

D Vom C-Programm zum laufenden Prozess

D-1 Übersetzen - Objektmodule

■ 1. Schritt: Präprozessor

- ◆ entfernt Kommentare, wertet Präprozessoranweisungen aus
 - fügt include-Dateien ein
 - expandiert Makros
 - entfernt Makro-abhängige Code-Abschnitte (*conditional code*)
- Beispiel:

```
#define DEBUG
...
#ifndef DEBUG
    printf("Zwischenergebnis = %d\n", wert);
#endif DEBUG
```

- ◆ Zwischenergebnis kann mit `cc -P datei.c` als `datei.i` erzeugt werden oder mit `cc -E datei.c` ausgegeben werden

D-1 Übersetzen - Objektmodule

- 2. Schritt: Compilieren
 - ◆ übersetzt C-Code in Assembler
 - ◆ Zwischenergebnis kann mit `cc -S datei.c` als `datei.s` erzeugt werden
- 3. Schritt: Assemblieren
 - ◆ assembliert Assembler-Code, erzeugt Maschinencode (Objekt-Datei)
 - ◆ standardisiertes Objekt-Dateiformat: ELF (Executable and Linking Format) (vereinfachte Darstellung) - in nicht-UNIX-Systemen andere Formate
 - Maschinencode
 - Informationen über Variablen mit Lebensdauer static (ggf. Initialisierungswerte)
 - Symboltabelle: wo stehen welche globale Variablen und Funktionen
 - Relokierungsinformation: wo werden welche "nicht gefundenen" globalen Variablen bzw. Funktionen referenziert
 - ◆ Zwischenergebnis kann mit `cc -c datei.c` als `datei.o` erzeugt werden

D-2 Binden und Bibliotheken

■ 4. Schritt: Binden

◆ Programm `ld` : (*linker*), erzeugt ausführbare Datei (*executable file*)

► ebenfalls ELF-Format (früher a.out-Format oder COFF)

◆ Objekt-Dateien (.o-Dateien) werden zusammengebunden

► noch nicht abgesättigte Referenzen auf globale Variablen und Funktionen in anderen Objekt-Dateien werden gebunden (Relokation)

◆ nach fehlenden Funktionen wird in Bibliotheken gesucht

■ statisch binden

◆ alle fehlenden Funktionen werden aus Bibliotheken genommen und in die ausführbare Datei einkopiert

► ausführbare Datei ggf. sehr groß

► Funktionen die in vielen Programmen benötigt werden (z. B. printf) werden überall einkopiert

D-2 Binden und Bibliotheken

■ dynamisch binden

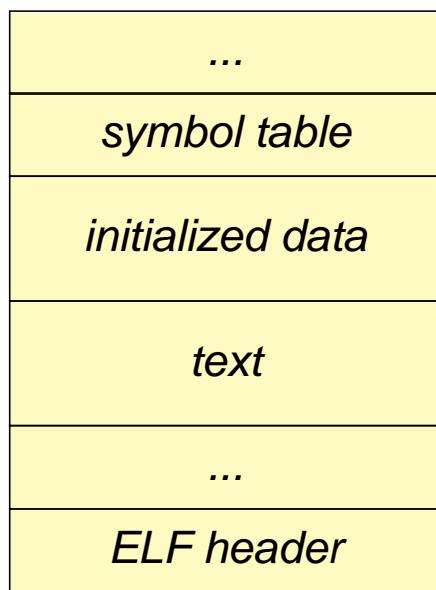
- ◆ Funktionen in gemeinsam nutzbare Bibliotheken (*shared libraries*) werden nicht in die ausführbare Datei einkopiert
 - ausführbare Datei enthält weiterhin nicht-relokierbare Referenzen
 - ausführbare Dateien sind kleiner, mehrfach genutzte Funktionen sind nur einmal in der shared library abgelegt
 - Relokation erfolgt beim Laden

D-3 Programme und Prozesse

- **Programm:** Folge von Anweisungen
(hinterlegt beispielsweise als ausführbare Datei auf dem Hintergrundspeicher)
- **Prozess:** Programm, das sich in Ausführung befindet, und seine Daten
(Beachte: ein Programm kann sich mehrfach in Ausführung befinden)
 - ein Prozess ist damit ein **abstraktes Gebilde**
- **Prozessinkarnation:**
eine physische Instanz des abstrakten Gebildes "Prozess"
 - eine konkrete Ausführungsumgebung für ein Programm
(Speicher, Rechte, Verwaltungsinformation)
- Sprachgebrauch in der Praxis etwas schlampig:
mit "Prozess" wird meistens eine Prozessinkarnation gemeint

