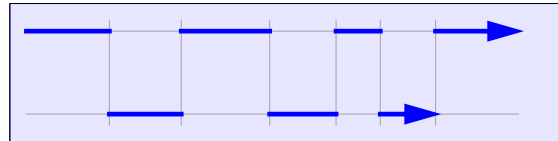


2 Koroutinen

■ Einsatz von Koroutinen

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



ein Prozess
zwei Koroutinen

▲ 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.

SP I

Systemprogrammierung I

© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

D.66

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

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

SP I

Systemprogrammierung I

© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

D.68

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

3 Aktivitätsträger

★ Lösungsansatz:

Aktivitätsträger (*Threads*) oder leichtgewichtige Prozesse (*Lightweighted Processes, LWP*s)

- ◆ 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

SP I

Systemprogrammierung I

© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

D.67

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

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.

SP I

Systemprogrammierung I

© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

D.69

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

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

SP I

Systemprogrammierung I
© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

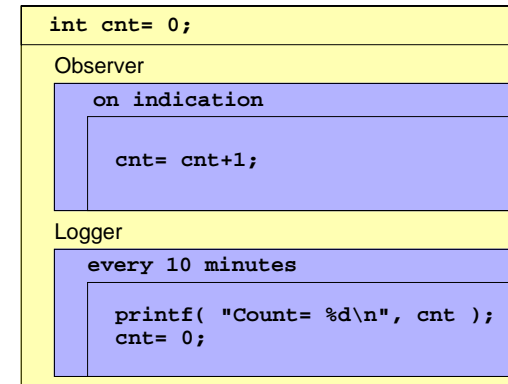
D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

D.70

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

D.6 Koordinierung

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



SP I

Systemprogrammierung I
© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

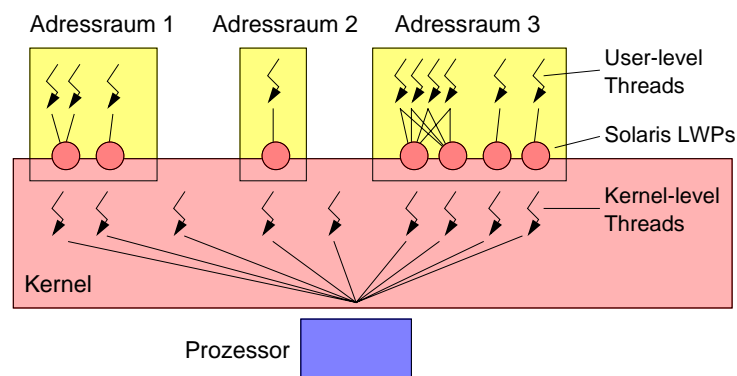
D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

D.72

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

6 Beispiel: LWPs und Threads (Solaris)

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



Nach Silberschatz, 1994

SP I

Systemprogrammierung I
© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

D.71

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

D.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.

SP I

Systemprogrammierung I
© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

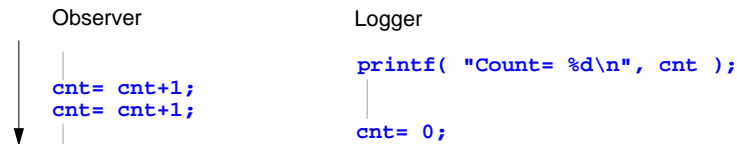
D.73

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

D.6 Koordination (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.



SP I

Systemprogrammierung I
© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

D.74

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

D.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.

SP I

Systemprogrammierung I
© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

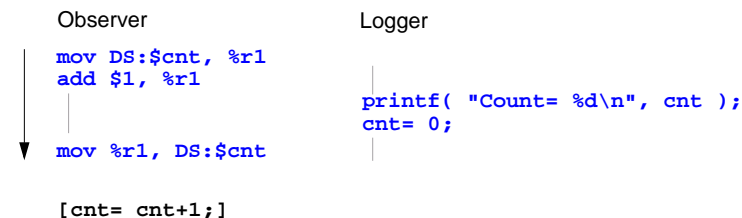
D.76

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

D.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.



SP I

Systemprogrammierung I
© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

D.75

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

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 */
}
```

SP I

Systemprogrammierung I
© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

D.77

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

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

SP I

Systemprogrammierung I
© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

D.78

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

1 Gegenseitiger Ausschluss (4)

■ Gegenseitiger Ausschluss wird erreicht

▲ Probleme der Lösung

- ◆ aktives Warten
- ◆ Verklemmung möglich (*Livelock*)

```
      P0                                P1
      |                                |
      v                                v
      ready0= TRUE;                    ready1= TRUE;
      |                                |
      while( ready1 );                  while( ready0 );
      |                                |
      ↓                                ↓
```

■ Kombination beider Algorithmen führt zu Versuch 3

SP I

Systemprogrammierung I
© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

D.80

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

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 */
}
```

SP I

Systemprogrammierung I
© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

D.79

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

1 Gegenseitiger Ausschluss (5)

■ 3. Versuch (Algorithmus von Peterson, 1981)

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

Prozess 0

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

    ... /* critical sec. */

    ready0= FALSE;

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

Prozess 1

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

    ... /* critical sec. */

    ready1= FALSE;

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

SP I

Systemprogrammierung I
© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

D.81

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

1 Gegenseitiger Ausschluss (6)

- 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

SP I

Systemprogrammierung I
© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

D.82

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

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

SP I

Systemprogrammierung I
© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

D.84

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

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

SP I

Systemprogrammierung I
© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

D.83

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

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

SP I

Systemprogrammierung I
© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

D.85

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

2 Spezielle Maschinenbefehle (4)

- ◆ Kritische Abschnitte mit Swap Befehlen

```
bool lock= FALSE;
```

```
bool key;          Prozess 0
...
while( 1 ) {
    key= TRUE;
    while( key == TRUE )
        swap( &lock, &key );

    ... /* critical sec. */

    lock= FALSE;

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

```
bool key;          Prozess 1
...
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

4 Sperrung von Unterbrechungen

- Sperrung der Systemunterbrechungen im Betriebssystem

```
Prozess 0
disable_interrupts();

... /* critical sec. */

enable_interrupts();

... /* uncritical sec. */
```

```
Prozess 1
disable_interrupts();

... /* critical sec. */

enable_interrupts();

... /* uncritical sec. */
```

- ◆ 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

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

5 Semaphore

- Datenstruktur des Systems mit zwei Operationen (nach *Dijkstra*)

- ◆ P-Operation (*proberen; passeren; 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

5 Semaphore (2)

■ Implementierung kritischer Abschnitte mit Semaphore

```
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

SP I

Systemprogrammierung I
© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

D.90

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

5 Semaphore (4)

V-Operation

Unterbrechungen sperren

```
*s = *s+1
```

alle Prozess aus der Warteschlange
in den Zustand *bereit* versetzen

Unterbrechungen freigeben

Prozessumschalter ansteuern

- ◆ Prozesse probieren immer wieder, die P-Operation erfolgreich abzuschließen
- ◆ Schedulingstrategie entscheidet über Reihenfolge und Fairness
 - leichte Ineffizienz durch Aufwecken aller Prozesse
 - mit Einbezug der Schedulingstrategie effizientere Implementierungen möglich

SP I

Systemprogrammierung I
© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

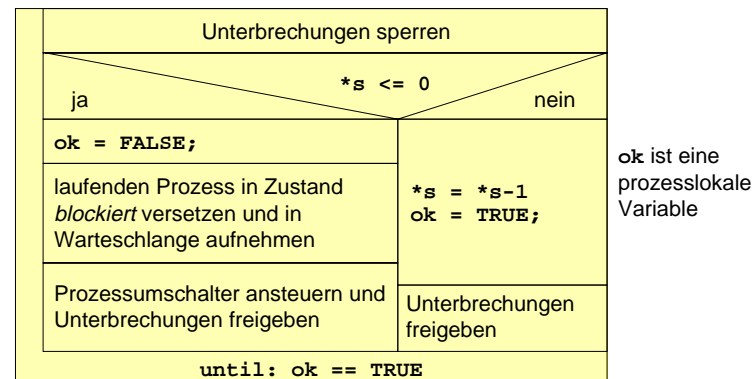
D.92

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

5 Semaphore (3)

■ Implementierung im Betriebssystem (Monoprozessor)

P-Operation



- ◆ jede Semaphore besitzt Warteschlange, die blockierte Prozesse aufnimmt

SP I

Systemprogrammierung I
© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

D.91

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

5 Semaphore (5)

★ Vorteile einer Semaphore-Implementierung im Betriebssystem

- ◆ Einbeziehen des Schedulers in die Semaphore-Operationen
- ◆ kein aktives Warten; Ausnutzen der Blockierzeit durch andere Prozesse

■ Implementierung einer Synchronisierung

- ◆ zwei Prozesse P₁ und P₂
- ◆ Anweisung S₁ in P₁ soll vor Anweisung S₂ in P₂ stattfinden

