

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)

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 Freiseitenpuffer ausgetragen und wieder dem entsprechenden Prozeß zugeordnet.

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

6 Seitenanforderung

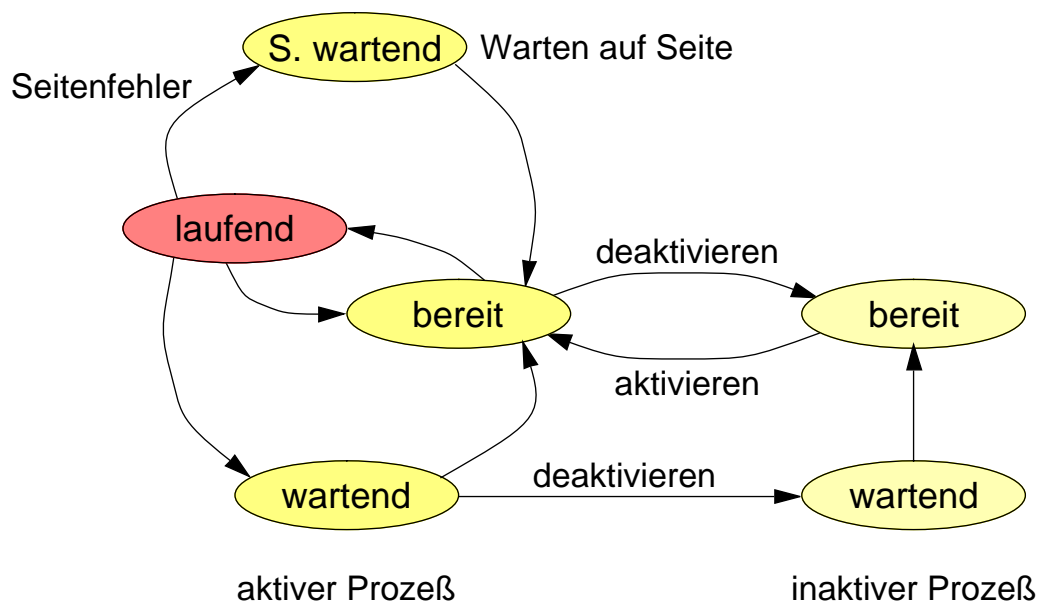
- Globale und lokale Anforderung von Seiten
 - ◆ lokal: Prozeß ersetzt nur immer seine eigenen Seiten
 - Seitenfehler-Verhalten liegt nur in der Verantwortung des Prozesses
 - ◆ global: Prozeß ersetzt auch Seiten anderer Prozesse
 - bessere Effizienz, da ungenutzte Seiten von anderen Prozessen verwendet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

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

1 Deaktivieren von Prozessen

- Einführung von „Superzuständen“



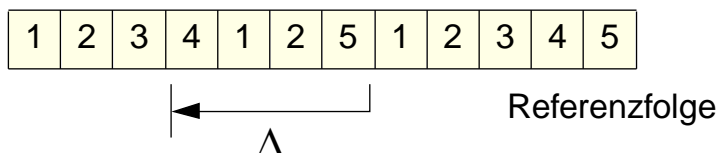
- ◆ inaktiver Prozeß benötigt keine Kacheln; Prozeß ist vollständig ausgelagert (swapped out)