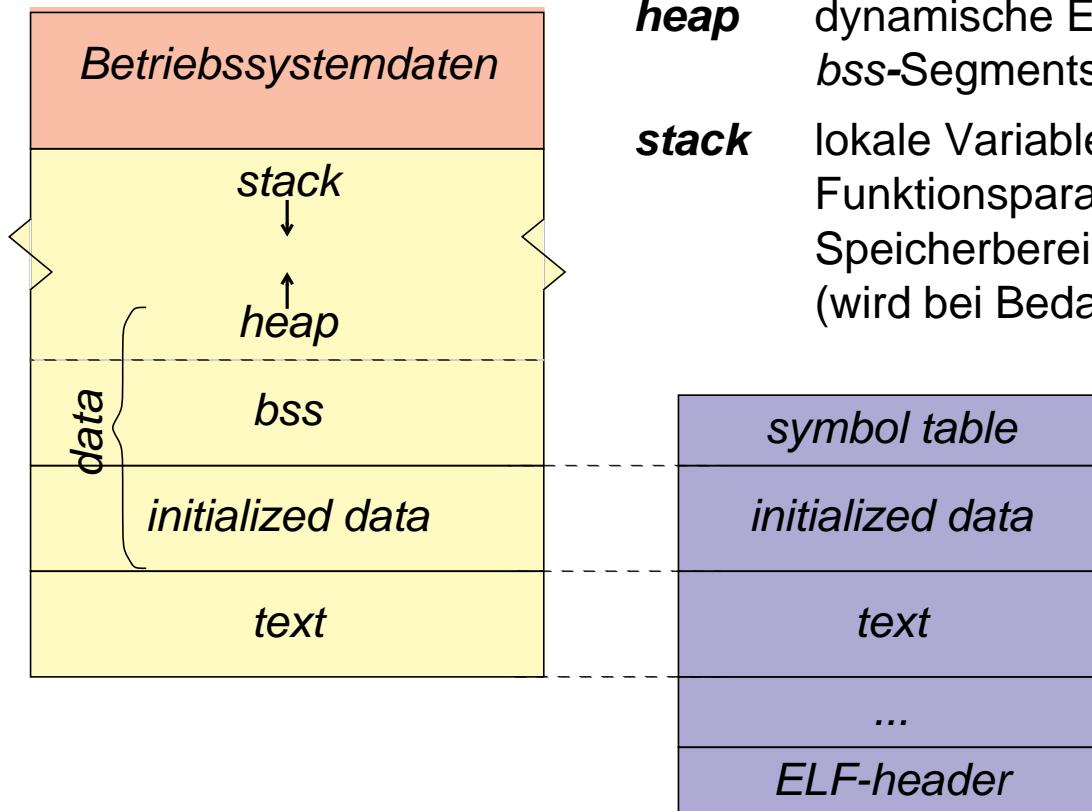
1 Speicherorganisation eines Programms

- definiert durch das ELF-Format
- wichtigste Elemente (stark vereinfach dargestellt)



ELF header	Identifikator und Verwaltungsinformationen (z. B. verschiedene <i>executable</i> Formate möglich)
text	Programmkode
initialized data	initialisierte globale und <i>static</i> Variablen
text	Zuordnung der im Programm verwendeten symbolischen Namen von Funktionen und globalen Variablen zu Adressen (z. B. für Debugger)
symbol table	
ELF header	

2 Speicherorganisation eines Prozesses



- | | |
|--------------|---|
| bss | nicht initialisierte globale und <i>static</i> Variablen (wird vor der Vergabe an den Prozess mit 0 vorbelegt) |
| heap | dynamische Erweiterungen des bss-Segments (sbrk(2), malloc(3)) |
| stack | lokale Variablen, Funktionsparameter, Speicherbereiche für Registerinhalte, (wird bei Bedarf dynamisch erweitert) |

