7.1 First-In, First-Out

- Älteste Seite wird ersetzt
- Notwendige Zustände:
  - Alter bzw. Einlagerungszeitpunkt für jede Kachel
- Ablauf der Ersetzungen (9 Einlagerungen)

Referenzfolge		1	2	3	4	1	2	5	1	2	3	4	5
Hauptspeicher	Kachel 1	1											
	Kachel 2												
	Kachel 3												
Kontrollzustände (Alter pro Kachel)	Kachel 1	0											
	Kachel 2	>											
	Kachel 3	>											

7.1 First-In, First-Out

- Älteste Seite wird ersetzt
- Notwendige Zustände:
  - Alter bzw. Einlagerungszeitpunkt für jede Kachel
- Ablauf der Ersetzungen (9 Einlagerungen)

Referenzfolge		1	2	3	4	1	2	5	1	2	3	4	5
Hauptspeicher	Kachel 1	1	1										
	Kachel 2		2										
	Kachel 3												
Kontrollzustände (Alter pro Kachel)	Kachel 1	0	1										
	Kachel 2	>	0										
	Kachel 3	>	>										

Systemprogrammierung I E – 60
© 1997-2001, Franz J. Hauck; 2002, F. Hofmann, Inf 4, Univ. Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2002-11-28 15.28]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

7.1 First-In, First-Out

- Älteste Seite wird ersetzt
- Notwendige Zustände:
  - Alter bzw. Einlagerungszeitpunkt für jede Kachel
- Ablauf der Ersetzungen (9 Einlagerungen)

Referenzfolge		1	2	3	4	1	2	5	1	2	3	4	5
Hauptspeicher	Kachel 1	1	1	1									
	Kachel 2		2	2									
	Kachel 3			3									
Kontrollzustände (Alter pro Kachel)	Kachel 1	0	1	2									
	Kachel 2	>	0	1									
	Kachel 3	>	>	0									

7.1 First-In, First-Out

- Älteste Seite wird ersetzt
- Notwendige Zustände:
  - Alter bzw. Einlagerungszeitpunkt für jede Kachel
- Ablauf der Ersetzungen (9 Einlagerungen)

Referenzfolge		1	2	3	4	1	2	5	1	2	3	4	5
Hauptspeicher	Kachel 1	1	1	1	4								
	Kachel 2		2	2	2								
	Kachel 3			3	3								
Kontrollzustände (Alter pro Kachel)	Kachel 1	0	1	2	0								
	Kachel 2	>	0	1	2								
	Kachel 3	>	>	0	1								

7.1 First-In, First-Out

- Älteste Seite wird ersetzt
- Notwendige Zustände:
  - Alter bzw. Einlagerungszeitpunkt für jede Kachel
- Ablauf der Ersetzungen (9 Einlagerungen)

Referenzfolge		1	2	3	4	1	2	5	1	2	3	4	5
Hauptspeicher	Kachel 1	1	1	1	4	4							
	Kachel 2		2	2	2	1							
	Kachel 3			3	3	3							
Kontrollzustände (Alter pro Kachel)	Kachel 1	0	1	2	0	1							
	Kachel 2	>	0	1	2	0							
	Kachel 3	>	>	0	1	2							

7.1 First-In, First-Out

- Älteste Seite wird ersetzt
- Notwendige Zustände:
  - Alter bzw. Einlagerungszeitpunkt für jede Kachel
- Ablauf der Ersetzungen (9 Einlagerungen)

Referenzfolge		1	2	3	4	1	2	5	1	2	3	4	5
Hauptspeicher	Kachel 1	1	1	1	4	4	4						
	Kachel 2		2	2	2	1	1						
	Kachel 3			3	3	3	2						
Kontrollzustände (Alter pro Kachel)	Kachel 1	0	1	2	0	1	2						
	Kachel 2	>	0	1	2	0	1						
	Kachel 3	>	>	0	1	2	0						

7.1 First-In, First-Out

- Älteste Seite wird ersetzt
- Notwendige Zustände:
  - Alter bzw. Einlagerungszeitpunkt für jede Kachel
- Ablauf der Ersetzungen (9 Einlagerungen)

Referenzfolge		1	2	3	4	1	2	5	1	2	3	4	5
Hauptspeicher	Kachel 1	1	1	1	4	4	4	5					
	Kachel 2		2	2	2	1	1	1					
	Kachel 3			3	3	3	2	2					
Kontrollzustände (Alter pro Kachel)	Kachel 1	0	1	2	0	1	2	0					
	Kachel 2	>	0	1	2	0	1	2					
	Kachel 3	>	>	0	1	2	0	1					

7.1 First-In, First-Out

- Älteste Seite wird ersetzt
- Notwendige Zustände:
  - Alter bzw. Einlagerungszeitpunkt für jede Kachel
- Ablauf der Ersetzungen (9 Einlagerungen)

Referenzfolge		1	2	3	4	1	2	5	1	2	3	4	5
Hauptspeicher	Kachel 1	1	1	1	4	4	4	5	5				
	Kachel 2		2	2	2	1	1	1	1				
	Kachel 3			3	3	3	2	2	2				
Kontrollzustände (Alter pro Kachel)	Kachel 1	0	1	2	0	1	2	0	1				
	Kachel 2	>	0	1	2	0	1	2	3				
	Kachel 3	>	>	0	1	2	0	1	2				

Systemprogrammierung I
E – 60
© 1997-2001, Franz J. Hauck; 2002, F. Hofmann, Inf 4, Univ. Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2002-11-28 15.28]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

7.1 First-In, First-Out

- Älteste Seite wird ersetzt
- Notwendige Zustände:
  - Alter bzw. Einlagerungszeitpunkt für jede Kachel
- Ablauf der Ersetzungen (9 Einlagerungen)

Referenzfolge		1	2	3	4	1	2	5	1	2	3	4	5
Hauptspeicher	Kachel 1	1	1	1	4	4	4	5	5	5			
	Kachel 2		2	2	2	1	1	1	1	1			
	Kachel 3			3	3	3	2	2	2	2			
Kontrollzustände (Alter pro Kachel)	Kachel 1	0	1	2	0	1	2	0	1	2			
	Kachel 2	>	0	1	2	0	1	2	3	4			
	Kachel 3	>	>	0	1	2	0	1	2	3			

7.1 First-In, First-Out

- Älteste Seite wird ersetzt
- Notwendige Zustände:
  - Alter bzw. Einlagerungszeitpunkt für jede Kachel
- Ablauf der Ersetzungen (9 Einlagerungen)

Referenzfolge		1	2	3	4	1	2	5	1	2	3	4	5
Hauptspeicher	Kachel 1	1	1	1	4	4	4	5	5	5	5		
	Kachel 2		2	2	2	1	1	1	1	1	3		
	Kachel 3			3	3	3	2	2	2	2	2		
Kontrollzustände (Alter pro Kachel)	Kachel 1	0	1	2	0	1	2	0	1	2	3		
	Kachel 2	>	0	1	2	0	1	2	3	4	0		
	Kachel 3	>	>	0	1	2	0	1	2	3	4		

7.1 First-In, First-Out

- Älteste Seite wird ersetzt
- Notwendige Zustände:
  - Alter bzw. Einlagerungszeitpunkt für jede Kachel
- Ablauf der Ersetzungen (9 Einlagerungen)

Referenzfolge		1	2	3	4	1	2	5	1	2	3	4	5
Hauptspeicher	Kachel 1	1	1	1	4	4	4	5	5	5	5	5	
	Kachel 2		2	2	2	1	1	1	1	1	3	3	
	Kachel 3			3	3	3	2	2	2	2	2	4	
Kontrollzustände (Alter pro Kachel)	Kachel 1	0	1	2	0	1	2	0	1	2	3	4	
	Kachel 2	>	0	1	2	0	1	2	3	4	0	1	
	Kachel 3	>	>	0	1	2	0	1	2	3	4	0	

7.1 First-In, First-Out

- Älteste Seite wird ersetzt
- Notwendige Zustände:
  - Alter bzw. Einlagerungszeitpunkt für jede Kachel
- Ablauf der Ersetzungen (9 Einlagerungen)

Referenzfolge		1	2	3	4	1	2	5	1	2	3	4	5
Hauptspeicher	Kachel 1	1	1	1	4	4	4	5	5	5	5	5	5
	Kachel 2		2	2	2	1	1	1	1	1	3	3	3
	Kachel 3			3	3	3	2	2	2	2	2	4	4
Kontrollzustände (Alter pro Kachel)	Kachel 1	0	1	2	0	1	2	0	1	2	3	4	5
	Kachel 2	>	0	1	2	0	1	2	3	4	0	1	2
	Kachel 3	>	>	0	1	2	0	1	2	3	4	0	1

Systemprogrammierung I
E – 60
© 1997-2001, Franz J. Hauck; 2002, F. Hofmann, Inf 4, Univ. Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2002-11-28 15.28]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

