

U3 3. Übung

- Besprechung 1. Aufgabe
- Fehlerbehandlung
- Speicheraufbau eines Prozesses
- Prozesse: fork, exec, wait
- Aufgabe 3

1 Fehler in Bibliotheksfunktionen

- Fehler treten häufig in Funktionen der C-Bibliothek auf
 - erkennbar i.d.R. am Rückgabewert (Manpage!)
- Die Fehlerursache wird über die globale Variable `errno` übermittelt
 - Fehlercode für jeden möglichen Fehler (siehe `errno(3)`)
 - Der Wert `errno=0` bedeutet Erfolg, alles andere ist ein Fehlercode
 - Bibliotheksfunktionen setzen `errno` im Fehlerfall
 - 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

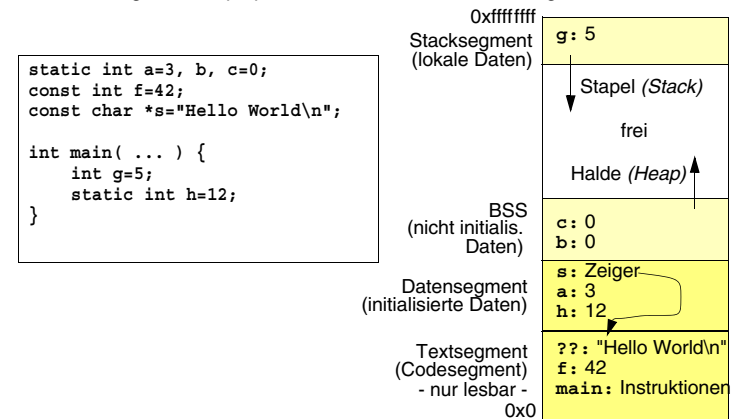
```
char *mem = malloc(...); /* malloc gibt im Fehlerfall */
if(NULL == mem) { /* NULL zurück */
    fprintf(stderr, "%s:%d: malloc failed with reason: %s\n",
            __FILE__, __LINE__-3, strerror(errno));
    perror("malloc"); /* Alternative zu strerror + fprintf */
    exit(EXIT_FAILURE); /* Programm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

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: Öffnen einer zu kopierenden Datei schlägt fehl
 - ➔ Fehlerbehandlung: Kopieren nicht möglich, Programm beenden

U3-2 Speicheraufbau eines Prozesses (UNIX)

- Aufteilung des Hauptspeichers eines Prozesses in Segmente

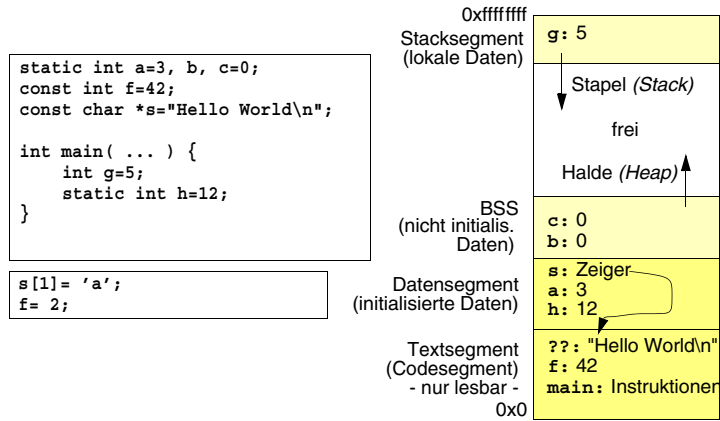


```
static int a=3, b, c=0;
const int f=42;
const char *s="Hello World\n";

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

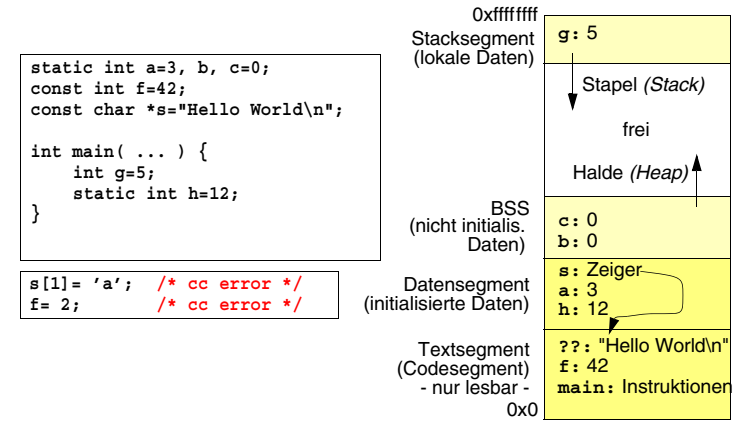
U3-2 Speicheraufbau eines Prozesses (UNIX)

