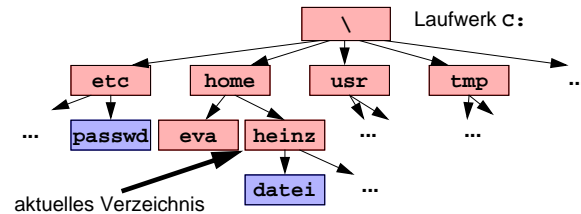


4.1 Pfadnamen

Baumstruktur



Pfade

- ◆ z.B. „C:\home\heinz\datei“, „\tmp“, „C:datei“
- ◆ „\“ ist Trennsymbol (*Backslash*); beginnender „\“ bezeichnet Wurzelverzeichnis; sonst Beginn implizit mit dem aktuellen Verzeichnis
- ◆ beginnt der Pfad ohne Laufwerksbuchstabe wird das aktuelle Laufwerk verwendet

4.2 Rechte

Rechte pro Datei und Verzeichnis

- ◆ schreib- und lesbar — nur lesbar (*read only*)
- Keine Benutzeridentifikation
- ◆ Rechte garantieren keinen Schutz, da von jedermann veränderbar

4.3 Dateien

Attribute

- ◆ Name, Dateilänge
- ◆ Attribute: versteckt (*Hidden*), archiviert (*Archive*), Systemdatei (*System*)
- ◆ Rechte
- ◆ Ortsinformation: Nummer des ersten Plattenblocks
- ◆ Zeitstempel: Erzeugung, letzter Schreib- und Lesezugriff

4.1 Pfadnamen (2)

Namenskonvention

- ◆ Kompatibilitätsmodus: 8 Zeichen Name, 3 Zeichen Erweiterung (z.B. **AUTOEXEC.BAT**)
- ◆ Sonst: 255 Zeichen inklusive Sonderzeichen (z.B. „**Eigene Programme**“)

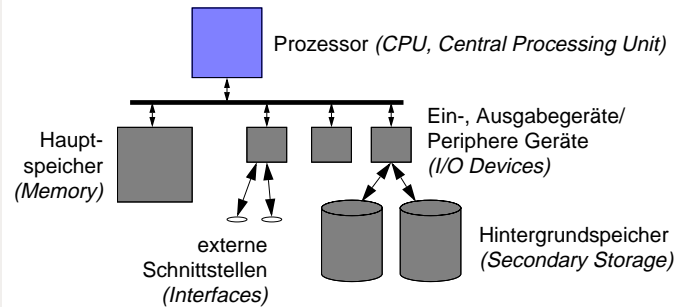
Verzeichnisse

- ◆ Jedes Verzeichnis enthält einen Verweis auf sich selbst („.“) und einen Verweis auf das darüberliegende Verzeichnis im Baum („..“)
- (Ausnahme Wurzelverzeichnis)
- ◆ keine Hard-Links oder symbolischen Namen

D Prozesse und Nebenläufigkeit

D Prozesse und Nebenläufigkeit

■ Einordnung



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

1 Prozessor

■ Register

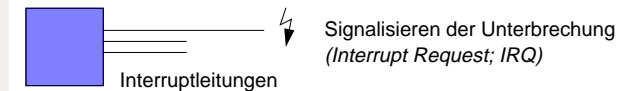
- ◆ Prozessor besitzt Steuer- und Vielzweckregister
- ◆ Steuerregister:
 - Programmzähler (*Instruction Pointer*)
 - Stapelregister (*Stack Pointer*)
 - Statusregister
 - etc.

■ Programmzähler enthält Speicherstelle der nächsten Instruktion

- ◆ Instruktion wird geladen und
- ◆ ausgeführt
- ◆ Programmzähler wird inkrementiert
- ◆ dieser Vorgang wird ständig wiederholt

1 Prozessor (3)

■ Unterbrechungen (*Interrupts*)



- ◆ 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

1 Prozessor (4)

- Systemaufrufe (*Traps; User Interrupts*)
 - ◆ Wie kommt man kontrolliert vom Benutzermodus in den privilegierten Modus?
 - ◆ spezielle Befehle zum Eintritt in den privilegierten Modus
 - ◆ Prozessor schaltet in privilegierten Modus und führt definierte Befehlsfolge aus (vom privilegierten Modus aus konfigurierbar)
 - ◆ solche Befehle werden dazu genutzt die Betriebssystemschnittstelle zu implementieren (*Supervisor Calls*)
 - ◆ Parameter werden nach einer Konvention übergeben (z.B. auf dem Stack)

2.1 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 jedoch noch nicht freigegeben oder Prozess muss aus anderen Gründen im System verbleiben

2 Prozesse

- Stapelsysteme (*Batch Systems*)
 - ◆ ein Programm läuft auf dem Prozessor von Anfang bis Ende
- Heutige Systeme (*Time Sharing Systems*)
 - ◆ mehrere Programme laufen gleichzeitig
 - ◆ Prozessorzeit muss den Programmen zugeteilt werden
 - ◆ Programme laufen nebenläufig
- Terminologie
 - ◆ **Programm**: Folge von Anweisungen (hinterlegt beispielsweise als Datei auf dem Hintergrundspeicher)
 - ◆ **Prozess**: Programm, das sich in Ausführung befindet, und seine Daten (*Beachte*: ein Programm kann sich mehrfach in Ausführung befinden)

2.1 Prozesszustände (2)

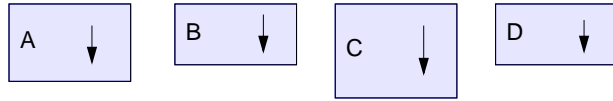
- Zustandsdiagramm

```
graph TD
    erzeugt([erzeugt]) -- zugelassen --> bereit([bereit])
    bereit -- "Scheduler teilt Prozessor zu" --> laufend([laufend])
    laufend -- "Unterbrechung" --> bereit
    laufend -- "impliziter oder expliziter Warteaufwurf" --> blockiert([blockiert])
    blockiert -- "wartend" --> blockiert
    blockiert -- "Grund der Blockade ist weggefallen" --> bereit
    laufend -- "terminiert" --> beendet([beendet])
```

Nach Silberschatz, 1994
- ◆ Scheduler ist der Teil des Betriebssystems, der die Zuteilung des realen Prozessors vornimmt.

2.2 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 laden und
- ◆ Prozessor aufsetzen.

Systemprogrammierung I

© 1997-2001, Franz J. Hauck, Inf 4, Univ. Erlangen-Nürnberg [D-Proc.fm, 2001-10-26 15:56]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlagen, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

D - 10

2.2 Prozesswechsel (3)

Prozesskontrollblock (Process Control Block; PCB)

- ◆ Datenstruktur, 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
 - ...

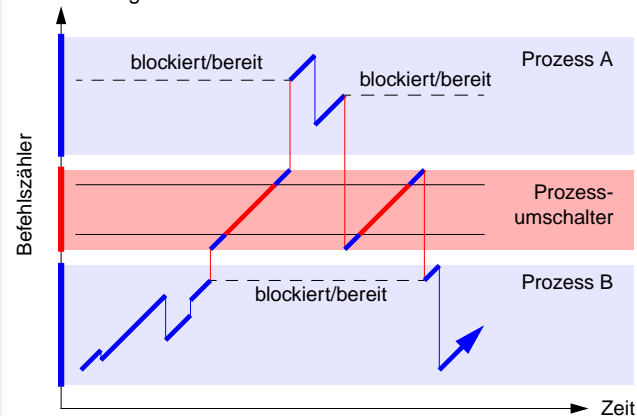
Systemprogrammierung I

© 1997-2001, Franz J. Hauck, Inf 4, Univ. Erlangen-Nürnberg [D-Proc.fm, 2001-10-26 15:56]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlagen, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

D - 12

2.2 Prozesswechsel (2)

Umschaltung



Systemprogrammierung I

© 1997-2001, Franz J. Hauck, Inf 4, Univ. Erlangen-Nürnberg [D-Proc.fm, 2001-10-26 15:56]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlagen, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

D - 11

2.2 Prozesswechsel (4)

Prozesswechsel unter Kontrolle des Betriebssystems

- ◆ Mögliche Eingriffspunkte:
 - Systemaufrufe
 - Unterbrechungen
 - ◆ Wechsel nach/in Systemaufrufen
 - Warten auf Ereignisse (z.B. Zeitpunkt, Nachricht, Lesen eines Plattenblock)
 - Terminieren des Prozesses
 - ◆ Wechsel nach Unterbrechungen
 - Ablauf einer Zeitscheibe
 - bevorzugter Prozess wurde lauffähig
- Auswahlstrategie zur Wahl des nächsten Prozesses
- ◆ Scheduler-Komponente

