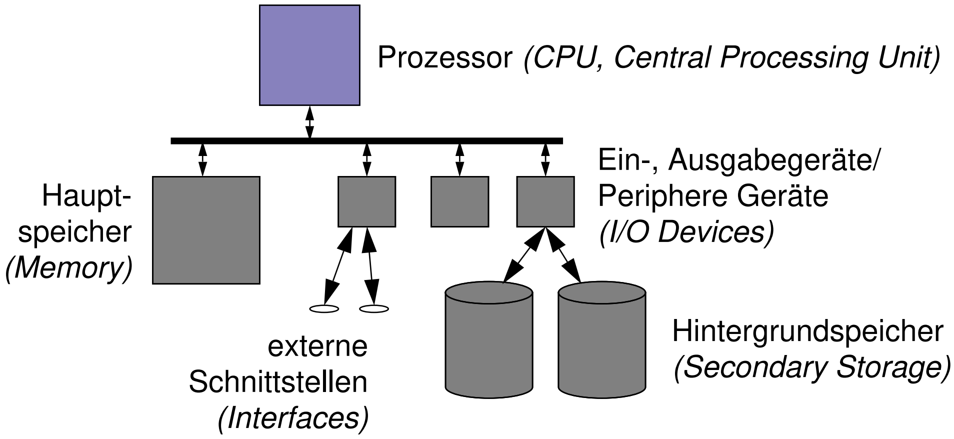
I Prozesse

- Einordnung



I.1 Prozessor

- Register
  - Prozessor besitzt Steuer- und Vielzweckregister
  - Steuerregister:
    - Programmzähler *(Instruction Pointer)*
    - Stapelregister *(Stack Pointer)*
    - Statusregister
    - etc.
- Programmzähler enthält Speicherstelle der nächsten Instruktion
  - Instruktion wird geladen und
  - ausgeführt
  - Programmzähler wird inkrementiert
  - dieser Vorgang wird ständig wiederholt

I.1 Prozessor (2)

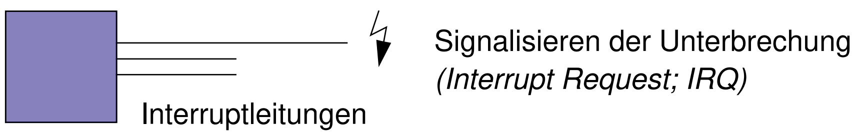
- Beispiel für Instruktionen

```
...
0010 5510000000   movl DS:$10, %ebx
0015 5614000000   movl DS:$14, %eax
001a 8a           addl %eax, %ebx
001b 5a18000000   movl %ebx, DS:$18
...
```

- Prozessor arbeitet in einem bestimmten Modus
  - ◆ Benutzermodus: eingeschränkter Befehlssatz
  - ◆ privilegierter Modus: erlaubt Ausführung privilegierter Befehle
    - ➤ Konfigurationsänderungen des Prozessors
    - ➤ Moduswechsel
    - ➤ spezielle Ein-, Ausgabebefehle

I.1 Prozessor (3)

- Unterbrechungen *(Interrupts)*



  - ◆ ausgelöst durch ein Signal eines externen Geräts
  - ➥ asynchron zur Programmausführung
    - ➤ Prozessor unterbricht laufende Bearbeitung und führt eine definierte Befehlsfolge aus (vom privilegierten Modus aus konfigurierbar)
    - ➤ vorher werden alle Register einschließlich Programmzähler gesichert (z.B. auf dem Stack)
    - ➤ nach einer Unterbrechung kann der ursprüngliche Zustand wiederhergestellt werden
    - ➤ Unterbrechungen werden im privilegierten Modus bearbeitet

I.1 Prozessor (4)

