4 Second Chance (5)

- Second chance zeigt FIFO Anomalie
  - Wenn alle Referenzbits gleich 1, wird nach FIFO entschieden
- Erweiterung
  - Modifikationsbit kann zusätzlich berücksichtigt werden *(Dirty bit)*
  - vier Klassen: (0,0), (0,1), (1,0) und (1,1) mit (Referenzbit, Modifikationsbit)
  - Suche nach der niedrigsten Klasse (Einsatz im MacOS)

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

5 Freiseitenpuffer

- Statt eine Seite zu ersetzen wird permanent eine Menge freier Seiten gehalten
  - Auslagerung geschieht im „voraus“
  - Effizienter: Ersetzungszeit besteht im Wesentlichen nur aus Einlagerungszeit
- Behalten der Seitenzuordnung auch nach der Auslagerung
  - Wird die Seite doch noch benutzt bevor sie durch eine andere ersetzt wird, kann sie mit hoher Effizienz wiederverwendet werden.
  - Seite wird aus Freiseitepuffer ausgetragen und wieder dem entsprechenden Prozeß zugeordnet.

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

6 Seitenanforderung

- Problem: Zuordnung der Kacheln zu mehreren Prozessen
- Begrenzungen
  - Maximale Seitenmenge: begrenzt durch Anzahl der Kacheln
  - Minimale Seitenmenge: abhängig von der Prozessorarchitektur
    - Mindestens die Anzahl von Seiten nötig, die theoretisch bei einem Maschinenbefehl benötigt werden (z.B. zwei Seiten für den Befehl, vier Seiten für die adressierten Daten)
- Gleiche Zuordnung
  - Anzahl der Prozesse bestimmt die Kachelmenge, die ein Prozeß bekommt
- Größenabhängige Zuordnung
  - Größe des Programms fließt in die zugeteilte Kachelmenge ein

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

6 Seitenanforderung

- Globale und lokale Anforderung von Seiten
  - lokal: Prozeß ersetzt nur immer seine eigenen Seiten
    - Seitenfehler-Verhalten liegt nur in der Verantwortung des Prozesses
  - global: Prozeß ersetzt auch Seiten anderer Prozesse
    - bessere Effizienz, da ungenutzte Seiten von anderen Prozessen verwendet werden können

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

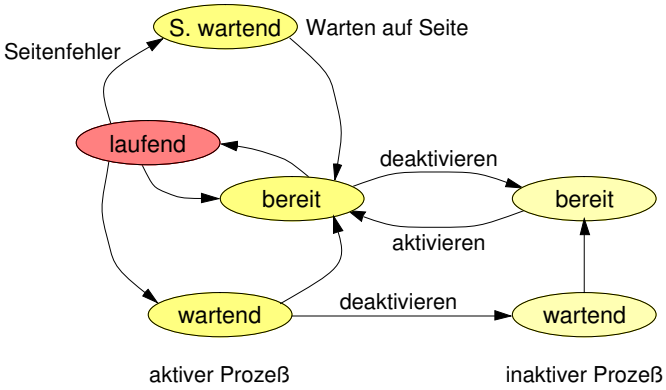
E.8 Seitenflattern *(Thrashing)*

- Ausgelagerte Seite wird gleich wieder angesprochen
  - ◆ Prozeß verbringt mehr Zeit mit dem Warten auf das Beheben von Seitenfehler als mit der eigentlichen Ausführung
- Ursachen
  - ◆ Prozeß ist nahe am Seitenminimum
  - ◆ zu viele Prozesse gleichzeitig im System
  - ◆ schlechte Ersetzungsstrategie
- ★ Lokale Seitenanforderung behebt Thrashing zwischen Prozessen
- ★ Zuteilung einer genügend großen Zahl von Kacheln behebt Thrashing innerhalb der Prozeßseiten
  - ◆ Begrenzung der Prozeßanzahl

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

1 Deaktivieren von Prozessen

- Einführung von „Superzuständen“



  - ◆ inaktiver Prozeß benötigt keine Kacheln; Prozeß ist vollständig ausgelagert (swapped out)

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

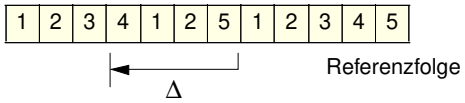
1 Deaktivieren von Prozessen (2)

- Sind zuviele Prozesse aktiv, werden welche deaktiviert
  - ◆ Kacheln teilen sich auf weniger Prozesse auf
  - ◆ Verbindung mit dem Scheduling nötig
    - Verhindern von Aushungerung
    - Erzielen kurzer Reaktionszeiten
  - ◆ guter Kandidat: Prozeß mit wenigen Seiten im Hauptspeicher
    - geringe Latenz bei Wiedereinlagerung bzw. wenige Seitenfehler bei Aktivierung und Demand paging