7.1 First-In, First-Out (2)

- Größerer Hauptspeicher mit 4 Kacheln (10 Einlagerungen)

Referenzfolge		1	2	3	4	1	2	5	1	2	3	4	5
Hauptspeicher	Kachel 1	1	1	1	1	1	1	5	5	5	5	4	4
	Kachel 2		2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	5
	Kachel 3			3	3	3	3	3	3	2	2	2	2
	Kachel 4				4	4	4	4	4	4	3	3	3
Kontrollzustände (Alter pro Kachel)	Kachel 1	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	0	1
	Kachel 2	>	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	0
	Kachel 3	>	>	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3
	Kachel 4	>	>	>	0	1	2	3	4	5	0	1	2

- FIFO Anomalie (Belady's Anomalie, 1969)

7.2 Optimale Ersetzungsstrategie

- Vorwärtsabstand
  - Zeitdauer bis zum nächsten Zugriff auf die entsprechende Seite
- Strategie B_0 (OPT oder MIN) ist optimal (bei fester Kachelmenge): minimale Anzahl von Einlagerungen/Ersetzungen (hier 7)
  - „Ersetze immer die Seite mit dem größten Vorwärtsabstand!“

Referenzfolge		1	2	3	4	1	2	5	1	2	3	4	5
Hauptspeicher	Kachel 1	1											
	Kachel 2												
	Kachel 3												
Kontrollzustände (Vorwärts-abstand)	Kachel 1	4											
	Kachel 2	>											
	Kachel 3	>											

7.2 Optimale Ersetzungsstrategie

- Vorwärtsabstand
  - ◆ Zeitdauer bis zum nächsten Zugriff auf die entsprechende Seite
- Strategie B_0 (OPT oder MIN) ist optimal (bei fester Kachelmenge): minimale Anzahl von Einlagerungen/Ersetzungen (hier 7)
  - ◆ „Ersetze immer die Seite mit dem größten Vorwärtsabstand!“

Referenzfolge		1	2	3	4	1	2	5	1	2	3	4	5
Hauptspeicher	Kachel 1	1	1										
	Kachel 2		2										
	Kachel 3												
Kontrollzustände (Vorwärts-abstand)	Kachel 1	4	3										
	Kachel 2	>	4										
	Kachel 3	>	>										

7.2 Optimale Ersetzungsstrategie

- Vorwärtsabstand
  - ◆ Zeitdauer bis zum nächsten Zugriff auf die entsprechende Seite
- Strategie B_0 (OPT oder MIN) ist optimal (bei fester Kachelmenge): minimale Anzahl von Einlagerungen/Ersetzungen (hier 7)
  - ◆ „Ersetze immer die Seite mit dem größten Vorwärtsabstand!“

Referenzfolge		1	2	3	4	1	2	5	1	2	3	4	5
Hauptspeicher	Kachel 1	1	1	1									
	Kachel 2		2	2									
	Kachel 3			3									
Kontrollzustände (Vorwärts-abstand)	Kachel 1	4	3	2									
	Kachel 2	>	4	3									
	Kachel 3	>	>	7									

7.2 Optimale Ersetzungsstrategie

- Vorwärtsabstand
  - ◆ Zeitdauer bis zum nächsten Zugriff auf die entsprechende Seite
- Strategie B_0 (OPT oder MIN) ist optimal (bei fester Kachelmenge): minimale Anzahl von Einlagerungen/Ersetzungen (hier 7)
  - ◆ „Ersetze immer die Seite mit dem größten Vorwärtsabstand!"

Referenzfolge		1	2	3	4	1	2	5	1	2	3	4	5
Hauptspeicher	Kachel 1	1	1	1	1								
	Kachel 2		2	2	2								
	Kachel 3			3	4								
Kontrollzustände (Vorwärts-abstand)	Kachel 1	4	3	2	1								
	Kachel 2	>	4	3	2								
	Kachel 3	>	>	7	7								

7.2 Optimale Ersetzungsstrategie

- Vorwärtsabstand
  - ◆ Zeitdauer bis zum nächsten Zugriff auf die entsprechende Seite
- Strategie B_0 (OPT oder MIN) ist optimal (bei fester Kachelmenge): minimale Anzahl von Einlagerungen/Ersetzungen (hier 7)
  - ◆ „Ersetze immer die Seite mit dem größten Vorwärtsabstand!"

Referenzfolge		1	2	3	4	1	2	5	1	2	3	4	5
Hauptspeicher	Kachel 1	1	1	1	1	1							
	Kachel 2		2	2	2	2							
	Kachel 3			3	4	4							
Kontrollzustände (Vorwärts-abstand)	Kachel 1	4	3	2	1	3							
	Kachel 2	>	4	3	2	1							
	Kachel 3	>	>	7	7	6							

Systemprogrammierung I
E – 62
© 1997-2001, Franz J. Hauck; 2002, F. Hofmann, Inf 4, Univ. Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2002-11-28 15.28]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

7.2 Optimale Ersetzungsstrategie

- Vorwärtsabstand
  - ◆ Zeitdauer bis zum nächsten Zugriff auf die entsprechende Seite
- Strategie B_0 (OPT oder MIN) ist optimal (bei fester Kachelmenge): minimale Anzahl von Einlagerungen/Ersetzungen (hier 7)
  - ◆ „Ersetze immer die Seite mit dem größten Vorwärtsabstand!“

Referenzfolge		1	2	3	4	1	2	5	1	2	3	4	5
Hauptspeicher	Kachel 1	1	1	1	1	1	1						
	Kachel 2		2	2	2	2	2						
	Kachel 3			3	4	4	4						
Kontrollzustände (Vorwärts-abstand)	Kachel 1	4	3	2	1	3	2						
	Kachel 2	>	4	3	2	1	3						
	Kachel 3	>	>	7	7	6	5						

7.2 Optimale Ersetzungsstrategie

- Vorwärtsabstand
  - ◆ Zeitdauer bis zum nächsten Zugriff auf die entsprechende Seite
- Strategie B_0 (OPT oder MIN) ist optimal (bei fester Kachelmenge): minimale Anzahl von Einlagerungen/Ersetzungen (hier 7)
  - ◆ „Ersetze immer die Seite mit dem größten Vorwärtsabstand!“

Referenzfolge		1	2	3	4	1	2	5	1	2	3	4	5
Hauptspeicher	Kachel 1	1	1	1	1	1	1	1					
	Kachel 2		2	2	2	2	2	2					
	Kachel 3			3	4	4	4	5					
Kontrollzustände (Vorwärts-abstand)	Kachel 1	4	3	2	1	3	2	1					
	Kachel 2	>	4	3	2	1	3	2					
	Kachel 3	>	>	7	7	6	5	5					

7.2 Optimale Ersetzungsstrategie

- Vorwärtsabstand
  - Zeitdauer bis zum nächsten Zugriff auf die entsprechende Seite
- Strategie B_0 (OPT oder MIN) ist optimal (bei fester Kachelmenge): minimale Anzahl von Einlagerungen/Ersetzungen (hier 7)
  - „Ersetze immer die Seite mit dem größten Vorwärtsabstand!“

Referenzfolge		1	2	3	4	1	2	5	1	2	3	4	5
Hauptspeicher	Kachel 1	1	1	1	1	1	1	1	1				
	Kachel 2		2	2	2	2	2	2	2				
	Kachel 3			3	4	4	4	5	5				
Kontrollzustände (Vorwärts-abstand)	Kachel 1	4	3	2	1	3	2	1	>				
	Kachel 2	>	4	3	2	1	3	2	1				
	Kachel 3	>	>	7	7	6	5	5	4				

7.2 Optimale Ersetzungsstrategie

- Vorwärtsabstand
  - Zeitdauer bis zum nächsten Zugriff auf die entsprechende Seite
- Strategie B_0 (OPT oder MIN) ist optimal (bei fester Kachelmenge): minimale Anzahl von Einlagerungen/Ersetzungen (hier 7)
  - „Ersetze immer die Seite mit dem größten Vorwärtsabstand!“

Referenzfolge		1	2	3	4	1	2	5	1	2	3	4	5
Hauptspeicher	Kachel 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	Kachel 2		2	2	2	2	2	2	2	2			
	Kachel 3			3	4	4	4	5	5	5			
Kontrollzustände (Vorwärts-abstand)	Kachel 1	4	3	2	1	3	2	1	>	>			
	Kachel 2	>	4	3	2	1	3	2	1	>			
	Kachel 3	>	>	7	7	6	5	5	4	3			

7.2 Optimale Ersetzungsstrategie

- Vorwärtsabstand
  - Zeitdauer bis zum nächsten Zugriff auf die entsprechende Seite
- Strategie B_0 (OPT oder MIN) ist optimal (bei fester Kachelmenge): minimale Anzahl von Einlagerungen/Ersetzungen (hier 7)
  - „Ersetze immer die Seite mit dem größten Vorwärtsabstand!“