D-4 Laden eines Programms

- in eine konkrete Ausführungsumgebung ("Prozessinkarnation") kann ein Programm geladen werden
 - Loader
- Laden statisch gebundener Programme
 - ◆ Segmente der ausführbaren Datei werden in den Speicher geladen
 - abhängig von der jeweiligen Speicherorganisation des Betriebssystems
 - ◆ Speicher für nicht-initialisierte globale und static Variablen (bss) wird bereitgestellt
 - ◆ Speicher für lokale Variablen (stack) wird bereitgestellt
 - ◆ Aufrufparameter werden in Stack- oder Datensegment kopiert, argc und argv-Zeiger werden entsprechend initialisiert
 - ◆ main-Funktion wird angesprungen

D-4 Laden eines Programms

- Laden dynamisch gebundener Programme
 - ◆ Spezielles Lade-Programm wird gestartet: **ld.so** (*dynamic linker/loader*)
ld.so erledigt die weiteren Aufgaben
 - Segmente der ausführbaren Datei werden in den Speicher geladen und Speicher für nicht-initialisierte globale und static Variablen (bss) wird angelegt
 - fehlende Funktionen werden aus shared libraries geladen (ggf. rekursiv)
 - noch offene Referenzen werden abgesättigt (Relokation)
 - wenn notwendig werden Initialisierungsfunktionen der shared libraries aufgerufen (z. B. Klasseninitialisierungen bei C++)
 - Parameter für main werden bereigestellt
 - main-Funktion wird angesprungen
 - bei Bedarf können auch während der Laufzeit des Programms auf Anforderung desd Programms weitere Funktionen nachgeladen werden (z. B. für plugins)

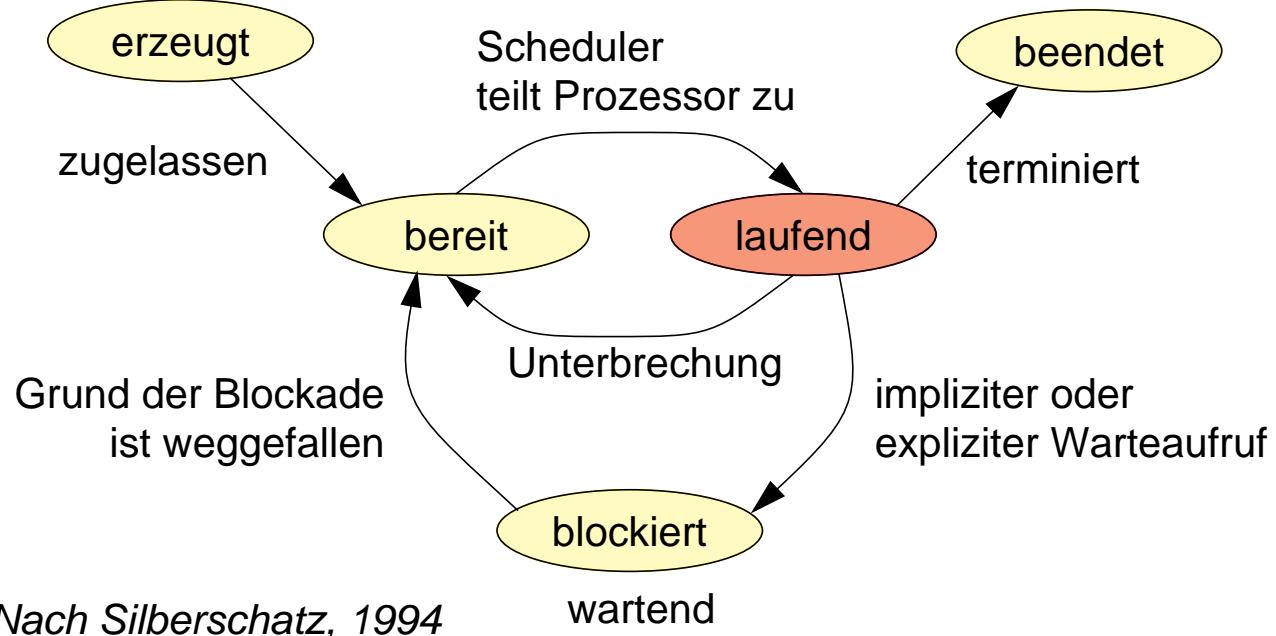
D-5 Prozesse

1 Prozesszustände

- Ein Prozess befindet sich in einem der folgenden Zustände:
 - ◆ **Erzeugt (New)**
Prozess wurde erzeugt, besitzt aber noch nicht alle nötigen Betriebsmittel
 - ◆ **Bereit (Ready)**
Prozess besitzt alle nötigen Betriebsmittel und ist bereit zum Laufen
 - ◆ **Laufend (Running)**
Prozess wird vom realen Prozessor ausgeführt
 - ◆ **Blockiert (Blocked/Waiting)**
Prozess wartet auf ein Ereignis (z.B. Fertigstellung einer Ein- oder Ausgabeoperation, Zuteilung eines Betriebsmittels, Empfang einer Nachricht); zum Warten wird er blockiert
 - ◆ **Beendet (Terminated)**
Prozess ist beendet; einige Betriebsmittel sind aber noch nicht freigegeben oder Prozess muss aus anderen Gründen im System verbleiben