```
int lock= 0;
```

```
...          Prozess 1
...
S1;
V( &lock );
...
```

```
...          Prozess 2
...
P( &lock );
S2;
...
```

★ Zählende Semaphore

SP I

Systemprogrammierung I
© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

D.93

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

5 Semaphore (6)

- Abstrakte Beschreibung von zählenden Semaphore (PV System)
 - ◆ für jede Operation wird eine Bedingung angegeben
 - falls Bedingung nicht erfüllt, wird die Operation blockiert
 - ◆ für den Fall, dass die Bedingung erfüllt wird, wird eine Anweisung definiert, die ausgeführt wird

- Beispiel: für zählende Semaphore

Operation	Bedingung	Anweisung
P(S)	$S > 0$	$S := S - 1$
V(S)	TRUE	$S := S + 1$

1 Gegenseitiger Ausschluss

- Semaphore
 - ◆ eigentlich reicht eine Semaphore mit zwei Zuständen: binäre Semaphore

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

atomare Funktion

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

atomare Funktion

- ◆ zum Teil effizienter implementierbar

D.7 Klassische Koordinierungsprobleme

- Reihe von bedeutenden Koordinierungsproblemen
 - ◆ Gegenseitiger Ausschluss (*Mutual exclusion*)
 - nur ein Prozess darf bestimmte Anweisungen ausführen
 - ◆ Puffer fester Größe (*Bounded buffers*)
 - Blockieren der lesenden und schreibenden Prozesse, falls Puffer leer oder voll
 - ◆ Leser-Schreiber-Problem (*Reader-writer problem*)
 - Leser können nebenläufig arbeiten; Schreiber darf nur alleine zugreifen
 - ◆ Philosophenproblem (*Dining-philosopher problem*)
 - im Kreis sitzende Philosophen benötigen das Besteck der Nachbarn zum Essen
 - ◆ Schlafende Friseur (*Sleeping-barber problem*)
 - Friseur schlafen solange keine Kunden da sind

1 Gegenseitiger Ausschluss (2)

- Abstrakte Beschreibung: binäre Semaphore

Operation	Bedingung	Anweisung
P(S)	$S \neq 0$	$S := 0$
V(S)	TRUE	$S := 1$

1 Gegenseitiger Ausschluss (3)

- ▲ Problem der Klammerung kritischer Abschnitte
 - ◆ Programmierer müssen Konvention der Klammerung einhalten
 - ◆ Fehler bei Klammerung sind fatal

```
P( &lock );
```

```
... /* critical sec. */
```

```
P( &lock );
```

führt zu Verklemmung (Deadlock)

```
V( &lock );
```

```
... /* critical sec. */
```

```
V( &lock );
```

führt zu unerwünschter Nebenläufigkeit

SP I

Systemprogrammierung I
© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

D.98

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

2 Bounded Buffers

- Puffer fester Größe
 - ◆ mehrere Prozesse lesen und beschreiben den Puffer
 - ◆ beispielsweise Erzeuger und Verbraucher (Erzeuger-Verbraucher-Problem)
(z.B. Erzeuger liest einen Katalog; Verbraucher zählt Zeilen;
Gesamtanwendung zählt Einträge in einem Katalog)
 - ◆ UNIX-Pipe ist solch ein Puffer
- Problem
 - ◆ Koordinierung von Leser und Schreiber
 - gegenseitiger Ausschluss beim Pufferzugriff
 - Blockierung des Lesers bei leerem Puffer
 - Blockierung des Schreibers bei vollem Puffer

SP I

Systemprogrammierung I
© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

D.100

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

1 Gegenseitiger Ausschluss (3)

- Automatische Klammerung wünschenswert
 - ◆ Beispiel: Java

```
synchronized( lock ) {  
    ... /* critical sec. */  
}
```

SP I

Systemprogrammierung I
© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

D.99

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

2 Bounded Buffers (2)

- Implementierung mit zählenden Semaphoren
 - ◆ zwei Funktionen zum Zugriff auf den Puffer
 - `put` stellt Zeichen in den Puffer
 - `get` liest ein Zeichen vom Puffer
 - ◆ Puffer wird durch ein Feld implementiert, der als Ringpuffer wirkt
 - zwei Integer-Variablen enthalten Feldindizes auf den Anfang und das Ende des Ringpuffers
 - ◆ eine Semaphore für den gegenseitigen Ausschluss
 - ◆ je eine Semaphore für das Blockieren an den Bedingungen „Puffer voll“ und „Puffer leer“
 - Semaphore `full` zählt wieviele Zeichen noch in den Puffer passen
 - Semaphore `empty` zählt wieviele Zeichen im Puffer sind

SP I

Systemprogrammierung I
© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

D.101

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

2 Bounded Buffers (3)

```
char buffer[N];
int inslot= 0, outslot= 0;
semaphore mutex= 1, empty= 0, full= N;
```

```
void put( char c )
{
    P( &full );
    P( &mutex );
    buffer[inslot]= c;
    if( ++inslot >= N )
        inslot= 0;
    V( &mutex );
    V( &empty );
}
```

```
char get( void )
{
    char c;

    P( &empty );
    P( &mutex );
    c= buffer[outslot];
    if( ++outslot >= N )
        outslot= 0;
    V( &mutex );
    V( &full );
    return c;
}
```

SP I

Systemprogrammierung I
© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

D.102

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

3 Erstes Leser-Schreiber-Problem (2)

```
semaphore mutex= 1, writer= 1;
int readcount= 0;
```

Leser

```
...
P( &mutex );
if( ++readcount == 1 )
    P( &writer );
V( &mutex );

... /* reading */

P( &mutex );
if( --readcount == 0 )
    V( &writer );
V( &mutex );
...
```

Schreiber

```
...
P( &writer );

... /* writing */

V( &writer );
...
```

SP I

Systemprogrammierung I
© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

D.104

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

3 Erstes Leser-Schreiber-Problem

- Lesende und schreibende Prozesse
 - ◆ Leser können nebenläufig zugreifen (Leser ändern keine Daten)
 - ◆ Schreiber können nur exklusiv zugreifen (Daten sonst inkonsistent)
- Erstes Leser-Schreiber-Problem (nach *Courtois* et.al. 1971)
 - ◆ Kein Leser soll warten müssen, es sei denn ein Schreiber ist gerade aktiv
- Realisierung mit zählenden (binären) Semaphoren
 - ◆ Zählen der nebenläufig tätigen Leser: Variable **readcount**
 - ◆ Semaphore für gegenseitigen Ausschluss beim Zugriff auf **readcount**: **mutex**
 - ◆ Semaphore für gegenseitigen Ausschluss von Schreibern untereinander und von Schreibern gegen Leser: **writer**

SP I

Systemprogrammierung I
© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

D.103

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

3 Erstes Leser-Schreiber-Problem (3)

- Vereinfachung der Implementierung durch spezielle Semaphore?
 - ◆ PV-Chunk Semaphore:
 - führen quasi mehrere P- oder V-Operationen atomar aus
 - zweiter Parameter gibt Anzahl an
- Abstrakte Beschreibung für PV-Chunk Semaphore:

Operation	Bedingung	Anweisung
P(S, k)	$S \geq k$	$S := S - k$
V(S, k)	TRUE	$S := S + k$

SP I

Systemprogrammierung I
© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

D.105

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

3 Erstes Leser-Schreiber-Problem (4)

- Implementierung mit PV-Chunk:
 - ◆ Annahme: es gibt maximal N Leser

PV_chunk_semaphore mutex= N;

Leser

```
...
Pc( &mutex, 1 );

... /* reading */

Vc( &mutex, 1 );
...
```

Schreiber

```
...
Pc( &mutex, N );