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

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



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

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

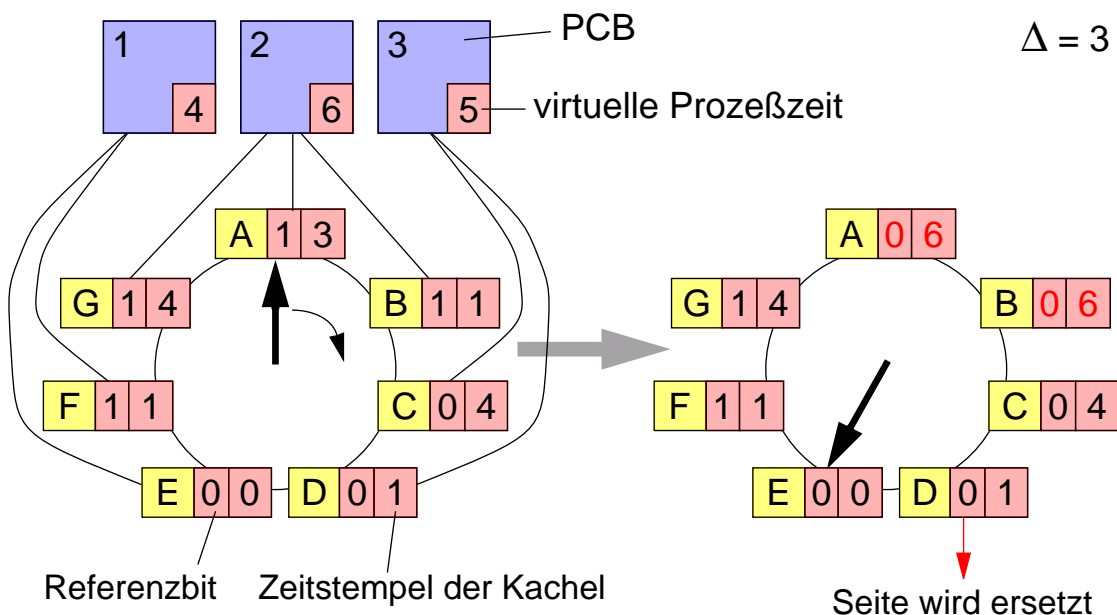
- ◆ jede Seite enthält eine Altersangabe (Zeitintervall ohne Benutzung)
- ◆ durch regelmäßigen Interrupt wird mittels Referenzbit die Altersangabe fortgeschrieben (bei Benutzung auf Null gesetzt, ansonsten erhöht); dabei werden nur die Seiten des gerade laufenden Prozesses „gealtert“
- ◆ Seiten mit Alter $> \Delta$ sind nicht mehr in der Arbeitsmenge des jeweiligen Prozesses