- Ausnahmesituationen, Systemaufrufe *(Traps)*
  - ausgelöst durch eine Aktivität des gerade ausgeführten Programms
    - ➤ fehlerhaftes Verhalten
      (Zugriff auf ungültige Speicheradresse, ungültiger Maschinenbefehl, Division durch Null)
    - ➤ kontrollierter Eintritt in den privilegierten Modus
      (spezieller Maschinenbefehl - *Trap* oder *Supervisor Call*)
      – Implementierung der Betriebssystemschnittstelle
  - ➥ synchron zur Programmausführung
  - Prozessor schaltet in privilegierten Modus und führt definierte Befehlsfolge aus (vom privilegierten Modus aus konfigurierbar)
    - ➤ Ausnahmesituation wird geeignet bearbeitet (z. B. durch Abbruch der Programmausführung)
    - ➤ Systemaufruf wird durch Funktionen des Betriebssystems im privilegierten Modus ausgeführt (partielle Interpretation)
  - ➤ Parameter werden nach einer Konvention übergeben (z.B. auf dem Stack)

I.2 Prozesse

- ▲ Bisherige Definition:
  - Programm, das sich in Ausführung befindet, und seine Daten
    (Beachte: ein Programm kann sich mehrfach in Ausführung befinden)
  - ➤ eine konkrete Ausführungsumgebung für ein Programm mit den dazu erforderlichen Betriebsmitteln:
    Speicher, Rechte, Verwaltungsinformation (verbrauchte Rechenzeit,...),...
- eine etwas andere Sicht:
  - ein virtueller Prozessor, der ein Programm ausführt
  - ➤ Speicher → virtueller Adressraum
  - ➤ Prozessor → Zeitanteile am echten Prozessor
  - ➤ Interrupts → Signale
  - ➤ I/O-Schnittstellen → Dateisystem, Kommunikationsmechanismen
  - ➤ Maschinenbefehle → direkte Ausführung durch echten Prozessor
    oder partielle Interpretation von Trap-Befehlen durch Betriebssystemcode

I.2 Prozesse (2)

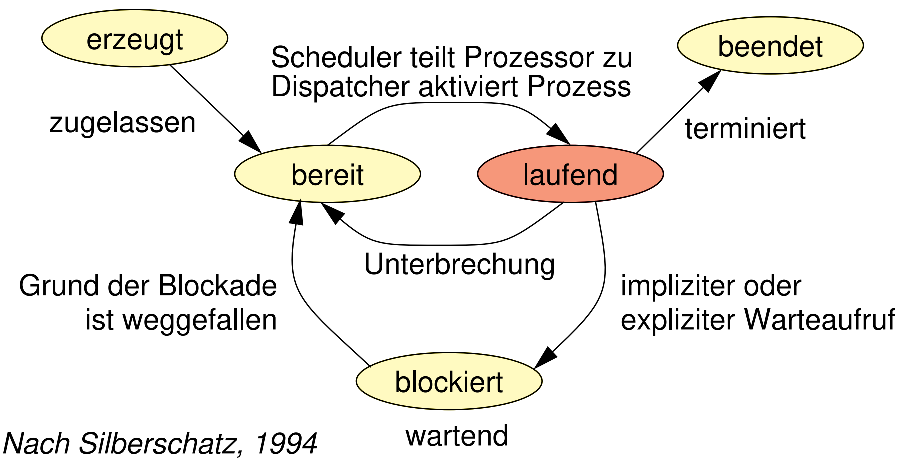
- Mehrprogrammbetrieb
  - ➤ mehrere Prozesse können quasi gleichzeitig ausgeführt werden
  - ➤ steht nur ein echter Prozessor zur Verfügung, werden Zeitanteile der Rechenzeit an die Prozesse vergeben ***(Time Sharing System)***
  - ➤ die Entscheidung, welcher Prozess zu welchem Zeitpunkt wieviel Rechenzeit zugeteilt bekommt, trifft das Betriebssystem ***(Scheduler)***
  - ➤ die Umschaltung zwischen Prozessen erfolgt durch das Betriebssystem ***(Dispatcher)***
  - ➤ Prozesse laufen nebenläufig
    (das ausgeführte Programm weiß nicht, an welchen Stellen auf einen anderen Prozess umgeschaltet wird)

I.3 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 jedoch noch nicht freigegeben oder Prozess muss aus anderen Gründen im System verbleiben

I.3 Prozesszustände (2)

