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
    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 Skripten
  - ◆ 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 Schreibarbeit
  - ◆ 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 das Repository ein
  - Sie können zu Beginn auch leere Dateien einchecken und abgeben
  - selbstverschuldet verspätete Abgaben werden nicht angenommen!

1 Ablauf für den Repository-Eigentümer

- Der Partner wird für jede Team-Aufgabe separat festgelegt

```
alice@faui01$ /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

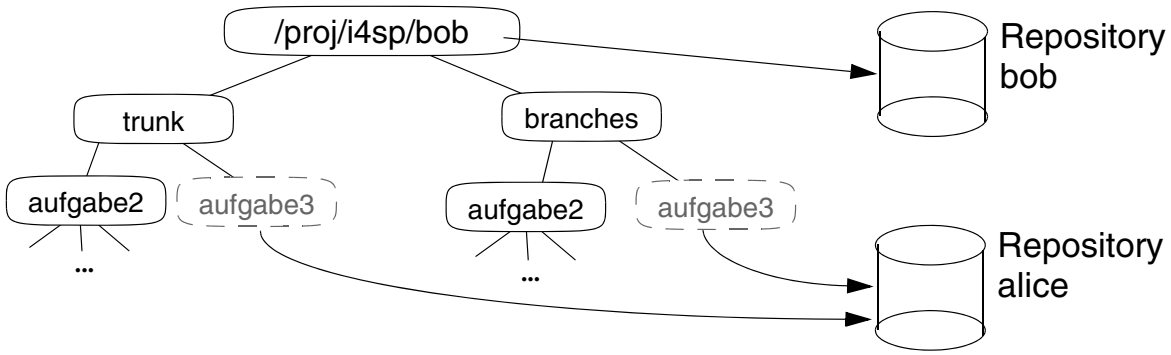
```
alice@faui01$ /proj/i4sp/bin/submit aufgabe3
```

2 Ablauf für den Partner

- Partner setzt in seinem Repository einen Verweis auf Hauptrepository

```
bob@faui01$ /proj/i4sp/bin/import-from-partner aufgabe3 alice
```

  - technisch: svn:externals-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)



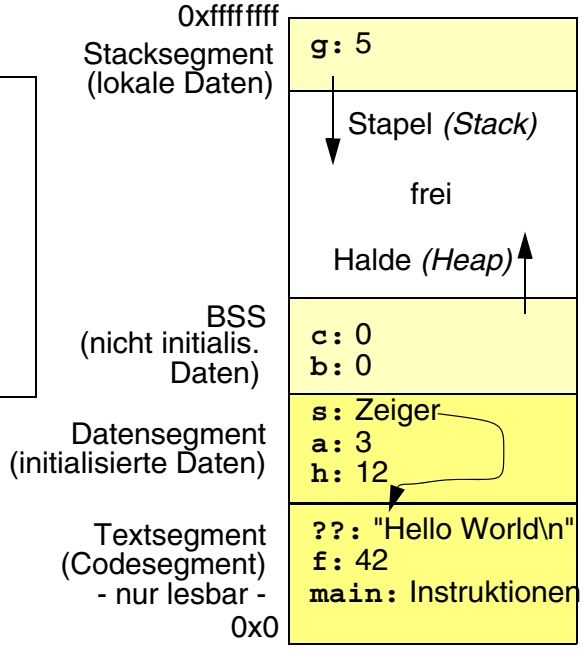
- Arbeit und Abgabe in der eigenen Arbeitskopie normal möglich

U3-4 Speicheraufbau eines Prozesses (UNIX)

- Aufteilung des Hauptspeichers eines Prozesses in Segmente

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

int main( ... ) {
    int g=5;
    static int h=12;
    return(EXIT_SUCCESS);
}
```