... /* writing */

Vc( &mutex, N );
...
```

SP I

Systemprogrammierung I
© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

D.106

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

4 Zweites Leser-Schreiber-Problem (2)

```
semaphore mutexR= 1, mutexW= 1, mutex= 1;
semaphore write= 1, read= 1;
int readcount= 0, writecount= 0;
```

Bitte nicht
versuchen, dies
zu verstehen!!

Leser

```
...
P( &mutex ); P( &read );
P( &mutexR );
if( ++readcount == 1 )
  P( &write );
V( &mutexR );
V( &read ); V( &mutex );

... /* reading */

P( &mutexR );
if( --readcount == 0 )
  V( &write );
V( &mutexR );
...
```

Schreiber

```
...
P( &mutexW );
if( ++writecount == 1 )
  P( &read );
V( &mutexW );
P( &write );

... /* writing */

V( &write );
P( &mutexW );
if( --writecount == 0 )
  V( &read );
V( &mutexW );
...
```

SP I

Systemprogrammierung I
© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

D.108

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

4 Zweites Leser-Schreiber-Problem

- Wie das erste Problem aber: (nach Courtois et.al., 1971)
 - ◆ Schreiboperationen sollen so schnell wie möglich durchgeführt werden
- Implementierung mit zählenden Semaphoren
 - ◆ Zählen der nebenläufig tätigen Leser: Variable **readcount**
 - ◆ Zählen der anstehenden Schreiber: Variable **writecount**
 - ◆ Semaphore für gegenseitigen Ausschluss beim Zugriff auf **readcount**: **mutexR**
 - ◆ Semaphore für gegenseitigen Ausschluss beim Zugriff auf **writecount**: **mutexW**
 - ◆ Semaphore für gegenseitigen Ausschluss von Schreibern untereinander und von Schreibern gegen Leser: **write**
 - ◆ Semaphore für den Ausschluss von Lesern, falls Schreiber vorhanden: **read**
 - ◆ Semaphore zum Klammern des Leservorspanns: **mutex**

SP I

Systemprogrammierung I
© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

D.107

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

4 Zweites Leser-Schreiber-Problem (3)

- Vereinfachung der Implementierung durch spezielle Semaphore?
 - ◆ Up-Down-Semaphore:
 - zwei Operationen *up* und *down*, die Semaphore hoch- und runterzählen
 - Nichtblockierungsbedingung für beide Operationen, definiert auf einer Menge von Semaphoren
- Abstrakte Beschreibung für Up-down-Semaphore

Operation	Bedingung	Anweisung
up(S, { S _i })	$\sum_i S_i \geq 0$	S := S + 1
down(S, { S _i })	$\sum_i S_i \geq 0$	S := S - 1

SP I

Systemprogrammierung I
© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

D.109

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

4 Zweites Leser-Schreiber-Problem (4)

- Implementierung mit Up-Down-Semaphore:

```
up_down_semaphore mutexw= 0, reader= 0, writer= 0;
```

Leser	Schreiber
<pre>... down(&reader, 1, &writer); ... /* reading */ up(&reader, 0); ...</pre>	<pre>... down(&writer, 0); down(&mutexw, 2, &mutexw,&reader); ... /* writing */ up(&mutexw, 0); up(&writer, 0); ...</pre>

- ◆ Zähler für Leser: **reader** (zählt negativ)
- ◆ Zähler für anstehende Schreiber: **writer** (zählt negativ)
- ◆ Semaphore für gegenseitigen Ausschluss der Schreiber: **mutexw**

SP I

Systemprogrammierung I
© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

D.110

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

5 Philosophenproblem (2)

- Naive Implementierung
- ◆ eine Semaphore pro Gabel

```
semaphore forks[5]= { 1, 1, 1, 1, 1 };
```

Philosoph $i, i \in [0,4]$

```
while( 1 ) {  
    ... /* think */  
  
    P( &forks[i] );  
    P( &forks[(i+1)%5] );  
  
    ... /* eat */  
  
    V( &forks[i] );  
    V( &forks[(i+1)%5] );  
}
```

SP I

Systemprogrammierung I
© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

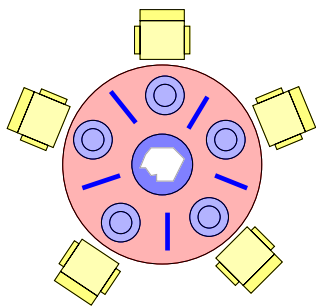
D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

D.112

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

5 Philosophenproblem

- Fünf Philosophen am runden Tisch



- ◆ Philosophen denken oder essen
"The life of a philosopher consists of an alternation of thinking and eating." (Dijkstra, 1971)
- ◆ zum Essen benötigen sie zwei Gabeln, die jeweils zwischen zwei benachbarten Philosophen abgelegt sind

- ▲ Problem

- ◆ Gleichzeitiges Belegen mehrerer Betriebsmittel (hier Gabeln)
- ◆ Verklemmung und Aushungerung

SP I

Systemprogrammierung I
© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

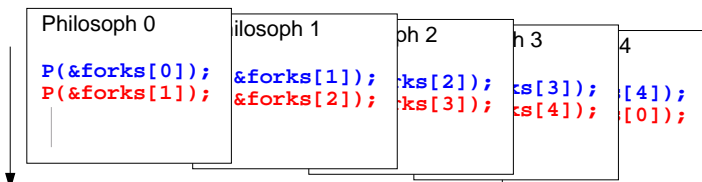
D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

D.111

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

5 Philosophenproblem (3)

- Problem der Verklemmung
- ◆ alle Philosophen nehmen gleichzeitig die linke Gabel auf und versuchen dann die rechte Gabel aufzunehmen



- ◆ System ist verklemmt
- Philosophen warten alle auf ihre Nachbarn

SP I

Systemprogrammierung I
© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

D.113

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

5 Philosophenproblem (4)

- Lösung 1: gleichzeitiges Aufnehmen der Gabeln
 - ◆ Implementierung mit binären oder zählenden Semaphoren ist nicht trivial
 - ◆ Zusatzvariablen erforderlich
 - ◆ unübersichtliche Lösung
- ★ Einsatz von speziellen Semaphoren: PV-multiple-Semaphore
 - ◆ gleichzeitiges und atomares Belegen mehrerer Semaphore
 - ◆ Abstrakte Beschreibung:

Operation	Bedingung	Anweisung
$P(\{S_i\})$	$\forall i, S_i > 0$	$\forall i, S_i = S_i - 1$
$V(\{S_i\})$	TRUE	$\forall i, S_i = S_i + 1$

SP I

Systemprogrammierung I
© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

D.114

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

5 Philosophenproblem (6)

- Lösung 2: einer der Philosophen muss erst die andere Gabel aufnehmen

```
semaphore forks[5]= { 1, 1, 1, 1, 1 };
```

```
Philosoph i, i ∈ [0,3]

while( 1 ) {
    ... /* think */

    P( &forks[i] );
    P( &forks[(i+1)%5] );

    ... /* eat */

    V( &forks[i] );
    V( &forks[(i+1)%5] );
}
```

```
Philosoph 4

while( 1 ) {
    ... /* think */

    P( &forks[0] );
    P( &forks[4] );

    ... /* eat */

    V( &forks[0] );
    V( &forks[4] );
}
```

SP I

Systemprogrammierung I
© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

D.116

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

5 Philosophenproblem (5)

- ◆ Implementierung mit PV-multiple-Semaphore

```
PV_mult_semaphore forks[5]= { 1, 1, 1, 1, 1 };
```

```
Philosoph i, i ∈ [0,4]

while( 1 ) {
    ... /* think */

    Pm( 2, &forks[i], &forks[(i+1)%5] );

