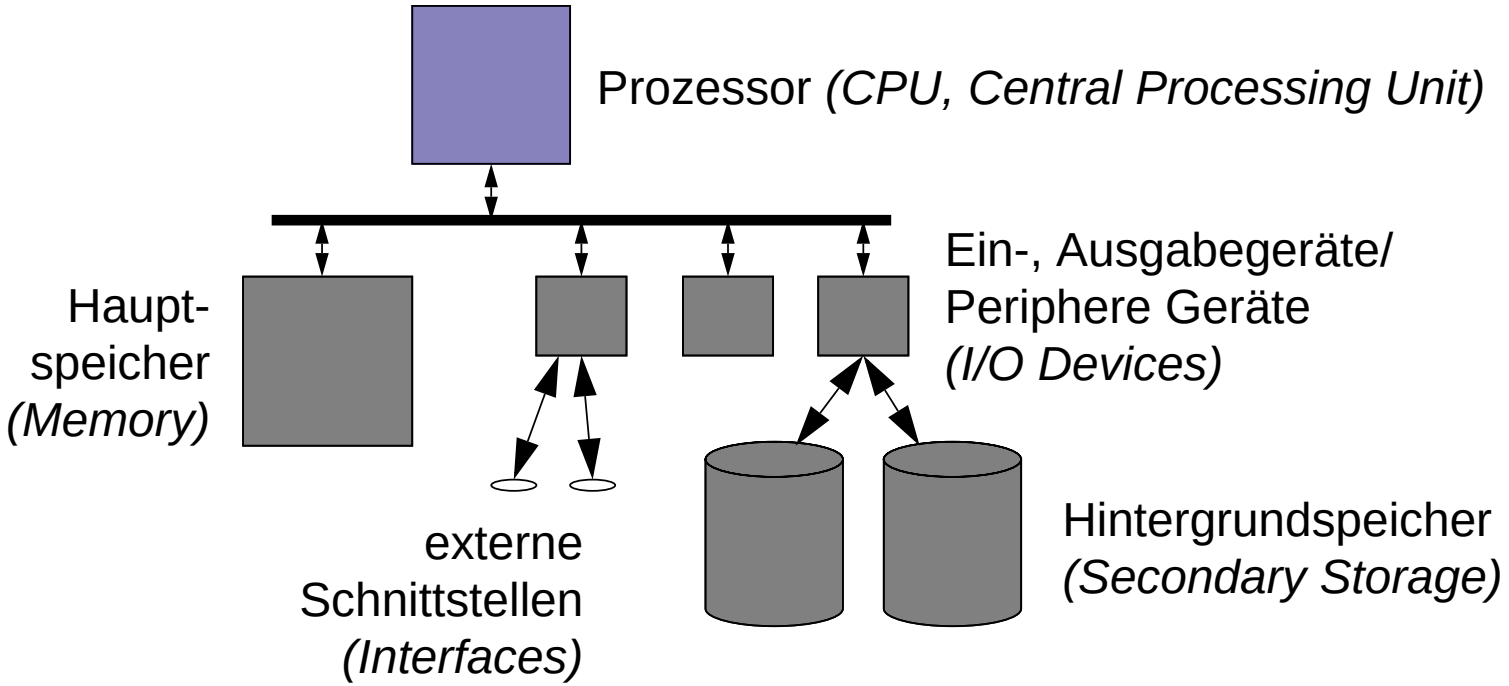
Überblick: Teil D Betriebssystemabstraktionen

Überblick

- Einordnung



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

Prozessor (2)

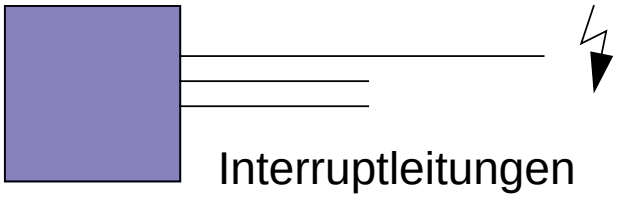
- Beispiel für Instruktionen

```
...