■ Aufteilung des Hauptspeichers eines Prozesses in Segmente



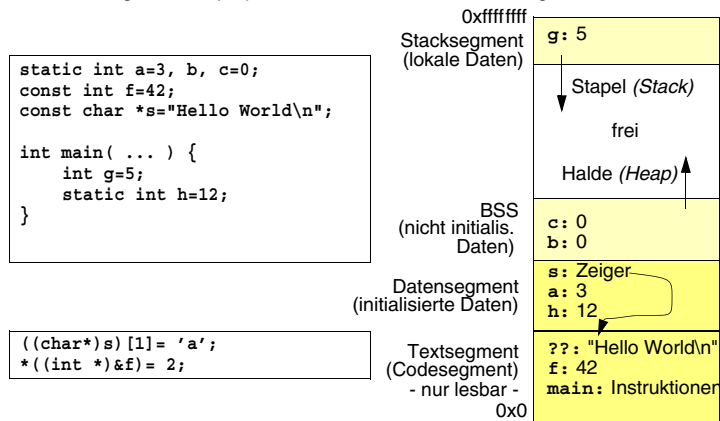
U3-2 Speicheraufbau eines Prozesses (UNIX)

■ Aufteilung des Hauptspeichers eines Prozesses in Segmente



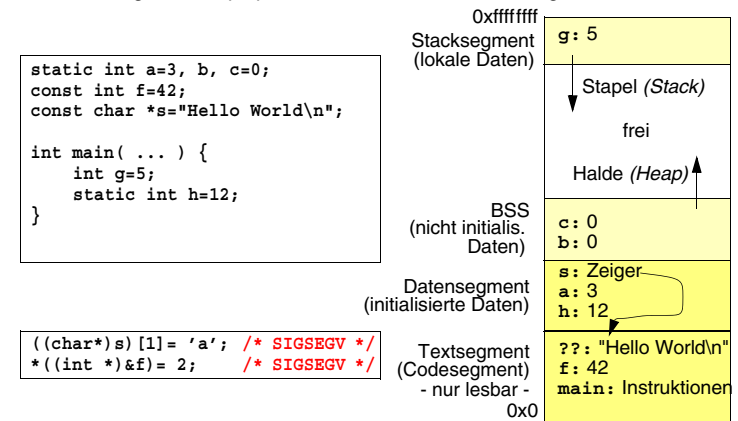
U3-2 Speicheraufbau eines Prozesses (UNIX)

■ Aufteilung des Hauptspeichers eines Prozesses in Segmente



U3-2 Speicheraufbau eines Prozesses (UNIX)

■ Aufteilung des Hauptspeichers eines Prozesses in Segmente



U3-3 Prozesse: Überblick

U3-3 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 (s. Vorlesung ab A 3-6)

SP - U

Systemprogrammierung — Übungen

© Michael Stickerich, Jürgen Kleinöder • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2008

U3.fm 2008-11-09 12.52

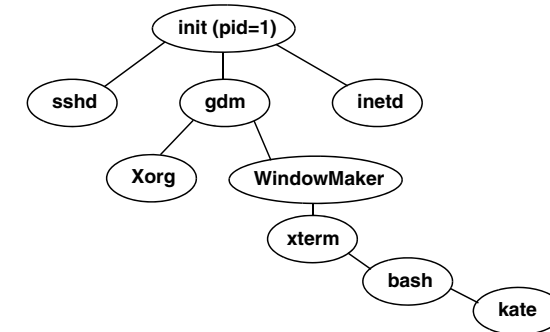
U3.9

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

U3-3 UNIX-Prozesshierarchie

U3-3 Prozesse: Überblick

- 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**

SP - U

Systemprogrammierung — Übungen

© Michael Stickerich, Jürgen Kleinöder • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2008