    ... /* eat */

    Vm( 2, &forks[i], &forks[(i+1)%5] );
}
```

SP I

Systemprogrammierung I
© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

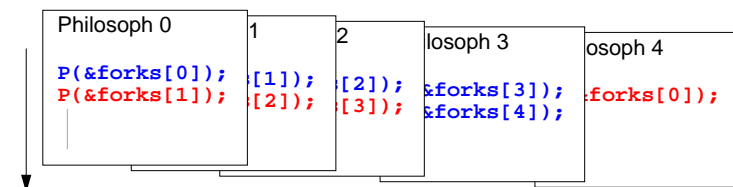
D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

D.115

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

5 Philosophenproblem (7)

- ◆ Ablauf der asymmetrischen Lösung im ungünstigsten Fall



- ◆ System verklemmt sich nicht

SP I

Systemprogrammierung I
© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

D.117

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

6 Schlafende Friseure

- Friseurladen mit N freien Wartestühlen
 - ◆ Friseure schlafen solange kein Kunde da ist
 - ◆ eintretende Kunden warten bis ein Friseur frei ist; gegebenenfalls wird einer der Friseure von einem Kunden aufgeweckt
 - ◆ sind keine Wartestühle mehr frei, verlassen die Kunden den Laden
- Problem:
 - ◆ Mehrere Bearbeitungsstationen sollen exklusive Bearbeitungen durchführen
- Implementierung mit zählenden Semaphoren
 - ◆ Semaphore zum Schutz der Variablen zum Zählen der Kunden: **mutex**
 - ◆ Semaphore zum Zählen der Friseure: **barbers**
 - ◆ Semaphore zum Zählen der Kunden: **customers**

SP I

Systemprogrammierung I

© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

D.118

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

6 Schlafende Friseure (2)

- Implementierung mit zählenden Semaphoren (PV System)

```
semaphore customers= 0, barbers= 0, mutex= 1;
int waiting= 0;
```

```
Barber
while( 1 ) {
    P( &customers );
    P( &mutex );
    waiting--;
    V( &barbers );
    V( &mutex );

    ... /* cut hair */
}
```

```
Customer
P( &mutex );
if( waiting < N ) {
    waiting++;
    V( &customers );
    V( &mutex );
    P( &barbers );

    ... /* get hair cut */
}
else {
    V( &mutex );
}
```

SP I

Systemprogrammierung I

© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

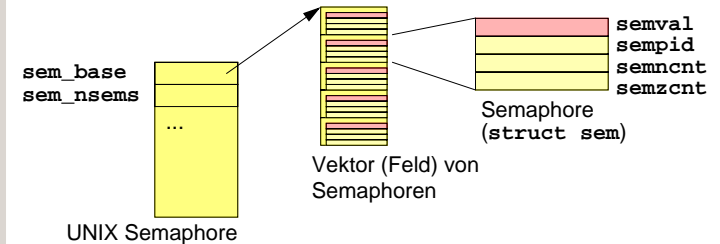
D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

D.119

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

D.8 UNIX-Semaphore

- Vektor von Semaphoren (erweitertes Vektoradditionssystem)



- ◆ Gleichzeitige und atomare Operationen auf mehreren Semaphoren im Vektor möglich

SP I

Systemprogrammierung I

© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

D.120

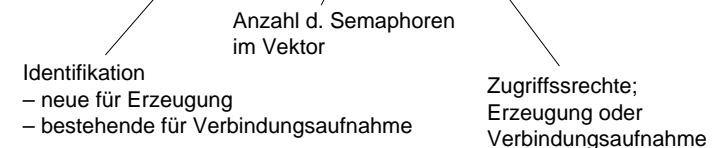
Reproduktion jeder Art oder Vervielfältigung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

1 Erzeugen einer UNIX-Semaphore

- UNIX-Semaphore haben systemweit eindeutige Identifikation (Key)

- ◆ Erzeugen und Aufnehmen der Verbindung zu einer Semaphore

```
int semget( key_t key, int nsems, int semflg );
```



- ◆ Ergebnis ist eine Semaphore ID ähnlich wie ein Filedescriptor
 - Semaphore ID muss bei allen Operationen verwendet werden
- ◆ Zugriffsrechte: Lesen, Verändern
 - einstellbar für Besitzer, Gruppe und alle anderen (ähnlich wie bei Dateien)

SP I

Systemprogrammierung I

© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

D.121

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

1 Erzeugen einer UNIX-Semaphore (2)

■ Verwendung des Keys

- ◆ Alle Prozesse, die auf die Semaphore zugreifen wollen, müssen den Key kennen
- ◆ Keys sind eindeutig innerhalb eines (Betriebs-)Systems
- ◆ Ist ein Key bereits vergeben, kann keine Semaphore mit gleichem Key erzeugt werden
- ◆ Ist ein Key bekannt, kann auf die Semaphore zugegriffen werden
 - gesetzte Zugriffsberechtigungen werden allerdings beachtet

SP I

Systemprogrammierung I

© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

D.122

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

2 Operationen auf UNIX-Semaphoren (2)

■ Kontrolloperationen

```
int semctl( int semid, int semnum, int cmd,
            [ union semun arg ] );
```

- ◆ explizites Setzen von Werten (einen, alle)
- ◆ Abfragen von Werten (einen, alle)
- ◆ Abfragen von Zusatzinformationen
 - welcher Prozess hat letzte Operation erfolgreich durchgeführt
 - wann wurde letzte Operation durchgeführt
 - Zugriffsrechte
 - Anzahl der blockierten Prozesse

SP I

Systemprogrammierung I

© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

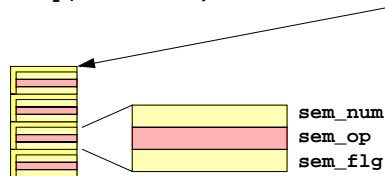
D.124

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

2 Operationen auf UNIX-Semaphoren

■ Operationen auf mehreren der Semaphore im Vektor

```
int semop( int semid, struct sembuf *sops, size_t nsops );
```



◆ Operationen

- **sem_num**: Nummer der Semaphore im Vektor
- **sem_op** < 0: ähnlich P-Operation – Herunterzählen der Semaphore (blockierend oder mit Fehlerstatus, je nach **sem_flg**)
- **sem_op** > 0: ähnlich V-Operation – Hochzählen der Semaphore
- **sem_op** == 0: Test auf 0 (blockierend oder mit Fehlerstatus, je nach **sem_flg**)

SP I

Systemprogrammierung I

© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

D.123

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

3 Beispiel: Philosophenproblem

■ Eine UNIX Semaphore mit fünf Elementen (entsprechen Gabeln)

◆ Deklarationen

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/ipc.h>
#include <sys/sem.h>

int i; /* number of philosopher */
int j;
int semid; /* semaphore ID */
struct sembuf pbuf[2], vbuf[2]; /* operation buffer */

union semun { /* UNION for semctl */
    int val;
    struct semid_ds *buf;
    ushort *array;
} arg;

...
```

SP I

Systemprogrammierung I

© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

D.125

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

3 Beispiel: Philosophenproblem (2)

◆ Erzeuge Semaphore

```
...

semid= semget( IPC_PRIVATE, 5, IPC_CREAT|SEM_A|SEM_R );
if( semid < 0 ) { ... /* error */ }

for( j= 0; j < 5; j++ ) { /* set all values to 1 */
    arg.val= 1;
    if( semctl( semid, j, SETVAL, arg ) < 0 ) {
        ... /* error */
    }
}

...
```

SP I

Systemprogrammierung I
© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

D.126

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

3 Beispiel: Philosophenproblem (4)

◆ Initialisierungen

```
... /* we are philosopher i */

/* initialize buffer for P operation */

pbuf[0].sem_num= i; pbuf[1].sem_num= (i+1)%5;
pbuf[0].sem_op= pbuf[1].sem_op= -1;
pbuf[0].sem_flg= pbuf[1].sem_flg= 0;

/* initialize buffer for V operation */

vbuf[0].sem_num= i; vbuf[1].sem_num= (i+1)%5;
vbuf[0].sem_op= vbuf[1].sem_op= 1;
vbuf[0].sem_flg= vbuf[1].sem_flg= 0;

...
```

SP I

Systemprogrammierung I
© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

D.128

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

3 Beispiel: Philosophenproblem (3)

◆ Erzeugen der Prozesse

```
...

for( i=0; i<=3; i++ ) { /* start children i= 0..3; */
    pid_t pid= fork();

    if( pid < (pid_t)0 ) { ... /* error */ }
    if( pid ==(pid_t)0 ) {
        /* child */

        break;
    }
}

/* parent: i= 4; */

...
```

SP I

Systemprogrammierung I
© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

D.127

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

3 Beispiel: Philosophenproblem (5)

◆ Philosoph

```
...

while( 1 ) {
    ... /* thinking */

    if( semop( semid, pbuf, 2 ) < 0 ) { ... /* error */ }

    ... /* eating */

    if( semop( semid, vbuf, 2 ) < 0 ) { ... /* error */ }
}
```