Referenzfolge		1	2	3	4	1	2	5	1	2	3	4	5
Hauptspeicher	Kachel 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3		
	Kachel 2		2	2	2	2	2	2	2	2	2		
	Kachel 3			3	4	4	4	5	5	5	5		
Kontrollzustände (Vorwärts-abstand)	Kachel 1	4	3	2	1	3	2	1	>	>	>		
	Kachel 2	>	4	3	2	1	3	2	1	>	>		
	Kachel 3	>	>	7	7	6	5	5	4	3	2		

7.2 Optimale Ersetzungsstrategie

- Vorwärtsabstand
  - Zeitdauer bis zum nächsten Zugriff auf die entsprechende Seite
- Strategie B_0 (OPT oder MIN) ist optimal (bei fester Kachelmenge): minimale Anzahl von Einlagerungen/Ersetzungen (hier 7)
  - „Ersetze immer die Seite mit dem größten Vorwärtsabstand!“

Referenzfolge		1	2	3	4	1	2	5	1	2	3	4	5
Hauptspeicher	Kachel 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	4	
	Kachel 2		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
	Kachel 3			3	4	4	4	5	5	5	5	5	
Kontrollzustände (Vorwärts-abstand)	Kachel 1	4	3	2	1	3	2	1	>	>	>	>	
	Kachel 2	>	4	3	2	1	3	2	1	>	>	>	
	Kachel 3	>	>	7	7	6	5	5	4	3	2	1	

7.2 Optimale Ersetzungsstrategie

- Vorwärtsabstand
  - ◆ Zeitdauer bis zum nächsten Zugriff auf die entsprechende Seite

- Strategie B_0 (OPT oder MIN) ist optimal (bei fester Kachelmenge): minimale Anzahl von Einlagerungen/Ersetzungen (hier 7)
  - ◆ „Ersetze immer die Seite mit dem größten Vorwärtsabstand!“

Referenzfolge		1	2	3	4	1	2	5	1	2	3	4	5
Hauptspeicher	Kachel 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	4	4
	Kachel 2		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Kachel 3			3	4	4	4	5	5	5	5	5	5
Kontrollzustände (Vorwärts-abstand)	Kachel 1	4	3	2	1	3	2	1	>	>	>	>	>
	Kachel 2	>	4	3	2	1	3	2	1	>	>	>	>
	Kachel 3	>	>	7	7	6	5	5	4	3	2	1	>

7.2 Optimale Ersetzungsstrategie (2)

- Vergrößerung des Hauptspeichers (4 Kacheln): 6 Einlagerungen

Referenzfolge		1	2	3	4	1	2	5	1	2	3	4	5
Hauptspeicher	Kachel 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	4
	Kachel 2		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Kachel 3			3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Kachel 4				4	4	4	5	5	5	5	5	5
Kontrollzustände (Vorwärts-abstand)	Kachel 1	4	3	2	1	3	2	1	>	>	>	>	>
	Kachel 2	>	4	3	2	1	3	2	1	>	>	>	>
	Kachel 3	>	>	7	6	5	4	3	2	1	>	>	>
	Kachel 4	>	>	>	7	6	5	5	4	3	2	1	>

- ◆ keine Anomalie

7.2 Optimale Ersetzungsstrategie (3)

- Implementierung von B_0 nahezu unmöglich
  - Referenzfolge müsste vorher bekannt sein
  - B_0 meist nur zum Vergleich von Strategien brauchbar
- Suche nach Strategien, die möglichst nahe an B_0 kommen
  - z.B. *Least recently used* (LRU)

7.3 Least Recently Used (LRU)

- Rückwärtsabstand
  - Zeitdauer, seit dem letzten Zugriff auf die Seite
- LRU Strategie (10 Einlagerungen)
  - „Ersetze die Seite mit dem größten Rückwärtsabstand !“

Referenzfolge		1	2	3	4	1	2	5	1	2	3	4	5
Hauptspeicher	Kachel 1	1											
	Kachel 2												
	Kachel 3												
Kontrollzustände (Rückwärtsabstand)	Kachel 1	0											
	Kachel 2	>											
	Kachel 3	>											

7.3 Least Recently Used (LRU)

- Rückwärtsabstand
  - ◆ Zeitdauer, seit dem letzten Zugriff auf die Seite
- LRU Strategie (10 Einlagerungen)
  - ◆ „Ersetze die Seite mit dem größten Rückwärtsabstand !“

Referenzfolge		1	2	3	4	1	2	5	1	2	3	4	5
Hauptspeicher	Kachel 1	1	1										
	Kachel 2		2										
	Kachel 3												
Kontrollzustände (Rückwärts-abstand)	Kachel 1	0	1										
	Kachel 2	>	0										
	Kachel 3	>	>										

7.3 Least Recently Used (LRU)

- Rückwärtsabstand
  - ◆ Zeitdauer, seit dem letzten Zugriff auf die Seite
- LRU Strategie (10 Einlagerungen)
  - ◆ „Ersetze die Seite mit dem größten Rückwärtsabstand !“

Referenzfolge		1	2	3	4	1	2	5	1	2	3	4	5
Hauptspeicher	Kachel 1	1	1	1									
	Kachel 2		2	2									
	Kachel 3			3									
Kontrollzustände (Rückwärts-abstand)	Kachel 1	0	1	2									
	Kachel 2	>	0	1									
	Kachel 3	>	>	0									

7.3 Least Recently Used (LRU)

- Rückwärtsabstand
  - ◆ Zeitdauer, seit dem letzten Zugriff auf die Seite
- LRU Strategie (10 Einlagerungen)
  - ◆ „Ersetze die Seite mit dem größten Rückwärtsabstand !“

Referenzfolge		1	2	3	4	1	2	5	1	2	3	4	5
Hauptspeicher	Kachel 1	1	1	1	4								
	Kachel 2		2	2	2								
	Kachel 3			3	3								
Kontrollzustände (Rückwärts-abstand)	Kachel 1	0	1	2	0								
	Kachel 2	>	0	1	2								
	Kachel 3	>	>	0	1								

7.3 Least Recently Used (LRU)

- Rückwärtsabstand
  - ◆ Zeitdauer, seit dem letzten Zugriff auf die Seite
- LRU Strategie (10 Einlagerungen)
  - ◆ „Ersetze die Seite mit dem größten Rückwärtsabstand !“

Referenzfolge		1	2	3	4	1	2	5	1	2	3	4	5
Hauptspeicher	Kachel 1	1	1	1	4	4							
	Kachel 2		2	2	2	1							
	Kachel 3			3	3	3							
Kontrollzustände (Rückwärts-abstand)	Kachel 1	0	1	2	0	1							
	Kachel 2	>	0	1	2	0							
	Kachel 3	>	>	0	1	2							

Systemprogrammierung I
E – 65
© 1997-2001, Franz J. Hauck; 2002, F. Hofmann, Inf 4, Univ. Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2002-11-28 15.28]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

7.3 Least Recently Used (LRU)

- Rückwärtsabstand
  - Zeitdauer, seit dem letzten Zugriff auf die Seite
- LRU Strategie (10 Einlagerungen)
  - „Ersetze die Seite mit dem größten Rückwärtsabstand !“

Referenzfolge		1	2	3	4	1	2	5	1	2	3	4	5
Hauptspeicher	Kachel 1	1	1	1	4	4	4						
	Kachel 2		2	2	2	1	1						
	Kachel 3			3	3	3	2						
Kontrollzustände (Rückwärts-abstand)	Kachel 1	0	1	2	0	1	2						
	Kachel 2	>	0	1	2	0	1						
	Kachel 3	>	>	0	1	2	0						

7.3 Least Recently Used (LRU)

- Rückwärtsabstand
  - Zeitdauer, seit dem letzten Zugriff auf die Seite
- LRU Strategie (10 Einlagerungen)
  - „Ersetze die Seite mit dem größten Rückwärtsabstand !“

Referenzfolge		1	2	3	4	1	2	5	1	2	3	4	5
Hauptspeicher	Kachel 1	1	1	1	4	4	4	5					
	Kachel 2		2	2	2	1	1	1					
	Kachel 3			3	3	3	2	2					
Kontrollzustände (Rückwärts-abstand)	Kachel 1	0	1	2	0	1	2	0					
	Kachel 2	>	0	1	2	0	1	2					
	Kachel 3	>	>	0	1	2	0	1					

Systemprogrammierung I
E – 65
© 1997-2001, Franz J. Hauck; 2002, F. Hofmann, Inf 4, Univ. Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2002-11-28 15.28]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

7.3 Least Recently Used (LRU)

- Rückwärtsabstand
  - ◆ Zeitdauer, seit dem letzten Zugriff auf die Seite
- LRU Strategie (10 Einlagerungen)
  - ◆ „Ersetze die Seite mit dem größten Rückwärtsabstand !“