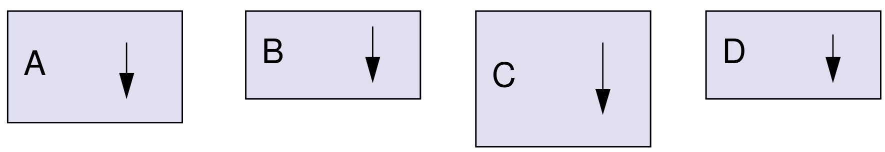
- Zustandsdiagramm



Nach Silberschatz, 1994

I.4 Prozesswechsel

- Konzeptionelles Modell

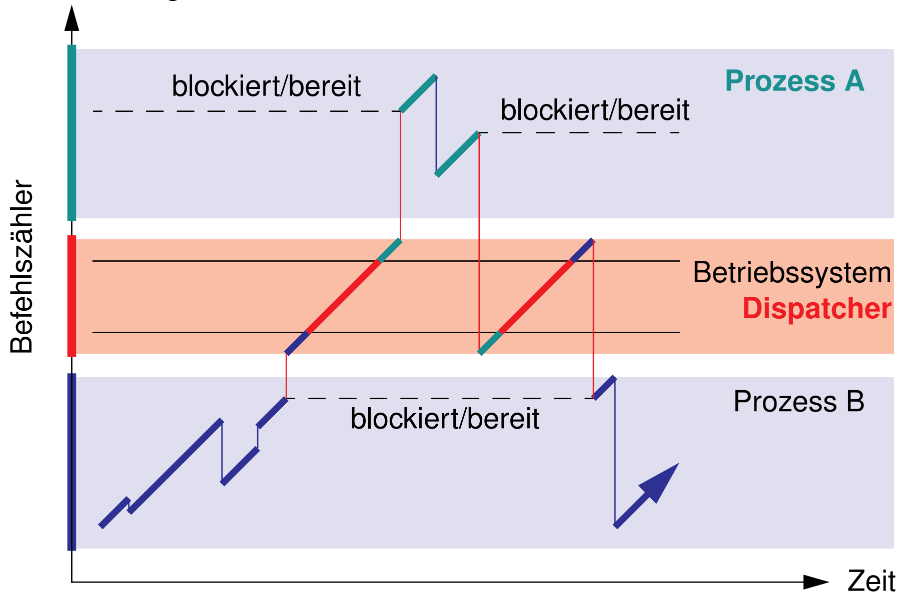


vier Prozesse mit eigenständigen Befehlszählern

- Umschaltung *(Context Switch)*
  - Sichern der Register des laufenden Prozesses inkl. Programmzähler (Kontext),
  - Auswahl des neuen Prozesses,
  - Ablaufumgebung des neuen Prozesses herstellen (z.B. Speicherabbildung, etc.),
  - gesicherte Register des neuen Prozesses laden und
  - Prozessor aufsetzen.

I.4 Prozesswechsel (2)

- Umschaltung



I.4 Prozesswechsel (3)

- Prozesskontrollblock *(Process Control Block; PCB)*
  - ◆ Datenstruktur des Betriebssystems, die alle nötigen Daten für einen Prozess hält. Beispielsweise in UNIX:
    - ➤ Prozessnummer *(PID)*
    - ➤ verbrauchte Rechenzeit
    - ➤ Erzeugungszeitpunkt
    - ➤ Kontext (Register etc.)
    - ➤ Speicherabbildung
    - ➤ Eigentümer *(UID, GID)*
    - ➤ Wurzelkatalog, aktueller Katalog
    - ➤ offene Dateien
    - ➤ …

I.5 Prozesserzeugung (UNIX)

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

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

Vater

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


I.5 Prozesserzeugung (UNIX)

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

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

Vater

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

Kind

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

I.5 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

I.6 Ausführen eines Programms (UNIX)

- Das von einem Prozess gerade ausgeführte Programm kann durch ein neues Programm ersetzt werden