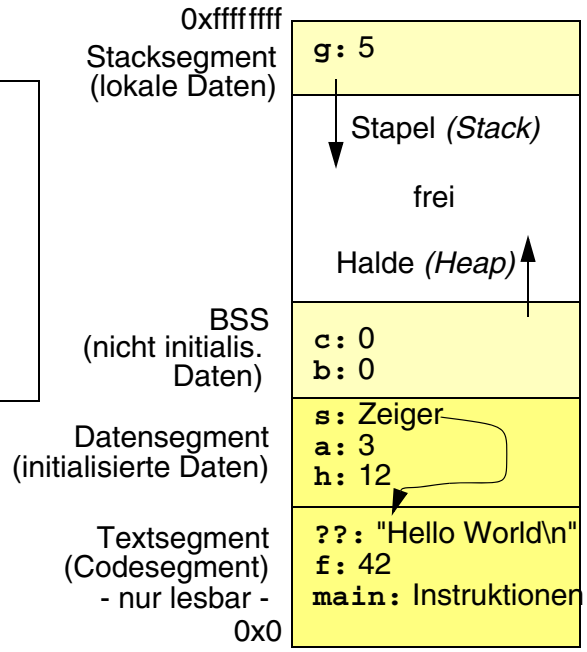
U3-4 Speicheraufbau eines Prozesses (UNIX)

- Aufteilung des Hauptspeichers eines Prozesses in Segmente

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

int main( ... ) {
    int g=5;
    static int h=12;
    return(EXIT_SUCCESS);
}
```

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



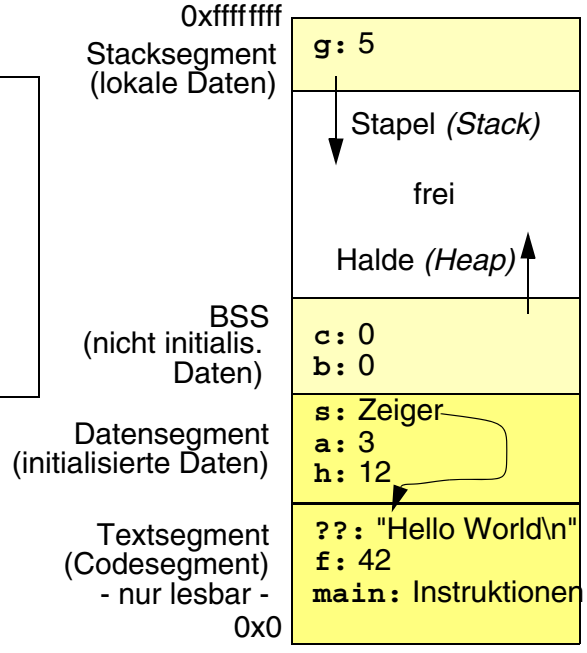
U3-4 Speicheraufbau eines Prozesses (UNIX)

- Aufteilung des Hauptspeichers eines Prozesses in Segmente

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

int main( ... ) {
    int g=5;
    static int h=12;
    return(EXIT_SUCCESS);
}
```

```
s[1]= 'a';   /* cc error */
f= 2;        /* cc error */
```



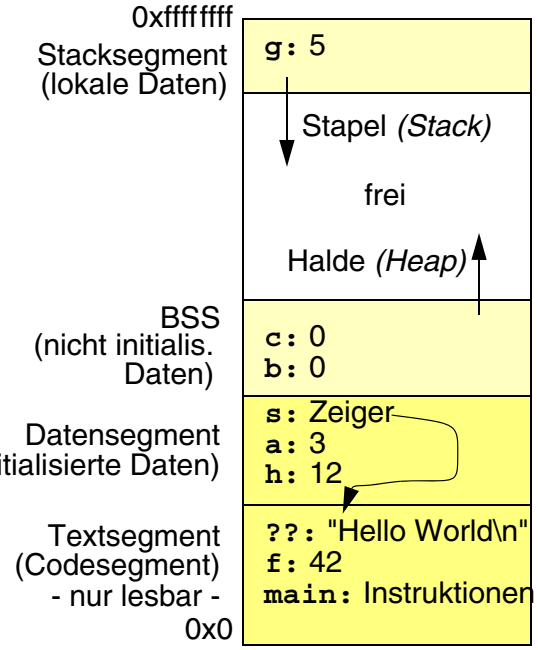
U3-4 Speicheraufbau eines Prozesses (UNIX)

