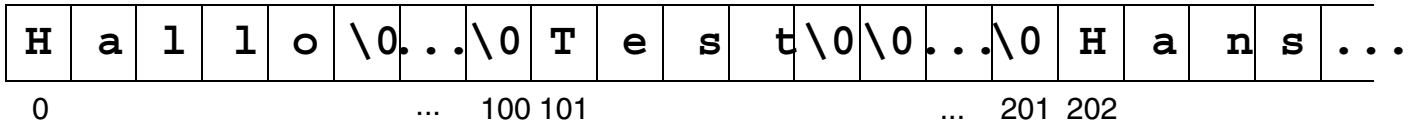
# U4 4. Übung

- Besprechung Aufgabe 2
- dynamische Speicherallokation vs. Stackallokation
- Fehlerbehandlung
- Speicheraufbau eines Prozesses
- Prozesse: fork, exec, wait
- Aufgabe 4

# U4-1 Aufgabe 2: Sortieren mittels qsort

## 1 wsort - Datenstrukturen (1. Möglichkeit)

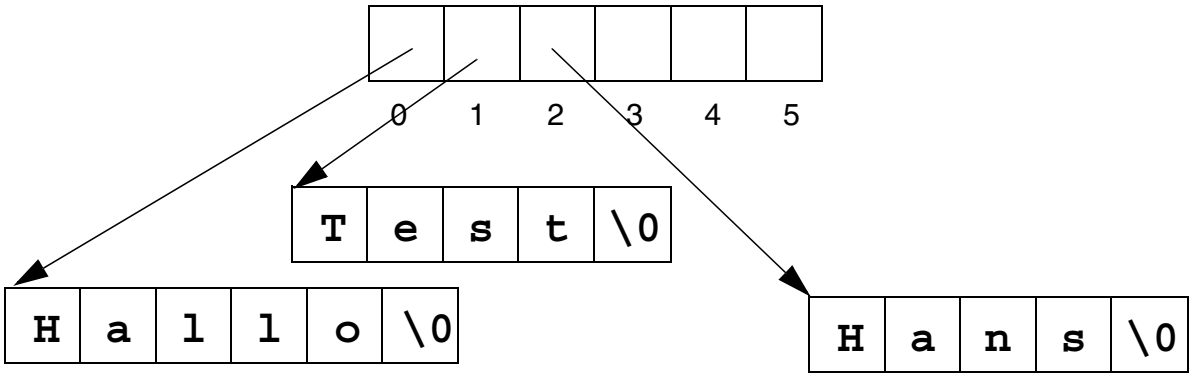
- Array von Zeichenketten




- Vorteile:
  - einfach
- Nachteile:
  - hoher Kopieraufwand (303 Bytes pro Umordnung)
  - Maximale Länge der Worte muss bekannt sein
  - Verschwendung von Speicherplatz

# 2 wsort - Datenstrukturen (2. Möglichkeit)

- Array von Zeigern auf Zeichenketten




- Vorteile:
  - schnell, da nur Zeiger vertauscht werden (x86-32: 12 Byte pro Umordnung)
  - Zeichenketten können beliebig lang sein
  - sparsame Speichernutzung

# 3 Speicherverwaltung

- Berechnung des Array-Speicherbedarfs
  - bei Lösung 1: Anzahl der Wörter * 101 * sizeof(char)
  - bei Lösung 2: Anzahl der Wörter * sizeof(char*)
- realloc:
  - Anzahl der zu lesenden Worte ist unbekannt
  - Array muss vergrößert werden: realloc
  - Bei Vergrößerung sollte man aus Effizienzgründen nicht nur Platz für ein neues Wort (Lösungsvariante 1) bzw. einen neuen Zeiger (Lösungsvariante 2) besorgen, sondern für mehrere.
  - Achtung: realloc kopiert möglicherweise das Array (teuer)
- Speicher sollte wieder freigegeben werden
  - bei Lösung 1: Array freigeben
  - bei Lösung 2: zuerst Wörter freigeben, dann Zeiger-Array freigeben

# 4 Vergleichsfunktion

- Problem: qsort erwartet folgenden Funktionszeigertyp:

```
int (*) (const void *, const void *)
```

- Lösung: "casten"
  - innerhalb der Funktion, z.B. (Feld vom Typ char **):

```
int compare(const void *a, const void *b) {
    return strcmp(
        *( (const char * const *) a),
        *( (const char * const *) b)
    );
}
```

  - beim qsort-Aufruf:

```
int compare(const char * const *a, const char * const *b);
...
qsort(     field, nel, sizeof(char *),
           (int (*)(const void *, const void *))compare);
```

# U4-2 Verwendung dynamischer Speicherallokation

- Beispiel (aus Abgaben zu Aufgabe 2) mit dynamischer 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 3)
- erfordert Fehlerbehandlung
- viel Schreibarbeit
  - ◆ verschlechtert Code-Lesbarkeit
  - ◆ kostet Zeit wenn keine da ist (z.B. in der Klausur)

# U4-2 Verwendung dynamischer Speicherallokation

- 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

# U4-3 Fehlerbehandlung Reloaded

- 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

# U4-3 Fehlerbehandlung Reloaded

- 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`

# U4-3 Fehlerbehandlung Reloaded

- 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 */
    ...
}
```

# U4-3 Fehlerbehandlung Reloaded

- 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 */
    ...
}
```

