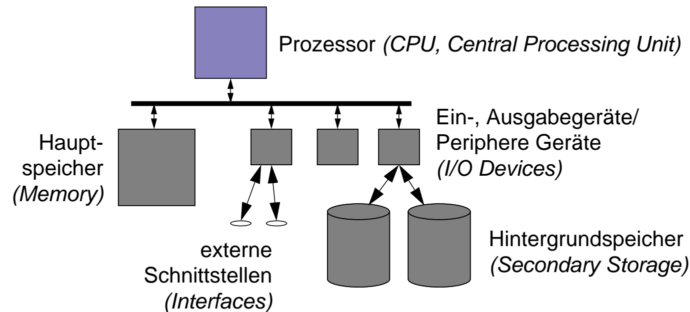
I Prozesse

- Einordnung



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

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

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

I.1 Prozessor (2)

- Beispiel für Instruktionen

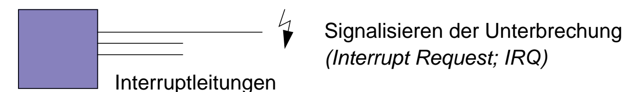
```
...
0010 5510000000    movl DS:$10, %ebx
0015 5614000000    movl DS:$14, %eax
001a 8a            addl %eax, %ebx
001b 5a18000000    movl %ebx, DS:$18
...
```

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

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

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

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

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)

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

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

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

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)

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

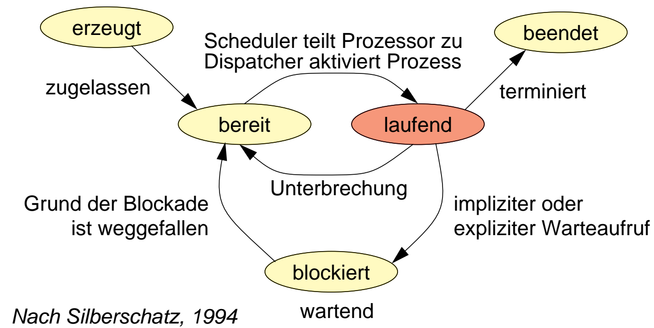
I.3 Prozesszustände

- 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

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

I.3 Prozesszustände (2)

- Zustandsdiagramm

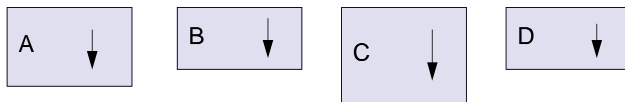


Nach Silberschatz, 1994

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

I.4 Prozesswechsel

- Konzeptionelles Modell



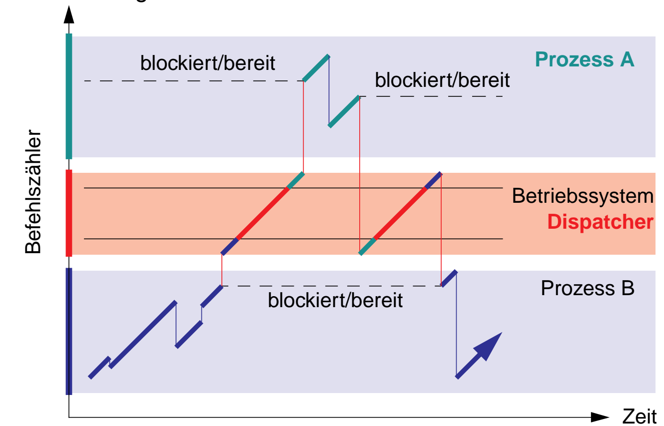
vier Prozesse mit eigenständigen Befehlszählern

- 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.

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

I.4 Prozesswechsel (2)

- Umschaltung



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

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
    - …

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

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 */
    ...
}
```


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

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 */
    ...
}
```


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

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

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

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

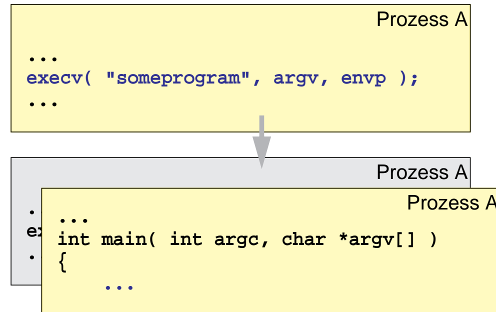
```
...
execv( "someprogram", argv, envp );
...
```


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

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.

© Jürgen Kleinöder • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2008
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

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 );
```


© Jürgen Kleinöder • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2008
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

I.7 Signale

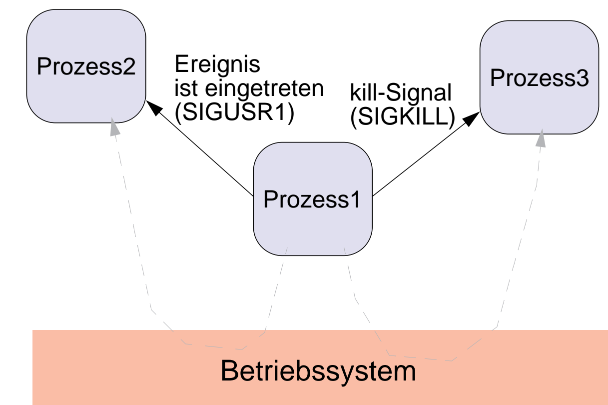
1 Signalisierung des Systemkerns an einen Prozess

- 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
    - …

© Jürgen Kleinöder • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2008
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

2 Kommunikation zwischen Prozessen

- ein Prozess will einem anderen ein Ereignis signalisieren



© Jürgen Kleinöder • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2008
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

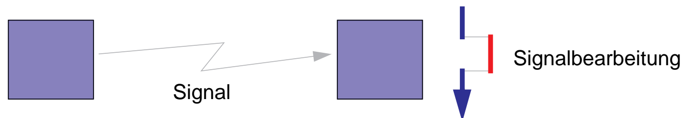
3 Reaktion auf Signale

- 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

© Jürgen Kleinöder • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2008
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

4 POSIX Signalbehandlung

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

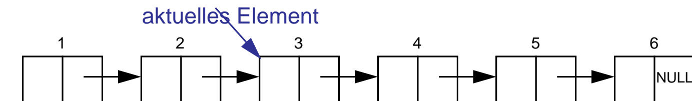


  - ◆ nach der Behandlung läuft der Prozess an der unterbrochenen Stelle weiter
- Systemschnittstelle
  - ◆ sigaction – Anmelden einer Funktion = Einrichten der ISR-Tabelle
  - ◆ sigprocmask – Blockieren/Freigeben von Signalen ≈ cli() / sei()
  - ◆ sigsuspend – Freigeben + passives Warten auf Signal +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

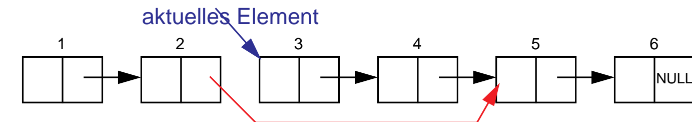
© Jürgen Kleinöder • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2008
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

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



© Jürgen Kleinöder • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2008
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

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 reenttrant)**

© Jürgen Kleinöder • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2008
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.