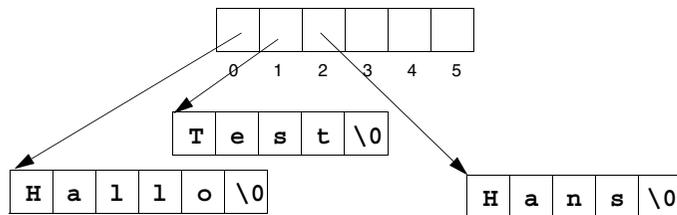


- Aufgabenbesprechung
 - ◆ Aufgabe 2: wsort
 - ◆ Heap- vs. Stackallokation
- Prozesse
 - ◆ Speicheraufbau
 - ◆ Systemschnittstelle: fork(2), exec(3), exit(3), wait(2), waitpid(2)
- Übersetzen von Projekten mit make(1)
- Aufgabe 3: clash (Einfache Shell im Eigenbau)
 - ◆ Ziele der Aufgabe
 - ◆ Funktionsprinzip
 - ◆ String-Stückelung mit strtok(3)
 - ◆ Ermitteln von Systemlimits mit sysconf(3)

2 wsort - Datenstrukturen (2. Möglichkeit)

U4-1 Aufgabe 2: Sortieren mit qsort

- Array von Zeigern auf Zeichenketten (Größe: Anzahl der Wörter * sizeof(char*))

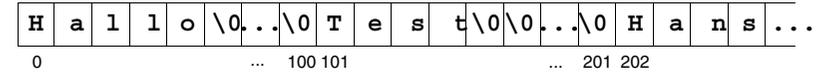


- Vorteile:
 - ◆ schnell, da nur Zeiger vertauscht werden (x86-32: 12 Bytes pro Umordnung)
 - ◆ Zeichenketten können beliebig lang sein
 - ◆ sparsame Speichernutzung
- Nachteil:
 - ◆ Freigabe komplizierter: zuerst Wörter, dann Zeiger-Array freigeben

U4-1 Aufgabe 2: Sortieren mit qsort

1 wsort - Datenstrukturen (1. Möglichkeit)

- Array von Zeichenketten (Größe: Anzahl der Wörter * 101 * sizeof(char))



- Vorteile:
 - ◆ einfach (z.B. Speicherfreigabe durch Freigeben des Feldes)
- Nachteile:
 - ◆ hoher Kopieraufwand (303 Bytes pro Umordnung)
 - ◆ maximale Länge der Wörter muss bekannt sein
 - ◆ Verschwendung von Speicherplatz
 - ◆ Reallokation teuer, da eventuell alle Daten kopiert werden müssen

U4-2 Heap- vs. Stackallokation

U4-2 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 3)
- erfordert Fehlerbehandlung
- viel Schreiarbeit
 - ◆ verschlechtert Code-Lesbarkeit
 - ◆ zeitaufwendig (relevant z.B. in der Klausur)

U4-2 Heap- vs. Stackallokation

■ Alternative: (dynamische) Stackallokation

```
char buffer[102];

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

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

SP - Ü

U4-3 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);
}
```

- ◆ Vergleiche Vorlesung: A / V Vom Programm zum Prozess, Seite 7f.