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

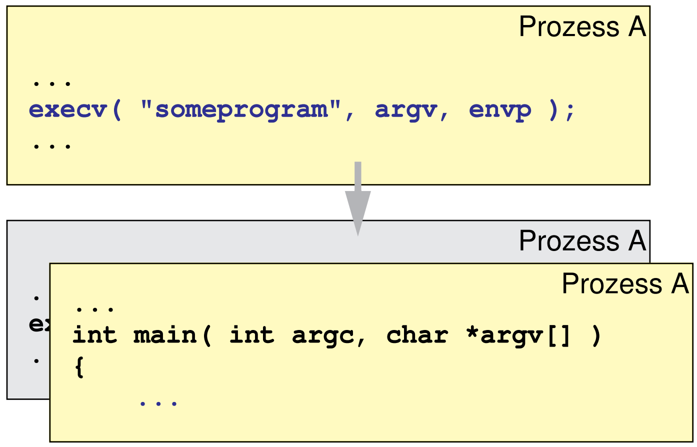
Prozess A

```
...
execv( "someprogram", argv, envp );
...
```

I.6 Ausführen eines Programms (UNIX)

- Das von einem Prozess gerade ausgeführte Programm kann durch ein neues Programm ersetzt werden

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



das zuvor ausgeführte Programm wird dadurch beendet.

I.6 Operationen auf Prozessen (UNIX)

- Prozess beenden

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

- Prozessidentifikator

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

- Warten auf Beendigung eines Kindprozesses

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

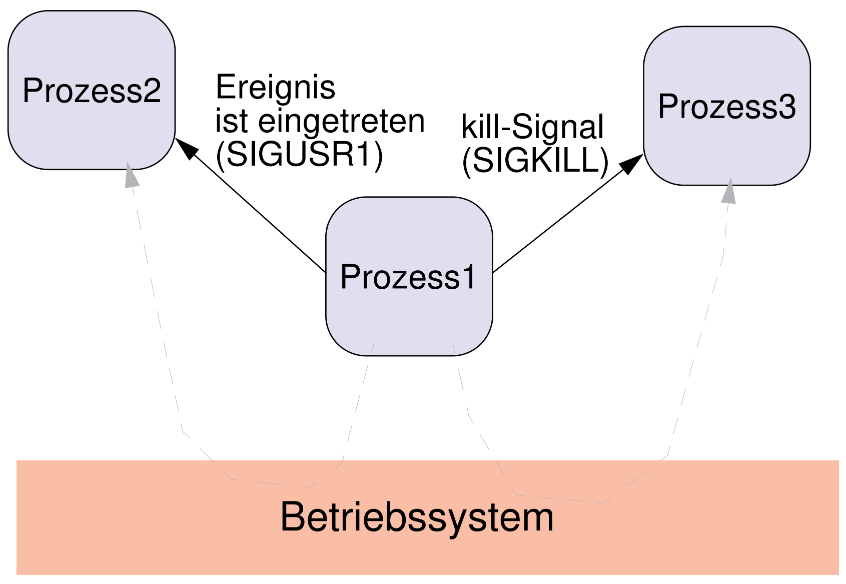
I.7 Signale

1 Signalisierung des Systemkerns an einen Prozess

- Software-Implementierung der Hardware-Konzepte
  - ◆ **Interrupt**: asynchrones Signal aufgrund eines "externen" Ereignisses
    - ➤ CTRL-C auf der Tastatur gedrückt (Interrupt-Signal)
    - ➤ Timer abgelaufen
    - ➤ Kind-Prozess terminiert
    - ➤ …
  - ◆ **Trap:** synchrones Signal, ausgelöst durch die Aktivität des Prozesses
    - ➤ Zugriff auf ungültige Speicheradresse
    - ➤ Illegaler Maschinenbefehl
    - ➤ Division durch NULL
    - ➤ Schreiben auf eine geschlossene Kommunikationsverbindung
    - ➤ …