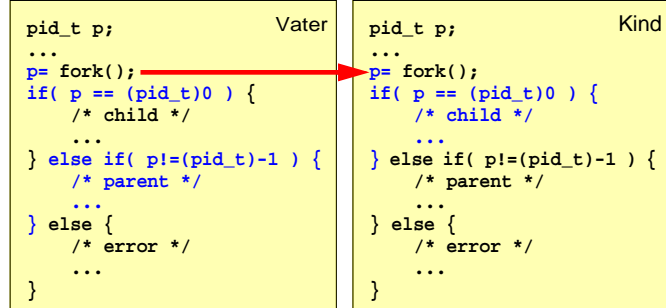
Systemprogrammierung I

© 1997-2001, Franz J. Hauck, Inf 4, Univ. Erlangen-Nürnberg [D-Proc.fm, 2001-10-26 15:56]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlagen, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

D - 13

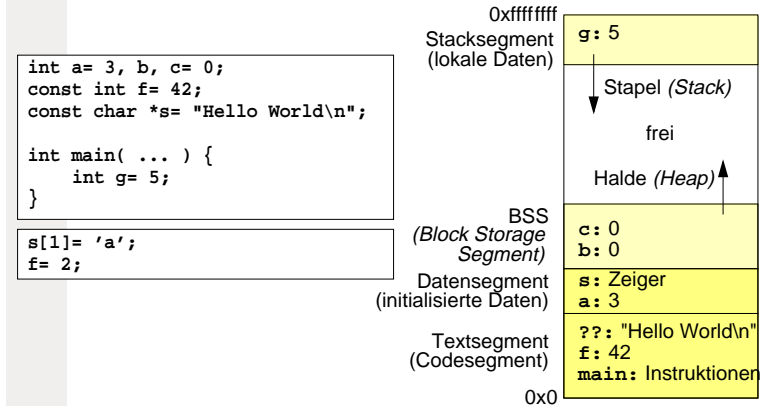
2.3 Prozesserzeugung (UNIX)

- Erzeugen eines neuen UNIX-Prozesses
 - ◆ Duplizieren des gerade laufenden Prozesses
- ```
pid_t fork(void);
```



## 2.4 Speicheraufbau eines Prozesses (UNIX)

- Aufteilung des Hauptspeichers eines Prozesses in Segmente



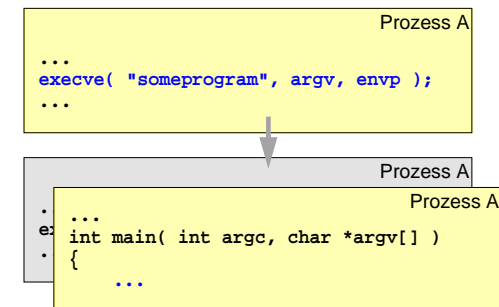
## 2.3 Prozesserzeugung (2)

- ◆ 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

## 2.5 Ausführen eines Programms (UNIX)

- Prozess führt ein neues Programm aus

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



Altes ausgeführtes Programm ist endgültig beendet.

## 2.6 Operationen auf Prozessen (UNIX)

- ◆ Prozess beenden

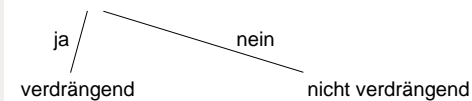
```
void _exit(int status);
[void exit(int status);]
```
- ◆ Prozessidentifikator

```
pid_t getpid(void); /* eigene PID */
pid_t getppid(void); /* PID des Vaterprozesses */
```
- ◆ Warten auf Beendigung eines Kindprozesses

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

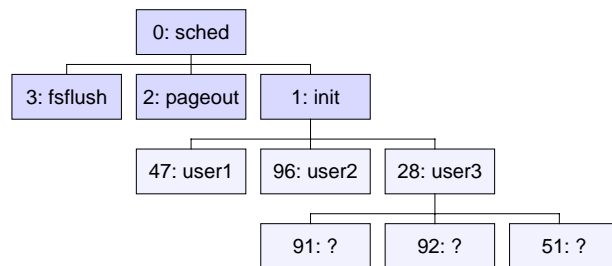
## 3 Auswahlstrategien

- Strategien zur Auswahl des nächsten Prozesses (*Scheduling Strategies*)
  - ◆ Mögliche Stellen zum Treffen von Scheduling-Entscheidungen
    1. Prozess wechselt vom Zustand „laufend“ zum Zustand „blockiert“ (z.B. Ein-, Ausgabeoperation)
    2. Prozess wechselt von „laufend“ nach „bereit“ (z.B. bei einer Unterbrechung des Prozessors)
    3. Prozess wechselt von „blockiert“ nach „bereit“
    4. Prozess terminiert
  - ◆ Keine Wahl bei 1. und 4.
  - ◆ Wahl bei 2. und 3.



## 2.7 Prozesshierarchie (Solaris)

- Hierarchie wird durch Vater-Kind-Beziehung erzeugt

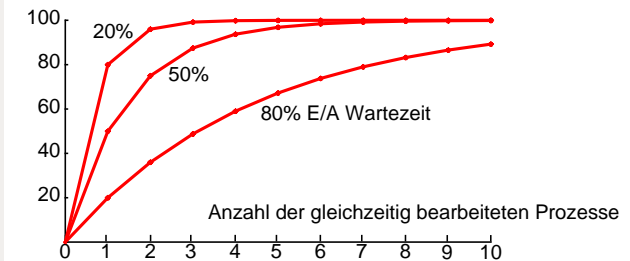


Frei nach Silberschatz 1994

- ◆ Nur der Vater kann auf das Kind warten
- ◆ Init-Prozess adoptiert verwaiste Kinder

## 3 Auswahlstrategien (2)

- CPU Auslastung
  - ◆ CPU soll möglichst vollständig ausgelastet sein
- ★ CPU-Nutzung in Prozent, abhängig von der Anzahl der Prozesse und deren prozentualer Wartezeit



Nach Tanenbaum, 1995

### 3 Auswahlstrategien (3)

- **Durchsatz**
  - ◆ Möglichst hohe Anzahl bearbeiteter Prozesse pro Zeiteinheit
- **Verweilzeit**
  - ◆ Gesamtzeit des Prozesses in der Rechenanlage soll so gering wie möglich sein
- **Wartezeit**
  - ◆ Möglichst kurze Gesamtzeit, in der der Prozess im Zustand „bereit“ ist
- **Antwortzeit**
  - ◆ Möglichst kurze Reaktionszeit des Prozesses im interaktiven Betrieb

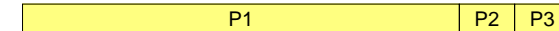
### 3.1 First Come, First Served (2)

- **Beispiel zur Betrachtung der Wartezeiten**

Prozess 1: 24  
Prozess 2: 3  
Prozess 3: 3

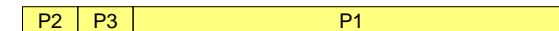
} Zeiteinheiten

- ◆ Reihenfolge: P1, P2, P3



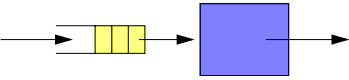
mittlere Wartezeit:  $(0+24+27)/3 = 17$

- ◆ Reihenfolge: P2, P3, P1



mittlere Wartezeit:  $(6+0+3)/3 = 3$

### 3.1 First Come, First Served

- **Der erste Prozess wird zuerst bearbeitet (FCFS)**
    - ◆ „Wer zuerst kommt ...“
    - ◆ Nicht-verdrängend
  - **Warteschlange zum Zustand „bereit“**
    - ◆ Prozesse werden hinten eingereiht
    - ◆ Prozesse werden vorne entnommen
- 
- ▲ **Bewertung**
    - ◆ fair (?)
    - ◆ Wartezeiten nicht minimal
    - ◆ nicht für Time-Sharing-Betrieb geeignet