Referenzfolge		1	2	3	4	1	2	5	1	2	3	4	5
Hauptspeicher	Kachel 1	1	1	1	4	4	4	5	5				
	Kachel 2		2	2	2	1	1	1	1				
	Kachel 3			3	3	3	2	2	2				
Kontrollzustände (Rückwärts-abstand)	Kachel 1	0	1	2	0	1	2	0	1				
	Kachel 2	>	0	1	2	0	1	2	0				
	Kachel 3	>	>	0	1	2	0	1	2				

7.3 Least Recently Used (LRU)

- Rückwärtsabstand
  - ◆ Zeitdauer, seit dem letzten Zugriff auf die Seite
- LRU Strategie (10 Einlagerungen)
  - ◆ „Ersetze die Seite mit dem größten Rückwärtsabstand !“

Referenzfolge		1	2	3	4	1	2	5	1	2	3	4	5
Hauptspeicher	Kachel 1	1	1	1	4	4	4	5	5	5			
	Kachel 2		2	2	2	1	1	1	1	1			
	Kachel 3			3	3	3	2	2	2	2			
Kontrollzustände (Rückwärts-abstand)	Kachel 1	0	1	2	0	1	2	0	1	2			
	Kachel 2	>	0	1	2	0	1	2	0	1			
	Kachel 3	>	>	0	1	2	0	1	2	0			

Systemprogrammierung I E – 65
© 1997-2001, Franz J. Hauck; 2002, F. Hofmann, Inf 4, Univ. Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2002-11-28 15.28]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

7.3 Least Recently Used (LRU)

- Rückwärtsabstand
  - Zeitdauer, seit dem letzten Zugriff auf die Seite
- LRU Strategie (10 Einlagerungen)
  - „Ersetze die Seite mit dem größten Rückwärtsabstand !“

Referenzfolge		1	2	3	4	1	2	5	1	2	3	4	5
Hauptspeicher	Kachel 1	1	1	1	4	4	4	5	5	5	3		
	Kachel 2		2	2	2	1	1	1	1	1	1		
	Kachel 3			3	3	3	2	2	2	2	2		
Kontrollzustände (Rückwärts-abstand)	Kachel 1	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0		
	Kachel 2	>	0	1	2	0	1	2	0	1	2		
	Kachel 3	>	>	0	1	2	0	1	2	0	1		

7.3 Least Recently Used (LRU)

- Rückwärtsabstand
  - Zeitdauer, seit dem letzten Zugriff auf die Seite
- LRU Strategie (10 Einlagerungen)
  - „Ersetze die Seite mit dem größten Rückwärtsabstand !“

Referenzfolge		1	2	3	4	1	2	5	1	2	3	4	5
Hauptspeicher	Kachel 1	1	1	1	4	4	4	5	5	5	3	3	
	Kachel 2		2	2	2	1	1	1	1	1	1	4	
	Kachel 3			3	3	3	2	2	2	2	2	2	
Kontrollzustände (Rückwärts-abstand)	Kachel 1	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	
	Kachel 2	>	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	
	Kachel 3	>	>	0	1	2	0	1	2	0	1	2	

7.3 Least Recently Used (LRU)

- Rückwärtsabstand
  - Zeitdauer, seit dem letzten Zugriff auf die Seite
- LRU Strategie (10 Einlagerungen)
  - „Ersetze die Seite mit dem größten Rückwärtsabstand !“

Referenzfolge		1	2	3	4	1	2	5	1	2	3	4	5
Hauptspeicher	Kachel 1	1	1	1	4	4	4	5	5	5	3	3	3
	Kachel 2		2	2	2	1	1	1	1	1	1	4	4
	Kachel 3			3	3	3	2	2	2	2	2	2	5
Kontrollzustände (Rückwärts-abstand)	Kachel 1	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2
	Kachel 2	>	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1
	Kachel 3	>	>	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0

7.3 Least Recently Used (2)

- Vergrößerung des Hauptspeichers (4 Kacheln): 8 Einlagerungen

Referenzfolge		1	2	3	4	1	2	5	1	2	3	4	5
Hauptspeicher	Kachel 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5
	Kachel 2		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Kachel 3			3	3	3	3	5	5	5	5	4	4
	Kachel 4				4	4	4	4	4	4	3	3	3
Kontrollzustände (Rückwärts-abstand)	Kachel 1	0	1	2	3	0	1	2	0	1	2	3	0
	Kachel 2	>	0	1	2	3	0	1	2	0	1	2	3
	Kachel 3	>	>	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1
	Kachel 4	>	>	>	0	1	2	3	4	5	0	1	2

7.3 Least Recently Used (3)

- Keine Anomalie
  - Allgemein gilt: Es gibt eine Klasse von Algorithmen (Stack-Algorithmen), bei denen keine Anomalie auftritt:
    - Bei Stack-Algorithmen ist bei n Kacheln zu jedem Zeitpunkt eine Untermenge der Seiten eingelagert, die bei n+1 Kacheln zum gleichen Zeitpunkt eingelagert wären!
    - LRU: Es sind immer die letzten n benutzten Seiten eingelagert
    - B_0: Es sind die n bereits benutzten Seiten eingelagert, die als nächstes zugegriffen werden

- Problem
  - Implementierung von LRU nicht ohne Hardwareunterstützung möglich
  - Es muss jeder Speicherzugriff berücksichtigt werden

7.3 Least Recently Used (4)

- Hardwareunterstützung durch Zähler
  - CPU besitzt einen Zähler, der bei jedem Speicherzugriff erhöht wird (inkrementiert wird)
  - bei jedem Zugriff wird der aktuelle Zählerwert in den jeweiligen Seitendeskriptor geschrieben
  - Auswahl der Seite mit dem kleinsten Zählerstand

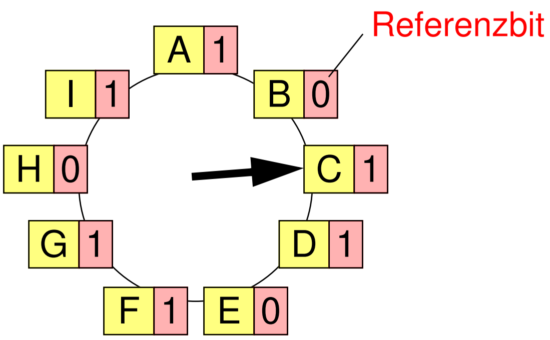
- Aufwendige Implementierung
  - viele zusätzliche Speicherzugriffe

7.4 Second Chance (Clock)

- Einsatz von Referenzbits
  - ◆ Referenzbit im Seitendeskriptor wird automatisch durch Hardware gesetzt, wenn die Seite zugegriffen wird
    - einfacher zu implementieren
    - weniger zusätzliche Speicherzugriffe
    - moderne Prozessoren bzw. MMUs unterstützen Referenzbits (z.B. Pentium: *Access bit*)
- Ziel: Annäherung von LRU
  - ◆ das Referenzbit wird zunächst auf 0 gesetzt
  - ◆ wird eine Opferseite gesucht, so werden die Kacheln reihum inspiziert
  - ◆ ist das Referenzbit 1, so wird es auf 0 gesetzt (zweite Chance)
  - ◆ ist das Referenzbit 0, so wird die Seite ersetzt

7.4 Second Chance (2)

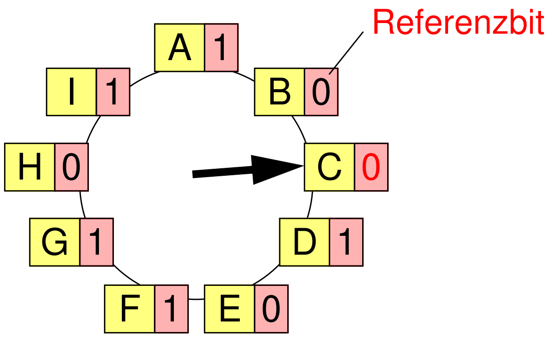
- Implementierung mit umlaufendem Zeiger *(Clock)*



  - ◆ an der Zeigerposition wird Referenzbit getestet
    - falls Referenzbit eins, wird Bit gelöscht
    - falls Referenzbit gleich Null, wurde ersetzbare Seite gefunden
    - Zeiger wird weitergestellt; falls keine Seite gefunden: Wiederholung
  - ◆ falls alle Referenzbits auf 1 stehen, wird Second chance zu FIFO

7.4 Second Chance (2)

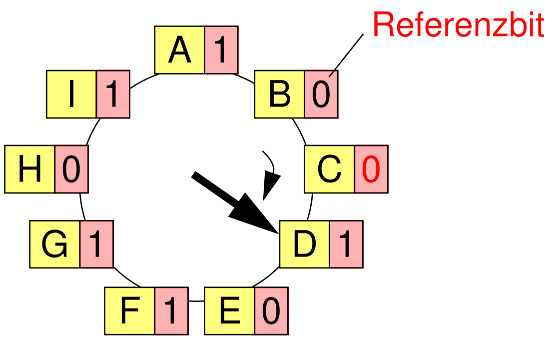
- Implementierung mit umlaufendem Zeiger *(Clock)*