2 Kommunikation zwischen Prozessen

- ein Prozess will einem anderen ein Ereignis signalisieren

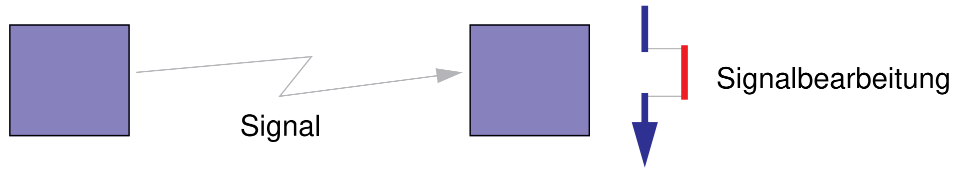


3 Reaktion auf Signale

- abort
  - erzeugt Core-Dump (Segmente + Registercontext) und beendet Prozess
- exit
  - beendet Prozess, ohne einen Core-Dump zu erzeugen
- ignore
  - ignoriert Signal
- stop
  - stoppt Prozess
- continue
  - setzt gestoppten Prozess fort
- signal handler
  - Aufruf einer Signalbehandlungsfunktion, danach Fortsetzung des Prozesses

4 POSIX Signalbehandlung

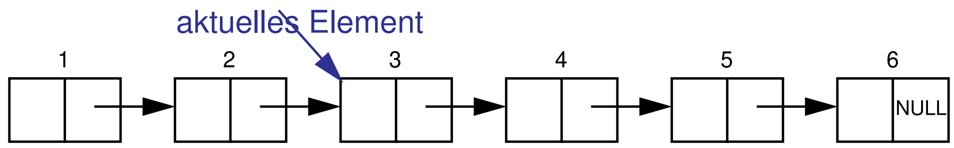
- Betriebssystemschnittstelle zum Umgang mit Signalen
- Signal bewirkt Aufruf einer Funktion (analog ISR)



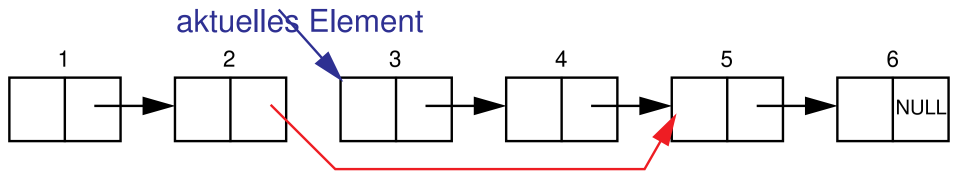
  - nach der Behandlung läuft der Prozess an der unterbrochenen Stelle weiter
- Systemschnittstelle
  - sigaction – Anmelden einer Funktion = Einrichten der ISR-Tabelle
  - sigprocmask – Blockieren/Freigeben von Signalen ≈ cli() / sei()
  - sigsuspend – Freigeben + passives Warten auf Signal + wieder Blockieren
    ≈ sei() + sleep_cpu() + cli()
  - kill – Signal an anderen Prozess verschicken

5 Signale und Nebenläufigkeit → Race Conditions

- Signale erzeugen Nebenläufigkeit innerhalb des Prozesses
- resultierende Probleme völlig analog zu Nebenläufigkeit bei Interrupts auf einem Mikrocontroller
- Beispiel:
  - main-Funktion läuft durch eine verkettete Liste



  - Prozess erhält Signal; Signalhandler entfernt Elemente 3 und 4 aus der Liste und gibt den Speicher dieser Elemente frei



5 Signale und Nebenläufigkeit → Race Conditions (2)

- zusätzliche Problem:
  - Signale können die Behandlung anderer Signale unterbrechen
  - Signale können Bibliotheksfunktionen unterbrechen, die nicht dafür eingerichtet sind
    - ➤ Funktionen `printf()` oder `getchar()`
    - ➤ siehe Funktion `readdir` im nächsten Kapitel
- Lösung:
  - ➤ Signal während Ausführung von kritischen Programmabschnitten blockieren!
  - ➤ kritische Bibliotheksfunktionen aus Signalbehandlungsfunktionen möglichst nicht aufrufen
- grundlegendes Problem
  man muss wissen, welche Funktion(en) in Bezug auf Nebenläufigkeit problematisch sind **(nicht reentrant)**