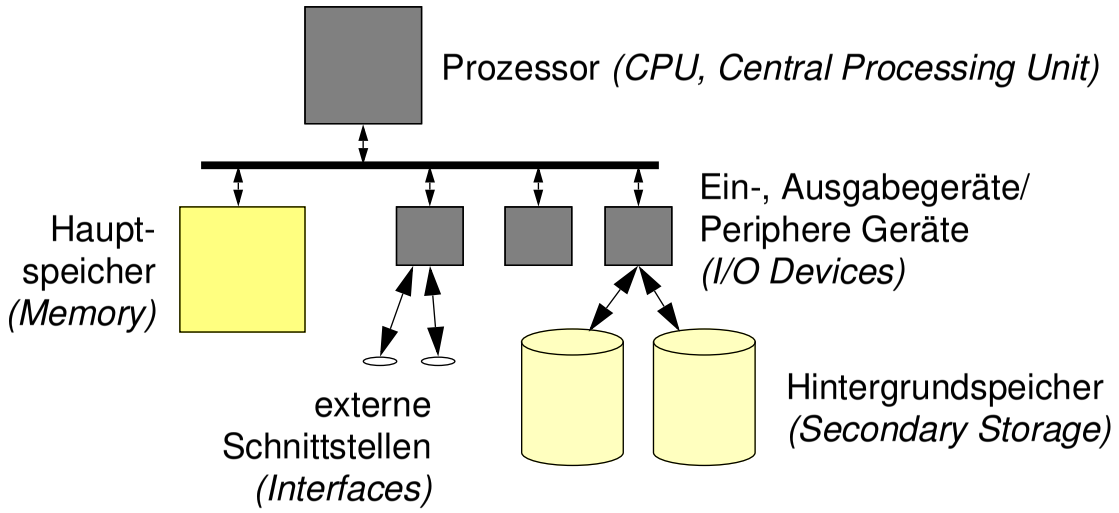
E Speicherverwaltung

© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

E Speicherverwaltung

- Betriebsmittel

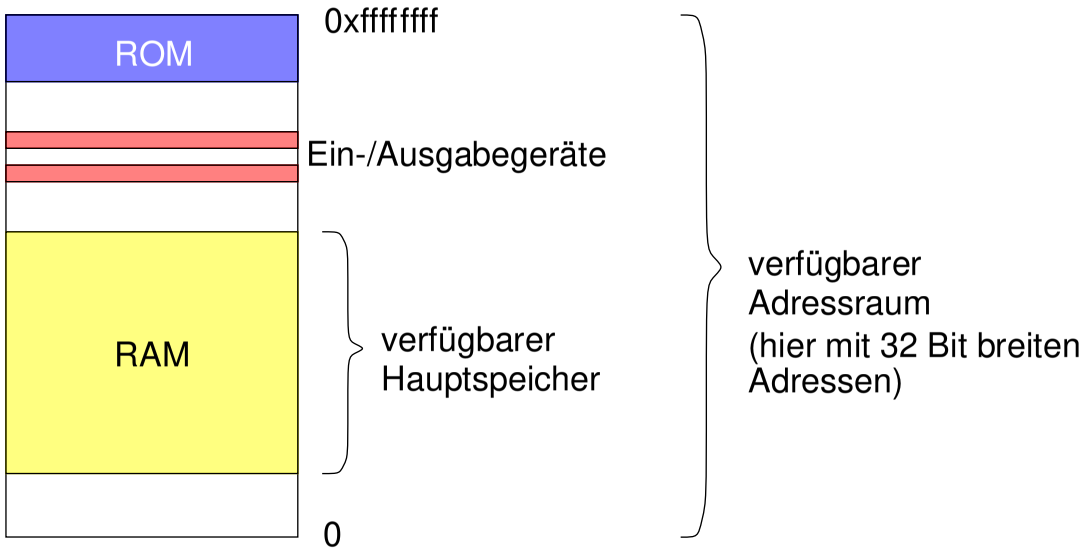


© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

1 Speichervergabe

1.1 Problemstellung

- Verfügbarer Speicher



© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

1.1 Problemstellung (2)

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

© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

1.2 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

© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

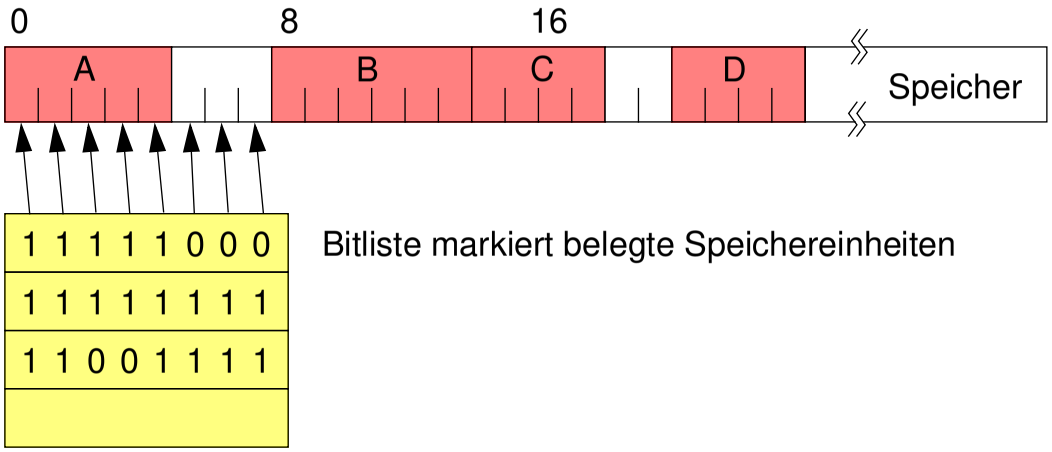
1.3 Dynamische Speicherzuteilung

- Segmente
  - zusammenhängender Speicherbereich
    (Bereich mit aufeinanderfolgenden Adressen)
- Allokation (Anforderung) und Freigabe von Segmenten
- Ein Anwendungsprogramm besitzt üblicherweise folgende Segmente (siehe auch D.2.4):
  - Codesegment
  - Datensegment
  - Stacksegment (für Verwaltungsinformationen, z.B. bei Funktionsaufrufen)
- Suche nach geeigneten Speicherbereichen zur Zuteilung
- Speicherzuteilungsstrategien nötig

© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

1.4 Freispeicherverwaltung

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



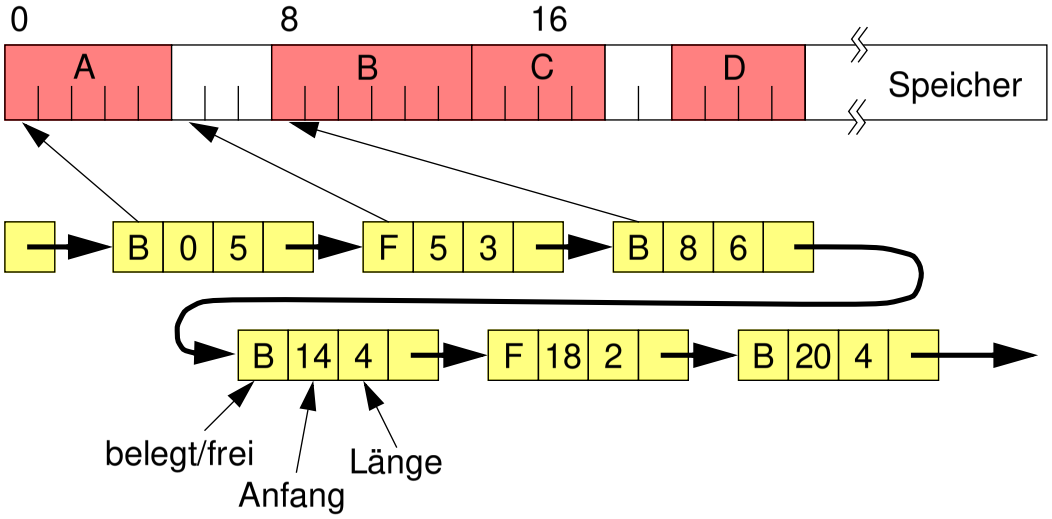
Bitliste markiert belegte Speichereinheiten

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

© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

1.4 Freispeicherverwaltung (2)

- Verkettete Liste

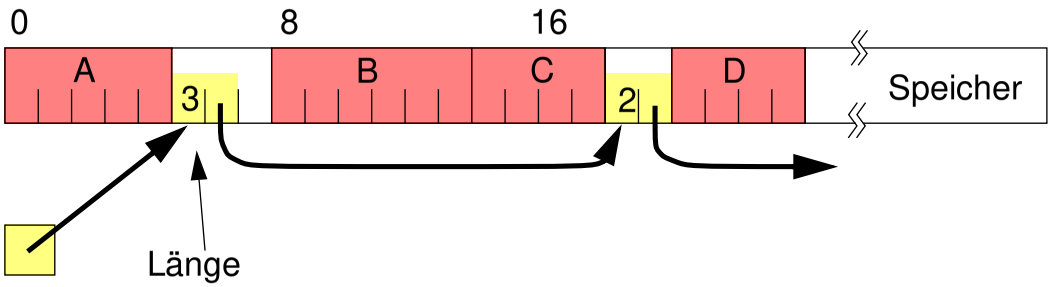


Repräsentation auch von freien Segmenten

© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

1.4 Freispeicherverwaltung (3)

- Verkettete Liste in dem freien Speicher



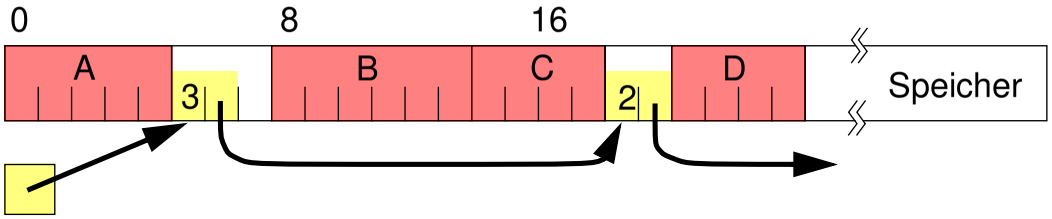
Mindestlückengröße muss garantiert werden