- ◆ an der Zeigerposition wird Referenzbit getestet
  - falls Referenzbit eins, wird Bit gelöscht
  - falls Referenzbit gleich Null, wurde ersetzbare Seite gefunden
  - Zeiger wird weitergestellt; falls keine Seite gefunden: Wiederholung
- ◆ falls alle Referenzbits auf 1 stehen, wird Second chance zu FIFO

7.4 Second Chance (2)

- Implementierung mit umlaufendem Zeiger *(Clock)*

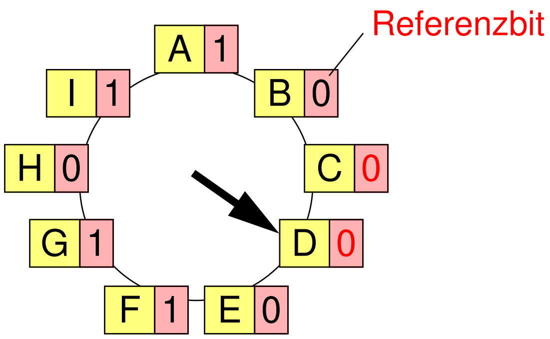


- ◆ an der Zeigerposition wird Referenzbit getestet
  - falls Referenzbit eins, wird Bit gelöscht
  - falls Referenzbit gleich Null, wurde ersetzbare Seite gefunden
  - Zeiger wird weitergestellt; falls keine Seite gefunden: Wiederholung
- ◆ falls alle Referenzbits auf 1 stehen, wird Second chance zu FIFO

Systemprogrammierung I
E – 70
© 1997-2001, Franz J. Hauck; 2002, F. Hofmann, Inf 4, Univ. Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2002-11-28 15.28]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

7.4 Second Chance (2)

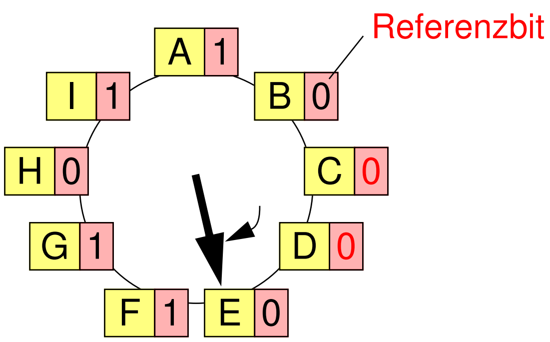
- Implementierung mit umlaufendem Zeiger *(Clock)*



- ◆ an der Zeigerposition wird Referenzbit getestet
  - falls Referenzbit eins, wird Bit gelöscht
  - falls Referenzbit gleich Null, wurde ersetzbare Seite gefunden
  - Zeiger wird weitergestellt; falls keine Seite gefunden: Wiederholung
- ◆ falls alle Referenzbits auf 1 stehen, wird Second chance zu FIFO

7.4 Second Chance (2)

- Implementierung mit umlaufendem Zeiger *(Clock)*

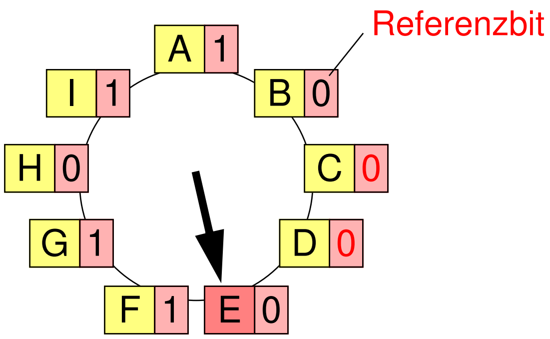


- ◆ an der Zeigerposition wird Referenzbit getestet
  - falls Referenzbit eins, wird Bit gelöscht
  - falls Referenzbit gleich Null, wurde ersetzbare Seite gefunden
  - Zeiger wird weitergestellt; falls keine Seite gefunden: Wiederholung
- ◆ falls alle Referenzbits auf 1 stehen, wird Second chance zu FIFO

Systemprogrammierung I
E – 70
© 1997-2001, Franz J. Hauck; 2002, F. Hofmann, Inf 4, Univ. Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2002-11-28 15.28]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

7.4 Second Chance (2)

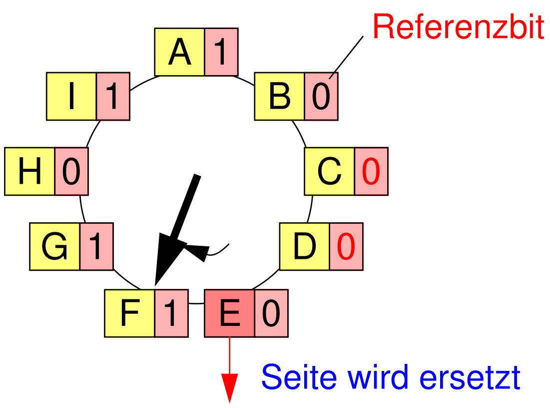
- Implementierung mit umlaufendem Zeiger *(Clock)*



- ◆ an der Zeigerposition wird Referenzbit getestet
  - falls Referenzbit eins, wird Bit gelöscht
  - falls Referenzbit gleich Null, wurde ersetzbare Seite gefunden
  - Zeiger wird weitergestellt; falls keine Seite gefunden: Wiederholung
- ◆ falls alle Referenzbits auf 1 stehen, wird Second chance zu FIFO

7.4 Second Chance (2)

- Implementierung mit umlaufendem Zeiger *(Clock)*



- ◆ an der Zeigerposition wird Referenzbit getestet
  - falls Referenzbit eins, wird Bit gelöscht
  - falls Referenzbit gleich Null, wurde ersetzbare Seite gefunden
  - Zeiger wird weitergestellt; falls keine Seite gefunden: Wiederholung
- ◆ falls alle Referenzbits auf 1 stehen, wird Second chance zu FIFO

7.4 Second Chance (3)

- Ablauf bei drei Kacheln (9 Einlagerungen)

Referenzfolge		1	2	3	4	1	2	5	1	2	3	4	5
Hauptspeicher	Kachel 1	1	1	1	4	4	4	5	5	5	5	5	5
	Kachel 2		2	2	2	1	1	1	1	1	3	3	3
	Kachel 3			3	3	3	2	2	2	2	2	4	4
Kontroll-zustände (Referenzbits)	Kachel 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
	Kachel 2	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1
	Kachel 3	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1
	Umlaufzeiger	2	3	1	2	3	1	2	2	2	3	1	1

7.4 Second Chance (4)

- Vergrößerung des Hauptspeichers (4 Kacheln): 10 Einlagerungen

Referenzfolge		1	2	3	4	1	2	5	1	2	3	4	5
Hauptspeicher	Kachel 1	1	1	1	1	1	1	5	5	5	5	4	4
	Kachel 2		2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	5
	Kachel 3			3	3	3	3	3	3	2	2	2	2
	Kachel 4				4	4	4	4	4	4	3	3	3
Kontroll-zustände (Refernzbits)	Kachel 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Kachel 2	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1
	Kachel 3	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0
	Kachel 4	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0
	Umlaufzeiger	2	3	4	1	1	1	2	3	4	1	2	3

7.4 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)*
  - drei Klassen: (0,0), (1,0) und (1,1) mit (Referenzbit, Modifikationsbit)
  - Suche nach der niedrigsten Klasse (Einsatz im MacOS)

7.5 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.