SP I

Systemprogrammierung I
© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

D.129

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

D.9 Zusammenfassung

- Programmiermodell: Prozess
 - ◆ Zerlegung von Anwendungen in Prozesse oder Threads
 - ◆ Ausnutzen von Wartezeiten; Time sharing-Betrieb
 - ◆ Prozess hat verschiedene Zustände: laufend, bereit, blockiert etc.
- Auswahlstrategien für Prozesse
 - ◆ FCFS, SJF, PSJF, RR, MLFB
- Prozesskommunikation
 - ◆ Pipes, Queues, Signals, Sockets, Shared memory, RPC
- Koordinierung von Prozessen
 - ◆ Einschränkung der gleichzeitigen Abarbeitung von Befehlsfolgen in nebenläufigen Prozessen/Aktivitätsträgern

SP I

Systemprogrammierung I

© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

D.130

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

D.9 Zusammenfassung (2)

- Gegenseitiger Ausschluss mit Spinlocks
- Klassische Koordinierungsprobleme und deren Lösung mit Semaphoren
 - ◆ Gegenseitiger Ausschluss
 - ◆ Bounded buffers
 - ◆ Leser-Schreiber-Probleme
 - ◆ Philosophenproblem
 - ◆ Schlafende Friseure
- UNIX Systemaufrufe
 - ◆ fork, exec, wait, nice
 - ◆ pipe, socket, bind, recvfrom, sendto, listen, accept
 - ◆ msgget, msgsnd, msgrcv
 - ◆ signal, kill, sigaction
 - ◆ semget, semop, semctl

SP I

Systemprogrammierung I

© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

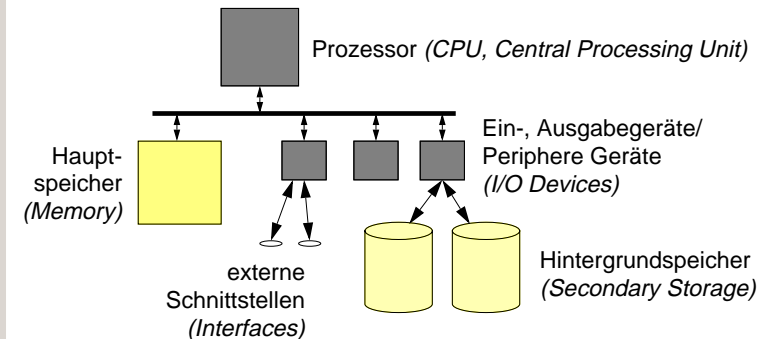
D-Proc.fm 1999-11-09 13.31

D.131

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

E Speicherverwaltung

■ Betriebsmittel



SP I

Systemprogrammierung I

© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

E-Memory.fm 1999-11-09 14.30

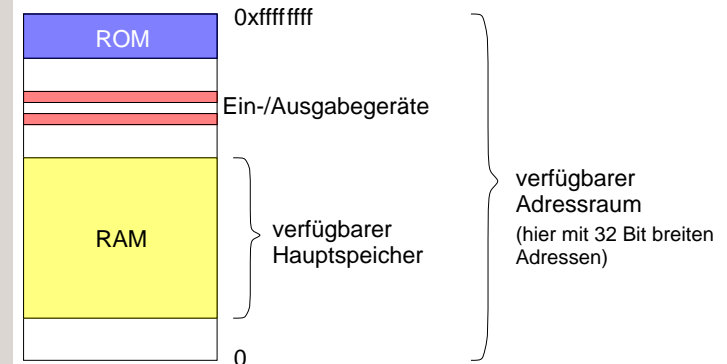
E.1

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

E.1 Speichervergabe

1 Problemstellung

■ Verfügbarer Speicher



SP I

Systemprogrammierung I

© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

E-Memory.fm 1999-11-09 14.30

E.2

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

1 Problemstellung (2)

- Belegung des verfügbaren Hauptspeichers durch
 - ◆ Benutzerprogramme
 - Programmbefehle (Code, Binary)
 - Programmdateien
 - ◆ Betriebssystem
 - Betriebssystemcode
 - Puffer
 - Systemvariablen
- ★ Zuteilung des Speichers nötig

SP I

Systemprogrammierung I

© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

E-Memory.fm 1999-11-09 14:30

E.3

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

2 Statische Speicherzuteilung

- Feste Bereiche für Betriebssystem und Benutzerprogramm
- ▲ Probleme:
 - ◆ Begrenzung anderer Ressourcen
(z.B. Bandbreite bei Ein-/Ausgabe wg. zu kleiner Systempuffer)
 - ◆ Ungenutzter Speicher des Betriebssystems kann von Anwendungsprogramm nicht genutzt werden und umgekehrt
- ★ Dynamische Speicherzuteilung einsetzen

SP I

Systemprogrammierung I

© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

E-Memory.fm 1999-11-09 14:30

E.4

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

3 Dynamische Speicherzuteilung

- Segmente
 - ◆ zusammenhängender Speicherbereich
(Bereich mit aufeinanderfolgenden Adressen)
- Allokation (Anforderung) und Freigabe von Segmenten
- Ein Anwendungsprogramm besitzt üblicherweise folgende Segmente:
 - ◆ Codesegment
 - ◆ Datensegment
 - ◆ Stacksegment (für Verwaltungsinformationen, z.B. bei Funktionsaufrufen)
- ▲ Suche nach geeigneten Speicherbereichen zur Zuteilung
- ★ Speicherzuteilungsstrategien nötig

SP I

Systemprogrammierung I

© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

E-Memory.fm 1999-11-09 14:30

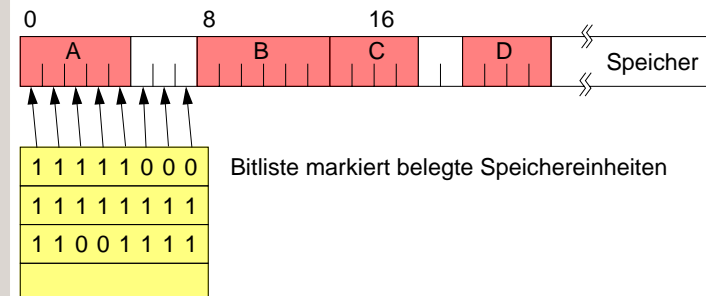
E.5

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

4 Freispeicherverwaltung

- Freie (evtl. auch belegte) Segmente des Speichers müssen repräsentiert werden

- Bitlisten



Speichereinheiten gleicher Größe (z.B. 1 Byte, 64 Byte, 1024 Byte)

SP I

Systemprogrammierung I

© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

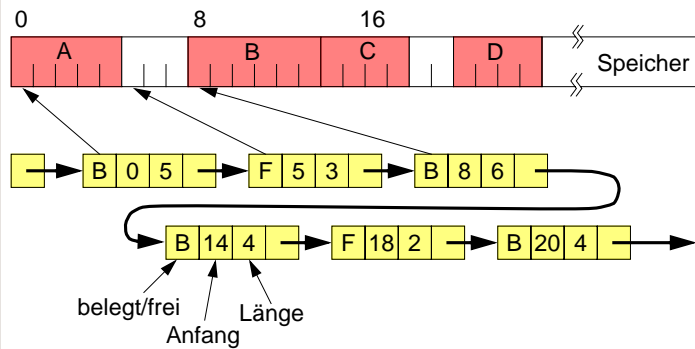
E-Memory.fm 1999-11-09 14:30

E.6

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

4 Freispeicherverwaltung (2)

■ Verkettete Liste



Repräsentation auch von freien Segmenten

SP I

Systemprogrammierung I
© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

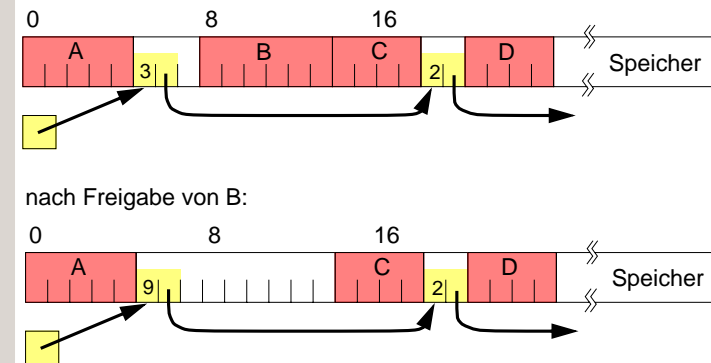
E-Memory.fm 1999-11-09 14:30

E.7

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

5 Speicherfreigabe

■ Verschmelzung von Lücken



SP I

Systemprogrammierung I
© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

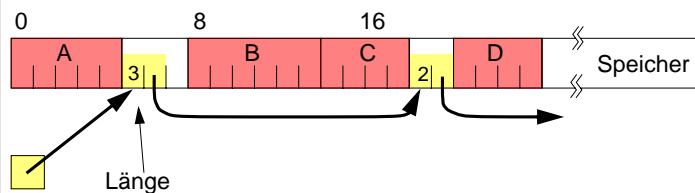
E-Memory.fm 1999-11-09 14:30

E.9

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

4 Freispeicherverwaltung (3)

■ Verkettete Liste in dem freien Speicher



Mindestlückengröße muss garantiert werden

- Zur Effizienzsteigerung eventuell Rückwärtsverkettung nötig
- Repräsentation letztlich auch von der Vergabestrategie abhängig