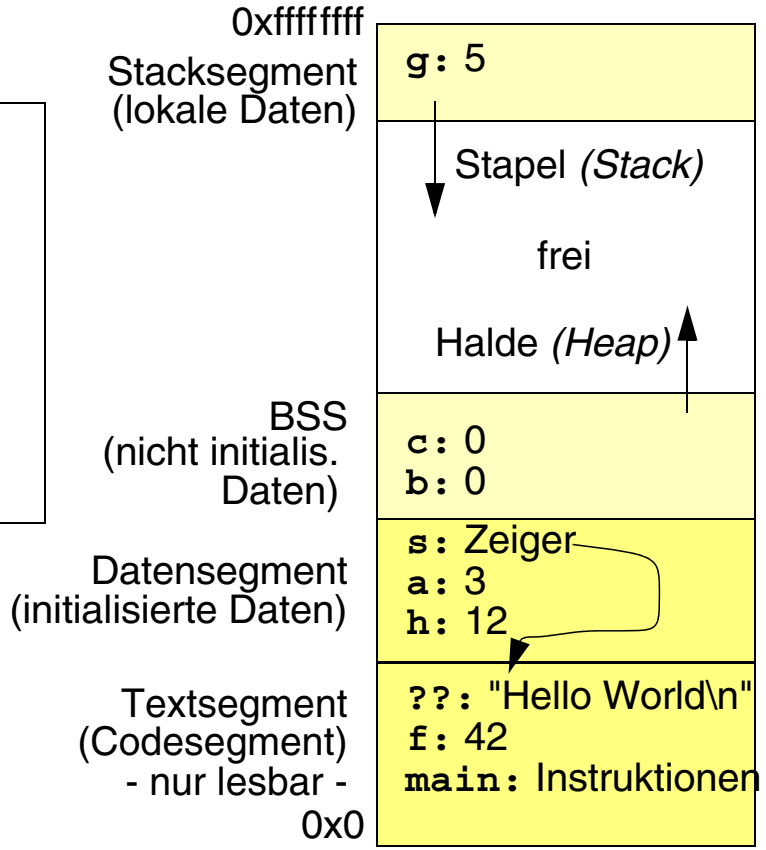
- `errno=0` *unmittelbar* vor Aufruf der problematischen Funktion
  ➥ `errno` wird nur im Fehlerfall gesetzt und bleibt sonst evtl. unverändert
- Abfrage der `errno` *unmittelbar* nach Rückgabe des pot. Fehlerwerts
  ➥ `errno` könnte sonst durch andere Funktion verändert werden

# U4-4 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;
}
```



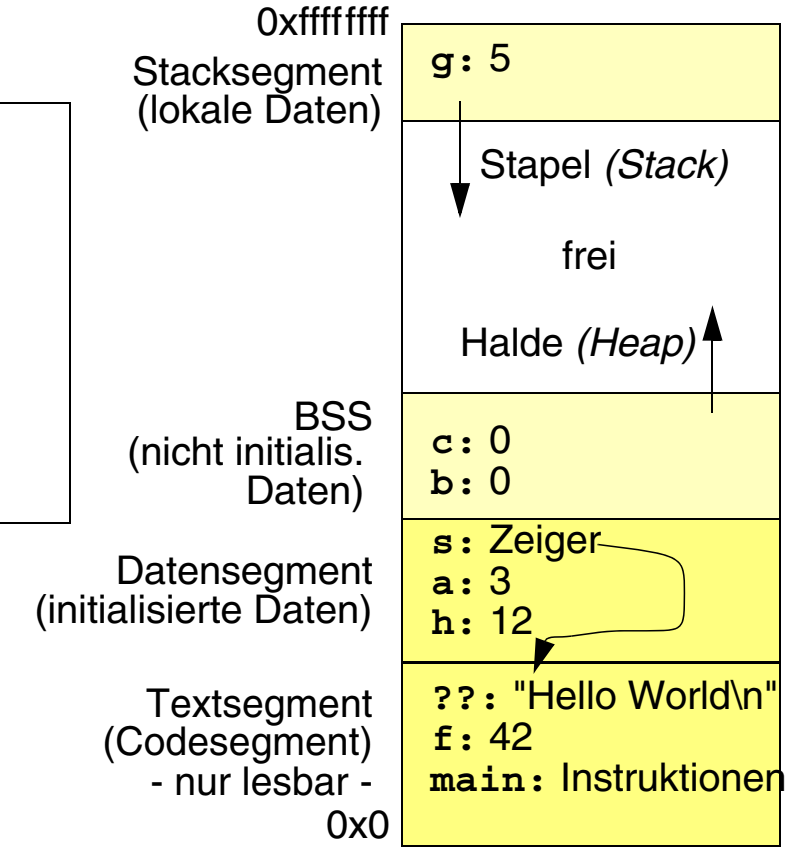
# U4-4 Speicheraufbau eines Prozesses (UNIX)

- 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;
}
```

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



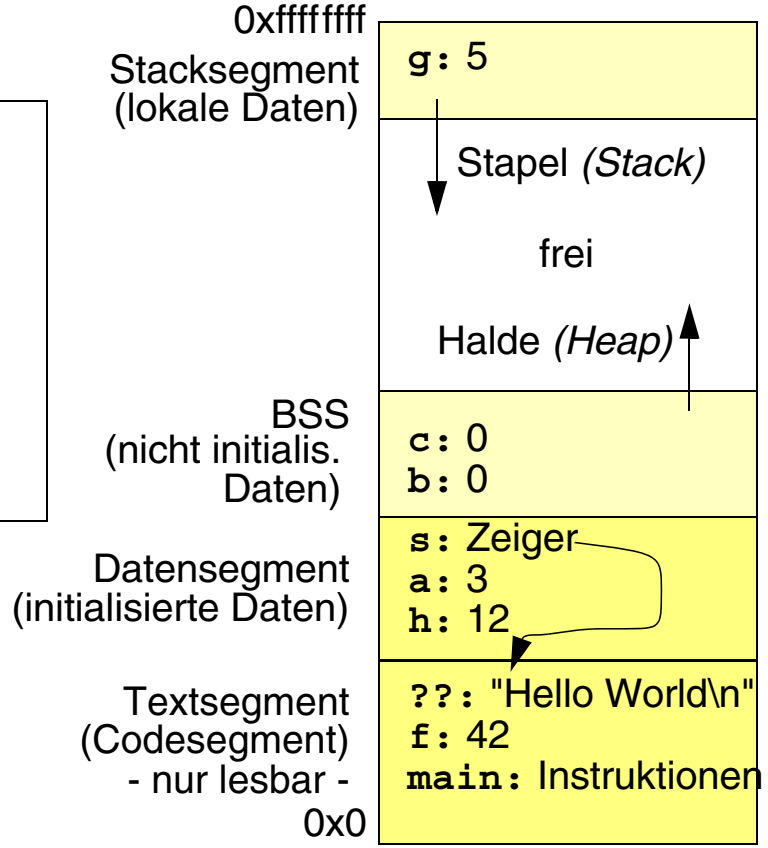
# U4-4 Speicheraufbau eines Prozesses (UNIX)