- Aufteilung des Hauptspeichers eines Prozesses in Segmente

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

int main( ... ) {
    int g=5;
    static int h=12;
    return(EXIT_SUCCESS);
}
```

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



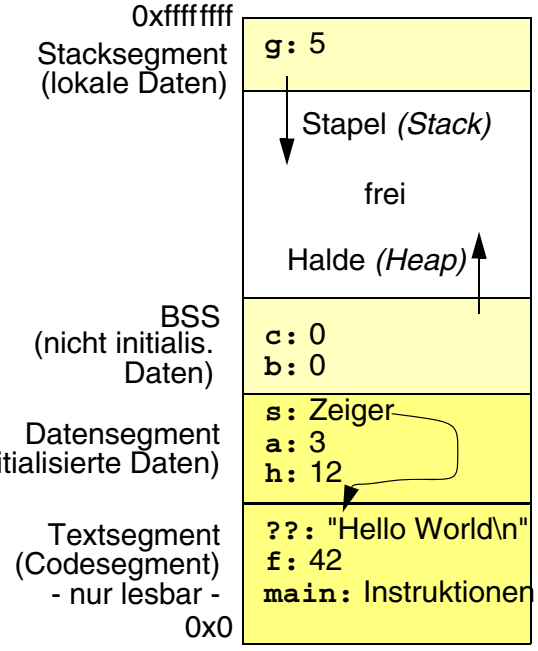
U3-4 Speicheraufbau eines Prozesses (UNIX)

- Aufteilung des Hauptspeichers eines Prozesses in Segmente

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

int main( ... ) {
    int g=5;
    static int h=12;
    return(EXIT_SUCCESS);
}
```

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

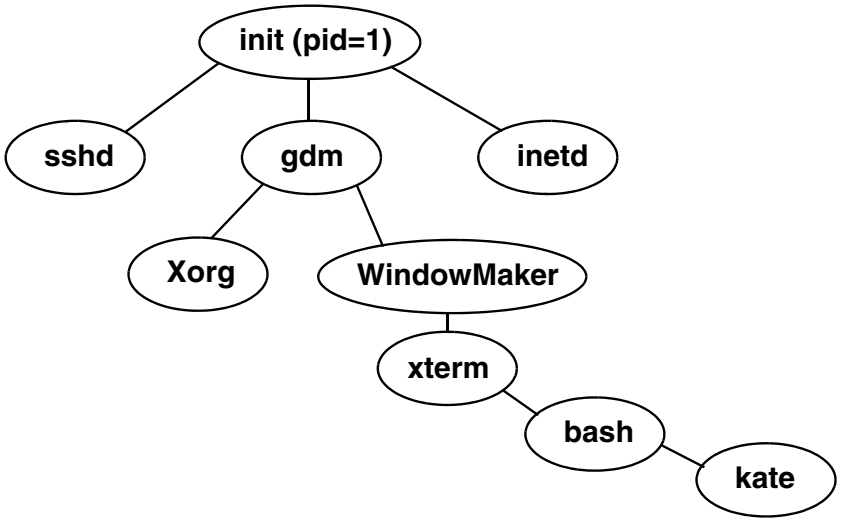


U3-5 Prozesse: Überblick

- Prozesse sind eine Ausführumgebung 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

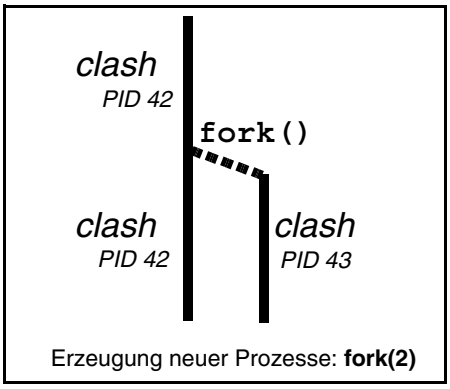
U3-5 UNIX-Prozesshierarchie

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

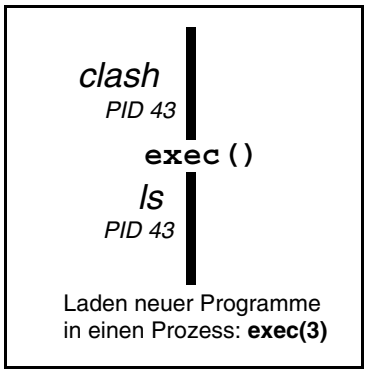


  - Beispiel: **kate** ist ein Kind von **bash**, **bash** wiederum ein Kind von **xterm**