### 3.2 Shortest Job First

- **Kürzester Job wird ausgewählt (SJF)**
  - ◆ Länge bezieht sich auf die nächste Rechenphase bis zur nächsten Warteoperation (z.B. Ein-, Ausgabe)
- **„bereit“-Warteschlange wird nach Länge der nächsten Rechenphase sortiert**
  - ◆ Vorhersage der Länge durch Protokollieren der Länge bisheriger Rechenphasen (Mittelwert, exponentielle Glättung)
  - ◆ ... Protokollierung der Länge der vorherigen Rechenphase
- **SJF optimiert die mittlere Wartezeit**
  - ◆ Da Länge der Rechenphase in der Regel nicht genau vorhersagbar, nicht ganz optimal.
- **Varianten: verdrängend (PSJF) und nicht-verdrängend**

### 3.3 Prioritäten

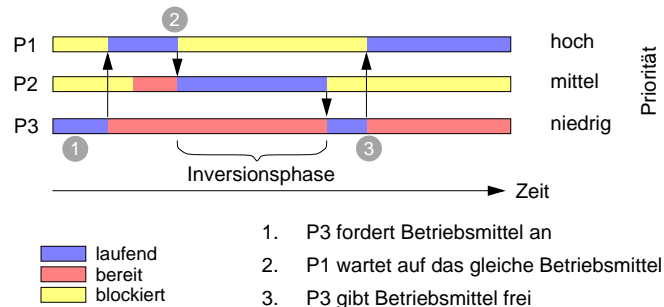
- Prozess mit höchster Priorität wird ausgewählt
  - ◆ dynamisch — statisch
    - (z.B. SJF: dynamische Vergabe von Prioritäten gemäß Länge der nächsten Rechenphase)
    - (z.B. statische Prioritäten in Echtzeitsystemen; Vorhersagbarkeit von Reaktionszeiten)
  - ◆ verdrängend — nicht-verdrängend
- ▲ Probleme
  - ◆ Aushungerung
    - Ein Prozess kommt nie zum Zuge, da immer andere mit höherer Priorität vorhanden sind.
  - ◆ Prioritätenumkehr (*Priority Inversion*)

### 3.3 Prioritäten (3)

- ★ Lösungen
  - ◆ zur Prioritätenumkehr:
    - dynamische Anhebung der Priorität für kritische Prozesse
  - ◆ zur Aushungerung:
    - dynamische Anhebung der Priorität für lange wartende Prozesse (Alterung, *Aging*)

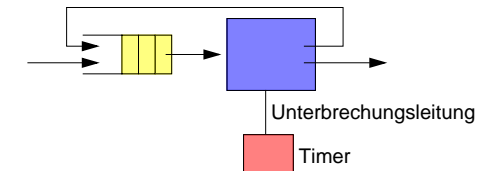
### 3.3 Prioritäten (2)

- Prioritätenumkehr
  - ◆ hochpriorer Prozess wartet auf ein Betriebsmittel, das ein niedrigpriorer Prozess besitzt; dieser wiederum wird durch einen mittelprioreren Prozess verdrängt und kann daher das Betriebsmittel gar nicht freigeben



### 3.4 Round-Robin Scheduling

- Zuteilung und Auswahl erfolgt reihum
  - ◆ ähnlich FCFS aber mit Verdrängung
  - ◆ Zeitquant (*Time Quantum*) oder Zeitscheibe (*Time Slice*) wird zugeteilt
  - ◆ geeignet für *Time-Sharing*-Betrieb



- ◆ Wartezeit ist jedoch eventuell relativ lang



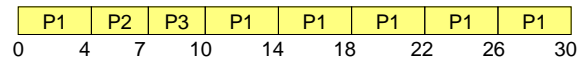
### 3.4 Round-Robin Scheduling (2)

#### ■ Beispiel zur Betrachtung der Wartezeiten

Prozess 1: 24  
Prozess 2: 3  
Prozess 3: 3 } Zeiteinheiten

◆ Zeitquant ist 4 Zeiteinheiten

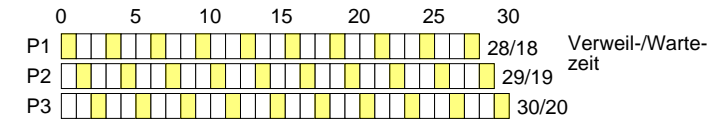
◆ Reihenfolge in der „bereit“-Warteschlange: P1, P2, P3



mittlere Wartezeit:  $(6+4+7)/3 = 5.7$

### 3.4 Round-Robin Scheduling (4)

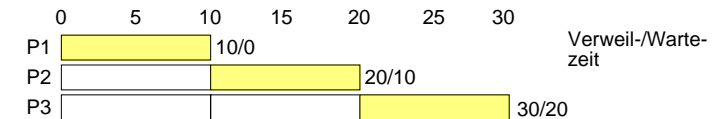
#### ◆ Zeitscheibengröße 1:



durchschnittliche Verweilzeit: 29 Zeiteinheiten =  $(28+29+30)/3$

durchschnittliche Wartezeit: 19 Zeiteinheiten =  $(18+19+20)/3$

#### ◆ Zeitscheibengröße 10:



durchschnittliche Verweilzeit: 20 Zeiteinheiten =  $(10+20+30)/3$

durchschnittliche Wartezeit: 10 Zeiteinheiten =  $(0+10+20)/3$

### 3.4 Round-Robin Scheduling (3)

#### ■ Effizienz hängt von der Größe der Zeitscheibe ab

- ◆ kurze Zeitscheiben: Zeit zum Kontextwechsel wird dominant
- ◆ lange Zeitscheiben: Round Robin nähert sich FCFS an

#### ■ Verweilzeit und Wartezeit hängt ebenfalls von der Zeitscheibengröße ab

- ◆ Beispiel: 3 Prozesse mit je 10 Zeiteinheiten Rechenbedarf
  - Zeitscheibengröße 1
  - Zeitscheibengröße 10

### 3.5 Multilevel-Queue Scheduling

#### ■ Verschiedene Schedulingklassen

- ◆ z.B. Hintergrundprozesse (Batch) und Vordergrundprozesse (interaktive Prozesse)
- ◆ jede Klasse besitzt ihre eigenen Warteschlangen und verwaltet diese nach einem eigenen Algorithmus
- ◆ zwischen den Klassen gibt es ebenfalls ein Schedulingalgorithmus z.B. feste Prioritäten (Vordergrundprozesse immer vor Hintergrundprozessen)

#### ■ Beispiel: Solaris

- ◆ Schedulingklassen
  - Systemprozesse
  - Real-Time Prozesse
  - Time-Sharing Prozesse
  - interaktive Prozesse

### 3.5 Multilevel-Queue Scheduling (2)

- ◆ Scheduling zwischen den Klassen mit fester Priorität (z.B. Real-Time-Prozesse vor Time-Sharing-Prozessen)
- ◆ In jeder Klasse wird ein eigener Algorithmus benutzt:
  - Systemprozesse: FCFS
  - Real-Time Prozesse: statische Prioritäten
  - Time-Sharing und interaktive Prozesse: ausgefeiltes Verfahren zur Sicherung von:
    - kurzen Reaktionszeiten
    - fairer Zeitaufteilung zwischen rechenintensiven und I/O-intensiven Prozessen
    - gewisser Benutzersteuerung

#### ★ Multilevel Feedback Queue Scheduling

### 3.6 Multilevel Feedback Queue Scheduling (2)

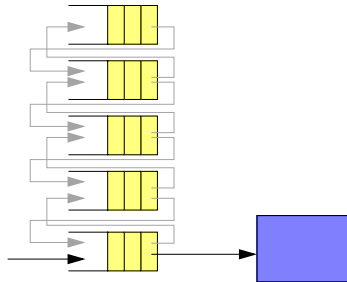
#### ■ Beispiel:

- ◆ mehrere Warteschlangen mit Prioritäten (wie bei Multilevel Queue)
- ◆ Prozesse, die lange rechnen, wandern langsam in Warteschlangen mit niedrigerer Priorität (bevorzugt interaktive Prozesse)
- ◆ Prozesse, die lange warten müssen, wandern langsam wieder in höherprioritäre Warteschlangen (*Aging*)

### 3.6 Multilevel-Feedback-Queue Scheduling

#### ■ Mehrere Warteschlangen (MLFB)

- ◆ jede Warteschlange mit eigener Behandlung
- ◆ Prozesse können von einer zur anderen Warteschlange transferiert werden