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

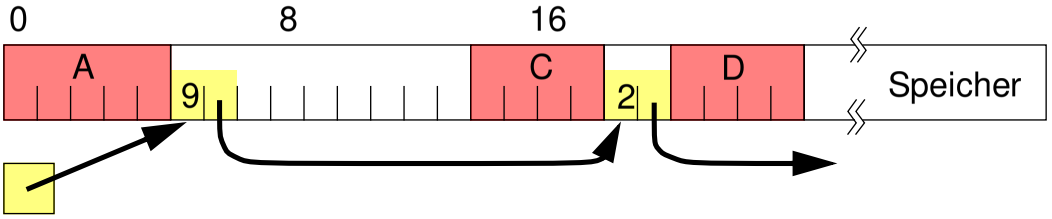
© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

1.5 Speicherfreigabe

- Verschmelzung von Lücken



nach Freigabe von B:



© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

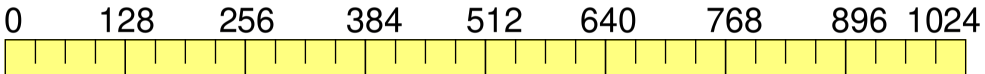
1.6 Vergabestrategien

- First Fit - die erste passende Lücke wird gesucht
  - ◆ Lücken sind sortiert nach aufsteigenden Speicheradressen
- Rotating First Fit / Next Fit
  - ◆ wie First Fit aber Start bei der zuletzt zugewiesenen Lücke
- Best Fit - die kleinste passende Lücke wird gesucht
  - ◆ Lücken sind sortiert nach aufsteigender Größe
- Worst Fit - die größte passende Lücke wird gesucht
  - ◆ Lücken sind sortiert nach absteigender Größe
- ▲ Probleme:
  - ◆ Speicherverschnitt (*externe/interne Fragmentierung*)
  - ◆ zu kleine Lücken (*Kompaktifizierung*, *Relokation*)

© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

1.7 Buddy Systeme

- Einteilung in dynamische Bereiche der Größe 2^n



	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								

der kleinste passende Buddy wird gesucht (effizientes Verfahren)

© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

1.8 Einsatz der Verfahren

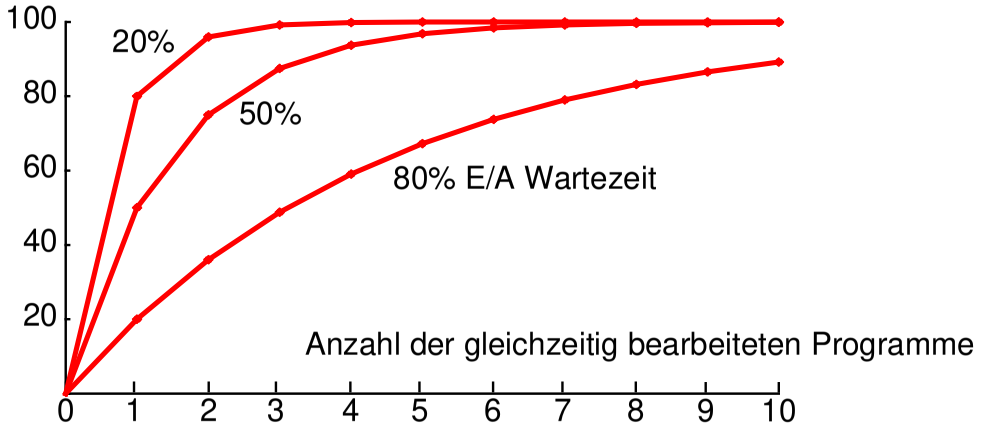
- Einsatz im Betriebssystem
  - Verwaltung des Systemspeichers
  - Zuteilung von Speicher an Prozesse und Betriebssystem
- Einsatz innerhalb eines Prozesses
  - Verwaltung des Haldenspeichers *(Heap)*
  - erlaubt dynamische Allokation von Speicherbereichen durch den Prozess (**`malloc`** und **`free`**)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

© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

2 Mehrprogrammbetrieb

2.1 Problemstellung

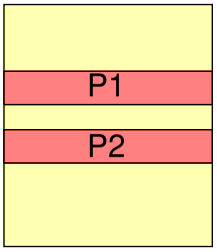
- Mehrere Prozesse laufen gleichzeitig
  - Wartezeiten von Ein-/Ausgabeoperationen ausnutzen
  - CPU Auslastung verbessern
  - CPU-Nutzung in Prozent, abhängig von der Anzahl der Prozesse



© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

2.1 Problemstellung (2)

- ▲ Mehrere Prozesse benötigen Hauptspeicher
  - ◆ Prozesse liegen an verschiedenen Stellen im Hauptspeicher.
  - ◆ 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

© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

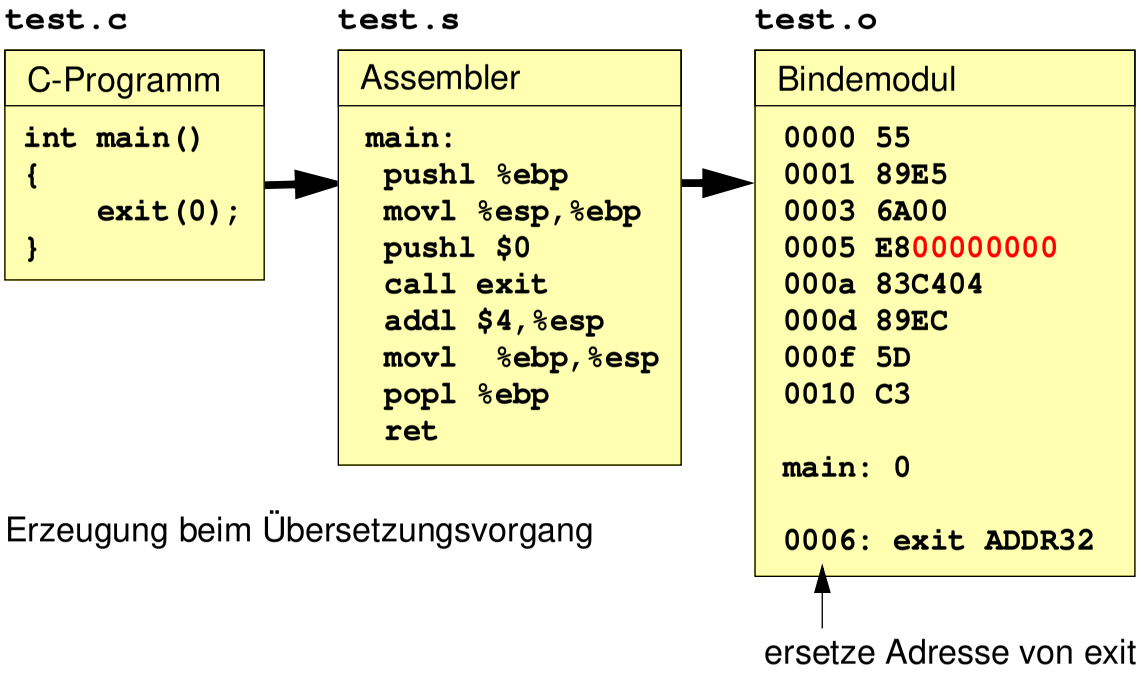
2.2 Relokation

- ■ 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

© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

2.2 Relokation (2)

- Übersetzungsvorgang (Erzeugung der Relokationsinformation)