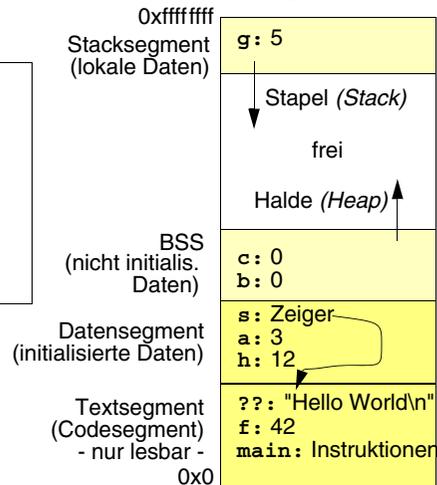
SP - Ü

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;
    return(EXIT_SUCCESS);
}
```



SP - Ü

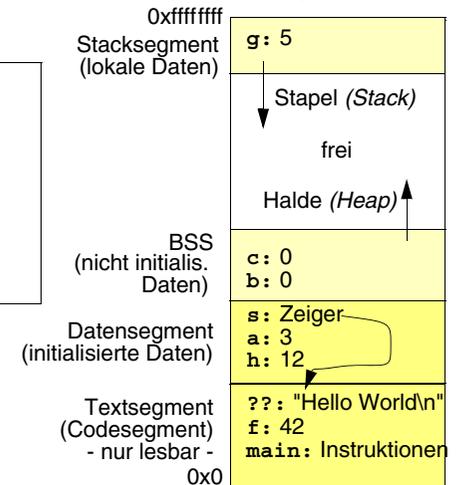
U4-4 Speicheraufbau eines Prozesses (UNIX)

■ 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;
    return(EXIT_SUCCESS);
}
```

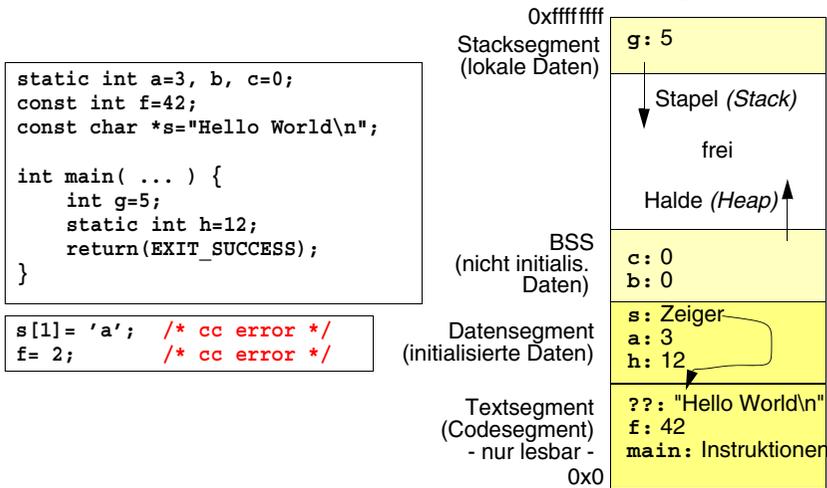
```
s[1]= 'a';
f= 2;
```



SP - Ü

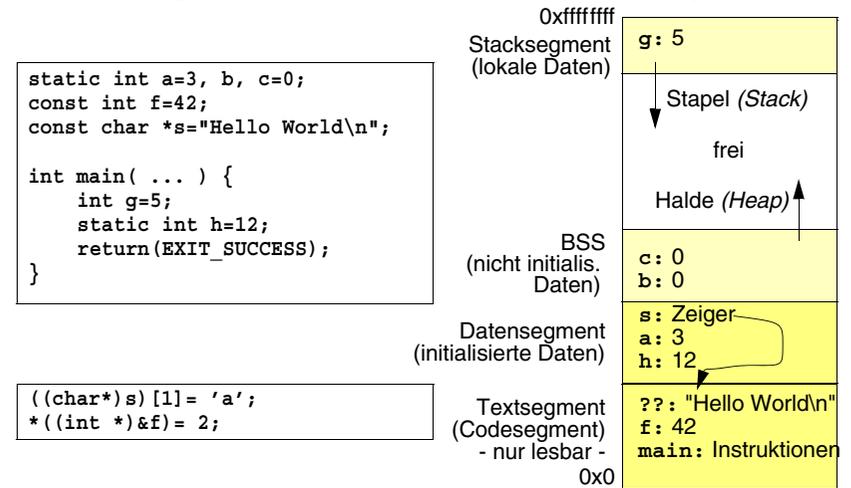
U4-4 Speicheraufbau eines Prozesses (UNIX)

■ Aufteilung des Hauptspeichers eines Prozesses in Segmente



U4-4 Speicheraufbau eines Prozesses (UNIX)