### 3.7 Beispiel: Time Sharing Scheduling in Solaris

#### ■ 60 Warteschlangen, Tabellensteuerung

| level | ts_quantum | ts_tqexp | ts_maxwait | ts_lwait | ts_slpret |
|-------|------------|----------|------------|----------|-----------|
| 0     | 200        | 0        | 0          | 50       | 50        |
| 1     | 200        | 0        | 0          | 50       | 50        |
| 2     | 200        | 0        | 0          | 50       | 50        |
| 3     | 200        | 0        | 0          | 50       | 50        |
| 4     | 200        | 0        | 0          | 50       | 50        |
| 5     | 200        | 0        | 0          | 50       | 50        |
| ...   |            |          |            |          |           |
| 44    | 40         | 34       | 0          | 55       | 55        |
| 45    | 40         | 35       | 0          | 56       | 56        |
| 46    | 40         | 36       | 0          | 57       | 57        |
| 47    | 40         | 37       | 0          | 58       | 58        |
| 48    | 40         | 38       | 0          | 58       | 58        |
| 49    | 40         | 39       | 0          | 59       | 58        |
| 50    | 40         | 40       | 0          | 59       | 58        |
| 51    | 40         | 41       | 0          | 59       | 58        |
| 52    | 40         | 42       | 0          | 59       | 58        |
| 53    | 40         | 43       | 0          | 59       | 58        |
| 54    | 40         | 44       | 0          | 59       | 58        |
| 55    | 40         | 45       | 0          | 59       | 58        |
| 56    | 40         | 46       | 0          | 59       | 58        |
| 57    | 40         | 47       | 0          | 59       | 58        |
| 58    | 40         | 48       | 0          | 59       | 58        |
| 59    | 20         | 49       | 32000      | 59       | 59        |

### 3.7 Beispiel: TS Scheduling in Solaris (2)

- Tabelleninhalt
  - ◆ kann ausgelesen und gesetzt werden (Auslesen: `dispadm -c TS -g`)
  - ◆ **level**: Nummer der Warteschlange  
Hohe Nummer = hohe Priorität
  - ◆ **ts\_quantum**: maximale Zeitscheibe für den Prozess (in Millisek.)
  - ◆ **ts\_tqexp**: Warteschlangennummer, falls der Prozess die Zeitscheibe aufbraucht
  - ◆ **ts\_maxwait**: maximale Zeit für den Prozess in der Warteschlange ohne Bedienung (in Sekunden; Minimum ist eine Sekunde)
  - ◆ **ts\_lwait**: Warteschlangennummer, falls Prozess zulange in dieser Schlange
  - ◆ **ts\_slpret**: Warteschlangennummer für das Wiedereinreihen nach einer blockierenden Aktion

### 3.7 Beispiel: TS Scheduling in Solaris (4)

- Tabelle gilt nur unter der folgenden Bedingung:
  - ◆ Prozess läuft fast alleine, andernfalls
    - könnte er durch höherpriori Prozesse verdrängt und/oder ausgebremst werden,
    - wird er bei langem Warten in der Priorität wieder angehoben.

■ Beispiel:

| #   | Warteschlange | Rechenzeit | Prozesswechsel weil ...     |
|-----|---------------|------------|-----------------------------|
| ... |               |            |                             |
| 6   | 9             | 200        | Zeitquant abgelaufen        |
| 7   | 0             | 20         | Wartezeit von 1s abgelaufen |
| 8   | 50            | 40         | Zeitquant abgelaufen        |
| 9   | 40            | 40         | Zeitquant abgelaufen        |
| 10  | 30            | 80         | Zeitquant abgelaufen        |
| 11  | 20            | 120        | Zeitquant abgelaufen        |
| ... |               |            |                             |

### 3.7 Beispiel: TS Scheduling in Solaris (3)

- Beispielprozess:
  - ◆ 1000ms Rechnen am Stück
  - ◆ 5 E/A Operationen mit jeweils Rechenzeiten von 1ms dazwischen

| #  | Warteschlange | Rechenzeit | Prozesswechsel weil ... |
|----|---------------|------------|-------------------------|
| 1  | 59            | 20         | Zeitquant abgelaufen    |
| 2  | 49            | 40         | Zeitquant abgelaufen    |
| 3  | 39            | 80         | Zeitquant abgelaufen    |
| 4  | 29            | 120        | Zeitquant abgelaufen    |
| 5  | 19            | 160        | Zeitquant abgelaufen    |
| 6  | 9             | 200        | Zeitquant abgelaufen    |
| 7  | 0             | 200        | Zeitquant abgelaufen    |
| 8  | 0             | 180        | E/A Operation           |
| 9  | 50            | 1          | E/A Operation           |
| 10 | 58            | 1          | E/A Operation           |
| 11 | 58            | 1          | E/A Operation           |
| 12 | 58            | 1          | E/A Operation           |

### 3.7 Beispiel: TS Scheduling in Solaris (5)

- Weitere Einflussmöglichkeiten
  - ◆ Anwender und Administratoren können Prioritätenoffsets vergeben
  - ◆ Die Offsets werden auf die Tabellenwerte addiert und ergeben die wirklich verwendete Warteschlange
  - ◆ positive Offsets: Prozess wird bevorzugt
  - ◆ negative Offsets: Prozess wird benachteiligt
  - ◆ Außerdem können obere Schranken angegeben werden
- Systemaufruf
  - ◆ Verändern der eigenen Prozesspriorität  
`int nice( int incr );`  
  
(positives Inkrement: niedrigere Priorität;  
negatives Inkrement: höhere Priorität)

## 4 Prozesskommunikation

- *Inter-Process-Communication (IPC)*
  - ◆ Mehrere Prozesse bearbeiten eine Aufgabe
    - gleichzeitige Nutzung von zur Verfügung stehender Information durch mehrere Prozesse
    - Verkürzung der Bearbeitungszeit durch Parallelisierung
- Kommunikation durch Nachrichten
  - ◆ Nachrichten werden zwischen Prozessen ausgetauscht
- Kommunikation durch gemeinsamen Speicher
  - ◆ F. Hofmann nennt dies Kooperation (kooperierende Prozesse)

## 4 Prozesskommunikation (3)

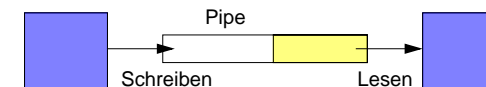
- ◆ Übertragungs- und Aufrufeigenschaften
  - zuverlässig — unzuverlässig
  - gepuffert — ungepuffert
  - blockierend — nichtblockierend
  - stromorientiert — nachrichtenorientiert — RPC
- ◆ Adressierung
  - implizit: UNIX Pipes
  - explizit: Sockets
  - globale Adressierung: Sockets, Ports
  - Gruppenadressierung: Multicast, Broadcast
  - funktionale Adressierung: Dienste

## 4 Prozesskommunikation (2)

- Klassifikation nachrichtenbasierter Kommunikation
  - ◆ Klassen
    - Kanäle (*Pipes*)
    - Kommunikationsendpunkte (*Sockets, Ports*)
    - Briefkästen, Nachrichtenpuffer (*Queues*)
    - Unterbrechungen (*Signals*)
  - ◆ Übertragsrichtung
    - unidirektional
    - bidirektional (voll-duplex, halb-duplex)

## 4.1 Pipes

- Kanal zwischen zwei Kommunikationspartnern
  - ◆ unidirektional  
(heute gleichzeitige Erzeugung zweier Pipes je eine pro Richtung)
  - ◆ gepuffert (feste Puffergröße), zuverlässig, stromorientiert



- Operationen: Schreiben und Lesen
  - ◆ Ordnung der Zeichen bleibt erhalten (Zeichenstrom)
  - ◆ Blockierung bei voller Pipe (Schreiben) und leerer Pipe (Lesen)

## 4.1 Pipes (2)

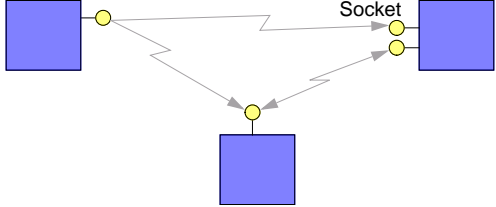
- Systemaufruf unter Solaris
  - ◆ Öffnen einer Pipe

```
int pipe(int fdes[2]);
```
  - ◆ Es werden eigentlich zwei Pipes geöffnet
    - `fdes[0]` liest aus Pipe 1 und schreibt in Pipe 2
    - `fdes[1]` liest aus Pipe 2 und schreibt in Pipe 1
  - ◆ Zugriff auf Pipes wie auf eine Datei: `read` und `write`, `readv` und `writev`
- Named-Pipes
  - ◆ Pipes können auch als Spezialdateien ins Dateisystem gelegt werden.
  - ◆ Standardfunktionen zum Lesen und Schreiben können dann verwendet werden.