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

Prozessor (3)

- Unterbrechungen *(Interrupts)*



Signalisieren der Unterbrechung
(Interrupt Request; IRQ)

- 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

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)

Programme, Prozesse und Speicher

- **Programm:** Folge von Anweisungen
(hinterlegt beispielsweise als ausführbare Datei auf dem Hintergrundspeicher)

- **Prozess:** Betriebssystemkonzept
  - Programm, das sich in Ausführung befindet, und seine Daten
(Beachte: ein Programm kann sich mehrfach in Ausführung befinden)
  - eine konkrete Ausführungsumgebung für ein Programm
Speicher, Rechte, Verwaltungsinformation (verbrauchte Rechenzeit,...),...

- jeder Prozess bekommt einen eigenen virtuellen Adressraum zur Verfügung gestellt
  - eigener (virtueller) Speicherbereich von 0 bis 4 GB (32-Bit-Architekturen)
(bei 64-Bit-Architekturen auch beliebig viel mehr)
  - Datenbereiche von verschiedenen Prozessen und Betriebssystem sind gegeneinander geschützt
  - Datentransfer zwischen Prozessen nur durch Vermittlung des Betriebssystems möglich

Prozesse

- Bisherige Definition:
  - Programm, das sich in Ausführung befindet, und seine Daten
- 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

Prozesse (2)

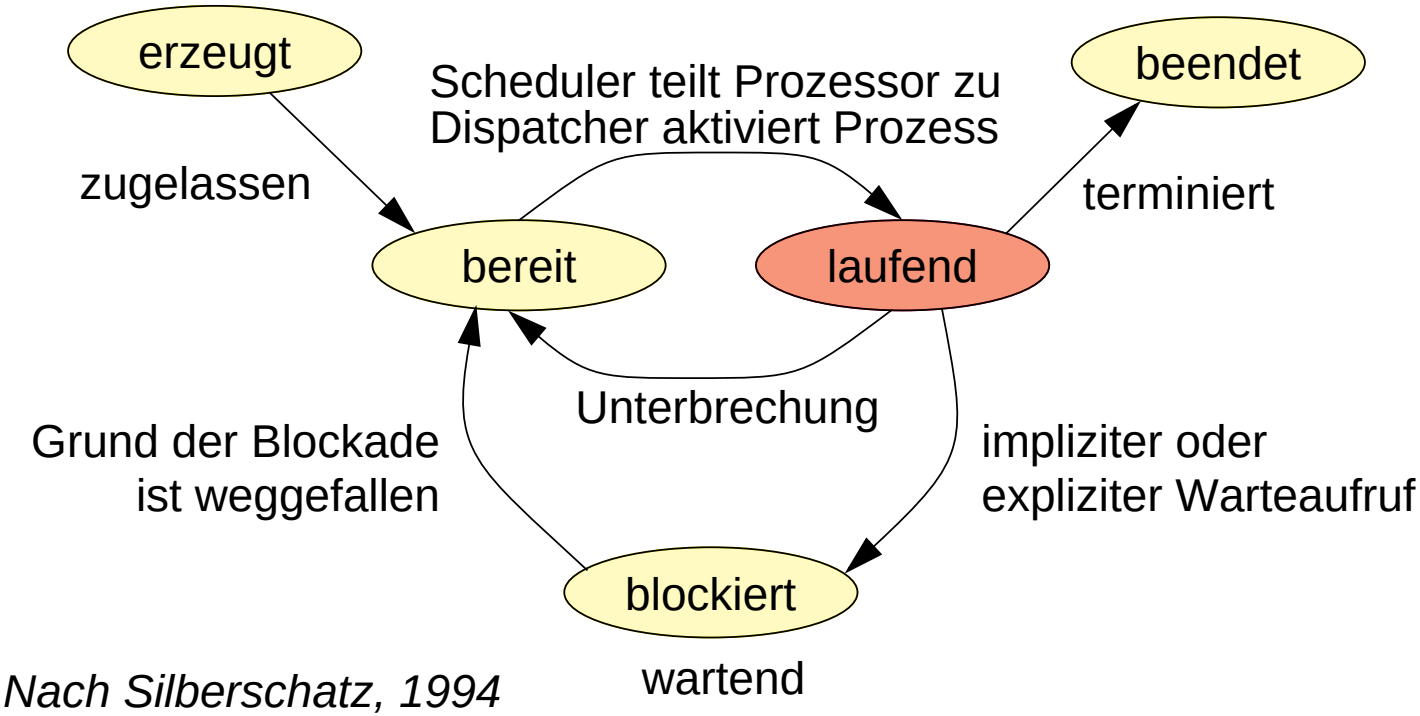
- Mehrprogrammbetrieb
  - mehrere Prozesse können quasi gleichzeitig ausgeführt werden
  - steht nur ein echter Prozessor zur Verfügung, werden Zeitanteile der Rechenzeit an die Prozesse vergeben ***(Time Sharing System)***
  - die Entscheidung, welcher Prozess zu welchem Zeitpunkt wieviel Rechenzeit 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)

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

Prozesszustände (2)

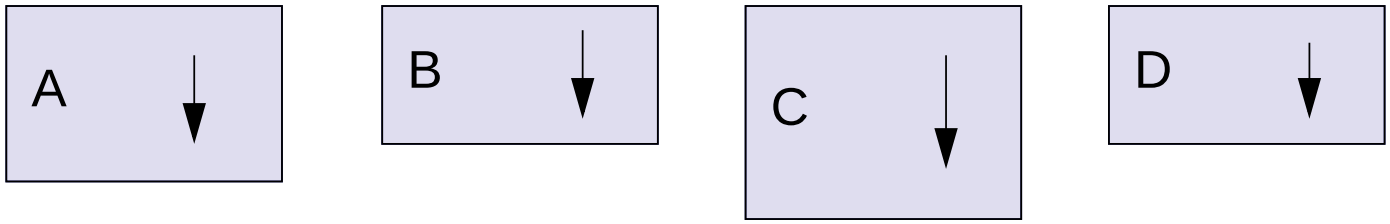
- Zustandsdiagramm



Nach Silberschatz, 1994

Prozesswechsel

- Konzeptionelles Modell

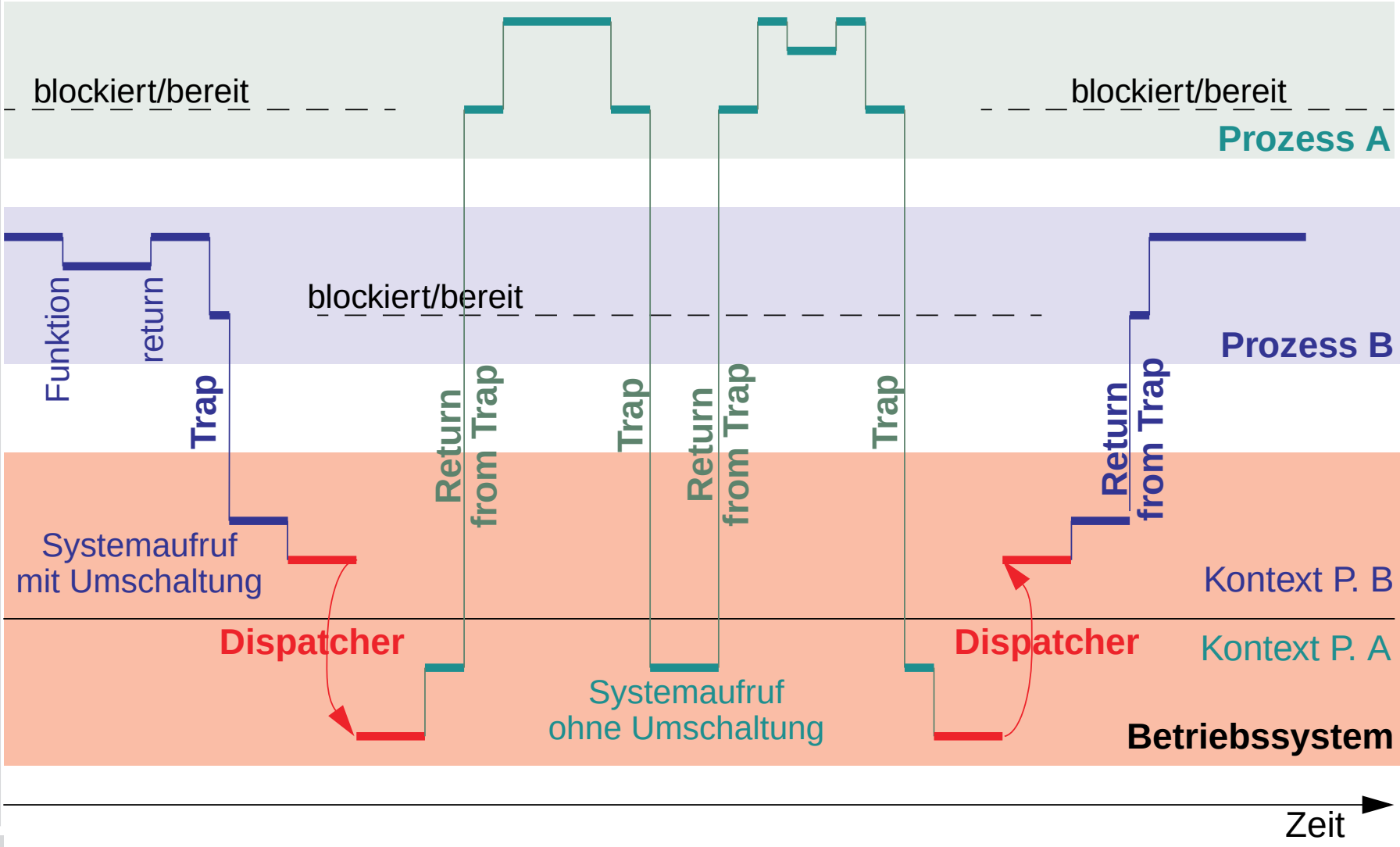