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

2 Arbeitsmengenmodell

- Menge der Seiten, die ein Prozeß wirklich braucht *(Working set)*
  - ◆ kann nur angenähert werden, da üblicherweise nicht vorhersehbar
- Annäherung durch Betrachten der letzten Δ Seiten, die angesprochen wurden
  - ◆ geeignete Wahl von Δ
    - zu groß: Überlappung von lokalen Zugriffsmustern
    - zu klein: Arbeitsmenge enthält nicht alle nötigen Seiten



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

2 Arbeitsmengenmodell (2)

- Beispiel: Arbeitsmengen bei verschiedenen Δ

Referenzfolge		1	2	3	4	1	2	5	1	2	3	4	5
$\Delta = 3$	Seite 1	x	x	x		x	x	x	x	x	x		
	Seite 2		x	x	x		x	x	x	x	x	x	
	Seite 3			x	x	x					x	x	x
	Seite 4				x	x	x					x	x
	Seite 5							x	x	x			x
$\Delta = 4$	Seite 1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	Seite 2		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Seite 3			x	x	x	x				x	x	x
	Seite 4				x	x	x	x	x			x	x
	Seite 5							x	x	x	x		x

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

3 Bestimmung der Arbeitsmenge

- Annäherung der Zugriffe durch die Zeit
  - bestimmtes Zeitintervall ist ungefähr proportional zu Anzahl von Speicherzugriffen
- Virtuelle Zeit des Prozesses muß gemessen werden
  - nur die Zeit relevant, in der der Prozeß im Zustand laufend ist
  - Verwalten virtueller Uhren pro Prozeß
- Referenzbit, Altersangabe und Timer-Interrupt
  - jede Seite enthält eine Altersangabe (Zeitintervall ohne Benutzung)
  - durch regelmäßigen Interrupt wird mittels Referenzbit die Altersangabe fortgeschrieben (bei Benutzung auf Null gesetzt, ansonsten erhöht); dabei werden nur die Seiten des gerade laufenden Prozesses „gealtert“
  - Seiten mit Alter > Δ sind nicht mehr in der Arbeitsmenge des jeweiligen Prozesses

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

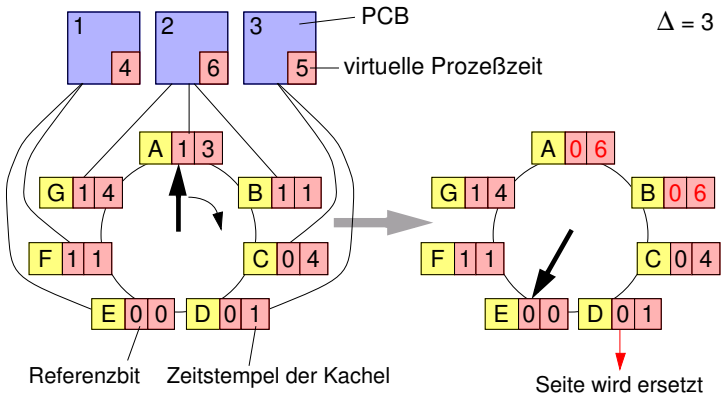
3 Bestimmung der Arbeitsmenge (2)

- Ungenau: System ist aber nicht empfindlich auf diese Ungenauigkeit
  - Verringerung der Zeitintervalle: höherer Aufwand, genauere Messung
- Algorithmus WSClock (Working set clock)
  - arbeitet wie Clock
  - Seite wird nur dann ersetzt, wenn sie nicht zur Arbeitsmenge ihres Prozesses gehört oder der Prozeß deaktiviert ist
  - Bei Zurücksetzen des Referenzbits wird die virtuelle Zeit des jeweiligen Prozesses eingetragen, die z.B. im PCB gehalten und fortgeschrieben wird
  - Bestimmung der Arbeitsmenge erfolgt durch Differenzbildung von virtueller Zeit des Prozesses und Zeitstempel in der Kachel

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

3 Bestimmung der Arbeitsmenge (3)

- WSClock Algorithmus



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

3 Bestimmung der Arbeitsmenge (4)

▲ Zuordnung zu einem Prozeß nicht immer möglich

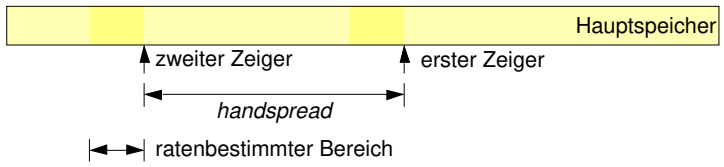
- ◆ gemeinsam genutzte Seiten in modernen Betriebssystemen eher die Regel als die Ausnahme
  - Seiten des Codesegments
  - Shared libraries
  - Gemeinsame Seiten im Datensegment *(Shared memory)*
- ◆ moderne System bestimmen meist eine globale Arbeitsmenge von Seiten

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

4 Ersetzungsstrategie bei Solaris

■ Prozeß *pageout* arbeitet Clock-Strategie ab

- ◆ Prozeß läuft mehrmals die Sekunde (4x)
- ◆ adaptierbare Rate: untersuchte Seiten pro Sekunde
- ◆ statt ein Zeiger: zwei Zeiger
  - am ersten Zeiger werden Referenzbits zurückgesetzt
  - am zweiten Zeiger werden Seiten mit gelöschtem Referenzbit ausgewählt
  - nötig, weil sonst Zeitspanne zwischen Löschen und Auswählen zu lang wird (großer Hauptspeicher; 64 MByte entsprechen 8.192 Seiten)
  - Zeigerabstand einstellbar *(handspread)*