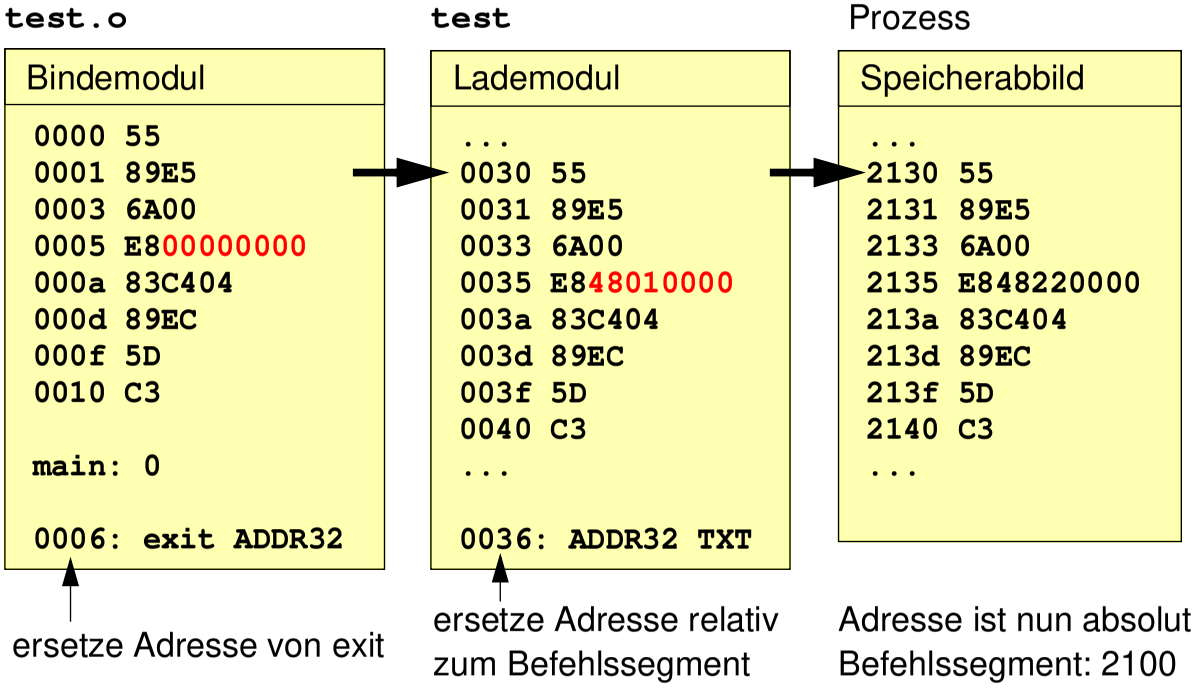


Erzeugung beim Übersetzungsvorgang

© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

2.2 Relokation (3)

- Binde- und Ladevorgang



© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

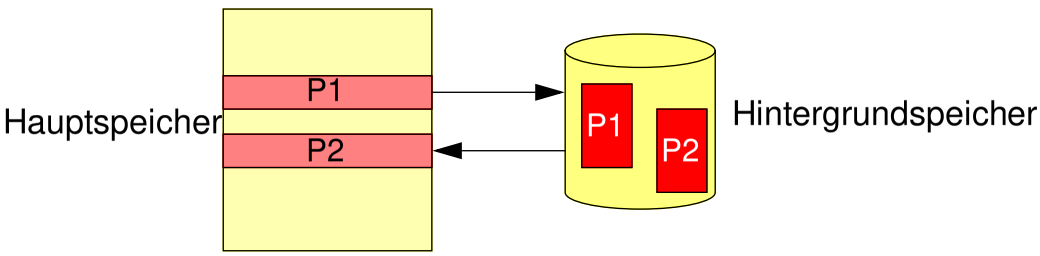
2.2 Relokation (4)

- 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

© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

2.3 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

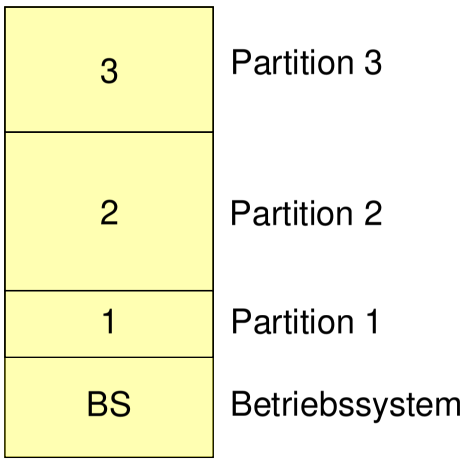


- ▲ Aus-, Einlagerzeit ist hoch
  - Latenzzeit der Festplatte
  - Übertragunszeit

© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

2.3 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

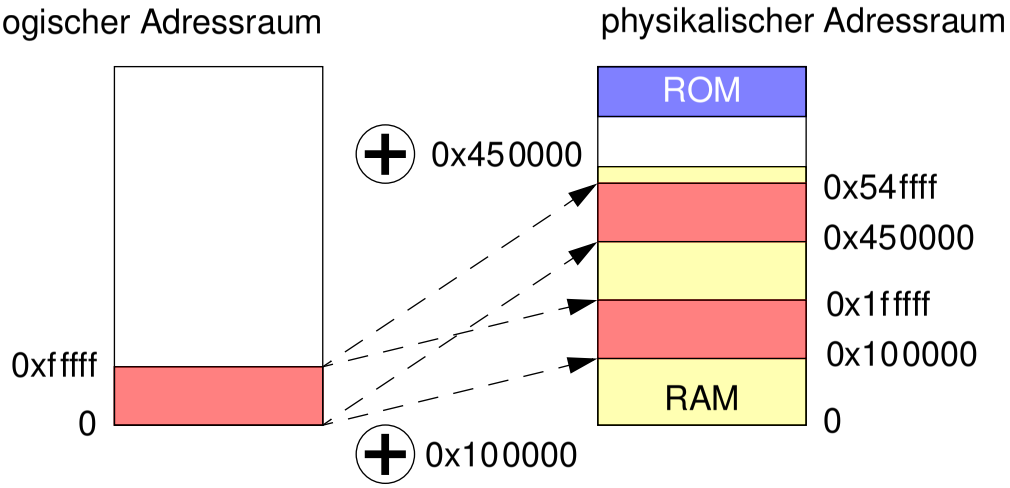


- In jeder Partition läuft nur ein Prozess
- Einlagerung erfolgt wieder in die gleiche Partition
- Speicher kann nicht optimal genutzt werden

© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

2.4 Segmentierung

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

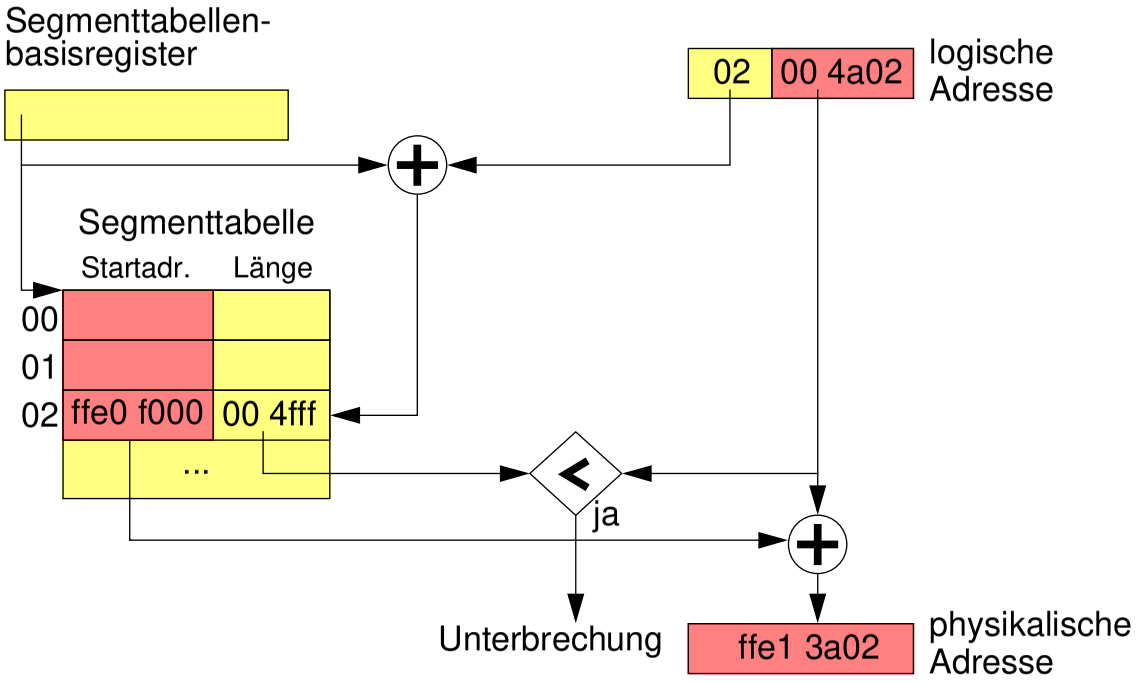


Das Segment des logischen Adressraums kann an jeder beliebige Stelle im physikalischen Adressraum liegen.

© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

2.4 Segmentierung (2)

- Realisierung mit Übersetzungstabelle



© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

2.4 Segmentierung (3)

- Hardware wird MMU *(Memory Management Unit)* genannt
- Schutz vor Segmentübertretung
  - Unterbrechung zeigt Speicherverletzung 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*)

© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

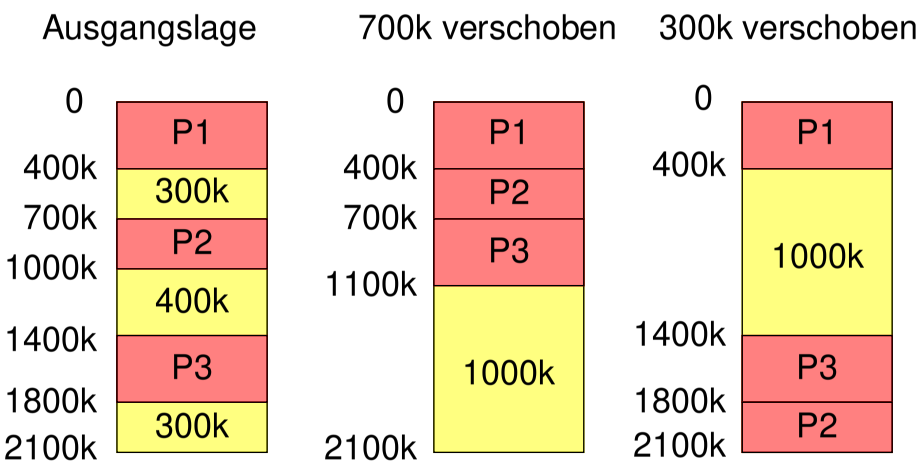
2.4 Segmentierung (4)