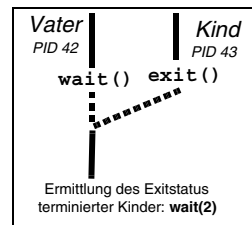
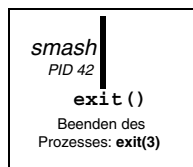
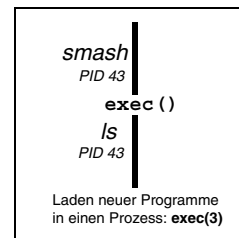
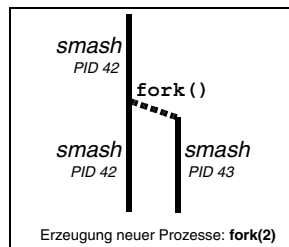
U3.fm 2008-11-09 12.52

U3.10

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

U3-4 POSIX Prozess-Systemfunktionen

U3-4 POSIX Prozess-Systemfunktionen



SP - U

Systemprogrammierung — Übungen

© Michael Stickerich, Jürgen Kleinöder • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2008

U3.fm 2008-11-09 12.52

U3.11

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

1 fork(2): Erzeugung eines neuen Prozesses

U3-4 POSIX Prozess-Systemfunktionen

- Erzeugt einen neuen Kindprozess
- Exakte Kopie des Vaters...
 - ◆ Datenssegment (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

SP - U

Systemprogrammierung — Übungen

© Michael Stickerich, Jürgen Kleinöder • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2008

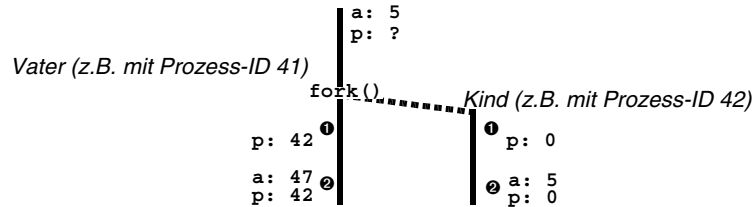
U3.fm 2008-11-09 12.52

U3.12

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

1 fork(2): Beispiel

```
int a=5; pid_t p = fork(); ①
a += p; ②
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 execlp(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 execlp(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)

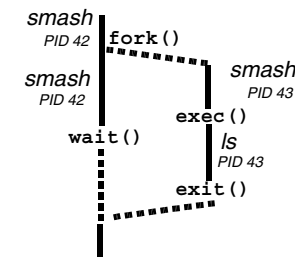
- Mächtigere Variante von `wait(2)`
`pid_t waitpid(pid_t pid, int *status, int options);`

- 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

U3-5 Aufgabe 3: 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

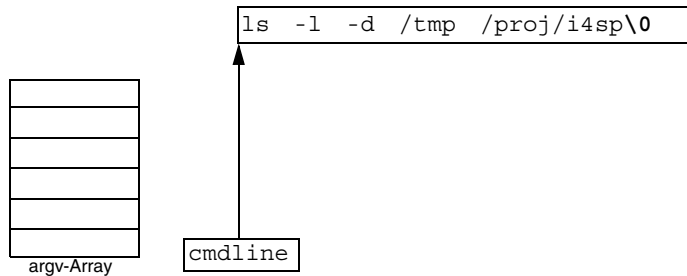
- Anzahl der Kommandoparameter beim Programmieren
 - gibt der Benutzer mit der Eingabe vor
 - können von Kommando zu Kommando unterschiedlich sein
 - die l-Varianten von exec können nicht verwendet werden
- Die v-Varianten von exec erhalten ein Argumentenarray als Parameter
 - dieses kann dynamisch konstruiert 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

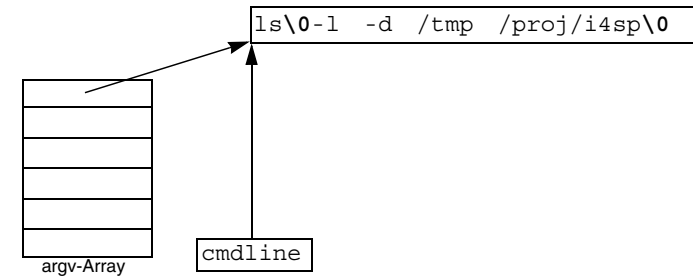