1 Prozesszustände (2)

■ Zustandsdiagramm



- ◆ Scheduler ist der Teil des Betriebssystems, der die Zuteilung des realen Prozessors vornimmt.

2 Prozesserzeugung (UNIX)

- Erzeugen eines neuen UNIX-Prozesses
 - ◆ Duplizieren des gerade laufenden Prozesses

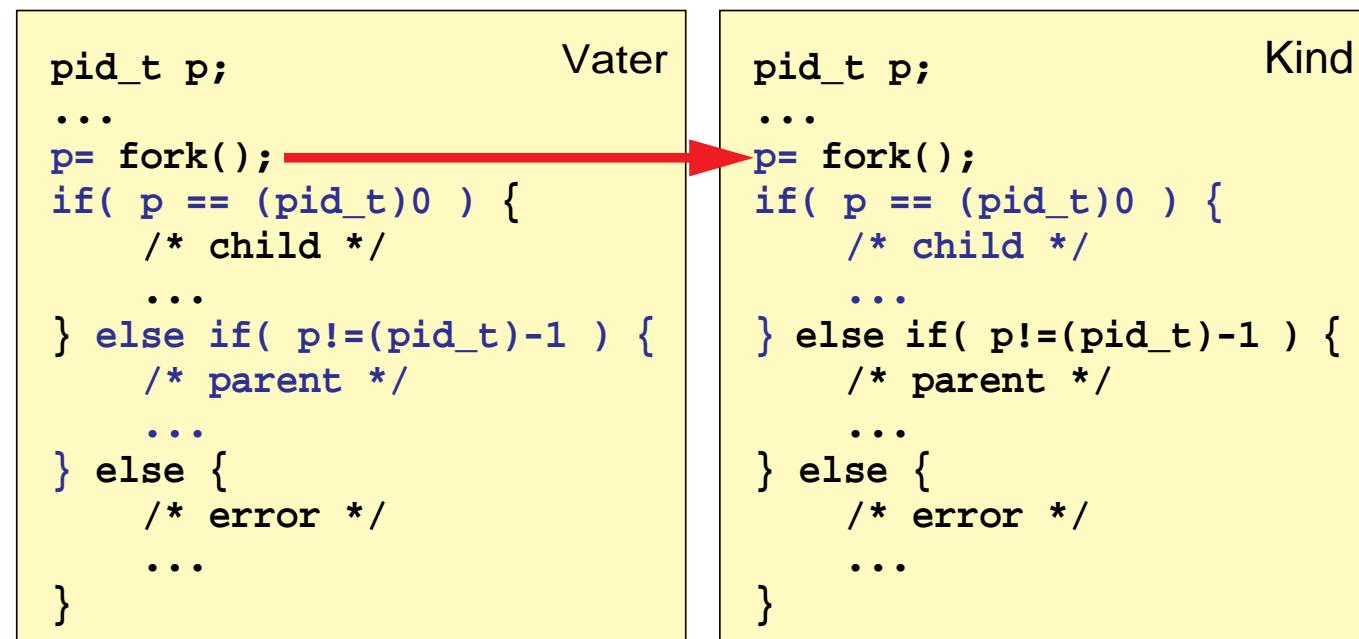
```
pid_t fork( void );
```

```
pid_t p;                                Vater
...
p= fork();
if( p == (pid_t)0 ) {
    /* child */
    ...
} else if( p!=(pid_t)-1 ) {
    /* parent */
    ...
} else {
    /* error */
    ...
}
```

2 Prozesserzeugung (UNIX)

- Erzeugen eines neuen UNIX-Prozesses
 - ◆ Duplizieren des gerade laufenden Prozesses

```
pid_t fork( void );
```



