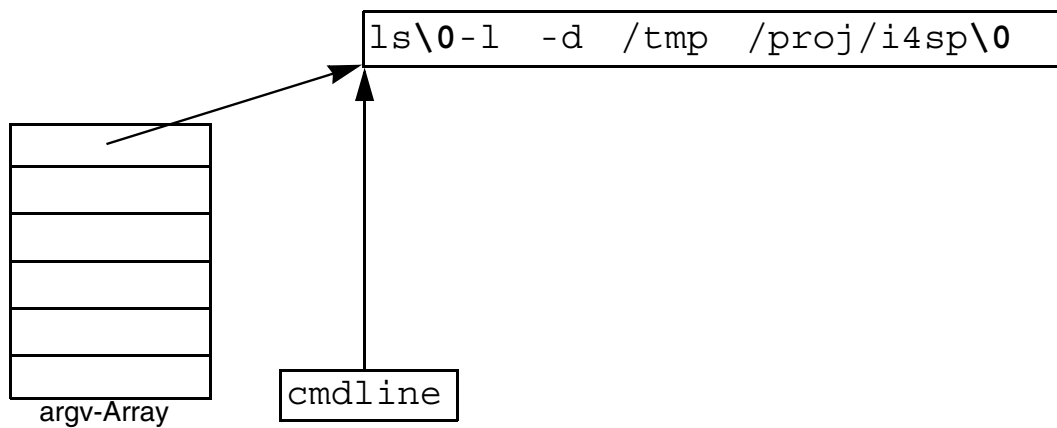
- **strtok(3)** teilt einen String in *Tokens* auf, die durch bestimmte Trennzeichen getrennt sind
- ```
char *strtok(char *str, const char *delim);
```
- Wird sukzessive aufgerufen und liefert jeweils einen Zeiger auf das nächste Token (mehrere aufeinanderfolgende Trennzeichen werden hierbei übersprungen)
    - ◆ `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** `NULL` zurück

## 2 strtok-Beispiel



- Kommandozeile befindet sich als '`\0`'-terminierter String im Speicher

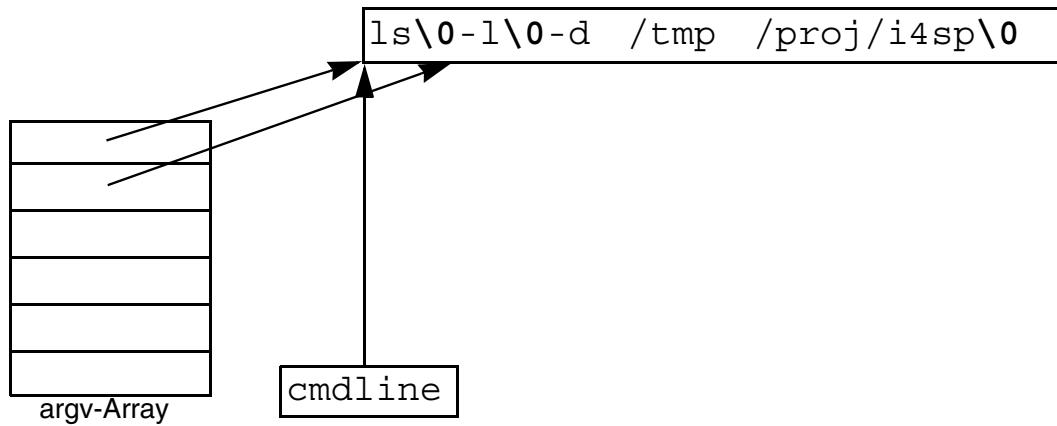
## 2 strtok-Beispiel



- Erster **strtok**-Aufruf mit dem Zeiger auf diesen Speicherbereich
- **strtok** liefert Zeiger auf erstes Token `/s` und ersetzt den Folgetrenner mit '`\0`'