- 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;
}
```

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



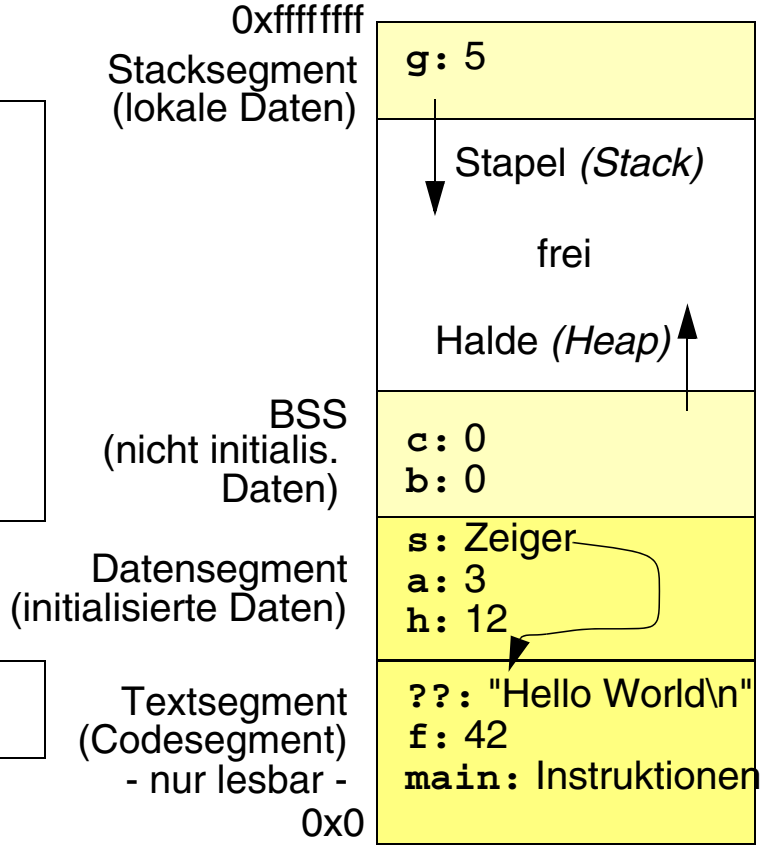
# U4-4 Speicheraufbau eines Prozesses (UNIX)

- 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;
}
```

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



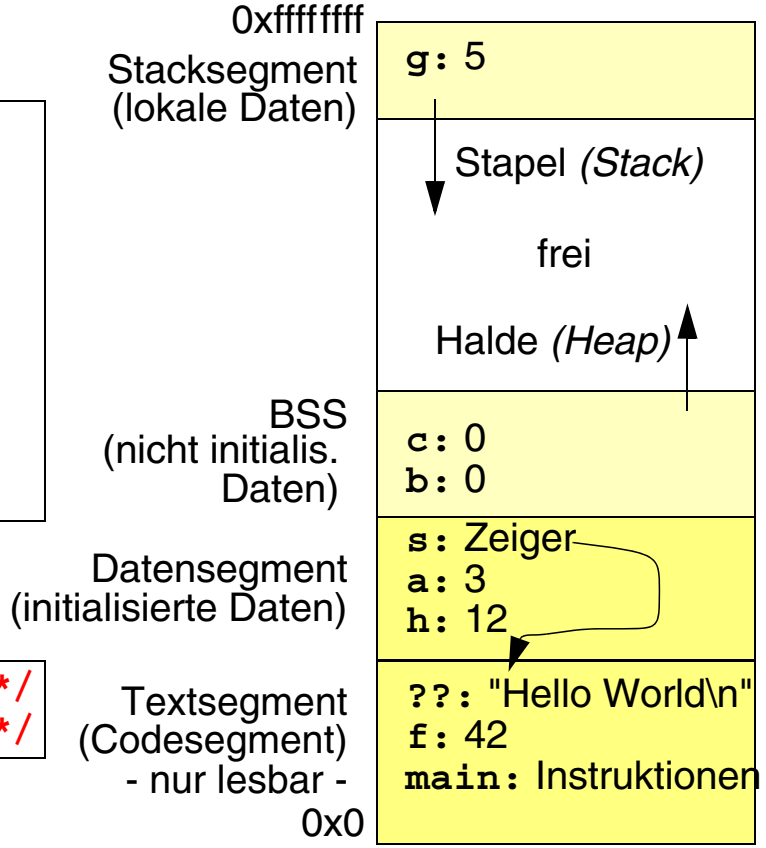
# U4-4 Speicheraufbau eines Prozesses (UNIX)