7.6 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

7.6 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

8 Seitenflattern *(Thrashing)*

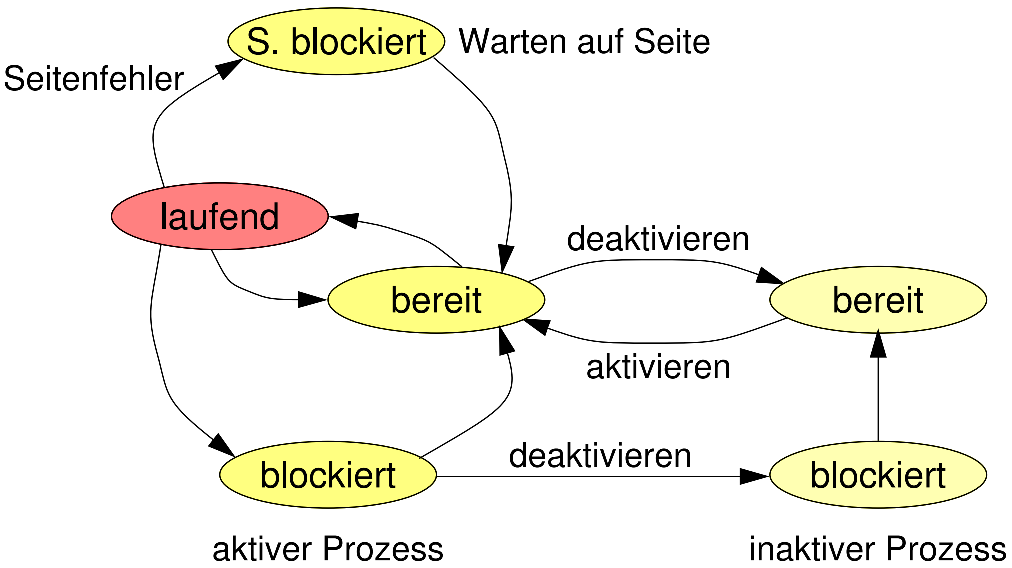
- Ausgelagerte Seite wird gleich wieder angesprochen
  - Prozess verbringt mehr Zeit mit dem Warten auf das Beheben von Seitenfehler als mit der eigentlichen Ausführung
- Ursachen
  - Prozess ist nahe am Seitenminimum
  - zu viele Prozesse gleichzeitig im System
  - schlechte Ersetzungsstrategie

★ Lokale Seitenanforderung behebt Thrashing zwischen Prozessen

★ Zuteilung einer genügend großen Zahl von Kacheln behebt Thrashing innerhalb der Prozessseiten
  - Begrenzung der Prozessanzahl

8.1 Deaktivieren von Prozessen

- Einführung von „Superzuständen"



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

8.1 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

8.2 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

1	2	3	4	1	2	5	1	2	3	4	5

Referenzfolge

Δ

- Hinweis: $\Delta >$ Arbeitsmenge, da Seiten in der Regel mehrfach hintereinander angesprochen werden

8.2 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
	Seite 5							x	x	x	x		x

8.2 Arbeitsmengenmodell (3)

- 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

8.3 Arbeitsmengenbestimmung mit Zeitgeber

- Annäherung der Arbeitsmenge mit
  - Referenzbit
  - Altersangabe pro Seite (Zeitintervall ohne Benutzung)
  - Timer-Interrupt (durch Zeitgeber)

- Algorithmus
  - durch regelmäßigen Interrupt wird mittels Referenzbit die Altersangabe fortgeschrieben:
    - ist Referenzbit gesetzt (Seite wurde benutzt) wird das Alter auf Null gesetzt;
    - ansonsten wird Altersangabe erhöht.
    - Es werden nur die Seiten des gerade laufenden Prozesses „gealtert".
  - Seiten mit Alter > Δ sind nicht mehr in der Arbeitsmenge des jeweiligen Prozesses

8.3 Arbeitsmengenbestimmung mit Zeitgeber (2)

- Ungenau: System ist aber nicht empfindlich auf diese Ungenauigkeit
  - Verringerung der Zeitintervalle: höherer Aufwand, genauere Messung

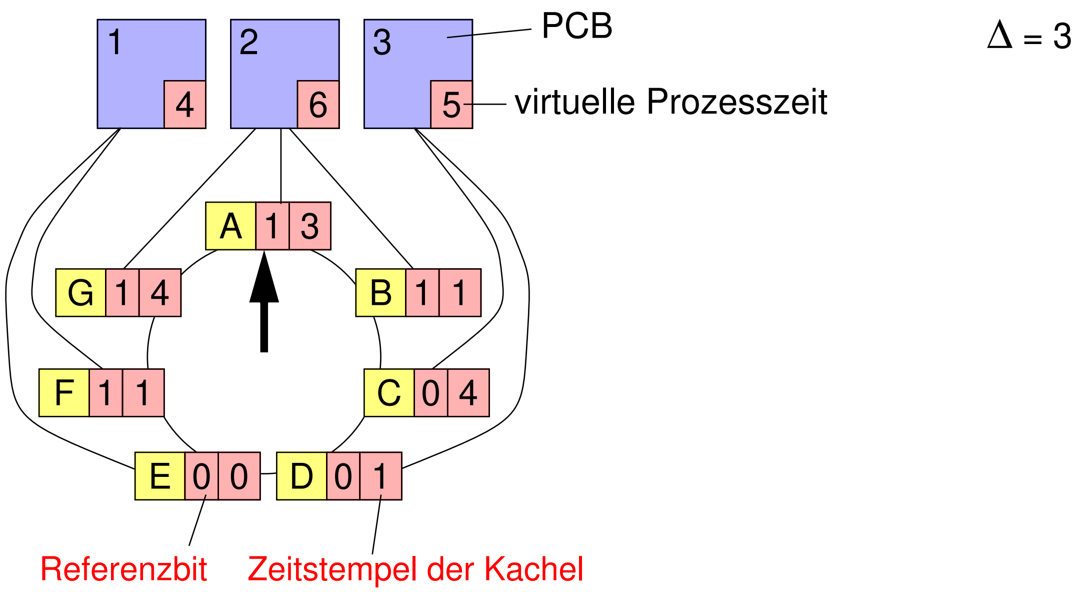
- Ineffizient
  - große Menge von Seiten zu betrachten

