

# Systemprogrammierung

## Grundlagen von Betriebssystemen

### Teil A – III. Vom C-Programm zum laufenden Prozess

9. Mai 2023

Jürgen Kleinöder

(© Jürgen Kleinöder)



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

## Überblick

- Vom C-Programm zum ausführbaren Programm (*Executable*)
  - Präprozessor
  - Compilieren
  - (Assemblieren)
  - Binden (statisch / dynamisch)
- Programme und Prozesse
  - Speicherorganisation eines Programms
  - Speicherorganisation eines Prozesses
  - Laden eines Programms (statisch gebunden / dynamisch gebunden)
- Prozesse
  - Prozesszustände
  - Prozesse erzeugen
  - Programme ausführen
  - weitere Operationen auf Prozessen

© jk SP (SS 2023, A-III)

1 Überblick III-2

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

## Übersetzen - Objektmodule

- 1. Schritt: Präprozessor
  - entfernt Kommentare, wertet Präprozessoranweisungen aus
    - fügt include-Dateien ein
    - expandiert Makros
    - entfernt Makro-abhängige Code-Abschnitte (*conditional code*)

```
#define DEBUG
...
#ifdef 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

© jk SP (SS 2023, A-III)

2 Übersetzen-Objektmodule III-3

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

## Übersetzen - Objektmodule (2)

- 2. Schritt: Compilieren
  - übersetzt C-Code in Assembler
  - wenn Assemblercode nicht explizit angefordert wird, direkter Übergang zu 3.
  - 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

© jk SP (SS 2023, A-III)

2 Übersetzen-Objektmodule III-4

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

## 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

## Binden und Bibliotheken (2)

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

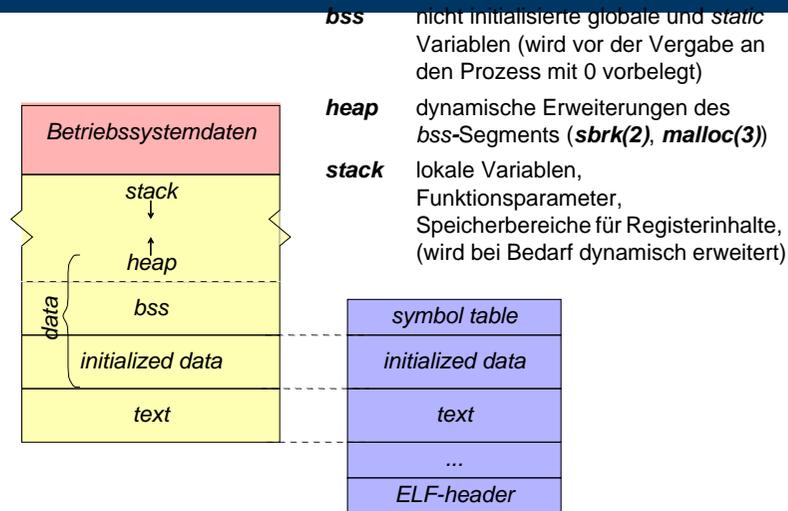
## Programme und Prozesse

- **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 erst mal ein **abstraktes Gebilde** (= Funktionen und Datenstrukturen zur Verwaltung von Programmausführungen)
  - im objektorientierten Sinn eine *Klasse*
- **Prozessinstanz** (Prozessinkarnation): eine physische Instanz des abstrakten Gebildes "Prozess"
  - eine konkrete Ausführungsumgebung für ein Programm (Speicher, Rechte, Verwaltungsinformation)
  - im objektorientierten Sinn die *Instanz*
- Sprachgebrauch in der Praxis etwas schlampig: mit "Prozess" wird meistens eine Prozessinstanz gemeint

## Speicherorganisation eines Programms

- definiert durch das ELF-Format
  - wichtigste Elemente (stark vereinfacht dargestellt)
- |                         |                         |   |
|-------------------------|-------------------------|---|
| ...                     | <b>ELF header</b>       | Identifikator und Verwaltungsinformationen (z. B. verschiedene <i>executable</i> Formate möglich)                               |
| <i>symbol table</i>     |                         |   |
| <i>initialized data</i> | <b>text</b>             | Programmkode  |
| <i>text</i>             | <b>initialized data</b> | initialisierte globale und <i>static</i> Variablen  |
| ...                     |                         |   |
| <i>ELF header</i>       | <b>symbol table</b>     | Zuordnung der im Programm verwendeten symbolischen Namen von Funktionen und globalen Variablen zu Adressen (z. B. für Debugger) |

## Speicherorganisation eines Prozesses



## Laden eines Programms

- in eine konkrete Ausführungsumgebung (Prozessinstanz) 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 und mit 0 vorbelegt
  - 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

## Laden eines Programms (2)

- 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 bereitgestellt
    - *main*-Funktion wird angesprungen
    - bei Bedarf können auch während der Laufzeit des Programms auf Anforderung des Programms weitere Funktionen nachgeladen werden (z. B. für plugins)

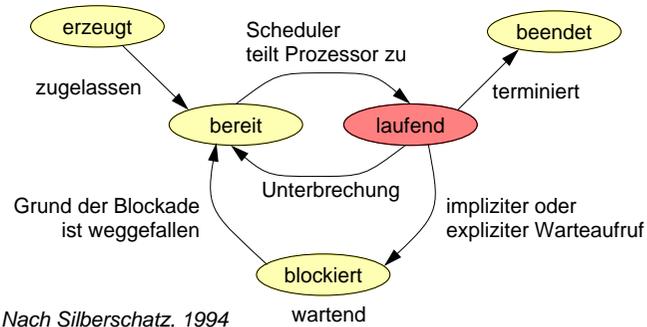
## Prozesse

### 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

## Prozesszustände (2)

### Zustandsdiagramm



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

## Prozesserzeugung (UNIX)

### Erzeugen eines neuen UNIX-Prozesses

- Duplizieren des gerade laufenden Prozesses

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