- 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;
}
```

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

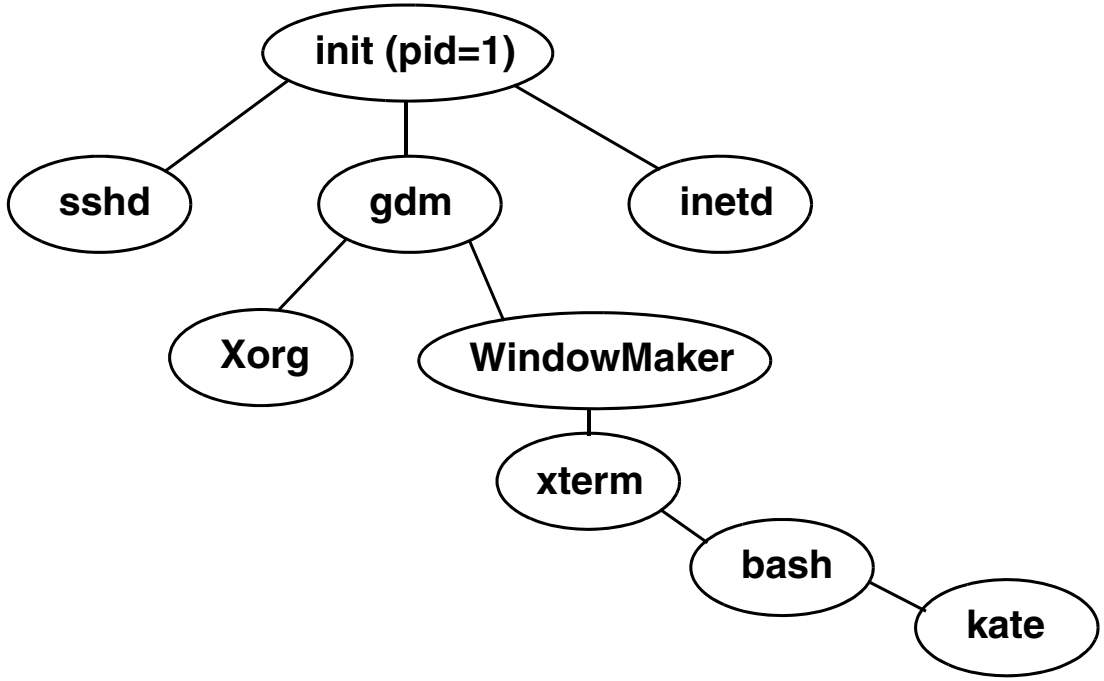


# U4-5 Prozesse: Überblick

- Prozesse sind eine Ausführumgebung für Programme
  - ➤ haben eine Prozess-ID (PID, ganzzahlig positiv)
  - ➤ führen ein Programm aus
- Mit einem Prozess sind Ressourcen verknüpft (s. Vorlesung ab **A 3-6**)

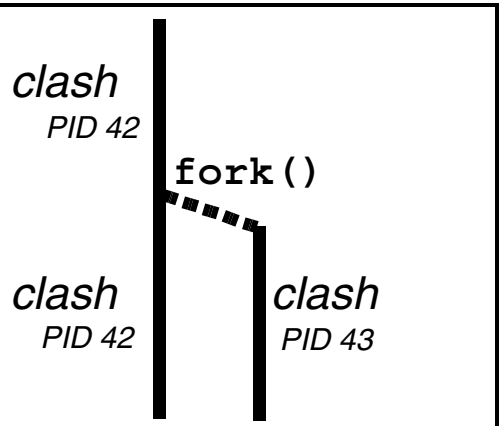
# U4-5 UNIX-Prozesshierarchie

- 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

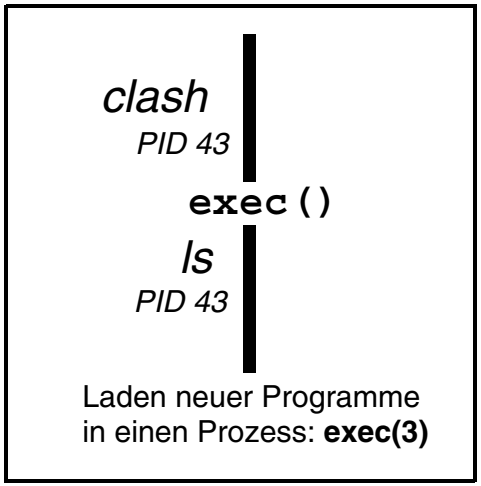



  - Beispiel: **kate** ist ein Kind von **bash**, **bash** wiederum ein Kind von **xterm**

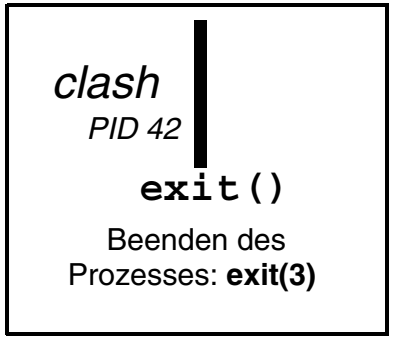
# U4-6 POSIX Prozess-Systemfunktionen



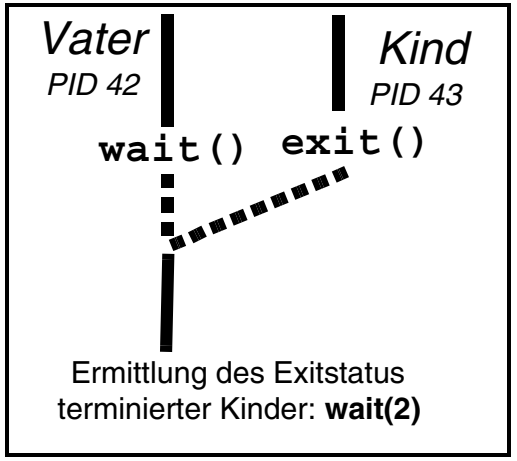

Erzeugung neuer Prozesse: **fork(2)**




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




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



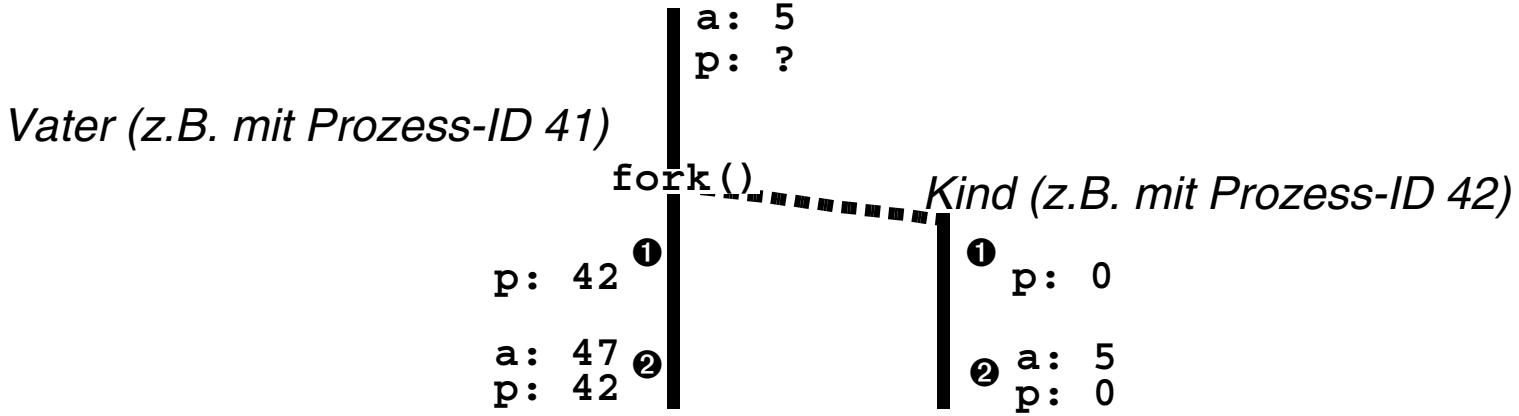

Ermittlung des Exitstatus terminierter Kinder: **wait(2)**

# 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, ...,
                const char *argn, 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, ...,
    const char *argn, 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 {
    /* pid == -1 --> Fehler bei fork */
  }
}
```