■ Aufteilung des Hauptspeichers eines Prozesses in Segmente

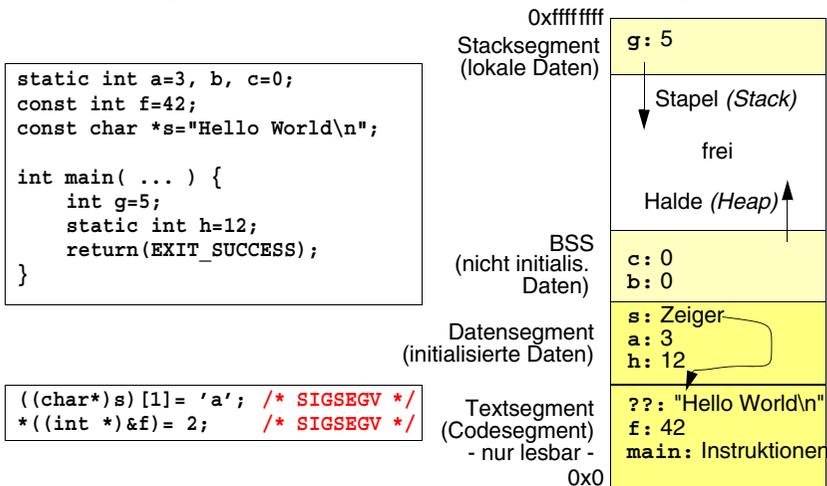


SP - Ü

SP - Ü

U4-4 Speicheraufbau eines Prozesses (UNIX)

■ Aufteilung des Hauptspeichers eines Prozesses in Segmente



U4-5 Prozesse: Überblick

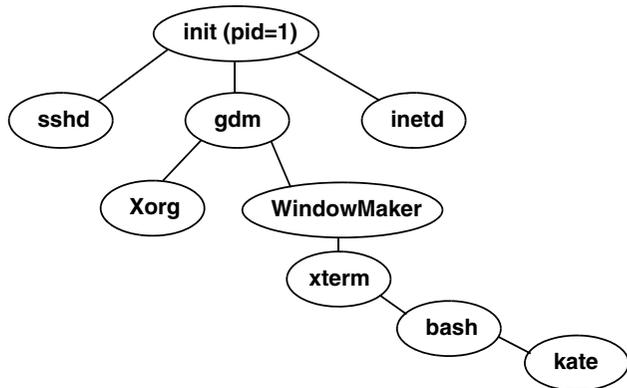
- Prozesse sind eine Ausführungsumgebung für Programme (Vorl. A / V S. 6)
 - ◆ haben eine Prozess-ID (PID, ganzzahlig positiv)
 - ◆ führen ein Programm aus
- Mit einem Prozess sind Ressourcen verknüpft, z.B.
 - ◆ Speicher
 - ◆ Adressraum
 - ◆ offene Dateien

SP - Ü

SP - Ü

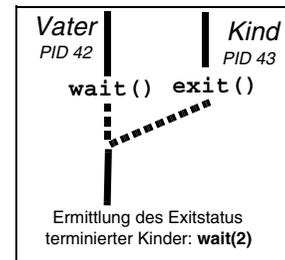
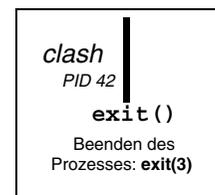
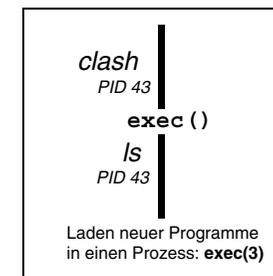
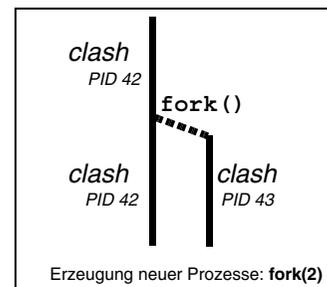
U4-5 UNIX-Prozesshierarchie