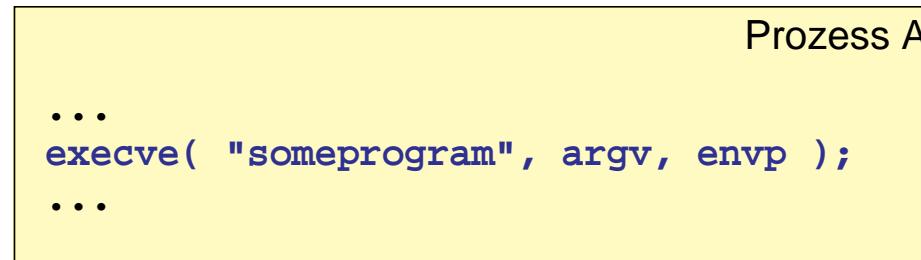
2 Prozesserzeugung (2)

- ◆ Der Kind-Prozess ist eine perfekte Kopie des Vaters
 - Gleiches Programm
 - Gleiche Daten (gleiche Werte in Variablen)
 - Gleicher Programmzähler (nach der Kopie)
 - Gleicher Eigentümer
 - Gleiches aktuelles Verzeichnis
 - Gleiche Dateien geöffnet (selbst Schreib-, Lesezeiger ist gemeinsam)
 - ...
- ◆ Unterschiede:
 - Verschiedene PIDs
 - `fork()` liefert verschiedene Werte als Ergebnis für Vater und Kind

3 Ausführen eines Programms (UNIX)

- Prozess führt ein neues Programm aus

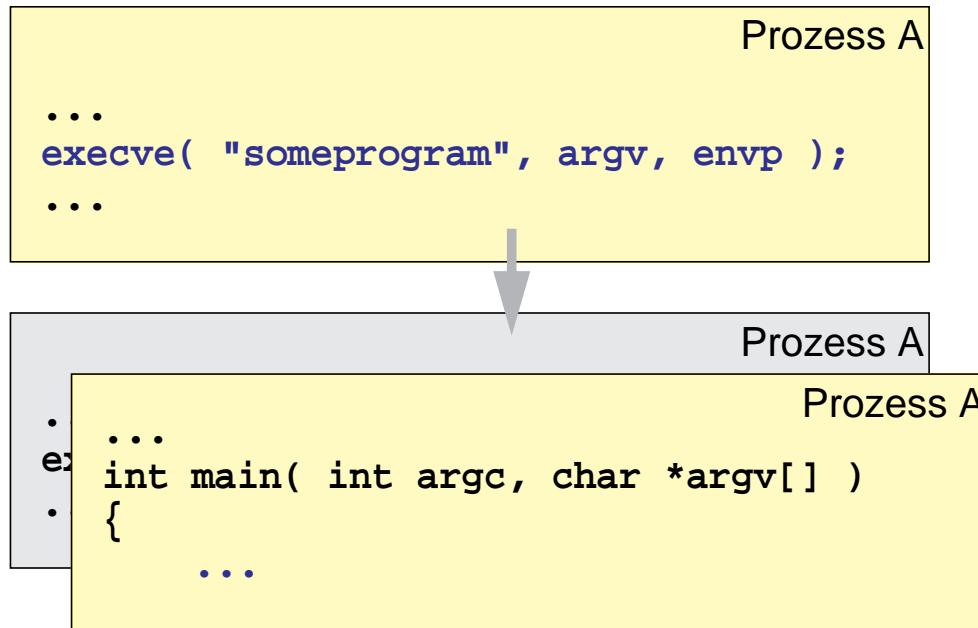
```
int execve( const char *path, char *const argv[],  
            char *const envp[] );
```



3 Ausführen eines Programms (UNIX)

- Prozess führt ein neues Programm aus

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



das vorher ausgeführte Programm ist dadurch endgültig beendet

- execve kehrt im Erfolgsfall nie zurück

4 Operationen auf Prozessen (UNIX)

■ Prozess beenden

```
void _exit( int status );
[ void exit( int status ); ]
```

- Prozess terminiert - exit kehrt nicht zurück

■ Prozessidentifikator

```
pid_t getpid( void );           /* eigene PID */
pid_t getppid( void );         /* PID des Vaterprozesses */
```

■ Warten auf Beendigung eines Kindprozesses

```
pid_t wait( int *statusp );
```

- Prozess wird so lange blockiert bis Kindprozess terminiert
- über den Parameter werden Informationen über den exit-Status des Kindprozesses zurückgeliefert