# 4 wait(2)

- `wait` blockiert den Vater, bis ein Kind terminiert oder gestoppt wird
  - *pid* dieses Kind-Prozesses wird als Ergebnis 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)

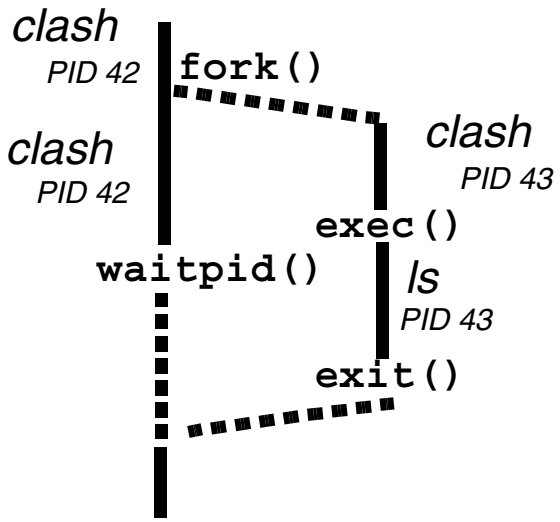
```
pid_t waitpid(pid_t pid, int *status, int options);
```

- 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

# U4-7 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 dynamisch 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 die Funktion **strtok(3)** benutzt werden