- ■ 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

© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

2.5 Kompaktifizieren

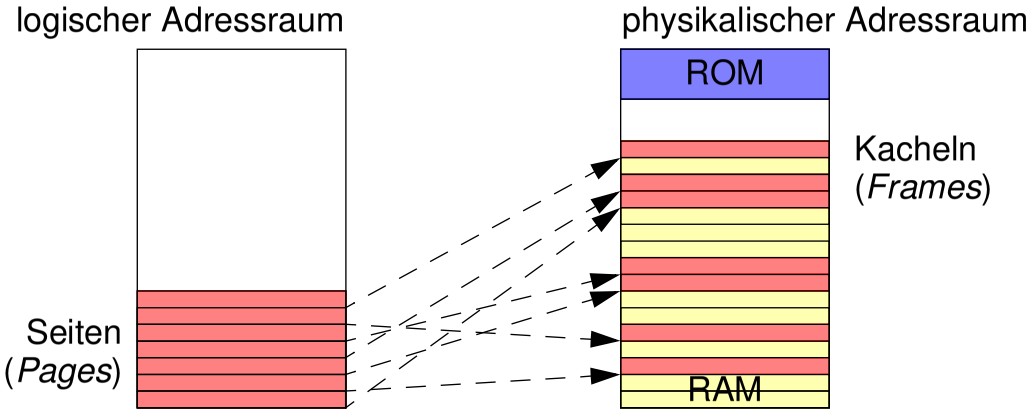
- ■ Verschieben von Segmenten
  - ◆ Erzeugen von weniger aber größeren Lücken
  - ◆ Verringern des Verschnitts
  - ◆ aufwendige Operation, abhängig von der Größe der verschobenen Segmente



© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

3 Seitenadressierung (*Paging*)

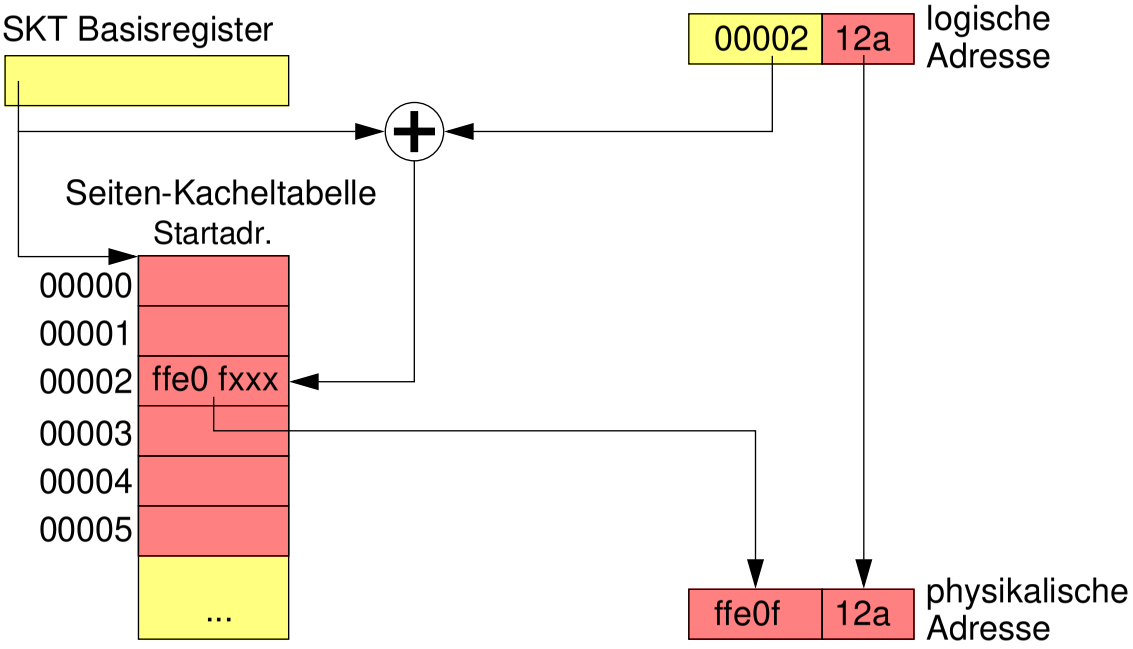
- Einteilung des logischen Adressraums in gleichgroße Seiten, die an beliebigen Stellen im physikalischen Adressraum liegen können
  - ◆ Lösung des Fragmentierungsproblem
  - ◆ keine Kompaktifizierung mehr nötig
  - ◆ Vereinfacht Speicherbelegung und Ein-, Auslagerungen



© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

3.1 MMU mit Seiten-Kacheltabelle

- Tabelle setzt Seiten in Kacheln um



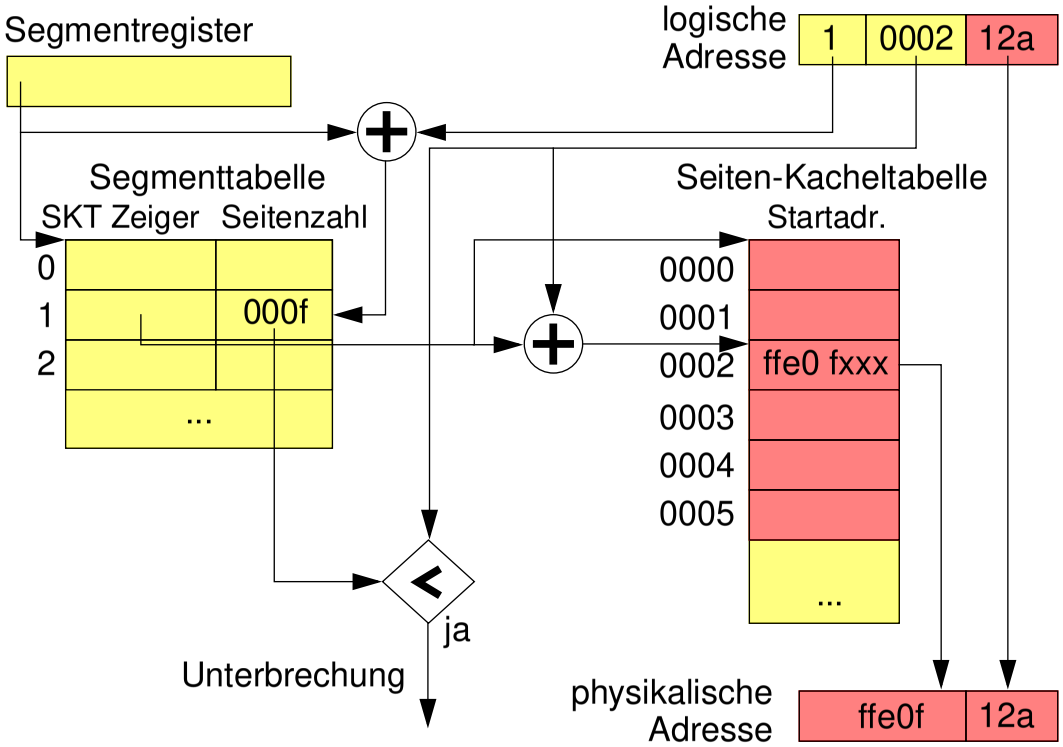
© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

3.1 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

© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

3.2 Segmentierung und Seitenadressierung



© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

3.2 Segmentierung und Seitenadressierung (2)

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

© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

3.3 Ein- und Auslagerung von Seiten

- ■ Es ist nicht nötig ein gesamtes Segment aus- bzw. einzulagern
  - ◆ Seiten können einzeln ein- und ausgelagert werden
- ■ Hardware-Unterstützung

Seiten-Kacheltabelle

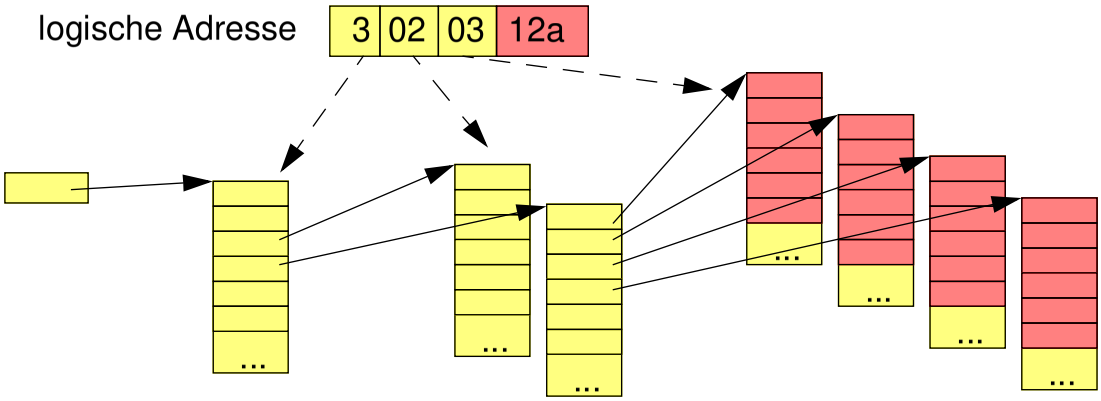
	Startadr.	Präsenzbit
0000		
0001		
0002	ffe0 fxxx	X
	...	

- ◆ 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 Hintergrundspeicher sorgen und den Speicherzugriff danach wiederholen (benötigt HW Support in der CPU).

© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

3.4 Mehrstufige Seitenadressierung

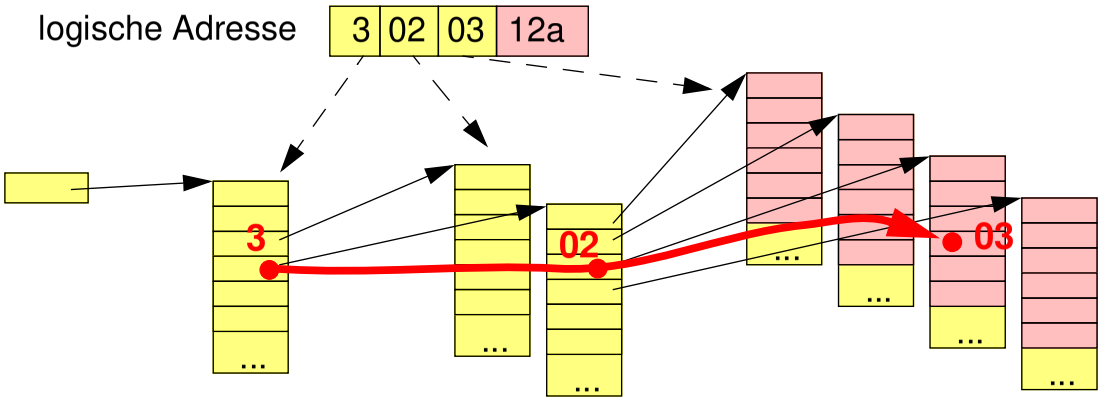
- Beispiel: zweifach indirekte Seitenadressierung



© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

3.4 Mehrstufige Seitenadressierung

- Beispiel: zweifach indirekte Seitenadressierung

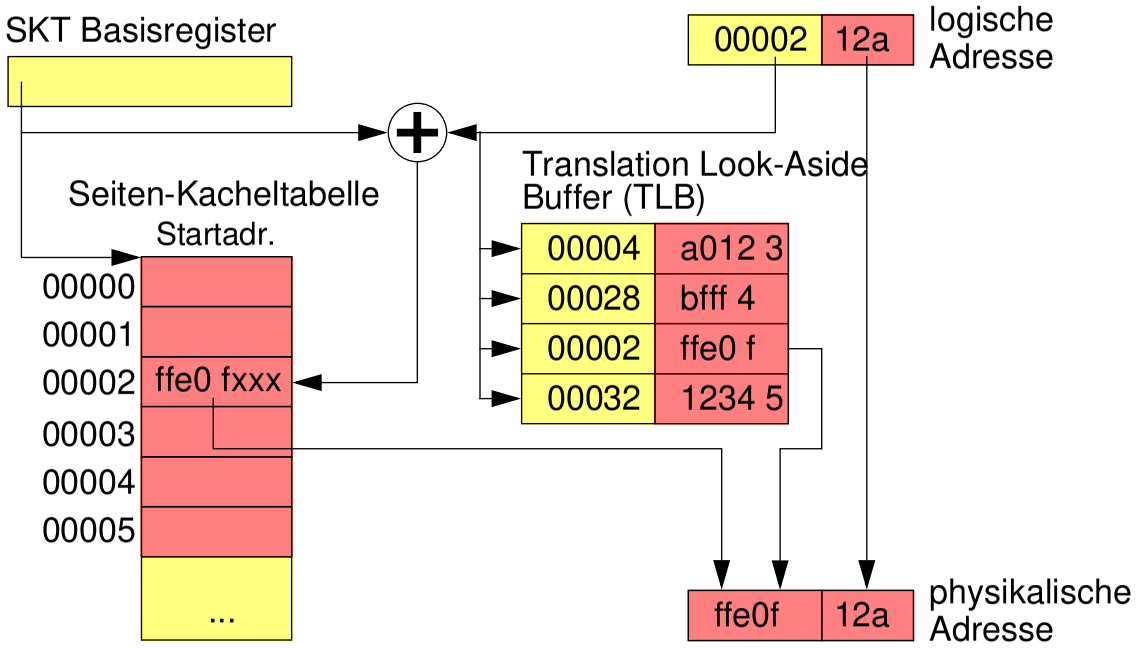


- Präsenzbit auch für jeden Eintrag in den höheren Stufen
  - Tabellen werden aus- und einlagerbar
- Noch mehr implizite Speicherzugriffe

© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

3.5 Translation Look-Aside Buffer

- Schneller Registersatz wird konsultiert bevor auf die SKT zugegriffen wird:



© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

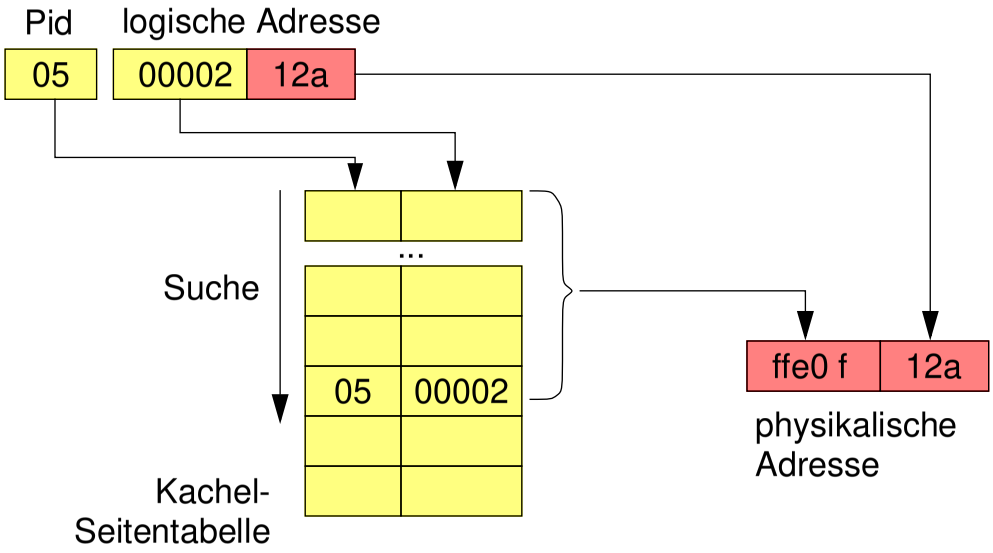
3.5 Translation Look-Aside Buffer (2)

- 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

© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

3.6 Invertierte Seiten-Kacheltabelle

- Zum Umsetzen der Adressen nur Abbildung der belegten Kacheln nötig
  - eine Tabelle, die zu jeder Kachel die Seitenabbildung hält



© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

3.6 Invertierte Seiten-Kacheltabelle (2)

- Vorteile
  - wenig Platz zur Speicherung der Abbildung notwendig
  - Tabelle kann immer im Hauptspeicher gehalten werden
- Nachteile
  - prozesslokale SKT zusätzlich nötig für Seiten, die ausgelagert sind
    - diese können aber ausgelagert werden
  - Suche in der KST ist aufwendig
    - Einsatz von Assoziativspeichern und Hashfunktionen

3.7 Systemaufruf

- Ermitteln der Seitengröße des Betriebssystems

```
int getpagesize(void);
```


© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

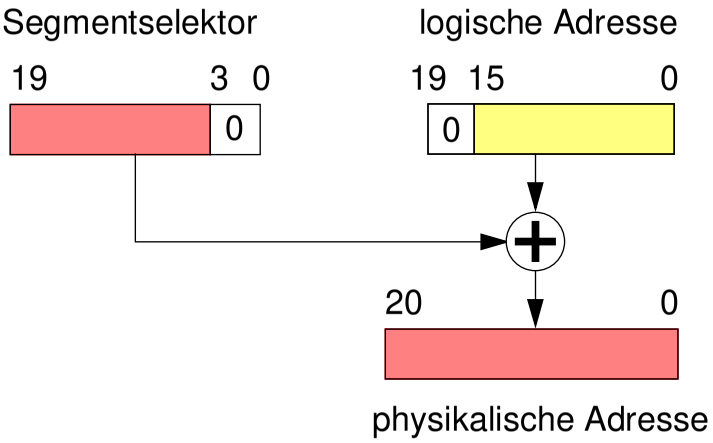
4 Fallstudie: Pentium

- Physikalische Adresse
  - 32 bit breit
- Segmente
  - CS – Codesegment: enthält Instruktionen
  - DS – Datensegment
  - SS – Stacksegment
  - ES, FS, GS – zusätzliche Segmente
  - Befehle beziehen sich auf eines oder mehrere der Segmente
- Segmentadressierung
  - Segmentselektor zur Auswahl eines Segments: 16 bit bezeichnen das Segment

© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

4.1 Real Mode Adressierung

- Adressgenerierung im Real Mode
  - 16 bit breiter Segmentselektor wird als 20 bit breite Adresse interpretiert und auf die logische Adresse addiert



© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

4.2 Protected Mode Adressierung

- Vier Betriebsmodi (Stufen von Privilegien)
  - Stufe 0: höchste Privilegien (privilegierte Befehle, etc.): BS Kern
  - Stufe 1: BS Treiber
  - Stufe 2: BS Erweiterungen
  - Stufe 3: Benutzerprogramme
  - Speicherverwaltung kann nur in Stufe 0 konfiguriert werden
- Segmentselektoren enthalten Privlegierungsstufe
  - Stufe des Codesegments entscheidet über Zugriffserlaubnis
- Segmentselektoren werden als Indizes interpretiert
  - Tabellen von Segmentdeskriptoren
    - Globale Deskriptor Tabelle
    - Lokale Deskriptor Tabelle

© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

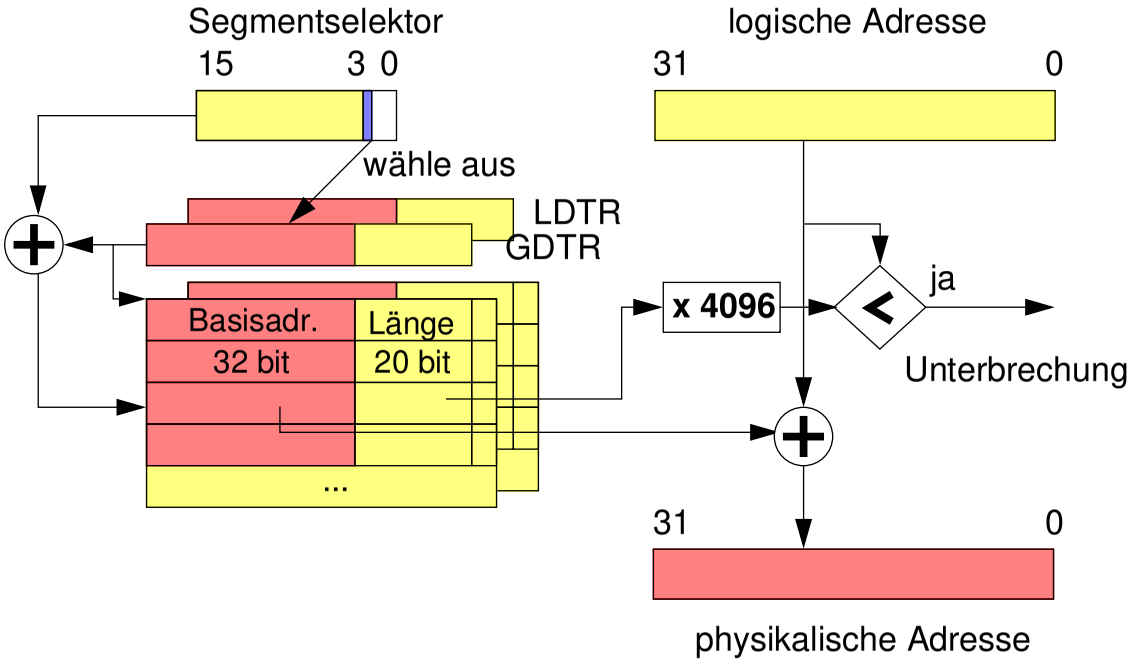
4.2 Protected Mode Adressierung (2)

- Deskriptortabelle
  - enthält bis zu 8192 Segmentdeskriptoren
  - Inhalt des Segmentdeskriptors:
    - physikalische Basisadresse
    - Längenangabe
    - Granularität (Angaben für Bytes oder Seiten)
    - Präsenzbit
    - Privilegierungsstufe
  - globale Deskriptortabelle für alle Prozesse zugänglich (Register GDTR)
  - lokale Deskriptortabelle pro Prozess möglich
    (Register LDTR gehört zum Prozesskontext)

© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

4.3 Adressberechnung bei Segmentierung

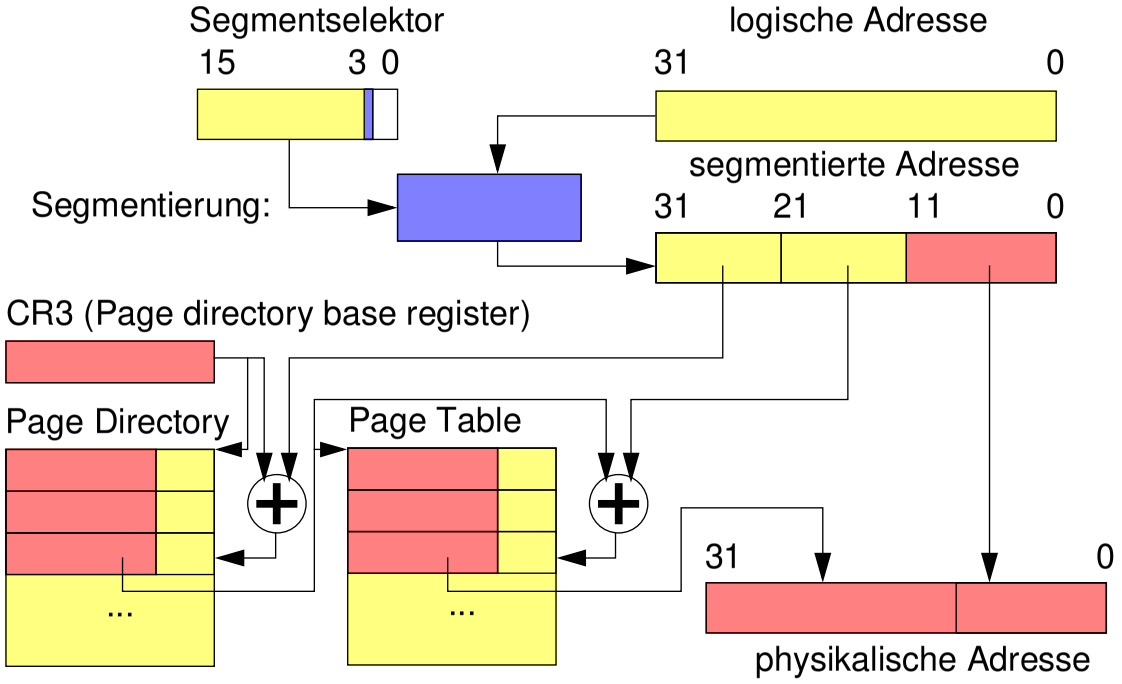
- Verwendung der Protected mode Adressierung



© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

4.4 Adressberechnung bei Paging

- Seitenadressierung wird der Segmentierung nachgeschaltet



© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

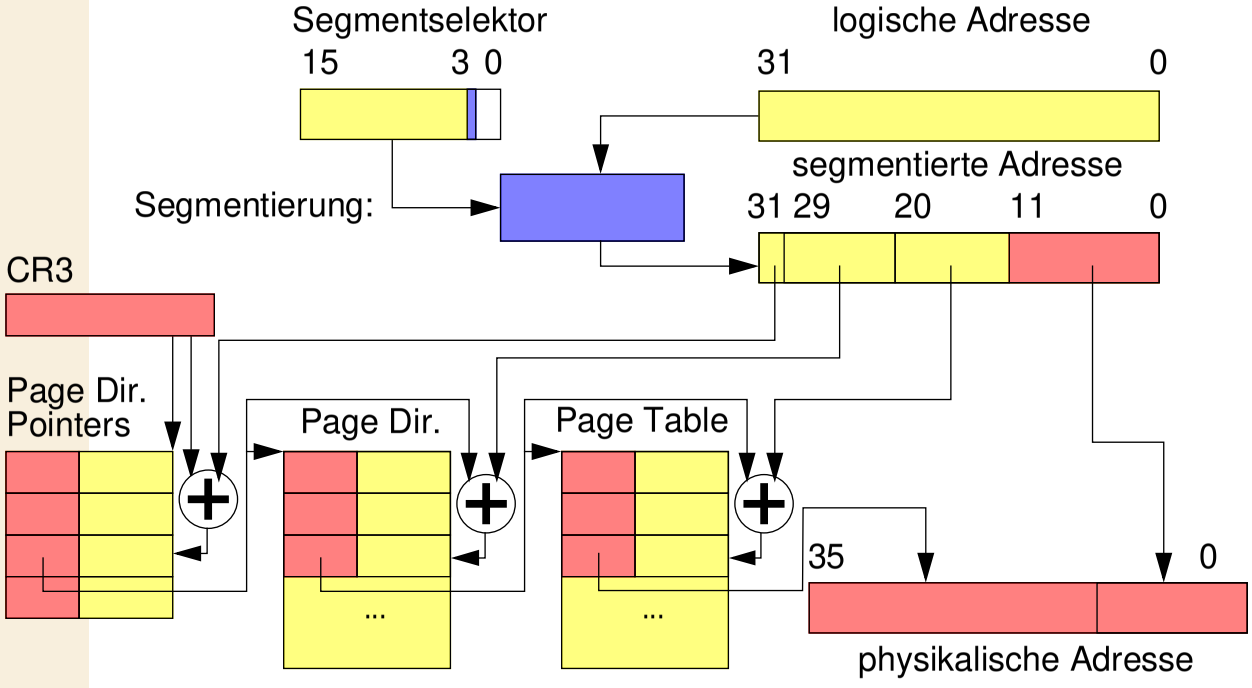
4.4 Adressberechnung bei Paging (2)

- Zweistufige Seitenadressierung
  - Directory — Page table
  - Seitengröße fest auf 4096 Bytes
- Inhalt des Seitendeskriptor
  - Kacheladresse
  - Dirty Bit: Seite wurde beschrieben
  - Access Bit: Seite wurde gelesen oder geschrieben
  - Schreibschutz: Seite nur lesbar
  - Präsenzbit: Seite ausgelagert (31 Bits für BS-Informationen nutzbar)
  - Kontrolle des Prozessorcaches
- Getrennte TLBs für Codesegment und Datensegmente
  - 64 Einträge für Datenseiten; 32 Einträge für Codeseiten

© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

4.5 Physical-Address-Extension (PAE)

- Nachgeschaltete dreistufige Seitenadressierung



© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

4.5 Physical-Address-Extension (PAE) (2)

- Ab Pentium Pro
  - vierelementige Tabelle von Page-Directory-Pointers
  - 24 statt 20 Bit breite physikalische Adressumsetzung für den Seitenanfang
  - 64 Bit statt 32 Bit breite Tabelleneinträge
  - spezieller Chipsatz erforderlich
- Adressierbarer Hauptspeicher von 64 GByte

© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

5 Gemeinsamer Speicher (*Shared Memory*)

- Speicher, der mehreren Prozessen zur Verfügung steht
  - gemeinsame Segmente (gleiche Einträge in verschiedenen Segmenttabellen)
  - gemeinsame Seiten (gleiche Einträge in verschiedenen SKTs)
  - gemeinsame Seitenbereiche (gemeinsames Nutzen einer SKT bei mehrstufigen Tabellen)
- Gemeinsamer Speicher wird beispielsweise benutzt für
  - Kommunikation zwischen Prozessen
  - gemeinsame Befehlssegmente

© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

5 Gemeinsamer Speicher (2)

- Systemaufrufe unter Solaris 2.5
  - Erzeugen bzw. Holen eines gemeinsamen Speichersegments

```
int shmget( key_t key, int size, int shmflg );
```

  - Einblenden und Ausblenden des Segments in den Speicher

```
void *shmat( int shmid, void *shmaddr, int shmflg );
int shmdt( void *shmaddr );
```

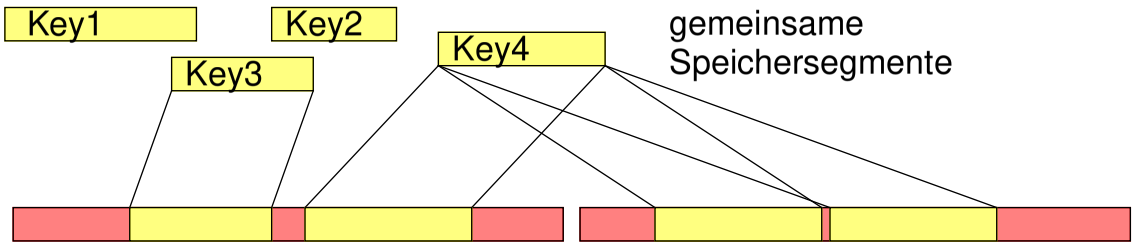
  - Kontrolloperation

```
int shmctl( int shmid, int cmd, struct shmid_ds *buf );
```


© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

5 Gemeinsamer Speicher (3)

- Prinzip der **shm*** Operationen




```
id1= shmget( Key3, ...);
shmat( id1, NULL, ...);
id2= shmget( Key4, ...);
shmat( id2, NULL, ...);
```

```
id1= shmget( Key4, ...);
shmat( id1, NULL, ...);
shmat( id1, NULL, ...);
```


© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

5 Gemeinsamer Speicher (4)

- Verwendung des Keys
  - Alle Prozesse, die auf ein Speichersegment zugreifen wollen, müssen den Key kennen
  - Keys sind eindeutig innerhalb eines (Betriebs-)Systems
  - Ist ein Key bereits vergeben, kann kein Segment mit gleichem Key erzeugt werden
  - Ist ein Key bekannt, kann auf das Segment zugegriffen werden
    - gesetzte Zugriffsberechtigungen werden allerdings beachtet
  - Es können Segmente ohne Key erzeugt werden (private Segmente)
- Keys werden benutzt für:
  - Queues
  - Semaphore
  - Shared memory segments

© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

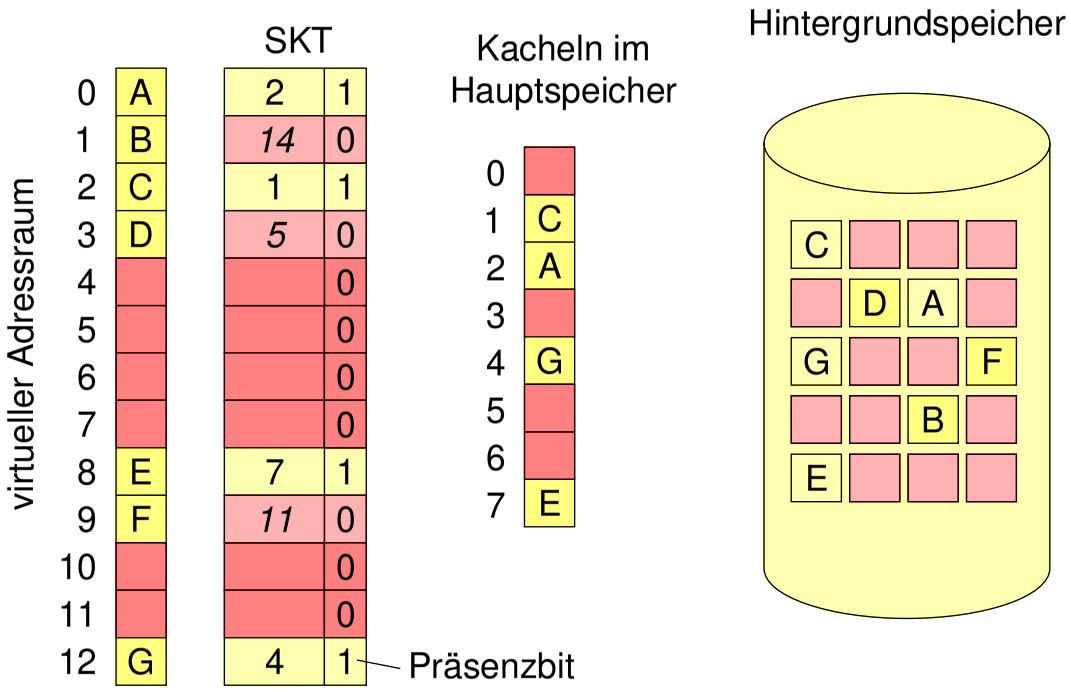
6 Virtueller Speicher

- Entkoppelung des Speicherbedarfs vom verfügbaren Hauptspeicher
  - Prozesse benötigen nicht alle Speicherstellen gleich häufig
    - bestimmte Befehle werden selten oder gar nicht benutzt (z.B. Fehlerbehandlungen)
    - bestimmte Datenstrukturen werden nicht voll belegt
  - Prozesse benötigen evtl. mehr Speicher als Hauptspeicher vorhanden
- Idee
  - Vortäuschen eines großen Hauptspeichers
  - Einblenden benötiger Speicherbereiche
  - Abfangen von Zugriffen auf nicht-eingeblendete Bereiche
  - Bereitstellen der benötigen Bereiche auf Anforderung
  - Auslagern nicht-benötigter Bereiche

© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

6.1 Demand Paging

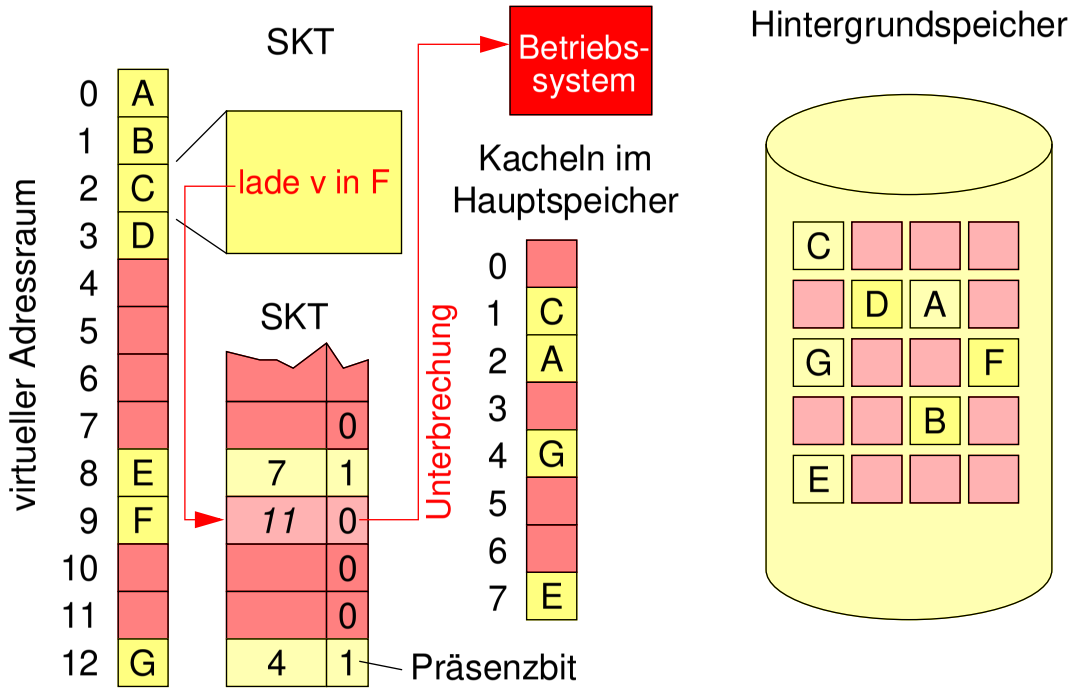
- Bereitstellen von Seiten auf Anforderung



© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

6.1 Demand Paging (2)

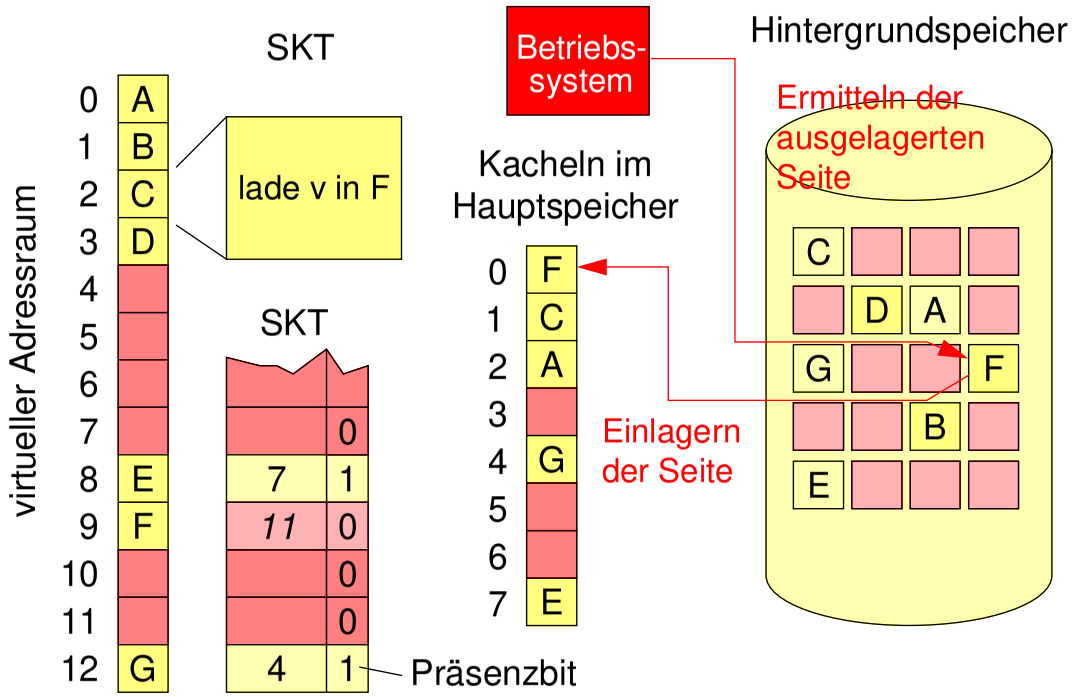
- Reaktion auf Seitenfehler



© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

6.1 Demand Paging (3)

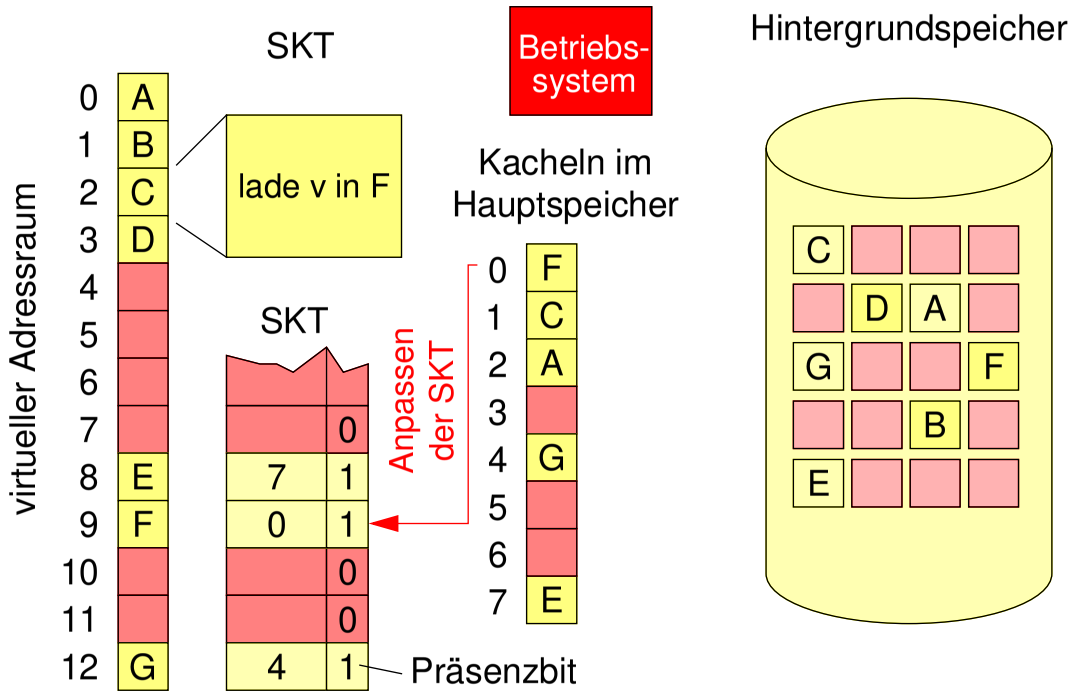
- Reaktion auf Seitenfehler



© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

6.1 Demand Paging (4)

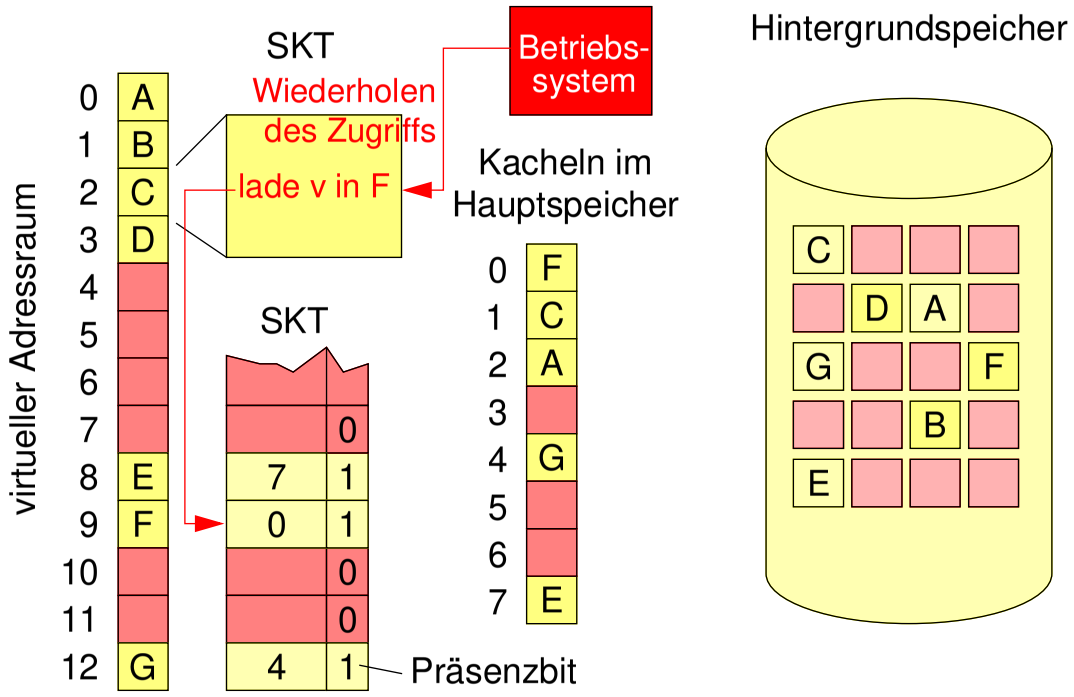
- Reaktion auf Seitenfehler



© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

6.1 Demand Paging (5)

- Reaktion auf Seitenfehler



© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

6.1 Demand Paging (6)

- Performanz von Demand paging
  - Keine Seitenfehler
    - effektive Zugriffszeit zw. 10 und 200 Nanosekunden
  - Mit Seitenfehler
    - p sei Wahrscheinlichkeit für Seitenfehler; p nahe Null
    - Annahme: Zeit zum Einlagern einer Seite vom Hintergrundspeicher gleich 25 Millisekunden (8 ms Latenz, 15 ms Positionierzeit, 1 ms Übertragungszeit)
    - Annahme: normale Zugriffszeit 100 ns
    - Effektive Zugriffszeit:
      $(1 - p) \times 100 + p \times 25000000 = 100 + 24999900 \times p$
- Seitenfehler müssen so niedrig wie möglich gehalten werden
- Abwandlung: *Demand zero* für nicht initialisierte Daten

© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

6.2 Seitenersetzung

- Was tun, wenn keine freie Kachel vorhanden?
  - Eine Seite muss verdrängt werden, um Platz für neue Seite zu schaffen!
  - Auswahl von Seiten, die nicht geändert wurden (*Dirty bit* in der SKT)
  - Verdrängung erfordert Auslagerung, falls Seite geändert wurde
- Vorgang:
  - Seitenfehler *(Page fault)*: Unterbrechung
  - Auslagern einer Seite, falls keine freie Kachel verfügbar
  - Einlagern der benötigten Seite
  - Wiederholung des Zugriffs
- Problem
  - Welche Seite soll ausgewählt werden?

© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

7 Ersetzungsstrategien

- Betrachtung von Ersetzungsstrategien und deren Wirkung auf Referenzfolgen
- Referenzfolge
  - Folge von Seitennummern, die das Speicherzugriffsverhalten eines Prozesses abbildet
  - Ermittlung von Referenzfolgen z.B. durch Aufzeichnung der zugegriffenen Adressen
    - Reduktion der aufgezeichneten Sequenz auf Seitennummern
    - Zusammenfassung von unmittelbar hintereinanderstehenden Zugriffen auf die gleiche Seite
  - Beispiel für eine Referenzfolge: 1, 2, 3, 4, 1, 2, 5, 1, 2, 3, 4, 5

© 1997-2003, F. J. Hauck, W. Schröder-Preikschat, Inf 4, FAU Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2003-12-11 10.52]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.