```
char *strtok(char *str, const char *delim);
```
- Wird sukzessive aufgerufen und liefert jeweils einen Zeiger auf das nächste Token (mehrere aufeinanderfolgende Trennzeichen werden hierbei übersprungen)
 - ◆ *str* ist im ersten Aufruf ein Zeiger auf den zu teilenden String, in allen Folgeaufrufen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



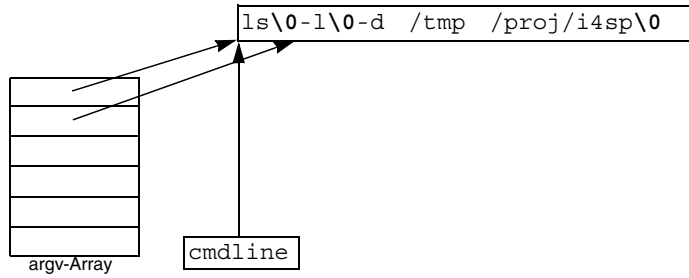
- Kommandozeile befindet sich als '\0'-terminierter String im Speicher

2 strtok-Beispiel



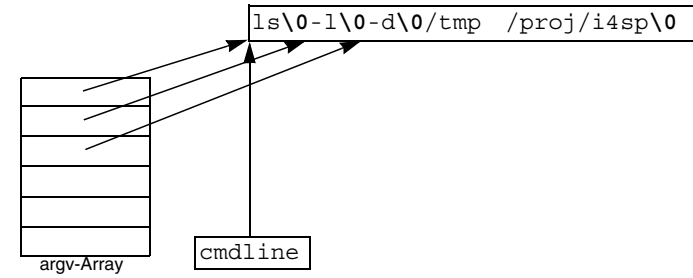
- Erster **strtok**-Aufruf mit dem Zeiger auf diesen Speicherbereich
- **strtok** liefert Zeiger auf erstes Token *ls* und ersetzt den Folgetrenner mit '\0'

2 strtok-Beispiel



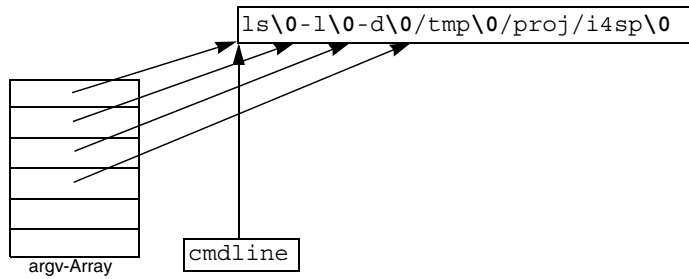
- Weitere Aufrufe von **strtok** nun mit einem NULL-Zeiger
- **strtok** liefert jeweils Zeiger auf das nächste Token

2 strtok-Beispiel



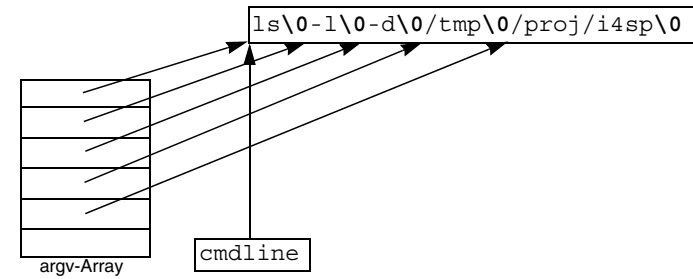
- Weitere Aufrufe von **strtok** nun mit einem NULL-Zeiger
- **strtok** liefert jeweils Zeiger auf das nächste Token

2 strtok-Beispiel



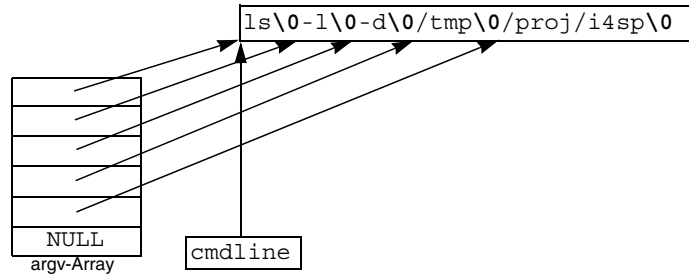
- Weitere Aufrufe von **strtok** nun mit einem NULL-Zeiger
- **strtok** liefert jeweils Zeiger auf das nächste Token

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`