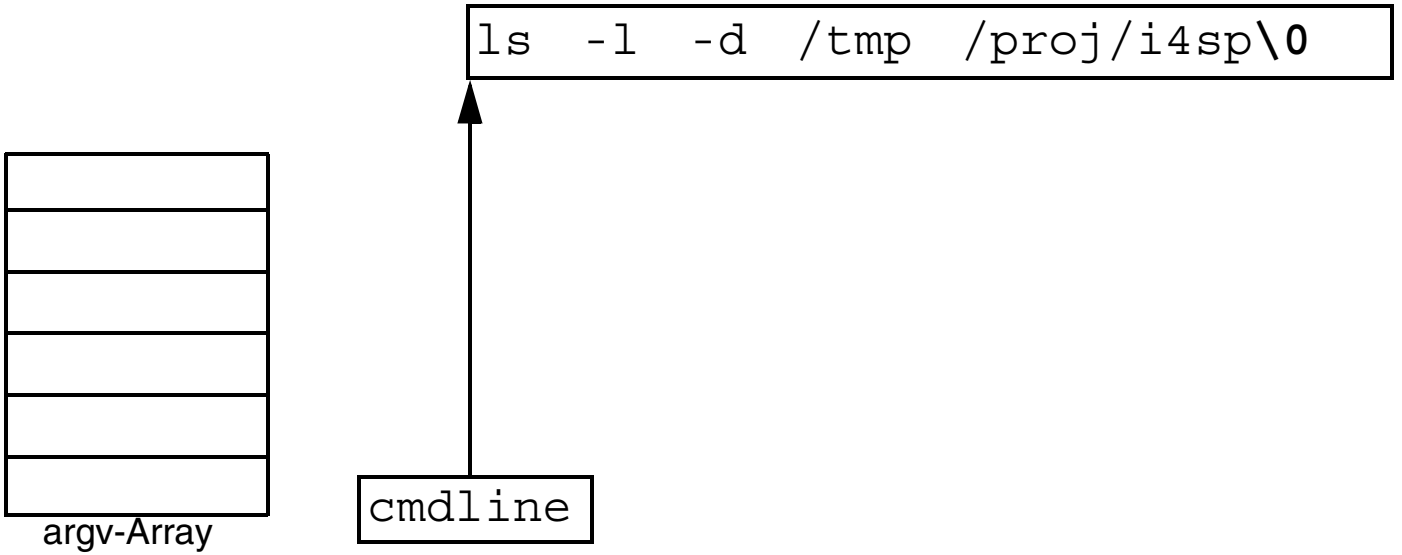
# 2 strtok

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

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

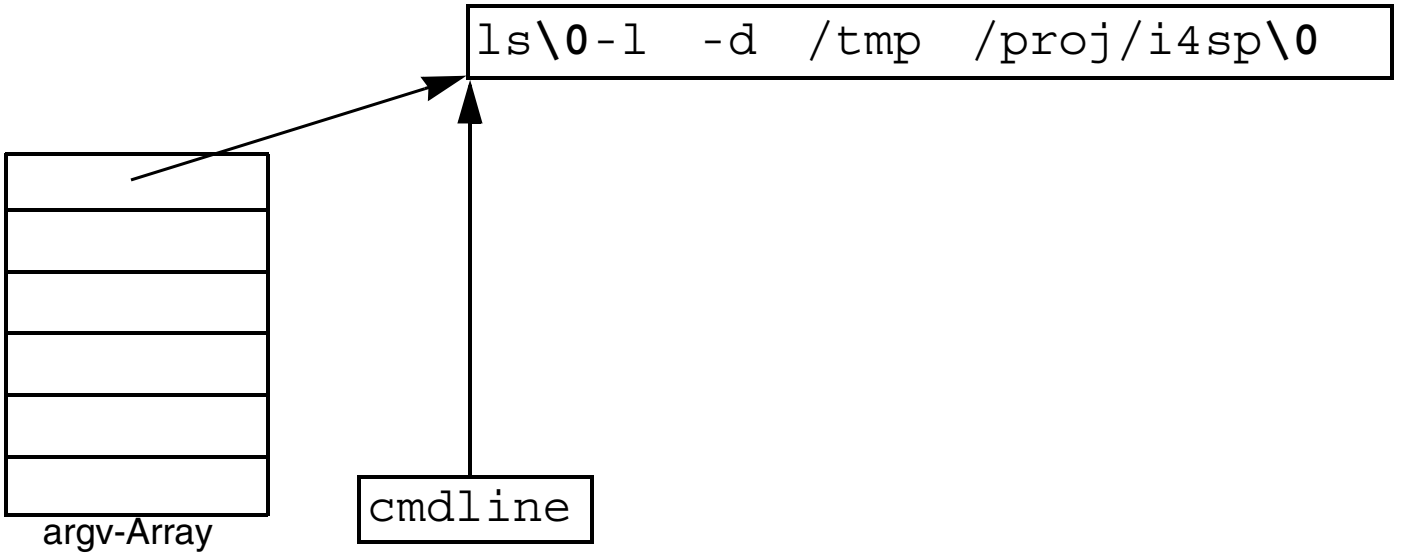
- Wird sukzessive aufgerufen und liefert jeweils einen Zeiger auf das nächste Token (mehrere aufeinanderfolgende Trennzeichen werden hierbei übersprungen)
  - `str` ist im ersten Aufruf ein Zeiger auf den zu teilenden String, in allen Folgeaufrufen `NULL`
  - `delim` ist ein String, der alle Trennzeichen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