SP I

Systemprogrammierung I
© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

E-Memory.fm 1999-11-09 14:30

E.8

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

6 Vergabestrategien

- First Fit
 - ◆ erste passende Lücke wird verwendet
- Rotating First Fit / Next Fit
 - ◆ wie First Fit aber Start bei der zuletzt zugewiesenen Lücke
- Best Fit
 - ◆ kleinste passende Lücke wird gesucht
- Worst Fit
 - ◆ größte passende Lücke wird gesucht
- ▲ Probleme:
 - ◆ Speicherverschnitt
 - ◆ zu kleine Lücken

SP I

Systemprogrammierung I
© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

E-Memory.fm 1999-11-09 14:30

E.10

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

7 Buddy Systeme

- Einteilung in dynamische Bereiche der Größe 2^n

	0 128 256 384 512 640 768 896 1024									
	1024									
Anfrage 70	A	128		256			512			
Anfrage 35	A	B	64		256			512		
Anfrage 80	A	B	64	C	128			512		
Freigabe A	128	B	64	C	128			512		
Anfrage 60	128	B	D	C	128			512		
Freigabe B	128	64	D	C	128			512		
Freigabe D		256		C	128			512		
Freigabe C	1024									

Effiziente Repräsentation der Lücken und effiziente Algorithmen

SP I

Systemprogrammierung I

© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

E-Memory.fm 1999-11-09 14:30

E.11

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

8 Einsatz der Verfahren

- Einsatz im Betriebssystem
 - ◆ Verwaltung des Systemspeichers
 - ◆ Zuteilung von Speicher an Prozesse und Betriebssystem
- Einsatz innerhalb eines Prozesses
 - ◆ Verwaltung des Haldenspeichers (*Heap*)
 - ◆ erlaubt dynamische Allokation von Speicherbereichen durch den Prozess (`malloc` und `free`)
- Einsatz für Bereiche des Sekundärspeichers
 - ◆ Verwaltung bestimmter Abschnitte des Sekundärspeichers
z.B. Speicherbereich für Prozessauslagerungen (*Swap space*)

SP I

Systemprogrammierung I

© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

E-Memory.fm 1999-11-09 14:30

E.12

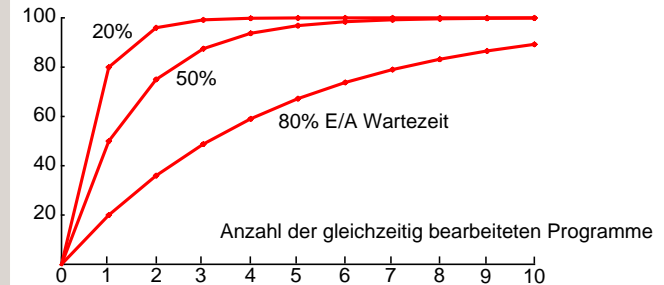
Reproduktion jeder Art oder Vervielfältigung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

E.2 Mehrprogrammbetrieb

1 Problemstellung

- Mehrere Prozesse laufen gleichzeitig
 - ◆ Wartezeiten von Ein-/Ausgabeoperationen ausnutzen
 - ◆ CPU Auslastung verbessern

- CPU-Nutzung in Prozent, abhängig von der Anzahl der Prozesse



SP I

Systemprogrammierung I

© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

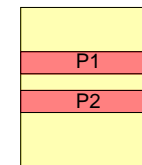
E-Memory.fm 1999-11-09 14:30

E.13

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

1 Problemstellung (2)

- ▲ Mehrere Prozesse benötigen Hauptspeicher
 - ◆ Prozesse an verschiedenen Stellen im Hauptspeicher liegen
 - ◆ Speicher reicht eventuell nicht für alle Prozesse
 - ◆ Schutzbedürfnis des Betriebssystems und der Prozesse untereinander



zwei Prozesse und deren Codesegmente im Speicher

- ★ Relokation von Programmbefehlen (Binaries)
- ★ Ein- und Auslagern von Prozessen
- ★ Hardwareunterstützung

SP I

Systemprogrammierung I

© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

E-Memory.fm 1999-11-09 14:30

E.14

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

2 Relokation

- Festlegung absoluter Speicheradressen in den Programmbefehlen
 - ◆ z.B. ein Sprungbefehl in ein Unterprogramm oder ein Ladebefehl für eine Variable aus dem Datensegment
- Absolutes Binden (*Compile time*)
 - ◆ Adressen stehen fest
 - ◆ Programm kann nur an bestimmter Speicherstelle korrekt ablaufen
- Statisches Binden (*Load time*)
 - ◆ Beim Laden (Starten) des Programms werden die absoluten Adressen angepasst (reloziert)
 - ◆ Relokationsinformation nötig, die vom Compiler oder Assembler geliefert wird

SP I

Systemprogrammierung I
© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

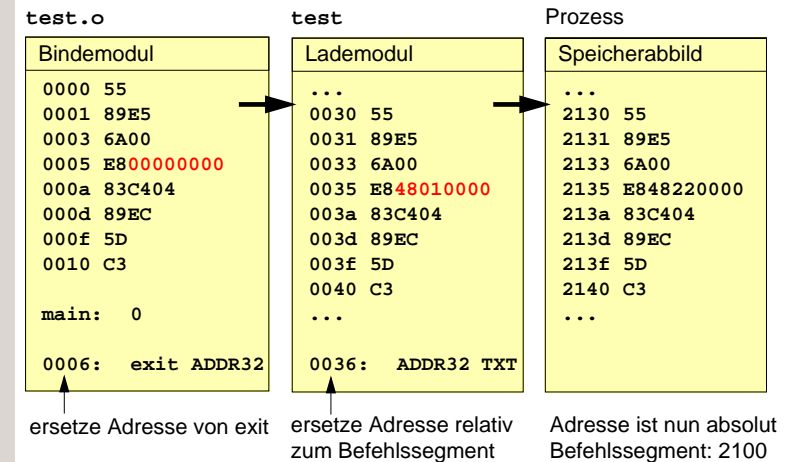
E-Memory.fm 1999-11-09 14:30

E.15

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

2 Relokation (3)

- Binde- und Ladevorgang



SP I

Systemprogrammierung I
© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

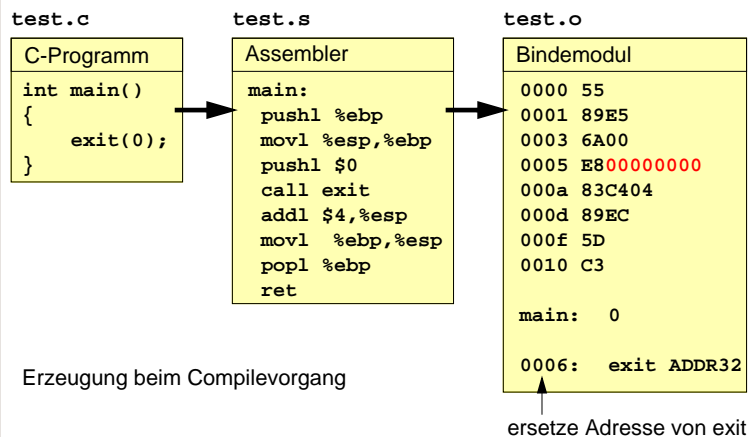
E-Memory.fm 1999-11-09 14:30

E.17

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

2 Relokation (2)

- Compilervorgang (Erzeugung der Relokationsinformation)