vier Prozesse mit eigenständigen Befehlszählern

- 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.

Prozesswechsel (2)

- Ablauf von zwei Prozessen in Benutzermodus und Kern mit Umschaltung



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
    - …

Prozesserzeugung (UNIX)

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

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

Vater

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

Prozesserzeugung (UNIX)

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

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

Vater

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

Kind

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

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

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[]);
```

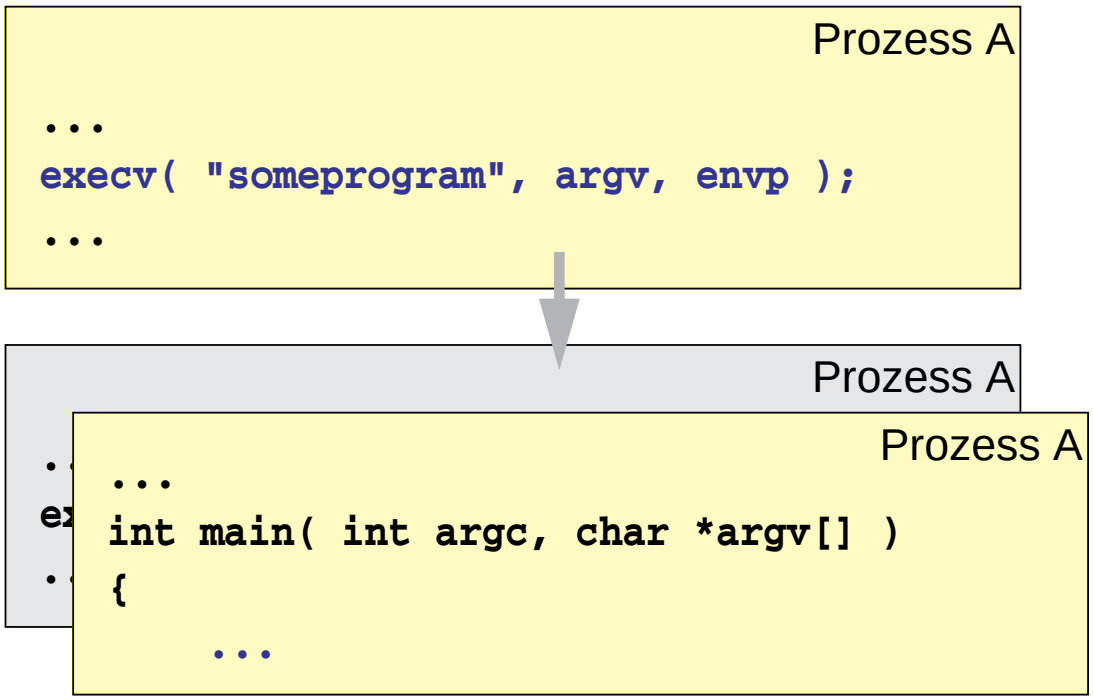
Prozess A

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

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.