- 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**

U4-6 POSIX-Prozess-Systemfunktionen



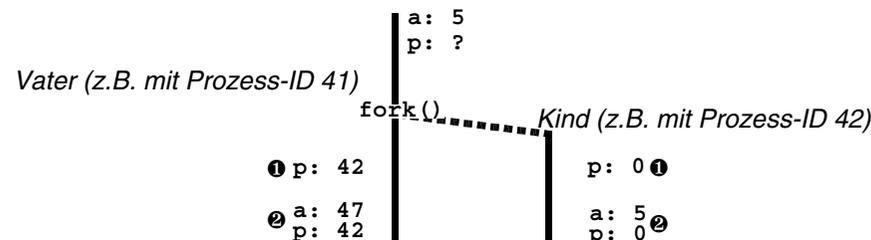
1 fork(2): Erzeugung eines neuen Prozesses

- Erzeugt einen neuen Kindprozess (Vorlesung A / V S. 13ff.)
- 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 (Vorl. A / V S. 16f)
- **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"`)

■ Beispiel

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

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

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

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

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
        // Zur Ausgabe des Statuses siehe Makros in wait(2)

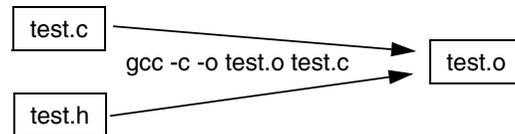
    } else if (pid == 0) { // Kind
        execl("/bin/cp", "/bin/cp", "x.txt", "y.txt", NULL);
        // diese Stelle wird nur im Fehlerfall erreicht
        perror("exec /bin/cp"); exit(EXIT_FAILURE);
    } else {
        // Fehler bei fork
        ...
    }
}
```

4 wait(2)

- `wait` blockiert, bis ein Kind-Prozess terminiert wird
 - ◆ `pid` dieses Kind-Prozesses wird als Rückgabewert geliefert
 - ◆ als Parameter kann ein Zeiger auf einen `int`-Wert mitgegeben werden, in dem unter anderem der Exitstatus 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)`
 - Exitstatus: `WEXITSTATUS(status)`
 - weitere siehe `wait(2)`

U4-7 Make

- Grundsätzlich: Erzeugung von Dateien aus anderen Dateien
 - ◆ für uns interessant: Erzeugung einer `.o`-Datei aus einer `.c`-Datei



- Ausführung von *Update*-Operationen (auf Basis der Modifikationszeit)

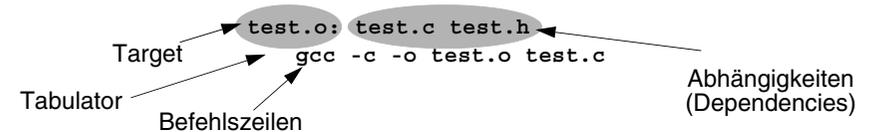
5 waitpid(2)

- 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

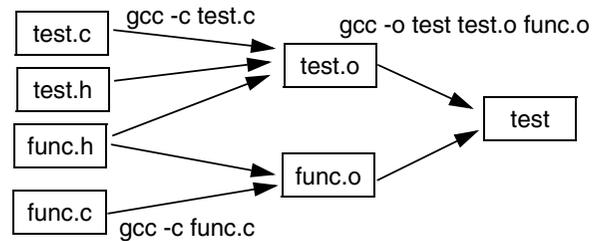
1 Funktionsweise

- Regeldatei mit dem Namen `Makefile`
 - ◆ Targets (was wird erzeugt?, hier: `test.o`)
 - ◆ Abhängigkeiten (woraus?, hier: `test.c`, `test.h`)
 - ◆ Befehlszeilen (wie?, hier: entsprechendes GCC-Kommando)



- ◆ das zu erstellende Target kann beim `make`-Aufruf angegeben werden (z.B. `make test.o`)
- ◆ ohne explizite Target-Angabe bearbeitet `make` das **erste** Target im Makefile
 - Dieses ist normalerweise das Target `a11`
- ◆ beginnt eine Befehlszeile mit `@`, wird sie nicht ausgegeben
- ◆ jede Zeile wird in einer neuen Shell ausgeführt
 - `cd` in einer Zeile hat keine Auswirkung auf die nächste Zeile

2 Beispiel mit mehreren Modulen