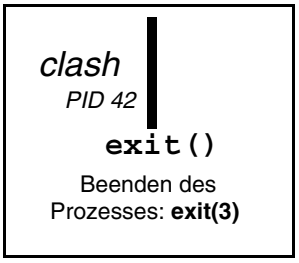
U3-6 POSIX Prozess-Systemfunktionen



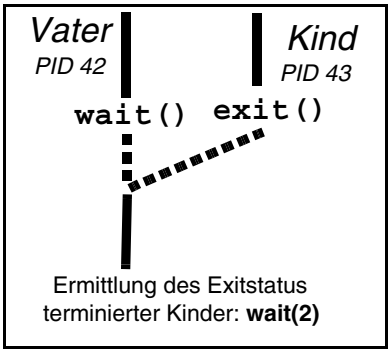
Erzeugung neuer Prozesse: **fork(2)**



Laden neuer Programme in einen Prozess: **exec(3)**



Beenden des Prozesses: **exit(3)**



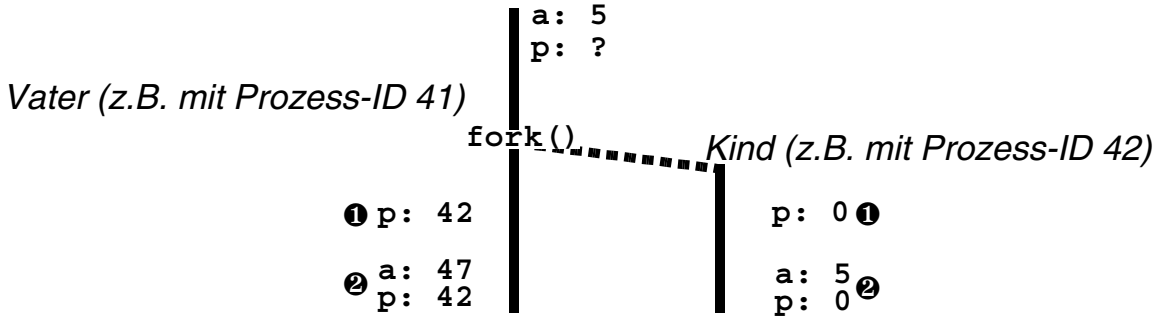
Ermittlung des Exitstatus terminierter Kinder: **wait(2)**

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)
  - Filedeskriptoren (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: Filedeskriptoren (= 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 Dateien)
  - ◆ 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)`
    - ➤ weitere siehe `man 2 wait`

5 waitpid(2)

- Mächtigere Variante von wait(2)

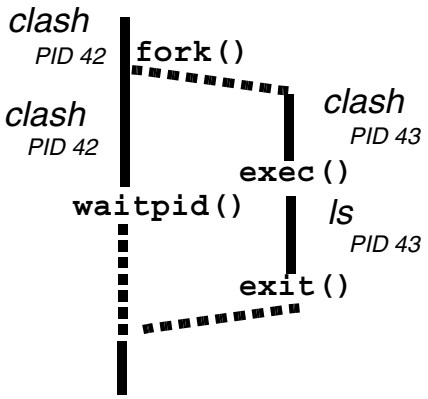
```
pid_t waitpid(pid_t pid, int *status, int options);
```

- Wartet auf Statusänderung eines
  - *bestimmten* Prozesses: `pid>0`
  - *beliebigen* Kindprozesses: `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
  - 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 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