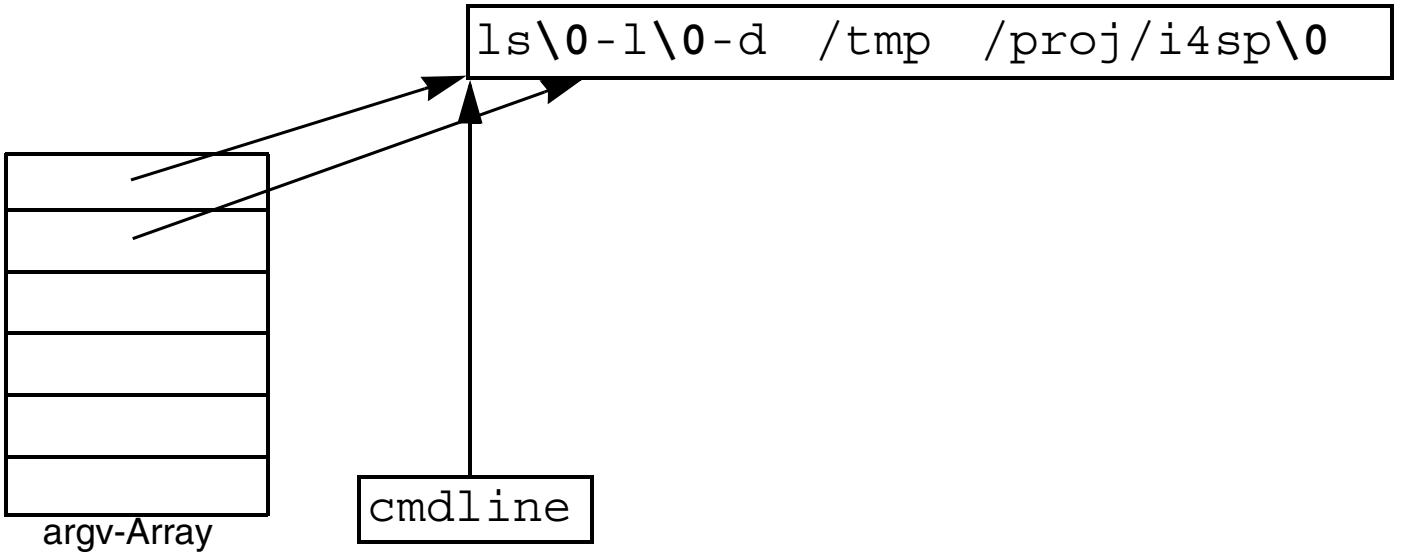

- Kommandozeile befindet sich als `'\0'`-terminierter String im Speicher

# 2 strtok-Beispiel



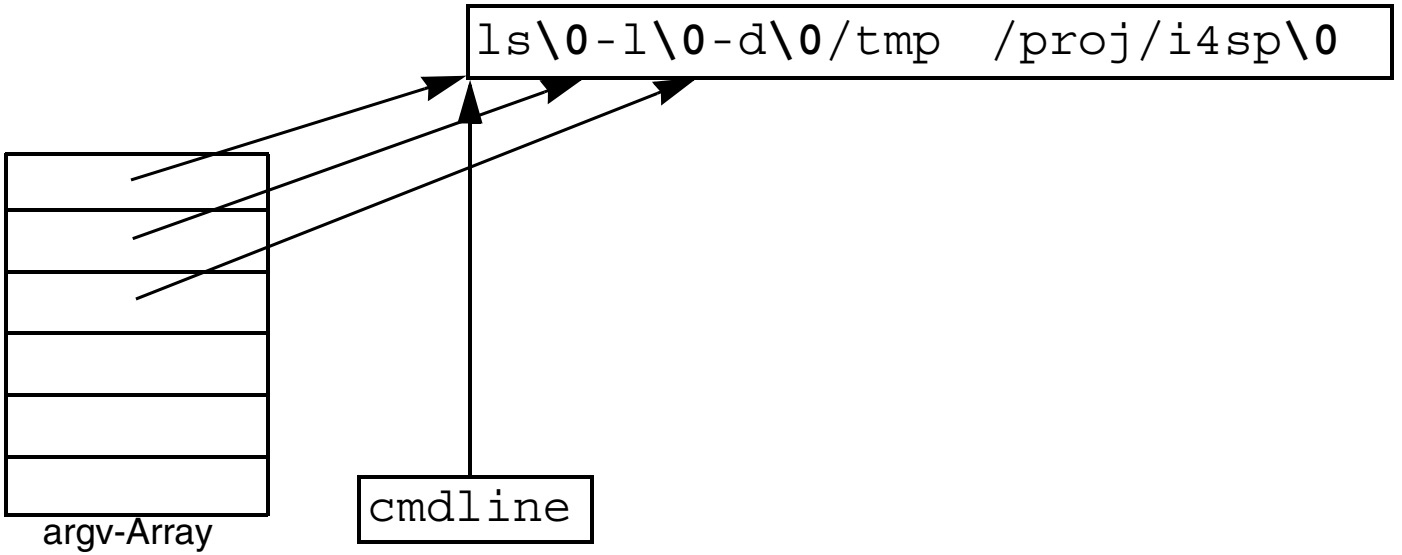

- Erster **strtok**-Aufruf mit dem Zeiger auf diesen Speicherbereich
- **strtok** liefert Zeiger auf erstes Token *ls* und ersetzt den Folgetrenner mit `'\0'`

# 2 strtok-Beispiel



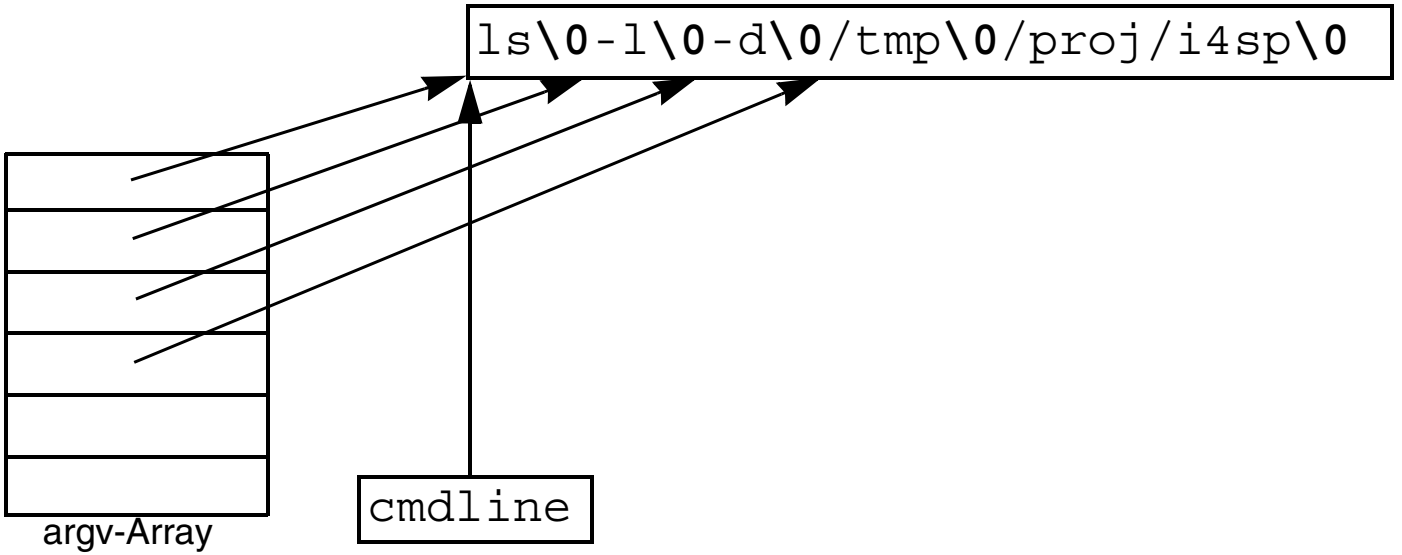

- Weitere Aufrufe von **strtok** nun mit einem `NULL`-Zeiger
- **strtok** liefert jeweils Zeiger auf das nächste Token