8.4 Arbeitsmengenbestimmung mit WSClock

- 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

8.4 Arbeitsmengenbestimmung mit WSClock (2)

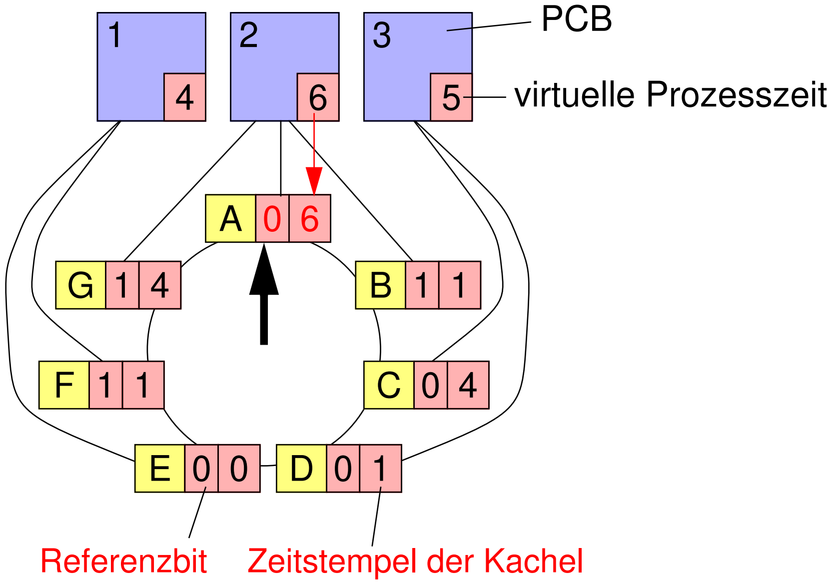
- WSClock Algorithmus



8.4 Arbeitsmengenbestimmung mit WSClock (2)

- WSClock Algorithmus

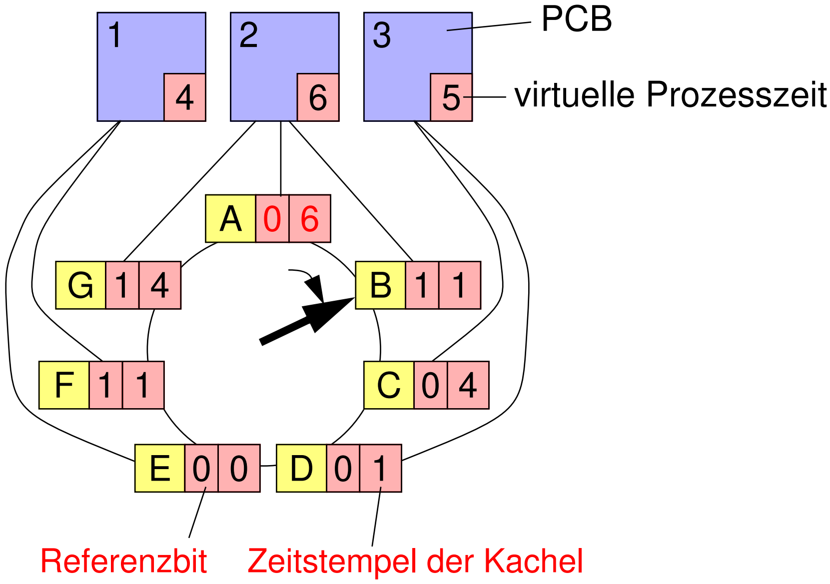
$\Delta = 3$



8.4 Arbeitsmengenbestimmung mit WSClock (2)

- WSClock Algorithmus

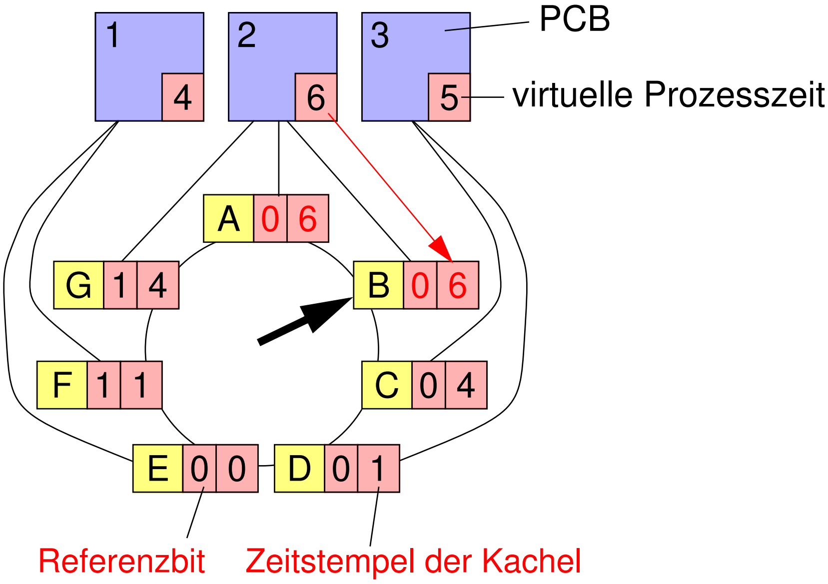
$\Delta = 3$



Systemprogrammierung I
E – 86
© 1997-2001, Franz J. Hauck; 2002, F. Hofmann, Inf 4, Univ. Erlangen-Nürnberg[E-Memory.fm, 2002-11-28 15.28]
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

8.4 Arbeitsmengenbestimmung mit WSClock (2)

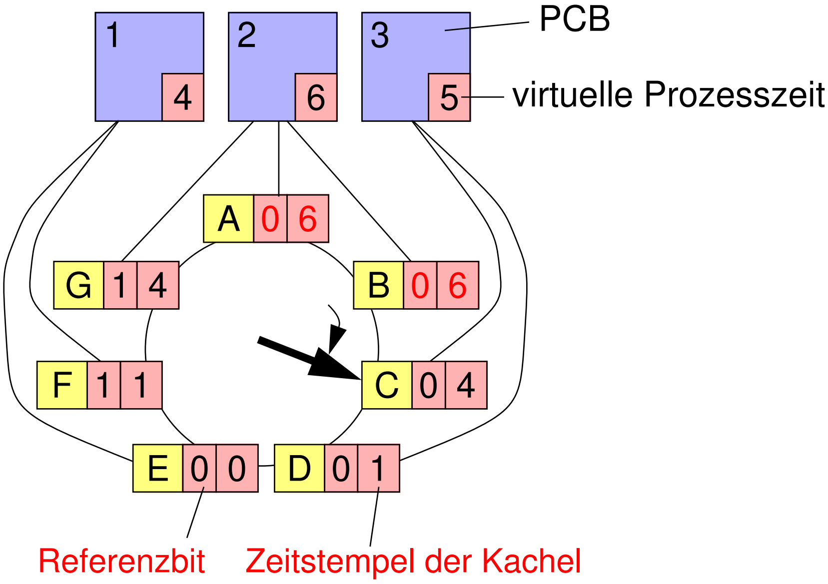
- WSClock Algorithmus



$\Delta = 3$

8.4 Arbeitsmengenbestimmung mit WSClock (2)

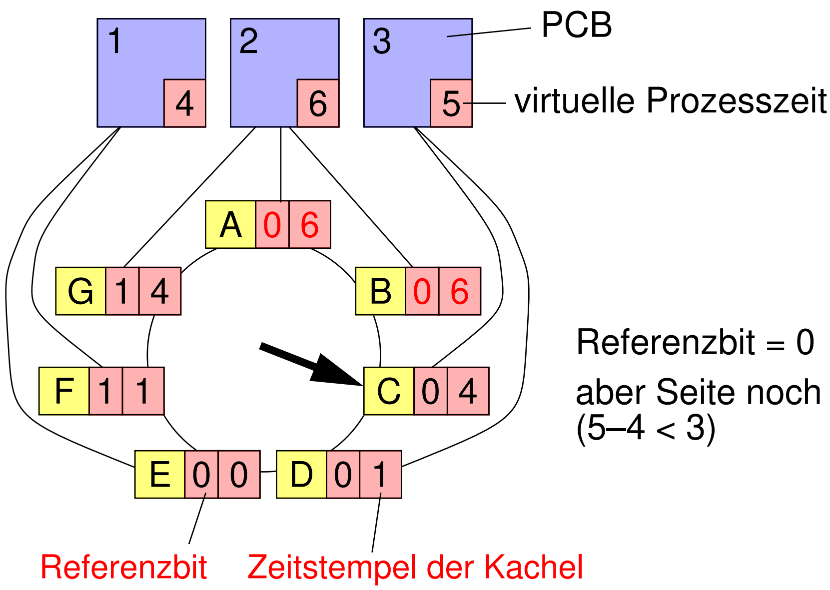
- WSClock Algorithmus



$\Delta = 3$

8.4 Arbeitsmengenbestimmung mit WSClock (2)

- WSClock Algorithmus



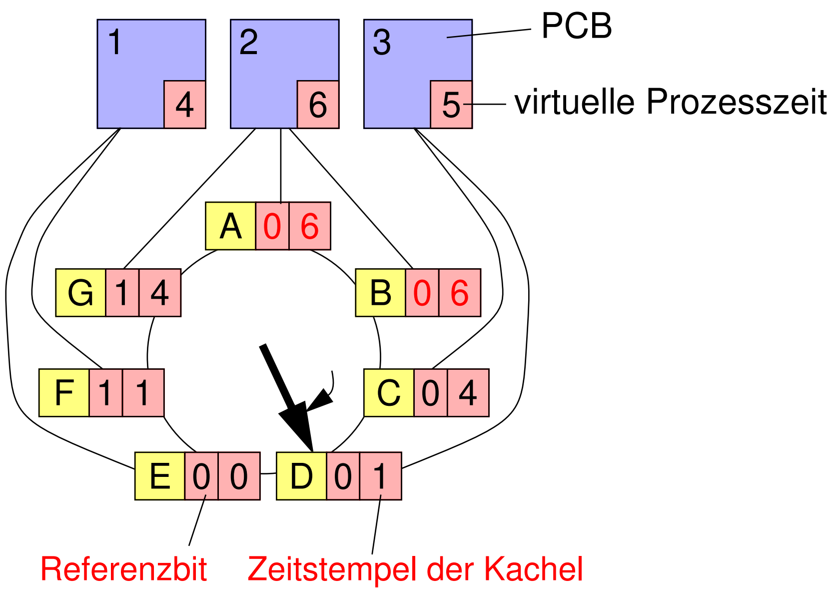
$\Delta = 3$

Referenzbit = 0

aber Seite noch in Arbeitsmenge (5–4 < 3)