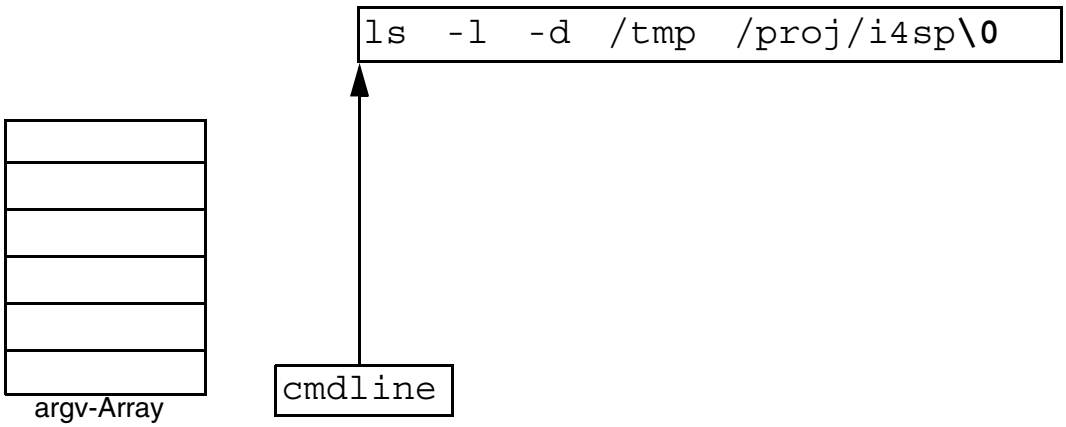
2 strtok

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

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

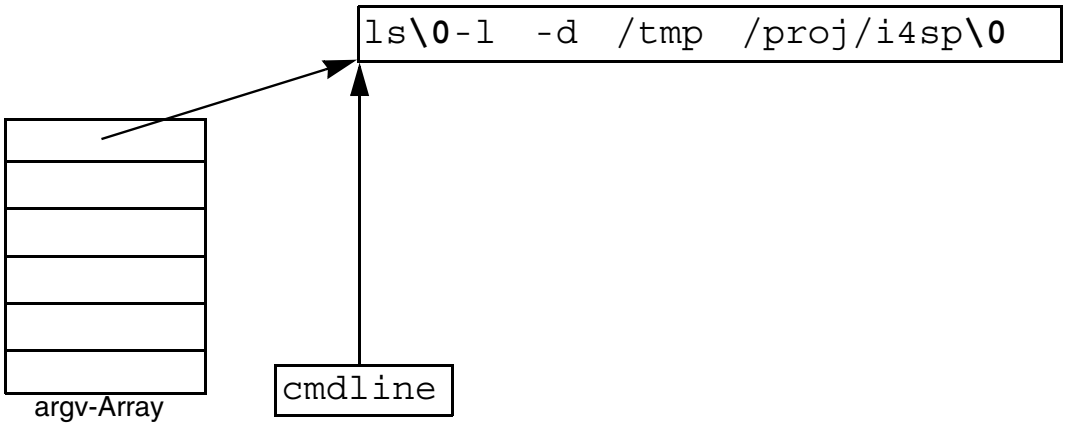
- Wird sukzessive aufgerufen und liefert jeweils einen Zeiger auf das nächste Token (mehrere aufeinanderfolgende Trennzeichen werden hierbei übersprungen)
  - `str` ist im ersten Aufruf ein Zeiger auf den zu teilenden String, in allen Folgeaufrufen `NULL`
  - `delim` ist ein String, der alle Trennzeichen 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