## 4.2 Sockets (2)

- ◆ Auswahl eines Sockettyps für Protokolle mit folgenden Eigenschaften:
  - stromorientiert, verbindungsorientiert und gesichert
  - nachrichtenorientiert und ungesichert (Datagramm)
  - nachrichtenorientiert und gesichert
- ◆ Auswahl eines Protokolls der Familie
  - z.B. UDP
- ◆ explizite Adressierung
  - Unicast: genau ein Kommunikationspartner
  - Multicast: eine Gruppe
  - Broadcast: alle möglichen Adressaten
- ◆ Sockets können blockierend und nichtblockierend betrieben werden.

## 4.2 Sockets

- Allgemeine Kommunikationsendpunkte
    - ◆ bidirektional, gepuffert
- 
- ◆ Auswahl einer Protokollfamilie
    - z.B. Internet (TCP/IP), UNIX (innerhalb von Prozessen der gleichen Maschine), ISO, Appletalk, DECnet, SNA, ...
    - durch die Protokollfamilie wird gleichzeitig die Adressfamilie festgelegt (Struktur zur Bezeichnung von Protokolladressen)

## 4.2 Sockets (3)

- UNIX-Domain
  - ◆ UNIX-Domain-Sockets verhalten sich wie bidirektionale Pipes.
  - ◆ Anlage als Spezialdatei im Dateisystem möglich
- Internet-Domain
  - ◆ Protokolle:
    - TCP/IP (strom- und verbindungsorientiert, gesichert)
    - UDP/IP (nachrichtenorientiert, verbindungslos, ungesichert)
      - Nachrichten können verloren oder dupliziert werden
      - Reihenfolge kann durcheinander geraten
      - Paketgrenzen bleiben erhalten (Datagramm-Protokoll)
  - ◆ Adressen: IP-Adressen und Port-Nummern

## 4.2 Sockets (4)

- Anlegen von Sockets
  - ◆ Generieren eines Sockets mit (Rückgabewert ist ein Filedescriptor)

```
int socket(int domain, int type, int proto);
```
  - ◆ Adresszuteilung
    - Sockets werden ohne Adressen generiert
    - Adressenzuteilung erfolgt automatisch oder durch:

```
int bind(int socket, const struct sockaddr *address,
 size_t address_len);
```

## 4.2 Sockets (6)

- Stromorientierte Sockets
  - ◆ Verbindungsaufbau notwendig
  - ◆ *Client* (Benutzer, Benutzerprogramm) will zu einem *Server* (Dienstanbieter) eine Kommunikationsverbindung aufbauen
- Client: Verbindungsaufbau bei stromorientierten Sockets
  - ◆ Verbinden des Sockets mit

```
int connect(int socket, const struct sockaddr *address,
 size_t address_len);
```
  - ◆ Senden und Empfangen mit **write** und **read** (**send** und **recv**)
  - ◆ Beenden der Verbindung mit **close** (schließt den Socket)

## 4.2 Sockets (5)

- Datagramm-Sockets
  - ◆ kein Verbindungsaufbau notwendig
  - ◆ Datagramm senden

```
ssize_t sendto(int socket, const void *message,
 size_t length, int flags,
 const struct sockaddr *dest_addr, size_t dest_len);
```
  - ◆ Datagramm empfangen

```
ssize_t recvfrom(int socket, void *buffer,
 size_t length, int flags, struct sockaddr *address,
 size_t *address_len);
```

## 4.2 Sockets (7)

- Server
  - ◆ bindet Socket an eine Adresse (sonst nicht zugreifbar)
  - ◆ bereitet Socket auf Verbindungsanforderungen vor durch

```
int listen(int s, int backlog);
```
  - ◆ akzeptiert einzelne Verbindungsanforderungen durch

```
int accept(int s, struct sockaddr *addr, int *addrlen);
```

    - gibt einen neuen Socket zurück, der mit dem Client verbunden ist
    - blockiert, falls kein Verbindungswunsch vorhanden
  - ◆ liest Daten mit **read** und führt den angebotenen Dienst aus
  - ◆ schickt das Ergebnis mit **write** zurück zum Sender
  - ◆ schließt den neuen Socket

### 4.3 UNIX Queues

- Nachrichtepuffer (*Queue, FIFO*)
  - ◆ rechnerlokale Adresse (*Key*) dient zur Identifikation eines Puffers
  - ◆ prozesslokale Nummer (*MSQID*) ähnlich dem Filedeskriptor (wird bei allen Operationen benötigt)
  - ◆ Zugriffsrechte wie auf Dateien
  - ◆ ungerichtete Kommunikation, gepuffert (einstellbare Größe pro Queue)
  - ◆ Nachrichten haben einen Typ (*long*-Wert)
  - ◆ Operationen zum Senden und Empfangen einer Nachricht
  - ◆ blockierend — nichtblockierend
  - ◆ alle Nachrichten — nur ein bestimmter Typ

### 4.3 UNIX Queues (3)

- Es können Queues ohne Key erzeugt werden (private Queues)
  - ◆ Nicht-private Queues sind persistent
  - ◆ Sie müssen explizit gelöscht werden

```
int msgctl(int msqid, int cmd, struct msqid_ds *buf);
```
- Systemkommandos zum Behandeln von Queues
  - ◆ Listen aktiver Message-Queues

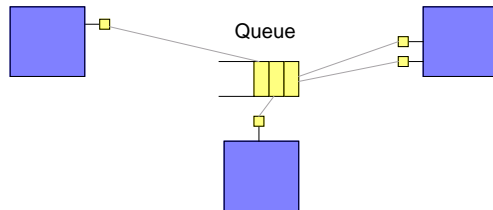
```
ipcs -q
```
  - ◆ Löschen von Queues

```
ipcrm -Q <key>
```

### 4.3 UNIX Queues (2)

- Systemaufrufe unter Solaris 2.5
  - ◆ Erzeugen einer Queue bzw. Holen einer MSQID

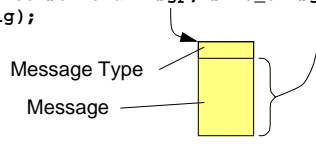
```
int msgget(key_t key, int msgflg);
```



- ◆ Alle kommunizierenden Prozesse müssen den Key kennen
- ◆ Keys sind eindeutig innerhalb eines (Betriebs-)Systems
- ◆ Ist ein Key bereits vergeben, kann keine Queue mit gleichem Key erzeugt werden

### 4.3 UNIX Queues (4)

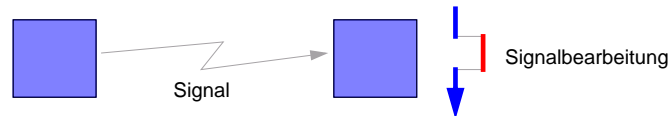
- Operationen auf Queues
    - ◆ Senden einer Nachricht

```
int msgsnd(int msqid, const void *msgp, size_t msgsz, int msgflg);
```
- 
- ◆ Empfangen einer Nachricht

```
int msgrcv(int msqid, void *msgp, size_t msgsz, long msgtype, int msgflg);
```
  - ◆ Zugriffsrechte werden beachtet

## 4.4 UNIX Signale

- Signale sind Unterbrechungen ähnlich denen eines Prozessors
  - ◆ Prozess führt eine definierte Signalbehandlung durch
    - Ignorieren
    - Terminierung des Prozesses
    - Aufruf einer Funktion
  - ◆ Nach der Behandlung läuft Prozess an unterbrochener Stelle weiter



## 4.4 UNIX Signale (3)

### Signale (Beispiele)

### Voreingestelltes Verhalten

- ◆ Systemsignale ausgelöst durch Betriebssystem
  - **SIGALRM**  
Alarmzeitgeber *Prozess terminiert*
  - **SIGCHLD**  
Kindprozessstatus *wird ignoriert*
- ◆ Benutzerdefinierte Signale
  - **SIGUSR1, SIGUSR2**  
frei für Benutzerkommunikation, z.B. für Start und Ende einer Bearbeitung *Prozess terminiert*