8.4 Arbeitsmengenbestimmung mit WSClock (2)

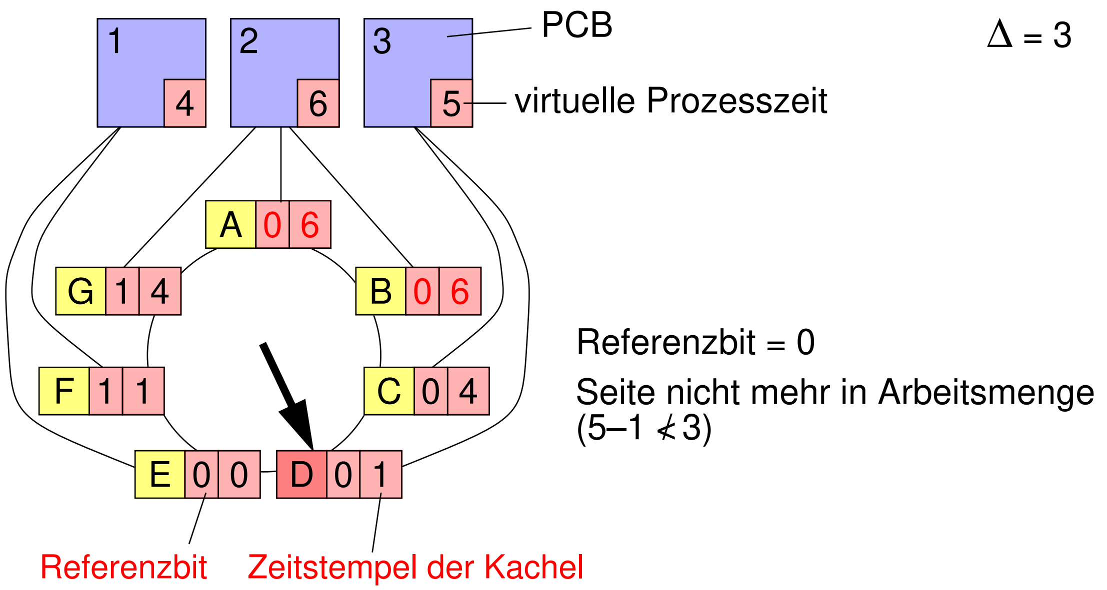
- WSClock Algorithmus



$\Delta = 3$

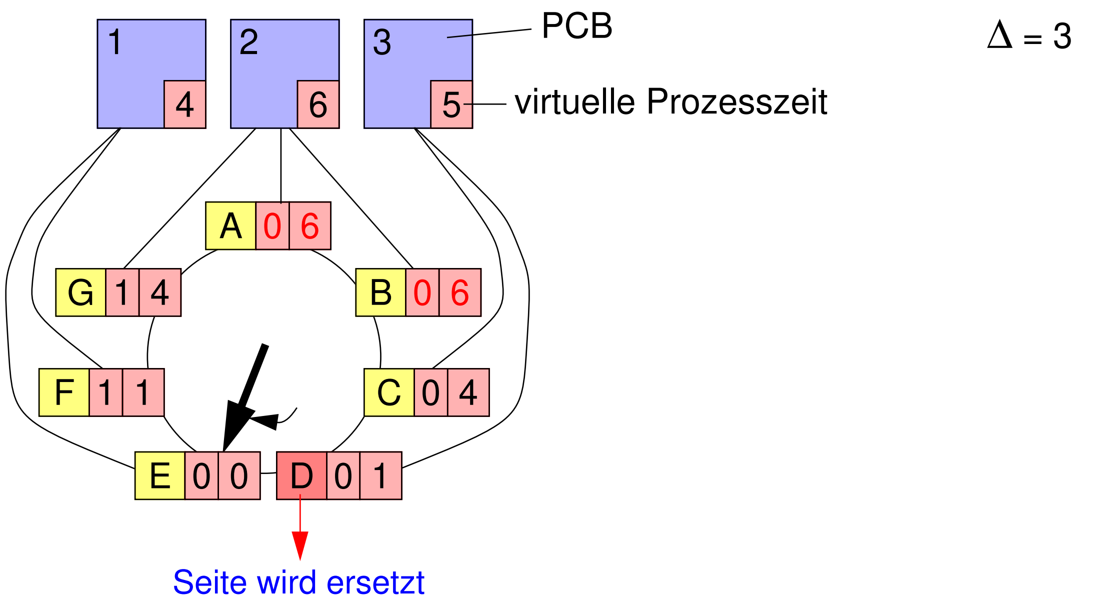
8.4 Arbeitsmengenbestimmung mit WSClock (2)

- WSClock Algorithmus



8.4 Arbeitsmengenbestimmung mit WSClock (2)

- WSClock Algorithmus



8.5 Probleme mit Arbeitsmengen

▲ Zuordnung zu einem Prozess nicht immer möglich

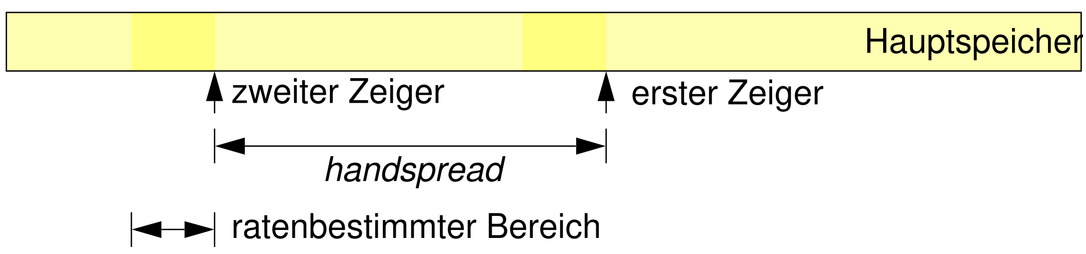
- ◆ gemeinsam genutzte Seiten in modernen Betriebssystemen eher die Regel als die Ausnahme
  - Seiten des Codesegments
  - Shared libraries
  - Gemeinsame Seiten im Datensegment *(Shared memory)*

★ moderne System bestimmen meist eine globale Arbeitsmenge von Seiten

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

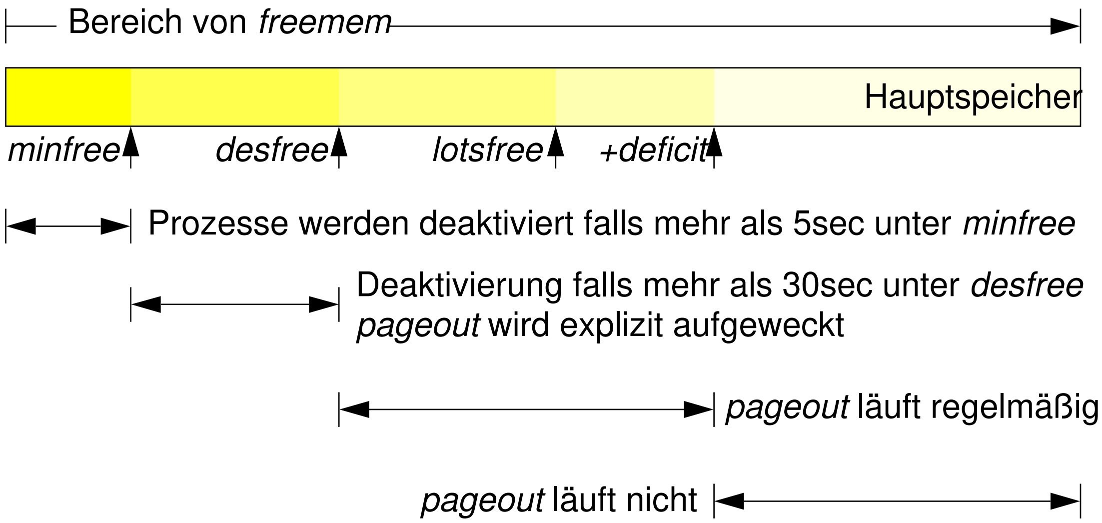


8.6 Ersetzungsstrategie bei Solaris (2)

- 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)*

8.6 Ersetzungsstrategie bei Solaris (3)

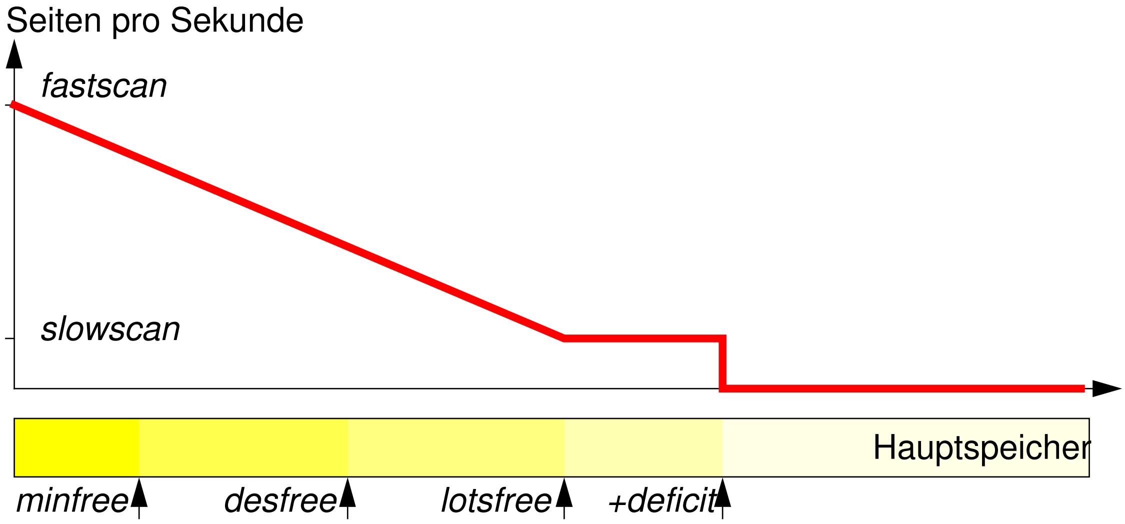
- Verhalten von *pageout* orientiert sich an Größe der Freiliste (Menge des freien Speichers)



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

8.6 Ersetzungsstrategie bei Solaris (4)

- Seitenuntersuchungsrate des *pageout* Prozesses



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

8.6 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

8.6 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)

8.7 Ersetzungsstrategie bei Windows 2000

- Freiliste von freien Kacheln

- Arbeitsmenge pro Prozess
  - zunächst vorbestimmt
  - Anpassung der Arbeitsmenge durch Working-Set-Manager
  - Arbeitszyklus des Working-Set-Managers wird durch Speicherknappheit beschleunigt
  - Auslagerungsstrategie nach WSClock (nur Monoprozessorvariante) unter Berücksichtigung von Prozessklassen
  - prozessspezifische Konfiguration der Arbeitsmenge durch Anwender

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