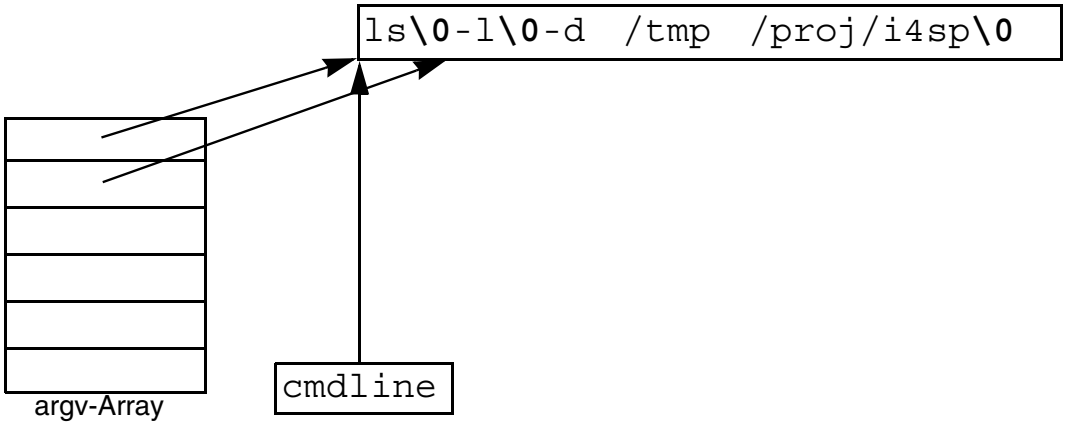
- Kommandozeile befindet sich als `'\0'`-terminierter String im Speicher

2 strtok-Beispiel



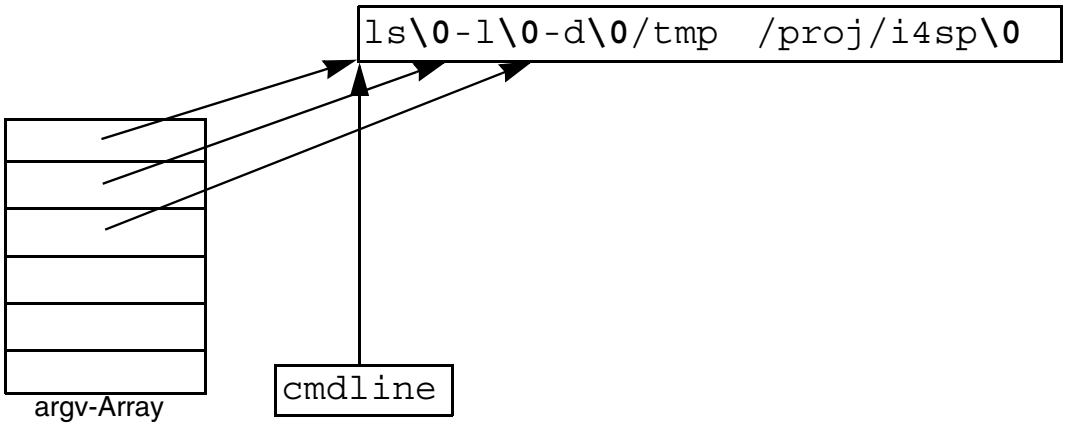
- Erster **strtok**-Aufruf mit dem Zeiger auf diesen Speicherbereich
- **strtok** liefert Zeiger auf erstes Token *ls* und ersetzt den Folgetrenner mit `'\0'`

2 strtok-Beispiel



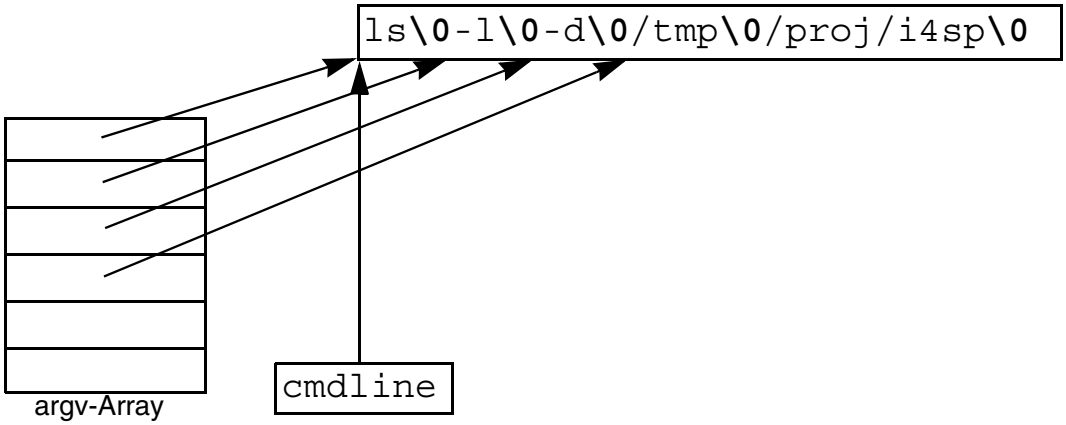
- Weitere Aufrufe von **strtok** nun mit einem `NULL`-Zeiger
- **strtok** liefert jeweils Zeiger auf das nächste Token