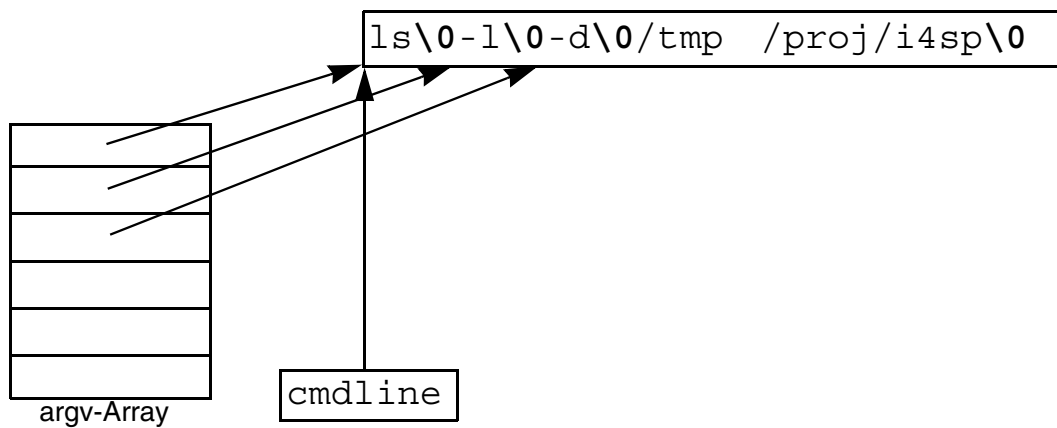


## 2 strtok-Beispiel



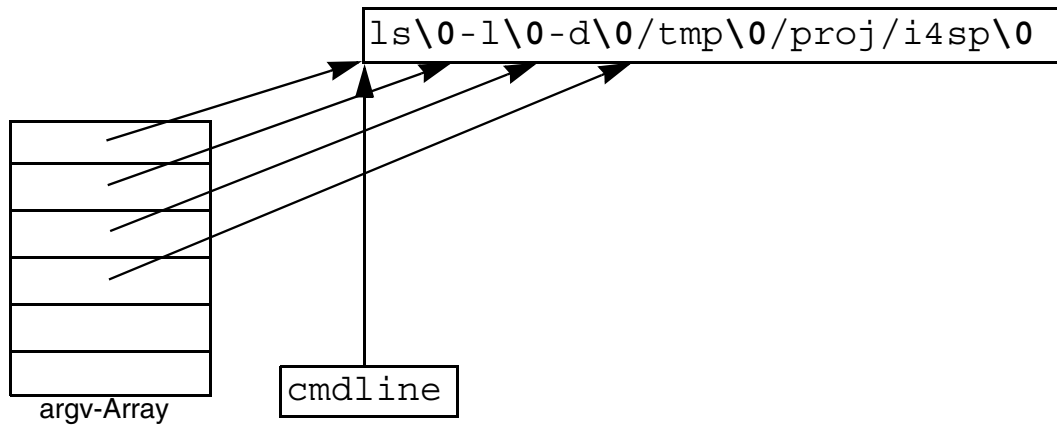
- Weitere Aufrufe von **strtok** nun mit einem `NULL`-Zeiger
- **strtok** liefert jeweils Zeiger auf das nächste Token