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

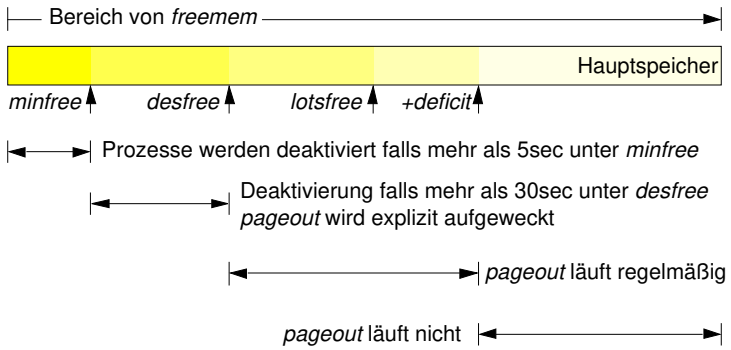
4 Ersetzungsstrategie bei Solaris (2)

- ◆ ermittelte Seiten werden ausgelagert (falls nötig) und
- ◆ in eine Freiliste eingehängt
- ◆ aus der Freiliste werden Kacheln für Einlagerungen angefordert
- ◆ Seitenfehler können unbenutzte Seiten aus der Freiliste wieder zurückfordern *(Minor page faults)*

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

4 Ersetzungsstrategie bei Solaris (3)

■ Verhalten von *pageout* orientiert sich an Größe der Freiliste (Menge des freien Speichers)

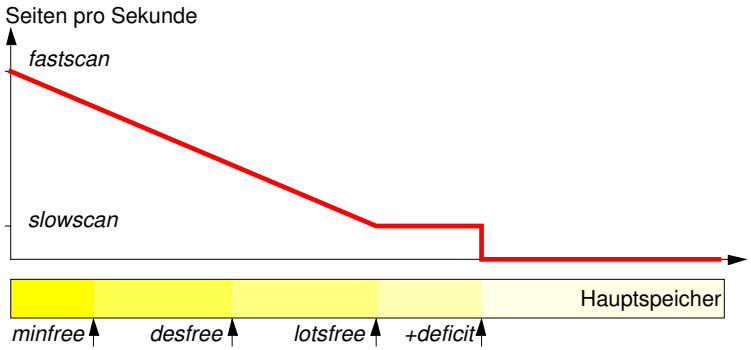


- ◆ *deficit* wird dynamisch ermittelt (0 bis *lotsfree*) und auf *lotsfree* addiert
  - entspricht Vorschau auf künftige große Speicheranforderungen

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

4 Ersetzungsstrategie bei Solaris (4)

- Seitenuntersuchungsrate des *pageout* Prozesses



  - je weniger freier Speicher verfügbar ist, desto höher wird die Untersuchungsrate
  - *slowscan* und *fastscan* sind einstellbar

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

4 Ersetzungsstrategie bei Solaris (5)

- Weitere Parameter
  - *maxpgio:* maximale Transferrate bei Auslagerungen (vermeidet Plattensaturierung)
  - *autoup:* Zeitdauer des regelmäßigen Auslagerns alter Seiten durch den Prozeß *flushd* (Default: alle 30 sec)
- Aktivieren und Deaktivieren *(Swap in, Swap out)*
  - Auswahl wird dem Scheduler überlassen
  - Deaktivierung wird lediglich von Speicherverwaltung angestoßen

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

4 Ersetzungsstrategie bei Solaris (6)

- Typische Werte
  - *minfree:* 1/64 des Hauptspeichers (Solaris 2.2), 25 Seiten (Solaris 2.4)
  - *desfree:* 1/32 des Hauptspeichers (Solaris 2.2), 50 Seiten (Solaris 2.4)
  - *lotsfree:* 1/16 des Hauptspeichers (Solaris 2.2), 128 Seiten (Solaris 2.4)
  - *deficit:* 0 bis *lotsfree*
  - *fastscan:* min(1/4 Hauptspeicher, 64 MByte) pro Sekunde (Solaris 2.4)
  - *slowscan:* 800 kBytes pro Sekunde (Solaris 2.4)
  - *handspread:* wie *fastscan* (Solaris 2.4)

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

E.9 Zusammenfassung

- Freispeicherverwaltung
  - Speicherrepräsentation, Zuteilungsverfahren
- Mehrprogrammbetrieb
  - Relokation, Ein- und Auslagerung
  - Segmentierung
  - Seitenadressierung, Seitenadressierung und Segmentierung, TLB
  - gemeinsamer Speicher
- Virtueller Speicher
  - Demand paging
  - Seitenersetzungsstrategien: FIFO, B_0, LRU, 2nd chance (Clock)
- Seitenflattern
  - Super-Zustände, Arbeitsmengenmodell

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