```

test: test.o func.o
    gcc -o test test.o func.o

test.o: test.c test.h func.h
    gcc -c test.c

func.o: func.c func.h
    gcc -c func.c
  
```

4 Dynamische Makros

- `$$` Name des Targets (hier: `test`)


```
test: test.c
    gcc -o $$ test.c
```
- `$$*` Basisname des Targets (ohne Dateierdung, hier `test`)


```
test.o: test.c test.h
    gcc -c $$*.c
```
- `$$<` Name der ersten Abhängigkeit


```
test.o: test.c test.h
    gcc -c $$<
```
- `$$^` Mit Leerzeichen getrennte Liste aller Abhängigkeiten


```
test: test.o func.o
    gcc -o $$ $^
```

3 Makros

- in einem Makefile können Makros definiert werden


```
SOURCE = test.c func.c
```
- Verwendung der Makros mit `$(NAME)` oder `${NAME}`

```
test: $(SOURCE)
    gcc -o test $(SOURCE)
```
- Erzeugen neuer Makros durch Ersetzung in existierenden Makros


```
OBJS = $(SOURCE:%.c=%.o)
```

 - ◆ In allen Wörtern, die auf den Suchstring `.c` enden, wird dieser durch `.o` ersetzt
- Erzeugung neuer Makros durch Konkatination


```
ALLOBJS = $(OBJS) hallo.o
```

5 Suffix-Regeln

- Allgemeine Regel zur Erzeugung einer Datei mit einer bestimmten Endung aus einer gleichnamigen Datei mit einer anderen Endung.
- Beispiel: Erzeugung von `.o`-Dateien aus `.c`-Dateien


```
%.o: %.c
    $(CC) $(CFLAGS) -c $<
```
- Explizite Regeln überschreiben die Suffix-Regeln


```
test.o: test.c
    $(CC) $(CFLAGS) -DXYZ -c $<
```
- Regeln ohne Kommandos können Abhängigkeiten überschreiben


```
test.o: test.c test.h func.h
```

 - ◆ die Suffix-Regel wird weiterhin zur Erzeugung herangezogen

5 Makros

■ Wichtige Makros:

- ◆ **CC** C-Compiler-Befehl
- ◆ **CFLAGS** Optionen für den C-Compiler
- ◆ **LD** Linker-Befehl
(in der Praxis wird aber meist gcc verwendet, weil direkter Aufruf von ld die Standard-Bibliotheken nicht mit einbindet - gcc ruft intern bei Bedarf automatisch ld auf)
- ◆ **LDFLAGS** Optionen für den Linker

7 Beispiel verbessert

```
SOURCE = test.c func.c
OBJS = $(SOURCE:%.c=%.o)
HEADER = $(SOURCE:%.c=%.h)
CC = gcc
CFLAGS = -Wall -Werror -std=c99 -pedantic -D_XOPEN_SOURCE=600

.PHONY: all

all: test

test: $(OBJS)
    $(CC) $(LDFLAGS) -o $@ $(OBJS)

%.o: %.c
    @echo Folgende C-Datei wird neu uebersetzt: $<
    $(CC) $(CFLAGS) -c $<

# korrekte Abhaengigkeiten
test.o: test.c $(HEADER)
func.o: func.c $(HEADER)
```

6 Pseudo-Targets

■ Dienen nicht der Erzeugung einer gleichnamigen Datei

■ Deklaration als Abhängigkeiten des Spezial-Targets **.PHONY**

```
.PHONY: all clean install
```

- ◆ so deklarierte Targets werden immer gebaut, auch wenn eine gleichnamige Datei bereits existiert, die aktueller als die Abhängigkeiten ist

■ Aufräumen mit **make clean**

```
clean:
    rm -f $(OBJS) test
```

■ Projekt bauen mit **make all** (Konvention: **all** ist immer erstes Target)