# 2 strtok-Beispiel



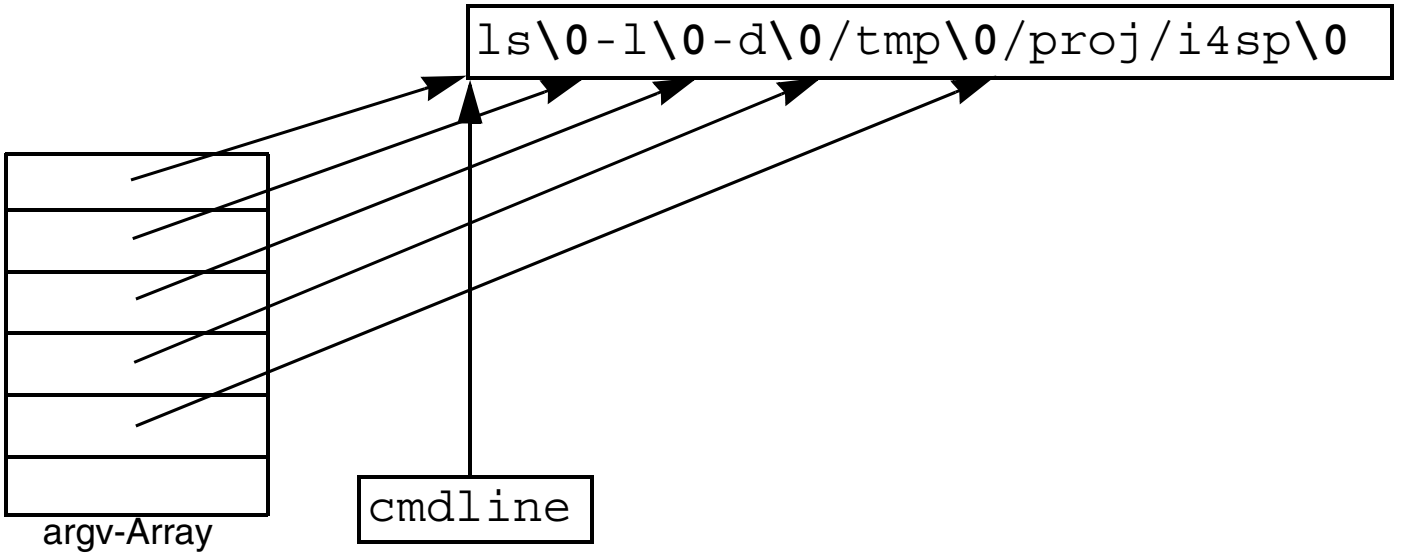

- Weitere Aufrufe von **strtok** nun mit einem `NULL`-Zeiger
- **strtok** liefert jeweils Zeiger auf das nächste Token

# 2 strtok-Beispiel



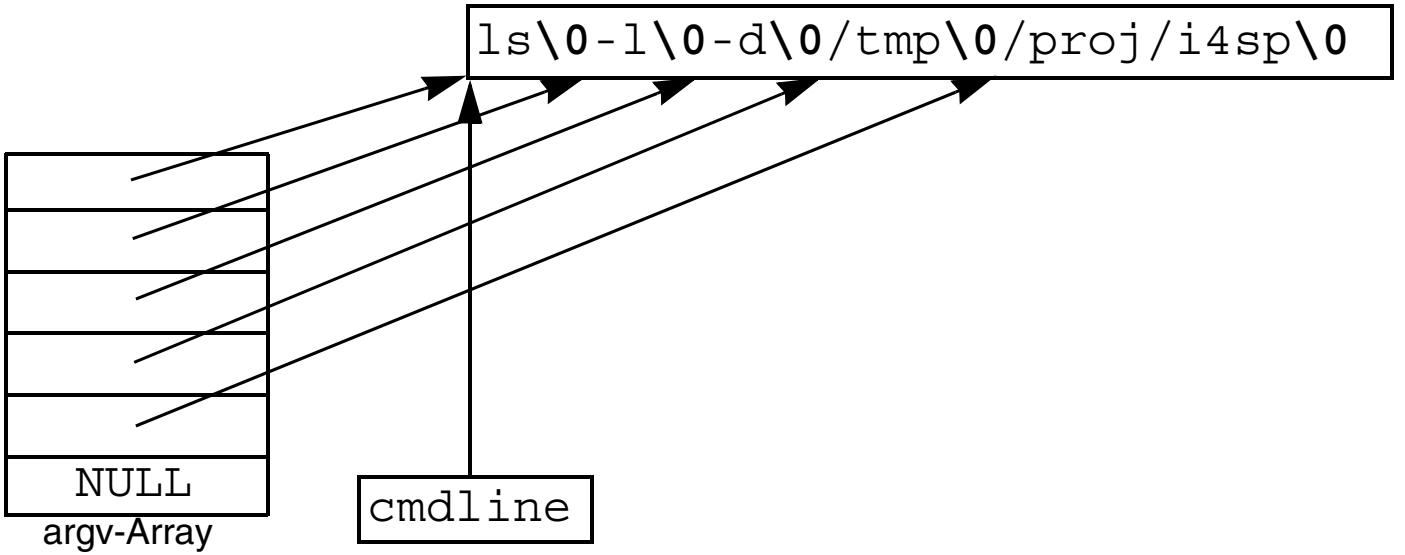

- Weitere Aufrufe von **strtok** nun mit einem `NULL`-Zeiger
- **strtok** liefert jeweils Zeiger auf das nächste Token

# 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
  - ARG_MAX
  - LINE_MAX