## 2 strtok-Beispiel



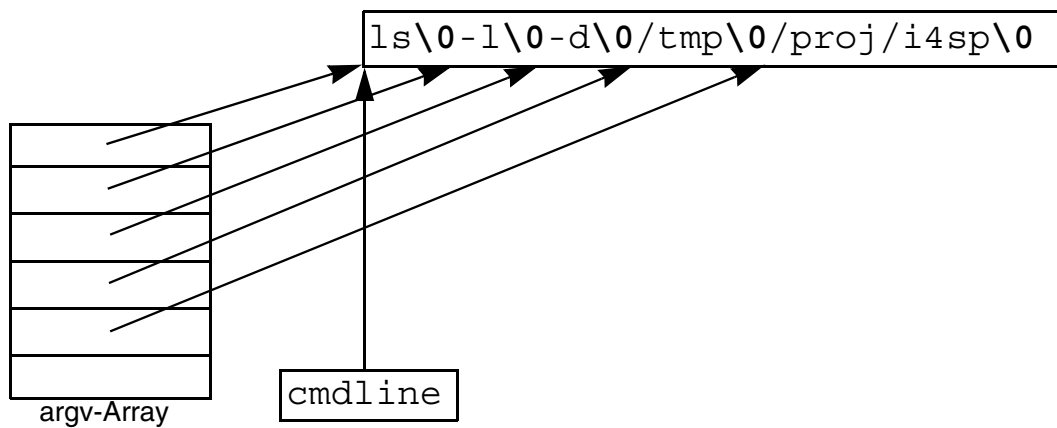
- Weitere Aufrufe von **strtok** nun mit einem `NULL`-Zeiger
- **strtok** liefert jeweils Zeiger auf das nächste Token

## 2 strtok-Beispiel



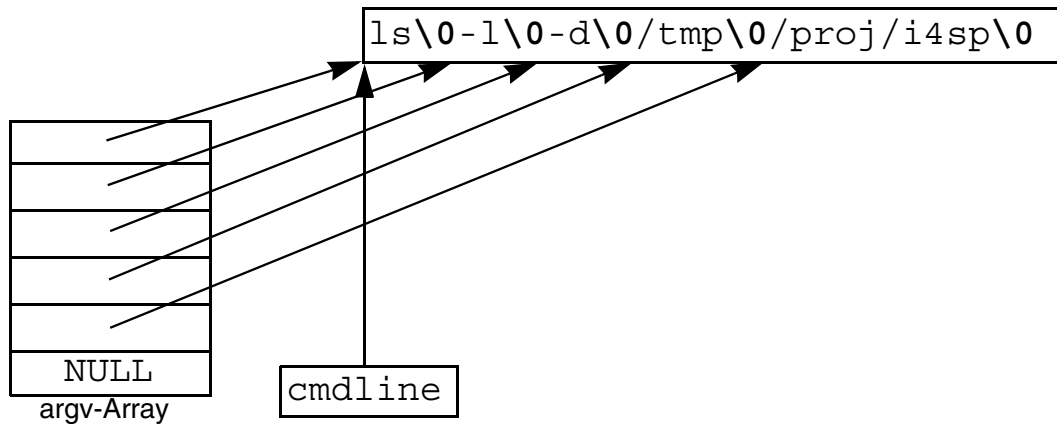
- Weitere Aufrufe von **strtok** nun mit einem `NULL`-Zeiger
- **strtok** liefert jeweils Zeiger auf das nächste Token

## 2 strtok-Beispiel



- Weitere Aufrufe von **strtok** nun mit einem `NULL`-Zeiger
- **strtok** liefert jeweils Zeiger auf das nächste Token

## 2 strtok-Beispiel



- Weitere Aufrufe von **strtok** nun mit einem `NULL`-Zeiger
- Am Ende liefert **strtok** `NULL` und das `argv-Array` hat die nötige Form

## 3 Ermitteln von Systemlimits

- Funktion **sysconf(3)**

```
long sysconf(int name);
```
- Abfrage von Konfigurationsoptionen des Betriebssystems, z.B.
  - ◆ `_SC_ARG_MAX`: Maximale Länge der Kommandozeile für **exec(3)**
  - ◆ `_SC_LINE_MAX`: Maximale Länge einer Eingabezeile (**stdin** oder Datei)
- Abfrage zur Laufzeit durch Aufruf von `sysconf` mit Options-ID (s. oben)
- Alternativ Verwendung von Makros zur Übersetzungszeit (`limits.h`)
  - ◆ `ARG_MAX`
  - ◆ `LINE_MAX`