- ➤ Es wird nur das Programm beendet, nicht aber der Prozess!!!

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 );
```

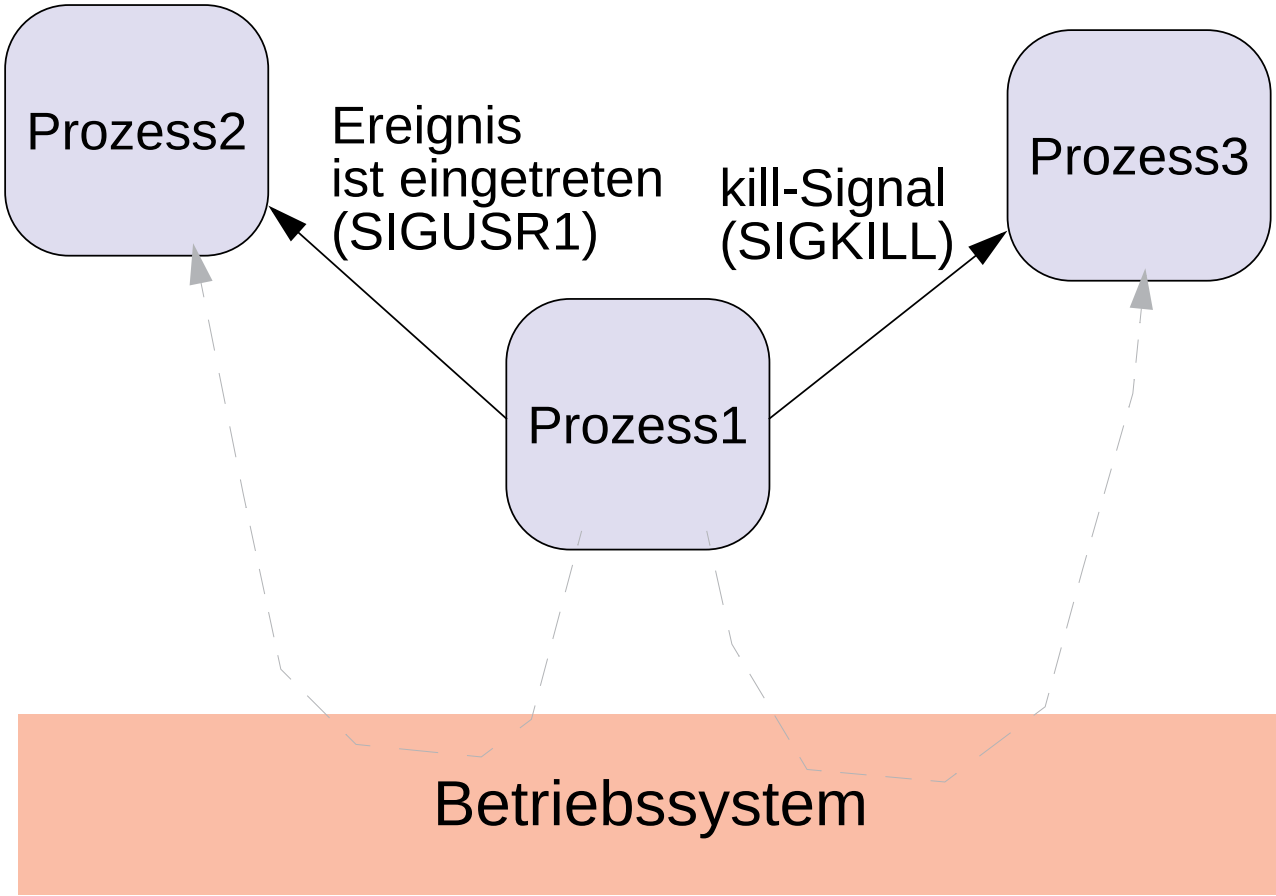
  - ➤ das Betriebssystem schreibt den Exit-Status des beendeten Kindprozesses in ein Byte der Variablen, auf die **`statusp`** zeigt.