SP I

Systemprogrammierung I
© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

E-Memory.fm 1999-11-09 14:30

E.16

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

2 Relokation (4)

- Relokationsinformation im Bindemodul
 - ◆ erlaubt das Binden von Modulen in beliebige Programme
- Relokationsinformation im Lademodul
 - ◆ erlaubt das Laden des Programms an beliebige Speicherstellen
 - ◆ absolute Adressen werden erst beim Laden generiert
- ▲ Alternative
 - ◆ Programm benutzt keine absoluten Adressen und kann daher immer an beliebige Speicherstellen geladen werden

SP I

Systemprogrammierung I
© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

E-Memory.fm 1999-11-09 14:30

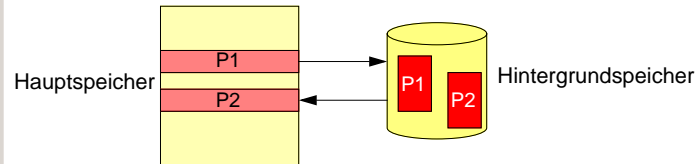
E.18

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

3 Ein-, Auslagerung (Swapping)

- Segmente eines Prozesses werden auf Hintergrundspeicher ausgelagert und im Hauptspeicher freigegeben
 - ◆ z.B. zur Überbrückung von Wartezeiten bei E/A oder Round-Robin Schedulingstrategie

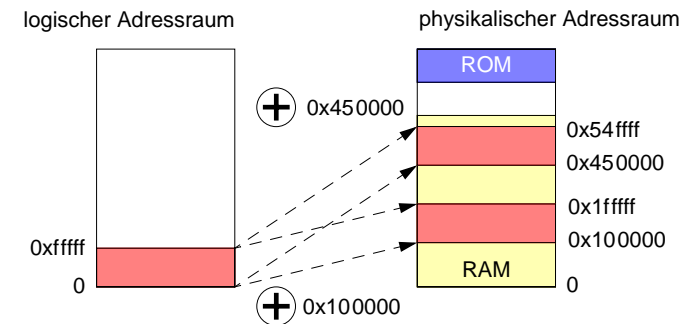
- Einlagern der Segmente in den Hauptspeicher am Ende der Wartezeit



- ▲ Aus-, Einlagerzeit ist hoch
 - ◆ Latenzzeit der Festplatte
 - ◆ Übertragungszeit

4 Segmentierung

- Hardwareunterstützung: Umsetzung logischer in physikalische Adressen
 - ◆ Prozesse erhalten einen logischen Adressraum

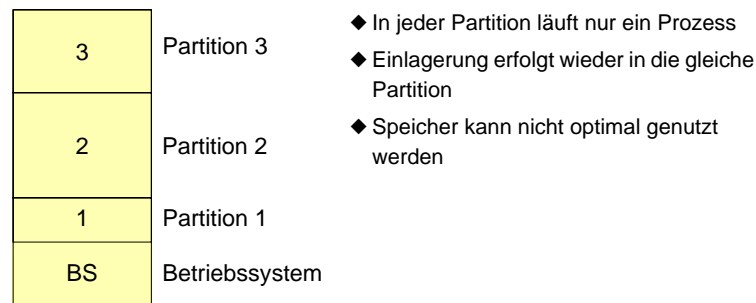


Das Segment im logischen Adressraum kann an jeder beliebige Stelle im physikalischen Adressraum liegen.

3 Ein-, Auslagerung (2)

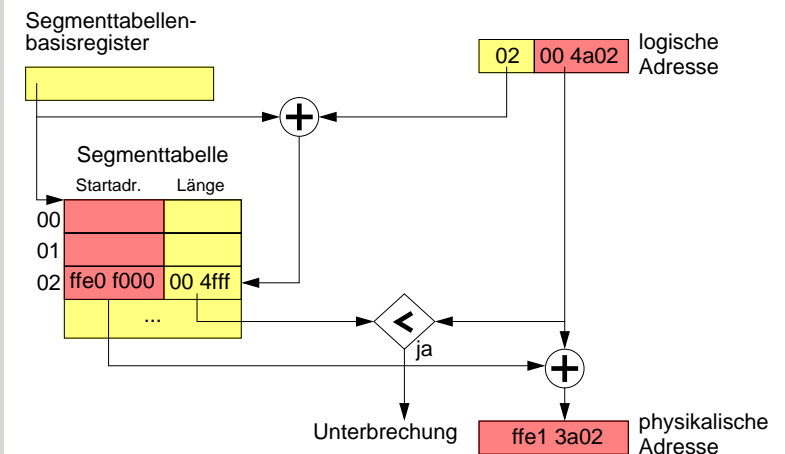
- ▲ Prozess ist statisch gebunden
 - ◆ kann nur an gleiche Stelle im Hauptspeicher wieder eingelagert werden
 - ◆ Kollisionen mit eventuell neu im Hauptspeicher befindlichen Segmenten

- Mögliche Lösung: Partitionierung des Hauptspeichers



4 Segmentierung (2)

- Realisierung mit Übersetzungstabelle



4 Segmentierung (3)

- Hardware wird MMU (*Memory management unit*) genannt
- Schutz vor Segmentübertretung
 - ◆ Unterbrechung zeigt Speicherletzung an
 - ◆ Programme und Betriebssystem voreinander geschützt
- Prozessumschaltung durch Austausch der Segmentbasis
 - ◆ jeder Prozess hat eigene Übersetzungstabelle
- Ein- und Auslagerung vereinfacht
 - ◆ nach Einlagerung an beliebige Stelle muss lediglich die Übersetzungstabelle angepasst werden
- Gemeinsame Segmente möglich
 - ◆ Befehlssegmente
 - ◆ Datensegmente (*Shared memory*)

SP I

Systemprogrammierung I
© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

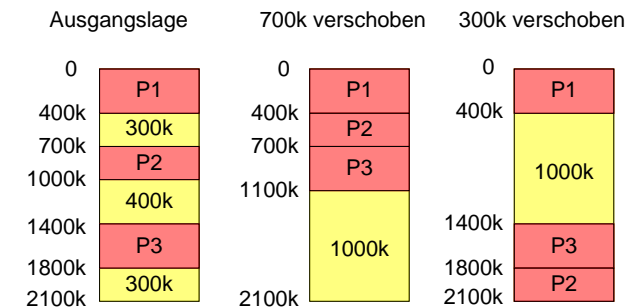
E-Memory.fm 1999-11-09 14:30

E.23

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

5 Kompaktifizieren

- Verschieben von Segmenten
 - ◆ Erzeugen von weniger aber größeren Lücken
 - ◆ Verringern des Verschnitts
 - ◆ aufwendige Operation, abhängig von der Größe der verschobenen Segmente



SP I

Systemprogrammierung I
© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

E-Memory.fm 1999-11-09 14:30

E.25

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

4 Segmentierung (4)

- Zugriffsschutz einfach integrierbar
 - ◆ z.B. Rechte zum Lesen, Schreiben und Ausführen von Befehlen, die von der MMU geprüft werden
- ▲ Fragmentierung des Speichers durch häufiges Ein- und Auslagern
 - ◆ es entstehen kleine, nicht nutzbare Lücken
- ★ Kompaktifizieren
 - ◆ Segmente werden verschoben, um Lücken zu schließen; Segmenttabelle wird jeweils angepasst
- ▲ lange E/A Zeiten für Ein- und Auslagerung
 - ◆ nicht alle Teile eines Segments werden gleich häufig genutzt

SP I

Systemprogrammierung I
© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

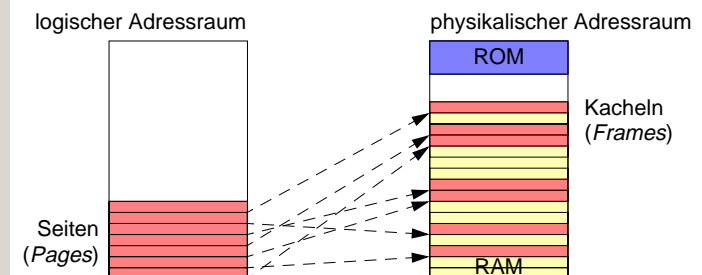
E-Memory.fm 1999-11-09 14:30

E.24

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

E.3 Seitenadressierung (Paging)