2 strtok-Beispiel



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

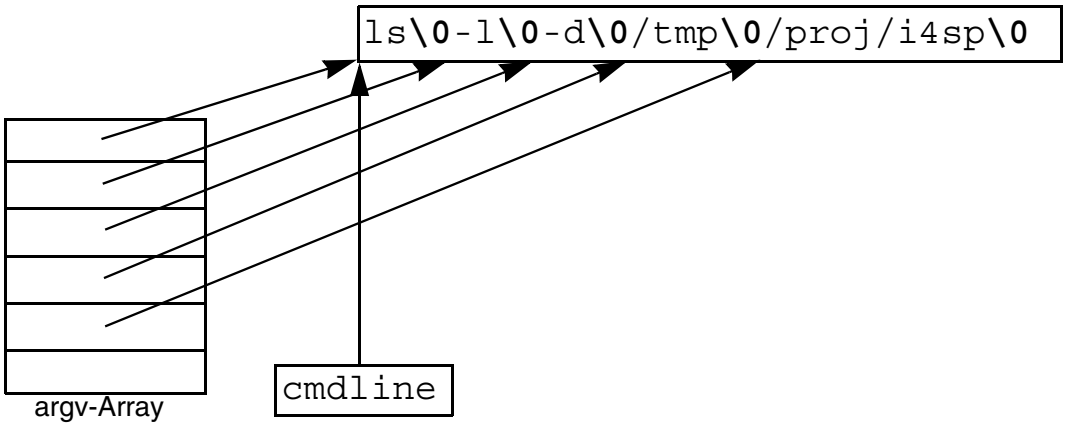
2 strtok-Beispiel



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

U3-7 Aufgabe 4: Einfache Shell im Eigenbau

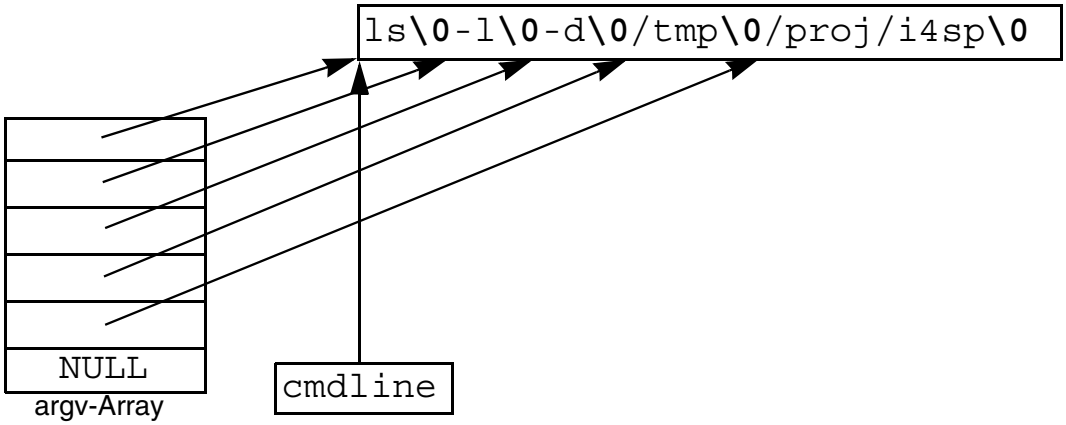
2 strtok-Beispiel



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

SP - Ü

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)