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

3 Bestimmung der Arbeitsmenge (3)

■ WSClock Algorithmus

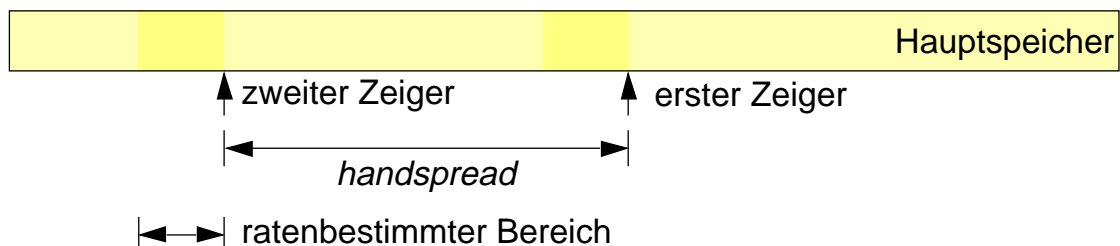


3 Bestimmung der Arbeitsmenge (4)

- ▲ 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

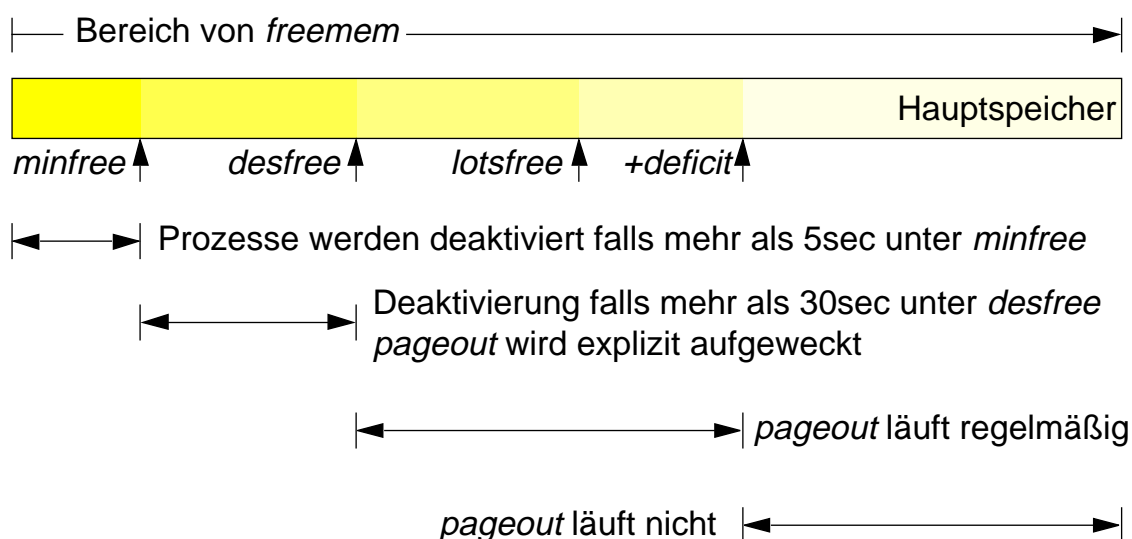
4 Ersetzungsstrategie bei Solaris

- 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 gelöschttem Referenzbit ausgewählt
 - nötig, weil sonst Zeitspanne zwischen Löschen und Auswählen zu lang wird (großer Hauptspeicher; 64 MByte entsprechen 8.192 Seiten)
 - Zeigerabstand einstellbar (*handspread*)



- ◆ 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*)

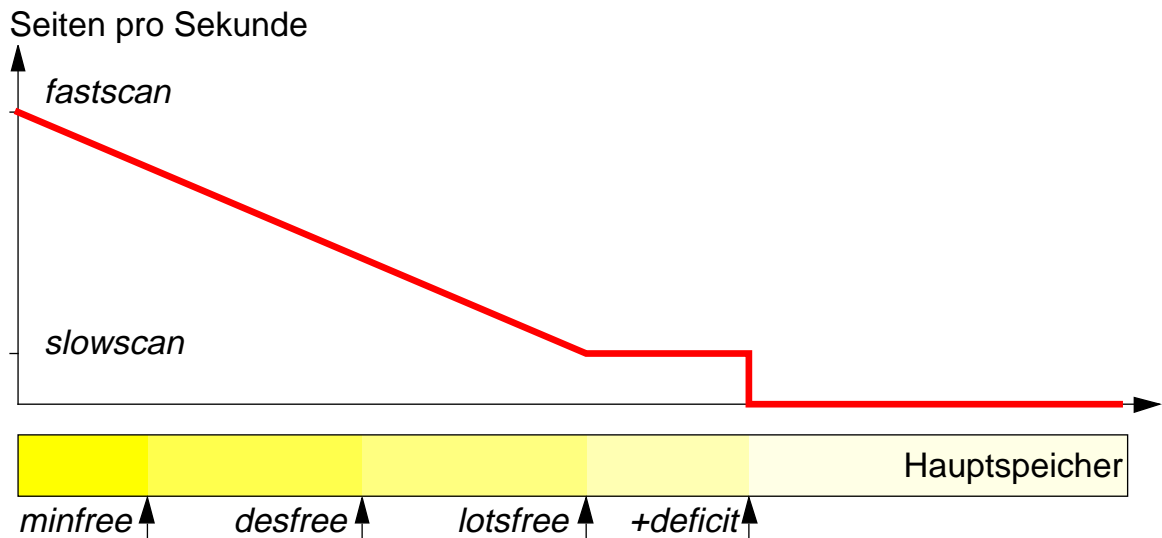
- Verhalten von *pageout* orientiert sich an Größe der Freiliste (Menge des freien Speichers)



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

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

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

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)

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, B₀, LRU, 2nd chance (Clock)

■ Seitenflattern

- ◆ Super-Zustände, Arbeitsmengenmodell