## 4.4 UNIX Signale (2)

- Kommunikation über Signale: Signalisierung von Ereignissen

### Signale (Beispiele)

### Voreingestelltes Verhalten

- ◆ Terminaleingabe
  - **SIGINT**  
Interrupt `^C` *Prozess terminiert*
  - **SIGQUIT**  
Quit `^|` *Prozess terminiert, Core dump*
- ◆ Systemsignale ausgelöst durch den Prozess selbst
  - **SIGBUS**  
Bus error *Prozess terminiert, Core dump*
  - **SIGSEGV**  
Segmentation fault *Prozess terminiert, Core dump*

## 4.4 UNIX Signale (4)

- Signalbehandlung kann eingestellt werden:
  - ◆ **SIG\_IGN**: Ignorieren des Signals
  - ◆ **SIG\_DFL**: Defaultverhalten einstellen
  - ◆ **Funktionsadresse**: Funktion wird in der Signalbehandlung aufgerufen und ausgeführt
- UNIX Systemaufrufe
  - ◆ Einfangen von Signalen  

```
void (*signal(int sig, void (*disp)(int)))(int);
```
  - ◆ Zustellen von Signalen  

```
int kill(pid_t pid, int sig);
```



#### 4.4 UNIX Signale (5)

- ▲ Signalsemantik unterschiedlich bei verschiedenen UNIX Systemen
- **BSD, Posix:**  
Blockieren weiterer Signale während der Behandlung
  - ◆ Beim Einfangen werden weitere gleichartige Signale blockiert (maximal wird ein Signal gespeichert).
  - ◆ Sobald die Behandlung fertig ist, wird die Blockierung wieder freigegeben.
- **System V:**  
Rücksetzen der Signalbehandlung beim Einfangen eines Signals
  - ◆ Beim Einfangen eines Signals wird implizit `signal( ..., SIG_DFL )` aufgerufen.
  - ◆ Im Signalhandler muss der Handler selbst wieder eingesetzt werden.
  - ◆ kurze Zeitspanne ohne Signalhandler

#### 4.4 UNIX Signale (6)

- Moderne UNIX Systeme implementieren alle Variationen
  - ◆ Systemaufruf statt `signal`:

```
int sigaction(int sig, const struct sigaction *act,
 struct sigaction *oact);
```
  - ◆ Rücksetzen auf Defaulthandler einstellbar
  - ◆ Liste von Signalen einstellbar, die beim Einfangen eines Signals blockiert werden soll
  - ◆ Automatischer Wiederanlauf von unterbrochenen Systemaufrufen einstellbar
- ★ **Wichtig:** Sie müssen die Semantik der Signalbehandlung auf dem entsprechenden UNIX System kennen!

#### 4.4 UNIX Signale (5)

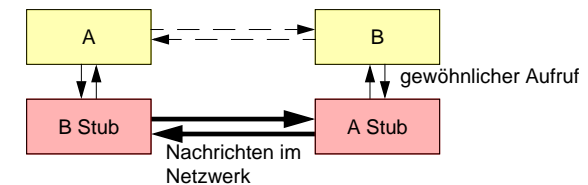
- **System VR4:**  
Unterbrechung von Systemaufrufen
  - ◆ Fast alle „langsamen“ Systemaufrufe können durch die Signalbehandlung unterbrochen werden.
  - ◆ `errno` wird auf `EINTR` gesetzt und der Systemaufruf terminiert mit `-1`.
  - ◆ Wenn kein automatischer Wiederanlauf nach einer Unterbrechung durchgeführt wird, muss der Anwender auf den Fehler `EINTR` reagieren.

```
...
cnt= write(fd, buf, 100);
...

do {
 cnt= write(fd, buf, 100);
}
while(cnt < 0 && errno == EINTR);
...
```

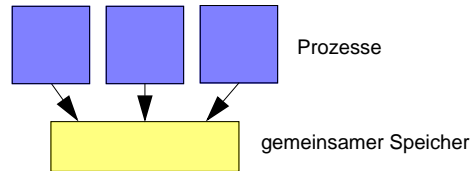
#### 4.5 Fernaufruf (RPC)

- Funktionsaufruf über Prozessgrenzen hinweg (*Remote procedure call*)
  - ◆ hoher Abstraktionsgrad
  - ◆ selten wird Fernaufruf direkt vom System angeboten; benötigt Abbildung auf andere Kommunikationsformen z.B. auf Nachrichten
  - ◆ Abbildung auf mehrere Nachrichten
    - Auftragsnachricht transportiert Aufrufabsicht und Parameter.
    - Ergebnissnachricht transportiert Ergebnisse des Aufrufs.



## 4.6 Gemeinsamer Speicher

- Zwei Prozesse können auf einen gemeinsamen Speicherbereich zugreifen
  - ◆ gemeinsame Variablen oder Datenstrukturen



- Einrichten von gemeinsamem Speicher erst im Abschnitt E.5.

## 5.1 Prozesse mit gemeinsamem Speicher

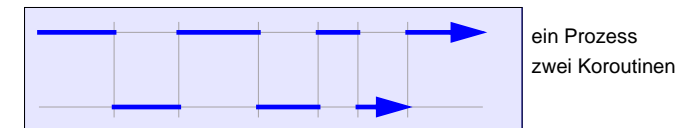
- Gemeinsame Nutzung von Speicherbereichen durch mehrere Prozesse
- ▲ Nachteile
  - ◆ viele Betriebsmittel zur Verwaltung eines Prozesses notwendig
    - Dateideskriptoren
    - Speicherabbildung
    - Prozesskontrollblock
  - ◆ Prozessumschaltungen sind aufwendig.
- ★ Vorteil
  - ◆ In Multiprozessorsystemen sind echt parallele Abläufe möglich.

## 5 Aktivitätsträger (Threads)

- Mehrere Prozesse zur Strukturierung von Problemlösungen
  - ◆ Aufgaben eines Prozesses leichter modellierbar, wenn in mehrere kooperierende Prozesse unterteilt
    - z.B. Anwendungen mit mehreren Fenstern (ein Prozess pro Fenster)
    - z.B. Anwendungen mit vielen gleichzeitigen Aufgaben (Webbrowser)
  - ◆ Multiprozessorsysteme werden erst mit mehreren parallel laufenden Prozessen ausgenutzt
    - z.B. wissenschaftliches Hochleistungsrechnen (Aerodynamik etc.)
  - ◆ Client-Server-Anwendungen unter UNIX: pro Anfrage wird ein neuer Prozess gestartet
    - z.B. Webserver

## 5.2 Koroutinen

- Einsatz von Koroutinen
  - ◆ einige Anwendungen lassen sich mit Hilfe von Koroutinen (auf Benutzerebene) innerhalb eines Prozesses gut realisieren



- ▲ Nachteile:
  - ◆ Scheduling zwischen den Koroutinen schwierig (Verdrängung meist nicht möglich)
  - ◆ in Multiprozessorsystemen keine parallelen Abläufe möglich
  - ◆ Wird eine Koroutine in einem Systemaufruf blockiert, ist der gesamte Prozess blockiert.

## 5.3 Aktivitätsträger

- ★ **Lösungsansatz:**  
Aktivitätsträger (*Threads*) oder leichtgewichtige Prozesse (*Lightweighted Processes, LWPs*)
  - ◆ Eine Gruppe von Threads nutzt gemeinsam eine Menge von Betriebsmitteln.
    - Instruktionen
    - Datenbereiche
    - Dateien, Semaphoren etc.
  - ◆ Jeder Thread repräsentiert eine eigene Aktivität:
    - eigener Programmzähler
    - eigener Registersatz
    - eigener Stack

## 5.4 User-Level-Threads

- Implementierung
  - ◆ Instruktionen im Anwendungsprogramm schalten zwischen den Threads hin- und her (ähnlich wie der Scheduler im Betriebssystem)
  - ◆ Betriebssystem sieht nur einen Thread
- ★ Vorteile
  - ◆ keine Systemaufrufe zum Umschalten erforderlich
  - ◆ effiziente Umschaltung
  - ◆ Schedulingstrategie in der Hand des Anwenders
- ▲ Nachteile
  - ◆ Bei blockierenden Systemaufrufen bleiben alle User-Level-Threads stehen.
  - ◆ Kein Ausnutzen eines Multiprozessors möglich