```
all: test
```

■ Installieren mit **make install**

```
install: all
    cp test /usr/local/bin
```

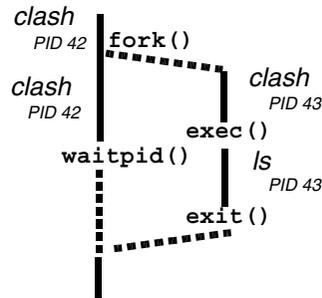
U4-8 Aufgabe 4: Einfache Shell im Eigenbau

1 Ziel der Aufgabe

- Arbeiten mit dem UNIX-Prozesskonzept
- Verstehen von Quellcode anderer Personen (`plist.c`)
- Erstellen eines Makefiles

2 Funktionsweise

- Eingabezeile, aus der der Benutzer Programme starten kann



- 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

3 strtok

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

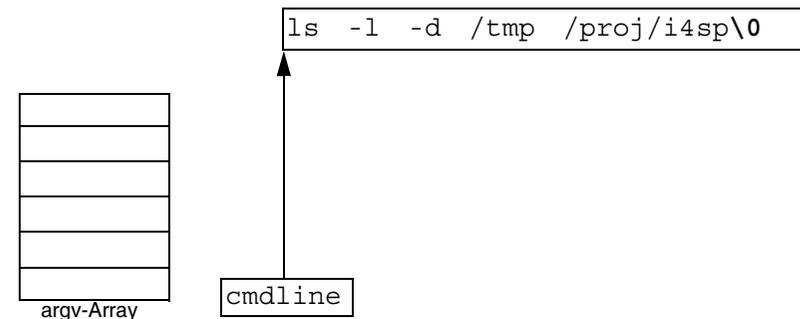
```
char *strtok(char *str, const char *delim);
```

- 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

3 Aufteilung der Kommandozeile

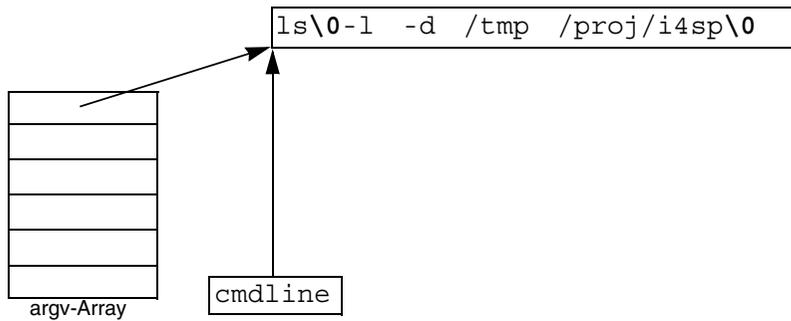
- Anzahl der Kommandoparameter
 - ◆ gibt der Benutzer mit der Eingabe vor
 - ◆ können von Kommando zu Kommando unterschiedlich sein
 - die I-Varianten von `exec` können nicht verwendet werden
- Die v-Varianten von `exec` erhalten ein Argumentenarray als Parameter
 - ◆ dieses kann zur Laufzeit konstruiert 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