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
    - …

Kommunikation zwischen Prozessen

- ein Prozess will einem anderen ein Ereignis signalisieren

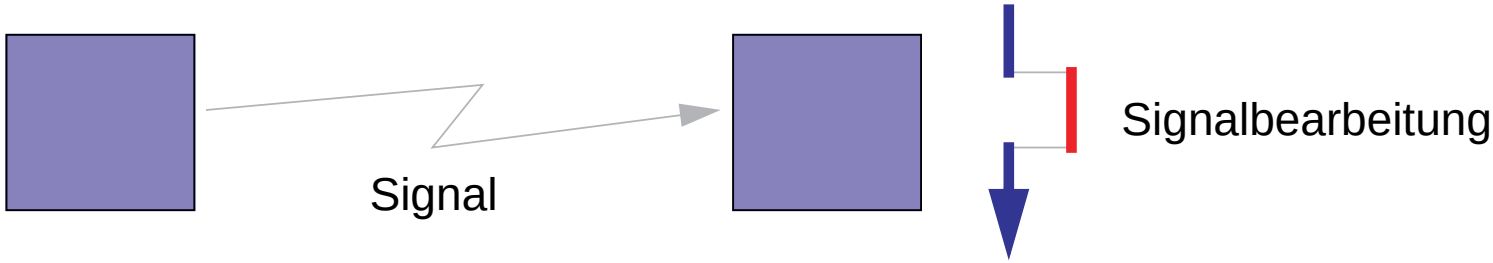


Reaktion auf Signale

- 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

POSIX Signalbehandlung

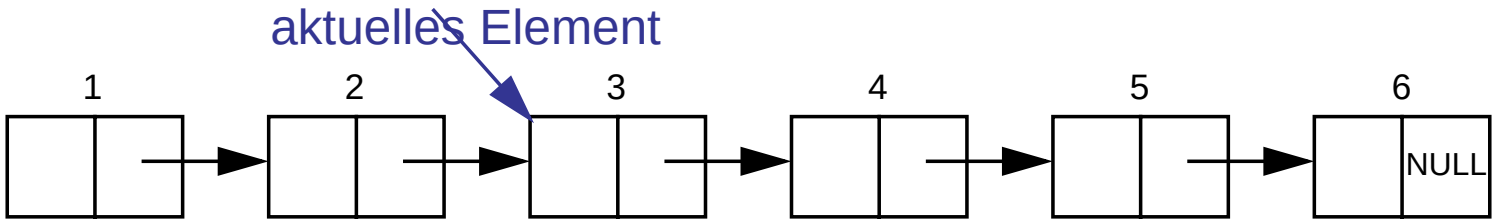
- Betriebssystemschnittstelle zum Umgang mit Signalen
- Signal bewirkt Aufruf einer Funktion (analog ISR)



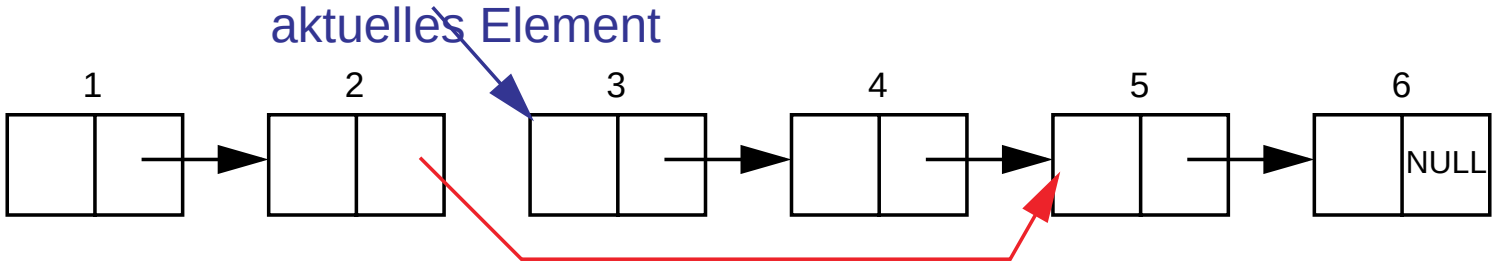
  - nach der Behandlung läuft der Prozess an der unterbrochenen Stelle weiter
- Systemschnittstelle
  - sigaction – Anmelden einer Funktion = Einrichten der ISR-Tabelle
  - sigprocmask – Blockieren/Freigeben von Signalen ≈ cli() / sei()
  - sigsuspend – Freigeben + passives Warten auf Signal + wieder Blockieren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

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



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` in Kapitel 18

- 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 **(nicht reenttrant)** sind