```

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

## Prozesserzeugung (UNIX)

### Erzeugen eines neuen UNIX-Prozesses

- Duplizieren des gerade laufenden Prozesses

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

<pre> pid_t p;      Elternprozess ... p= fork(); if( p == (pid_t)0 ) {     /* child */     ... } else if( p!=(pid_t)-1 ) {     /* parent */     ... } else {     /* error */     ... }           </pre>		<pre> pid_t p;      Kindprozess ... p= fork(); if( p == (pid_t)0 ) {     /* child */     ... } else if( p!=(pid_t)-1 ) {     /* parent */     ... } else {     /* error */     ... }           </pre>
---	--	---

## Prozesserzeugung (2)

- Der Kindprozess ist eine perfekte **Kopie** des Elternprozesses

- 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 Eltern- und Kindproz.

## Ausführen eines Programms (UNIX)

- Prozess führt ein neues Programm aus

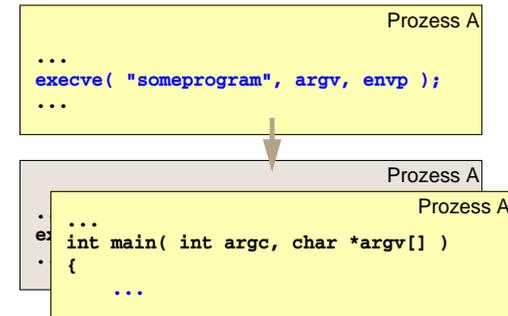
```
int execve( const char *path, char *const argv[],
            char *const envp[] );
```

```
Prozess A
...
execve( "someprogram", argv, envp );
...
```

## 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

## Operationen auf Prozessen (UNIX)

- Prozess beenden

```
void exit( int status );
```

► Prozess terminiert - exit kehrt nicht zurück

- Prozessidentifikator

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

- 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