## 5.3 Aktivitätsträger (2)

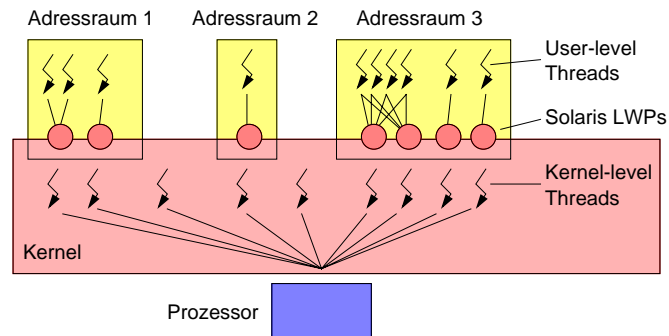
- ◆ Umschalten zwischen zwei Threads einer Gruppe ist erheblich billiger als eine normale Prozessumschaltung.
  - Es müssen nur die Register und der Programmzähler gewechselt werden (entspricht dem Aufwand für einen Funktionsaufruf).
  - Speicherabbildung muss nicht gewechselt werden.
  - Alle Systemressourcen bleiben verfügbar.
- Ein UNIX-Prozess ist ein Adressraum mit einem Thread
  - ◆ Solaris: Prozess kann mehrere Threads besitzen
- Implementierungen von Threads
  - ◆ User-level Threads
  - ◆ Kernel-level Threads

## 5.5 Kernel-Level-Threads

- Implementierung
  - ◆ Betriebssystem kennt Kernel-Level-Threads
  - ◆ Betriebssystem schaltet Threads um
- ★ Vorteile
  - ◆ kein Blockieren unbeteiligter Threads bei blockierenden Systemaufrufen
- ▲ Nachteile
  - ◆ weniger effizientes Umschalten
  - ◆ Fairnessverhalten nötig (zwischen Prozessen mit vielen und solchen mit wenigen Threads)
  - ◆ Schedulingstrategie meist vorgegeben

## 5.6 Beispiel: LWPs und Threads (Solaris)

- Solaris kennt Kernel-, User-Level-Threads und LWPs



Nach Silberschatz, 1994

## 6 Koordinierung (2)

- Effekte:

- ◆ Fahrzeuge gehen „verloren“
- ◆ Fahrzeuge werden doppelt gezählt

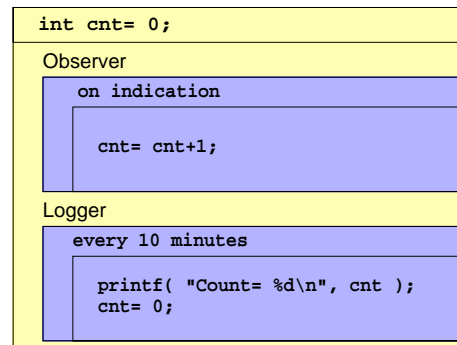
- Ursachen:

- ◆ Befehle in C werden nicht unteilbar (atomar) abgearbeitet, da sie auf mehrere Maschinenbefehle abgebildet werden.
- ◆ In C werden keinesfalls mehrere Anweisungen zusammen atomar abgearbeitet.
- ◆ Prozesswechsel innerhalb einer Anweisung oder zwischen zwei zusammengehörigen Anweisungen können zu Inkonsistenzen führen.

## 6 Koordinierung

- Beispiel: Beobachter und Protokollierer

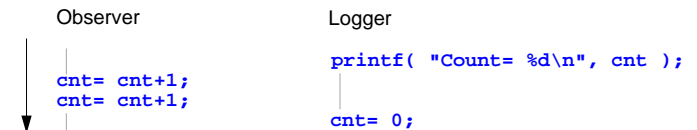
- ◆ Mittels Induktionsschleife werden Fahrzeuge gezählt. Alle 10min druckt der Protokollierer die im letzten Zeitraum vorbeigekommene Anzahl aus.



## 6 Koordinierung (3)

- ▲ Fahrzeuge gehen „verloren“

- ◆ Nach dem Drucken wird der Protokollierer unterbrochen. Beobachter zählt weitere Fahrzeuge. Anzahl wird danach ohne Beachtung vom Protokollierer auf Null gesetzt.



## 6 Koordination (4)

### ▲ Fahrzeuge werden doppelt gezählt:

- ◆ Beobachter will Zähler erhöhen und holt sich diesen dazu in ein Register. Er wird unterbrochen und der Protokollierer setzt Anzahl auf Null. Beobachter erhöht Registerwert und schreibt diesen zurück. Dieser Wert wird erneut vom Protokollierer registriert.

| Observer                                  | Logger                                           |
|-------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| <pre>mov DS:\$cnt, %r1 add \$1, %r1</pre> | <pre>printf( "Count= %d\n", cnt ); cnt= 0;</pre> |
| <pre>mov %r1, DS:\$cnt</pre>              |                                                  |
| <pre>[cnt= cnt+1;]</pre>                  |                                                  |

## 6.1 Gegenseitiger Ausschluss

- Zwei Prozesse wollen regelmäßig kritischen Abschnitt betreten
- ◆ Annahme: Maschinenbefehle sind unteilbar (atomar)

### ■ 1. Versuch

```
int turn= 0;
```

```
Prozess 0
while(1) {
 while(turn == 1);
 ...
 /* critical sec. */
 ...
 turn= 1;
 ... /* uncritical */
}
```

```
Prozess 1
while(1) {
 while(turn == 0);
 ...
 /* critical sec. */
 ...
 turn= 0;
 ... /* uncritical */
}
```

## 6 Koordination (5)

### ■ Gemeinsame Nutzung von Daten oder Betriebsmitteln

- ◆ kritische Abschnitte:
  - nur einer soll Zugang zu Daten oder Betriebsmitteln haben (gegenseitiger Ausschluss, *Mutual Exclusion*, *Mutex*)
  - kritische Abschnitte erscheinen allen anderen als zeitlich unteilbar
- ◆ Wie kann der gegenseitige Ausschluss in kritischen Abschnitten erzielt werden?

### ■ Koordination allgemein:

- ◆ Einschränkung der gleichzeitigen Abarbeitung von Befehlsfolgen in nebenläufigen Prozessen/Aktivitätsträgern

### ★ Hinweis:

- ◆ Im Folgenden wird immer von Prozessen die Rede sein. Koordination kann/muss selbstverständlich auch zwischen Threads stattfinden.

## 6.1 Gegenseitiger Ausschluss (2)

### ▲ Probleme der Lösung

- ◆ nur alternierendes Betreten des kritischen Abschnitts durch  $P_0$  und  $P_1$  möglich
- ◆ Implementierung ist unvollständig
- ◆ aktives Warten

### ■ Ersetzen von `turn` durch zwei Variablen `ready0` und `ready1`

- ◆ `ready0` zeigt an, dass Prozess 0 bereit für den kritischen Abschnitt ist
- ◆ `ready1` zeigt an, dass Prozess 1 bereit für den kritischen Abschnitt ist

## 6.1 Gegenseitiger Ausschluss (3)

### 2. Versuch

```
bool ready0= FALSE;
bool ready1= FALSE;
```

```
Prozess 0
while(1) {
 ready0= TRUE;
 while(ready1);

 ... /* critical sec. */

 ready0= FALSE;

 ... /* uncritical */
}
```

```
Prozess 1
while(1) {
 ready1= TRUE;
 while(ready0);

 ... /* critical sec. */

 ready1= FALSE;

 ... /* uncritical */
}
```

## 6.1 Gegenseitiger Ausschluss (5)

### Betrachtung der nebenläufigen Abfolgen

| P <sub>0</sub>     | P <sub>1</sub>     |
|--------------------|--------------------|
| ready0= TRUE;      | ready1= TRUE;      |
| while( ready1 ); + | while( ready0 ); + |
| <critical> +       | <critical> +       |
| ready0= FALSE;     | ready1= FALSE;     |
| <noncritical> +    | <noncritical> +    |
| ready0= TRUE;      | ready1= TRUE;      |
| ...                | ...                |

+ = mehrfach, mind. einmal  
\* = mehrfach oder gar nicht

◆ Durchspielen aller möglichen Durchmischungen

## 6.1 Gegenseitiger Ausschluss (4)

### Gegenseitiger Ausschluss wird erreicht

◆ leicht nachweisbar durch Zustände von `ready0` und `ready1`

### Probleme der Lösung

- ◆ aktives Warten
- ◆ Verklemmung möglich

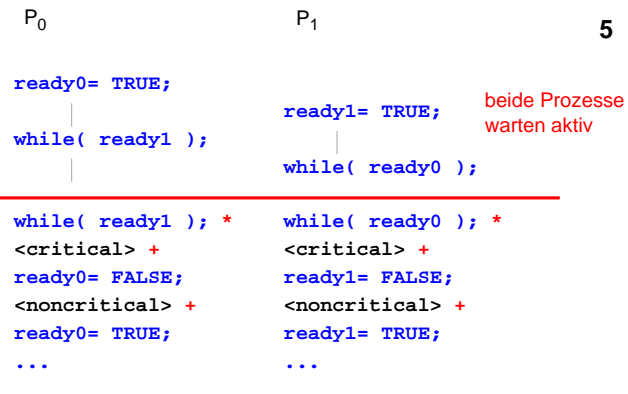
## 6.1 Gegenseitiger Ausschluss (6)