- Einteilung des logischen Adressraums in gleichgroße Seiten, die an beliebigen Stellen im physikalischen Adressraum liegen können
 - ◆ Lösung des Fragmentierungsproblem
 - ◆ keine Kompaktifizierung mehr nötig
 - ◆ Vereinfacht Speicherbelegung und Ein-, Auslagerungen



SP I

Systemprogrammierung I
© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

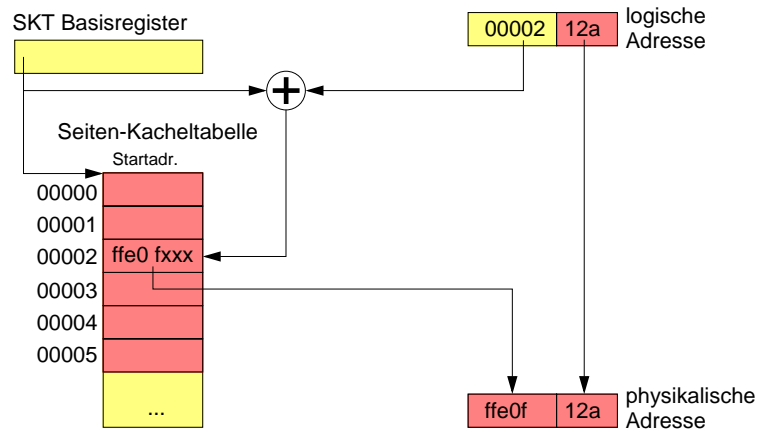
E-Memory.fm 1999-11-09 14:30

E.26

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

1 MMU mit Seiten-Kacheltabelle

- Tabelle setzt Seiten in Kacheln um



SP I

Systemprogrammierung I

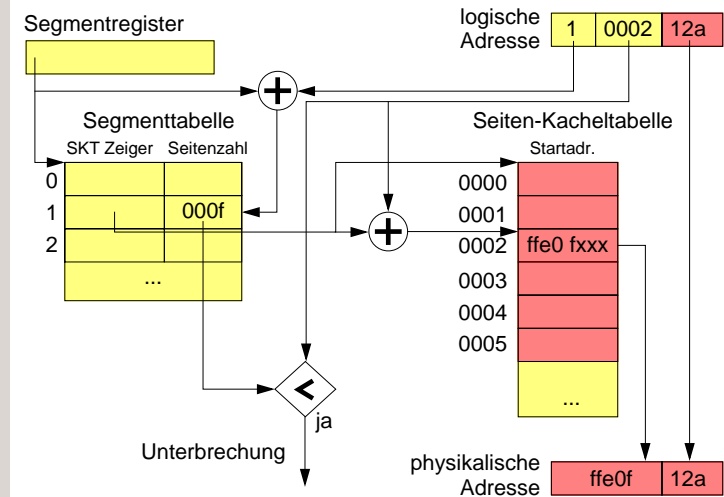
© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

E-Memory.fm 1999-11-09 14:30

E.27

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

2 Segmentierung und Seitenadressierung



SP I

Systemprogrammierung I

© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

E-Memory.fm 1999-11-09 14:30

E.29

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

1 MMU mit Seiten-Kacheltabelle (2)

- ▲ Seitenadressierung erzeugt internen Verschnitt
 - ◆ letzte Seite eventuell nicht vollständig genutzt
- Seitengröße
 - ◆ kleine Seiten verringern internen Verschnitt, vergrößern aber die Seiten-Kacheltabelle (und umgekehrt)
 - ◆ übliche Größen: 512 Bytes — 8192 Bytes
- ▲ große Tabelle, die im Speicher gehalten werden muss
- ▲ viele implizite Speicherzugriffe nötig
- ▲ nur ein „Segment“ pro Kontext
- ★ Kombination mit Segmentierung

SP I

Systemprogrammierung I

© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

E-Memory.fm 1999-11-09 14:30

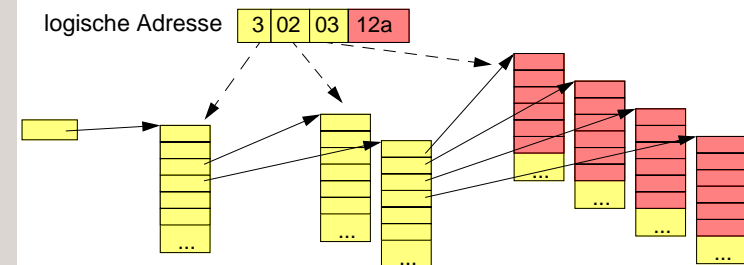
E.28

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

2 Segmentierung und Seitenadressierung (2)

- ▲ noch mehr implizite Speicherzugriffe
- ▲ große Tabellen im Speicher
- ★ Mehrstufige Seitenadressierung mit Ein- und Auslagerung

3 Mehrstufige Seitenadressierung



SP I

Systemprogrammierung I

© Franz J. Hauck, Univ. Erlangen-Nürnberg, IMMD 4, 1997-2000

E-Memory.fm 1999-11-09 14:30

E.30

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

3 Mehrstufige Seitenadressierung (2)

Ein- und Auslagerung von Seiten

Seiten-Kacheltabelle

	Startadr.	Präsenzbit
0000		
0001		
0002	ffe0 fxxx	X
...		

- ◆ Ist das Präsenzbit gesetzt, bleibt alles wie bisher.
- ◆ Ist das Präsenzbit gelöscht, wird eine Unterbrechung ausgelöst (*Page fault*).
- ◆ Die Unterbrechungsbehandlung kann nun für das Laden der Seite vom Hauptspeicher sorgen und den Speicherzugriff danach wiederholen (benötigt HW Support in der CPU).

Präsenzbit auch für jeden Eintrag in den höheren Stufen

- ◆ Tabellen sind aus- und einlagerbar

▲ Noch mehr implizite Speicherzugriffe

4 Translation Look-Aside Buffer (2)

Schneller Zugriff auf Seitenabbildung, falls Information im voll-assoziativen Speicher des TLB

- ◆ keine impliziten Speicherzugriffe nötig

Bei Kontextwechseln muss TLB gelöscht werden (*Flush*)

Bei Zugriffen auf eine nicht im TLB enthaltene Seite wird die entsprechende Zugriffsinformation in den TLB eingetragen

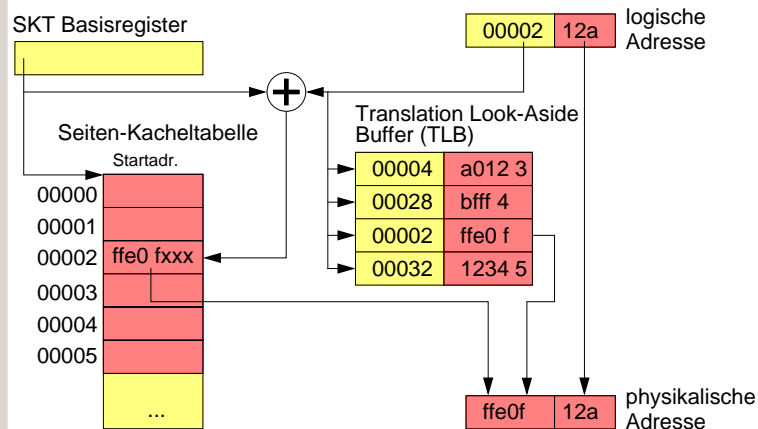
- ◆ Ein alter Eintrag muss zur Ersetzung ausgesucht werden

TLB Größe

- ◆ Pentium: Daten TLB = 64, Code TLB = 32, Seitengröße 4K
- ◆ Sparc V9: Daten TLB = 64, Code TLB = 64, Seitengröße 8K
- ◆ Größere TLBs bei den üblichen Taktraten zur Zeit nicht möglich

4 Translation Look-Aside Buffer

Schneller Registersatz wird konsultiert bevor auf die SKT zugegriffen wird



5 Invertierte Seiten-Kacheltabelle

Zum Umsetzen der Adressen nur Abbildung der belegten Kacheln nötig

- ◆ eine Tabelle, die zu jeder Kachel die Seitenabbildung hält