3 strtok-Beispiel



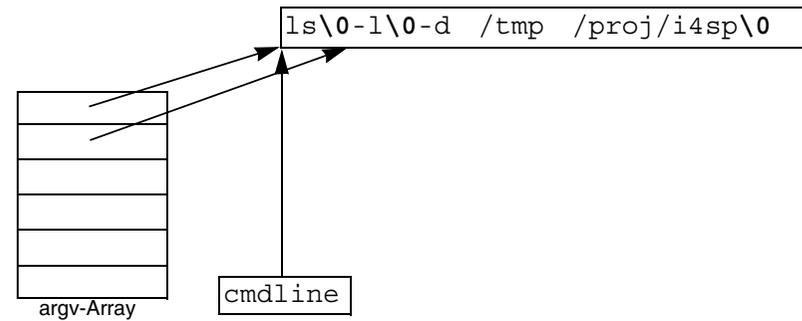
- Kommandozeile befindet sich als '\0'-terminierter String im Speicher

3 strtok-Beispiel



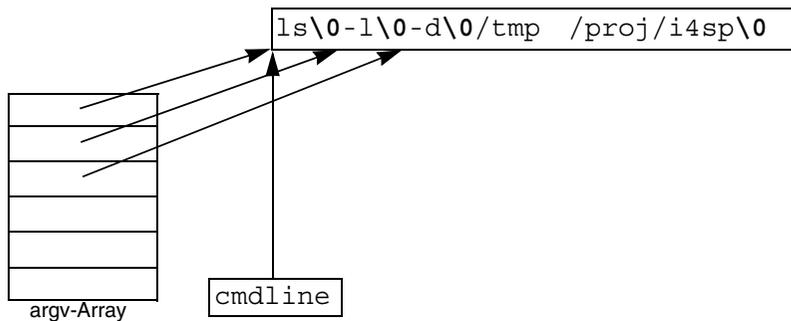
- Erster **strtok**-Aufruf mit dem Zeiger auf diesen Speicherbereich
- **strtok** liefert Zeiger auf erstes Token `ls` und ersetzt den Folgetrenner mit `'\0'`

3 strtok-Beispiel



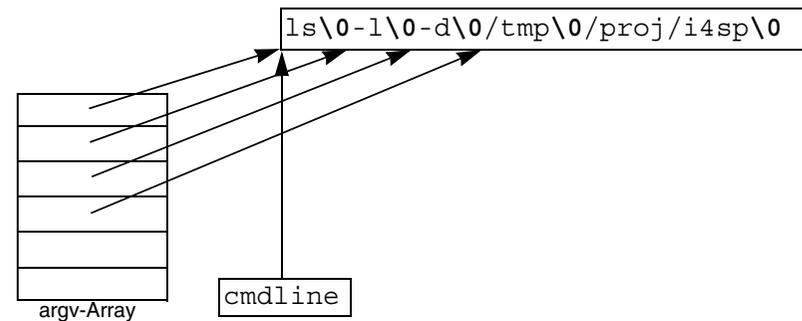
- Weitere Aufrufe von **strtok** nun mit einem NULL-Zeiger
- **strtok** liefert jeweils Zeiger auf das nächste Token

3 strtok-Beispiel



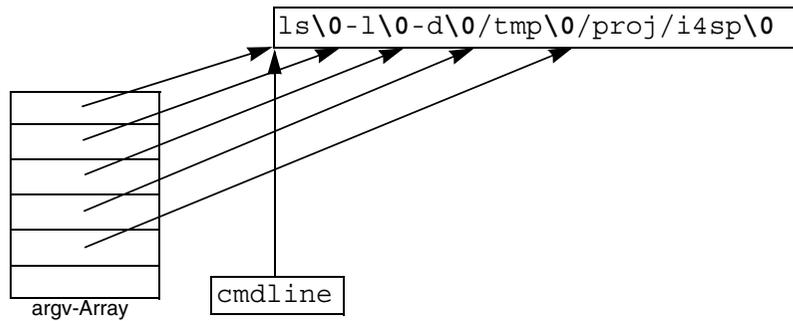
- Weitere Aufrufe von **strtok** nun mit einem NULL-Zeiger
- **strtok** liefert jeweils Zeiger auf das nächste Token

3 strtok-Beispiel



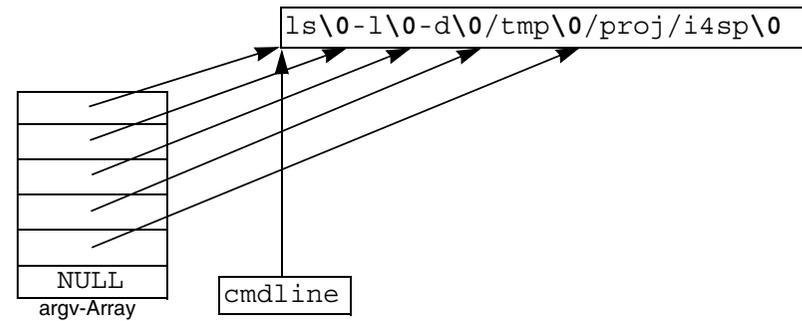
- Weitere Aufrufe von **strtok** nun mit einem NULL-Zeiger
- **strtok** liefert jeweils Zeiger auf das nächste Token

3 strtok-Beispiel



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

3 strtok-Beispiel



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

4 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)