### Harmlose Durchmischung

| P <sub>0</sub>   | P <sub>1</sub>     | 6           |
|------------------|--------------------|-------------|
| ready0= TRUE;    |                    |             |
| while( ready1 ); |                    |             |
| <critical>       |                    |             |
|                  | ready1= TRUE;      | ausgeführte |
|                  | while( ready0 );   | Anweisungen |
| <hr/>            |                    |             |
| <critical> *     | while( ready0 ); * |             |
| ready0= FALSE;   | <critical> +       |             |
| <noncritical> +  | ready1= FALSE;     |             |
| ready0= TRUE;    | <noncritical> +    |             |
| ...              | ready1= TRUE;      |             |
|                  | ...                |             |

## 6.1 Gegenseitiger Ausschluss (7)

### ■ Verklemmung (Livelock)



## 6.1 Gegenseitiger Ausschluss (9)

### ■ Algorithmus implementiert gegenseitigen Ausschluss

- ◆ vollständige und sichere Implementierung
- ◆ `turn` entscheidet für den kritischen Fall von Versuch 2, welcher Prozess nun wirklich den kritischen Abschnitt betreten darf
- ◆ in allen anderen Fällen ist `turn` unbedeutend

### ▲ Problem der Lösung

- ◆ aktives Warten

### ★ Algorithmus auch für mehrere Prozesse erweiterbar

- ◆ Lösung ist relativ aufwendig

## 6.1 Gegenseitiger Ausschluss (8)

### ■ 3. Versuch (Algorithmus von Peterson, 1981)

```
bool ready0= FALSE;
bool ready1= FALSE;
int turn= 0;
```

```
while(1) { Prozess 0
 ready0= TRUE;
 turn= 1;
 while(ready1 &&
 turn == 1);

 ... /* critical sec. */

 ready0= FALSE;
 ... /* uncritical */
}
```

```
while(1) { Prozess 1
 ready1= TRUE;
 turn= 0;
 while(ready0 &&
 turn == 0);

 ... /* critical sec. */

 ready1= FALSE;
 ... /* uncritical */
}
```

## 6.2 Spezielle Maschinenbefehle

### ■ Spezielle Maschinenbefehle können die Programmierung kritischer Abschnitte unterstützen und vereinfachen

- ◆ *Test-and-Set* Instruktion
- ◆ *Swap* Instruktion

### ■ Test-and-set

- ◆ Maschinenbefehl mit folgender Wirkung

```
bool test_and_set(bool *plock)
{
 bool tmp= *plock;
 *plock= TRUE;
 return tmp;
}
```

- ◆ Ausführung ist atomar

## 6.2 Spezielle Maschinenbefehle (2)

- ◆ Kritische Abschnitte mit Test-and-Set Befehlen

```
bool lock= FALSE;
```

```
Prozess 0
while(1) {
 while(
 test_and_set(&lock));
 ... /* critical sec. */
 lock= FALSE;
 ... /* uncritical */
}
```

```
Prozess 1
while(1) {
 while(
 test_and_set(&lock));
 ... /* critical sec. */
 lock= FALSE;
 ... /* uncritical */
}
```

- ★ Code ist identisch und für mehr als zwei Prozesse geeignet

## 6.2 Spezielle Maschinenbefehle (4)

- Kritische Abschnitte mit Swap-Befehlen

```
bool lock= FALSE;
```

```
Prozess 0
bool key;
...
while(1) {
 key= TRUE;
 while(key == TRUE)
 swap(&lock, &key);
 ... /* critical sec. */
 lock= FALSE;
 ... /* uncritical */
}
```

```
Prozess 1
bool key;
...
while(1) {
 key= TRUE;
 while(key == TRUE)
 swap(&lock, &key);
 ... /* critical sec. */
 lock= FALSE;
 ... /* uncritical */
}
```

- ★ Code ist identisch und für mehr als zwei Prozesse geeignet

## 6.2 Spezielle Maschinenbefehle (3)

- Swap

- ◆ Maschinenbefehl mit folgender Wirkung

```
void swap(bool *ptr1, bool *ptr2)
{
 bool tmp= *ptr1;
 *ptr1= *ptr2;
 *ptr2= tmp;
}
```

- ◆ Ausführung ist atomar

## 6.3 Kritik an den bisherigen Verfahren

- ★ Spinlock

- ◆ bisherige Verfahren werden auch Spinlocks genannt
- ◆ aktives Warten

- ▲ Problem des aktiven Wartens

- ◆ Verbrauch von Rechenzeit ohne Nutzen
- ◆ Behinderung „nützlicher“ Prozesse
- ◆ Abhängigkeit von der Schedulingstrategie
  - nicht anwendbar bei nicht-verdrängenden Strategien
  - schlechte Effizienz bei langen Zeitscheiben

- Spinlocks kommen heute fast ausschließlich in Multiprozessorsystemen zum Einsatz

- ◆ bei kurzen kritischen Abschnitten effizient
- ◆ Koordinierung zwischen Prozessen von mehreren Prozessoren



## 6.4 Sperrung von Unterbrechungen

### ■ Sperrung der Systemunterbrechungen im Betriebssystem

| Prozess 0                                                                                                           | Prozess 1                                                                                                           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <pre>disable_interrupts();<br/>... /* critical sec. */<br/>enable_interrupts();<br/>... /* uncritical sec. */</pre> | <pre>disable_interrupts();<br/>... /* critical sec. */<br/>enable_interrupts();<br/>... /* uncritical sec. */</pre> |

- ◆ nur für kurze Abschnitte geeignet
  - sonst Datenverluste möglich
- ◆ nur innerhalb des Betriebssystems möglich
  - privilegierter Modus nötig
- ◆ nur für Monoprozessoren anwendbar
  - bei Multiprozessoren arbeiten andere Prozesse echt parallel

## 6.5 Semaphor (2)

### ■ Implementierung kritischer Abschnitte mit einem Semaphor

```
int lock= 1;
```

```
Prozess 0
...
while(1) {
 P(&lock);

 ... /* critical sec. */

 V(&lock);

 ... /* uncritical */
}
```

```
Prozess 1
...
while(1) {
 P(&lock);

 ... /* critical sec. */

 V(&lock);

 ... /* uncritical */
}
```

### ▲ Problem:

- ◆ Implementierung von P und V

## 6.5 Semaphor

### ■ Ein Semaphor (griech. Zeichenträger) ist eine Datenstruktur des Systems mit zwei Operationen (nach Dijkstra)

- ◆ P-Operation (*proberen; passieren; wait; down*)
  - wartet bis Zugang frei

```
void P(int *s)
{
 while(*s <= 0);
 *s = *s - 1;
}
```

atomare Funktion

- ◆ V-Operation (*verhogen; vrijgeven; signal; up*)
  - macht Zugang für anderen Prozess frei

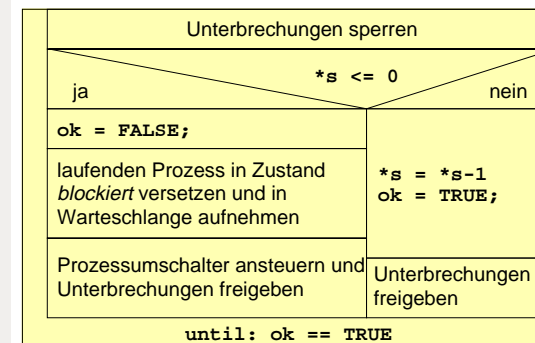
```
void V(int *s)
{
 *s = *s + 1;
}
```

atomare Funktion

## 6.5 Semaphor (3)

### ■ Implementierung im Betriebssystem (Monoprozessor)

#### P-Operation



ok ist eine prozesslokale Variable

- ◆ jeder Semaphor besitzt Warteschlange, die blockierte Prozesse aufnimmt