3 In Software realisierte Pufferspeicher

3.1 Virtueller Speicher

Pufferung auf externen Speichern (vorwiegend Plattenspeichern) angelegter 'virtueller' Adreßräume im Arbeitsspeicher (paging)

Speicherplatz wird nur für tatsächlich belegte Teile der virtuellen Adreßräume angelegt

Adressierung der Puffer erfolgt in der Terminologie der Hardwareüberlegungen physikalisch? Ist also für Betriebssystemfunktionen unproblematisch?

Interpretation von Befehls- und Datenadressen erfolgt bezüglich des jeweils eingestellten Adreßraums

Virtuelle Adreßräume können überlappend sein!

Betreiben gemeinsamer Bereiche unproblematisch

**Zur Vereinheitlichung des Speicherzugriffs im Betriebssystem, werden Dateien beim Öffnen in den virtuellen Adreßraum gelegt (memory mapped files);
können also in mehrere Adreßräume eingeblendet sein oder in einem Adreßraum mehrfach**

Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Informatik 4 (Verteilte Systeme und Betriebssysteme), F. Hofmann
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage zu Lehrzwecken außerhalb der Universität Erlangen-Nürnber
ist ohne Genehmigung des Autors unzulässig

Vergleich der Vorgehensweisen bei 'caching' und 'paging'!

	Caching	Paging
Ebene E_i	Arbeitsspeicher	Plattenspeicher
Ebene E_{i-1}	Cache	Arbeitsspeicher
Pufferadr.	kontextbezogen (virtuell) oder speicherbezogen (physikalisch)	kontextbezogen
Speicheradr.	physikalische Adr.	Blockadr. am Plattenspeicher
Index	Teil der Adresse	ermittelt über Tabelle
Index bestimmter Adresse	zeitl. unveränderlich	zeitl. veränderlich
Zeile	Pufferzeile	Kachel
Zeilenlänge	Pufferzeilenlänge	Kachelgröße
Markierung	versch. Varianten	physikalische Markierung (Kachel-Seiten-Tabelle)
write on hit	write-back/through	write-back
write on miss	allocating/nonallocating	allocating
Holstrategie	auf Anforderung	auf Anforderung oder (evtl. nur teil-weise) vorausschauend
Ersetzungsstrategie	LRU	Second Chance

Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Informatik 4 (Verteilte Systeme und Betriebssysteme), F. Hofmann
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage zu Lehrzwecken außerhalb der Universität Erlangen-Nürnber
ist ohne Genehmigung des Autors unzulässig

	Caching	Paging
Plazierungsstrategie	durch Adr. festgelegt	Vermeidung von Bedeutungsgleichheit und Mehrdeutigkeit; Effizienzüberlegungen
Mehrdeutigkeit	falls virtuell adressiert, möglich	durch Wahl des Plazierungsortes vermieden
Bedeutungsgleichheit:	falls virtuell adressiert, möglich	durch Wahl des Plazierungsortes vermieden

Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Informatik 4 (Verteilte Systeme und Betriebssysteme), F. Hofmann
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage zu Lehrzwecken außerhalb der Universität Erlangen-Nürnber
ist ohne Genehmigung des Autors unzulässig

Wahl der Strategien

- **Holstrategie:**
  - **Vorausschauend (prefetching)**
  - **Bei Fehlzugriff (on demand, demand paging)**
- **Plazierungsstrategie:**
  - **Wo frei (derzeit Normalfall)**
  - **Unter Berücksichtigung von Erfordernissen effizienter Pufferspeichernutzung**
  - **Bei NUMA-Architekturen Berücksichtigung der Threadaffinität**
- **Ausräum-(Ersetzungs-)Strategie:**
  - **Siehe Systemprogrammierung I**

Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Informatik 4 (Verteilte Systeme und Betriebssysteme), F. Hofmann
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage zu Lehrzwecken außerhalb der Universität Erlangen-Nürnber
ist ohne Genehmigung des Autors unzulässig

Kann durch vorzeitige Einlagerungen die Zahl der Einlagerungen eines Prozesses reduziert werden?

Satz: Zu jeder vorzeitig einlagernden Strategie kann eine Strategie konstruiert werden, die nur auf Anforderung einlagert und dabei höchstens so viele Einlagerungen verursacht wie die vorzeitig einlagernde.

Beweis:

Sei A eine vorausschauende Strategie und r_1, r_2, ... eine Referenzfolge.

Es sei S_t die Menge der nach dem t-ten Zugriff im Arbeitsspeicher befindlichen Seiten.

X_t bzw. Y_t seien die beim Übergang von S_{t-1} zu S_t ein- bzw. ausgelagerten Seiten, d. h.

$S_t = S_{t-1} + X_t - Y_t$ **mit** $X_t \cap Y_t = \emptyset$, $X_t \cap S_{t-1} = \emptyset$ **und** $Y_t \subseteq S_{t-1}$.

Konstruktion einer Anforderungsstrategie A':

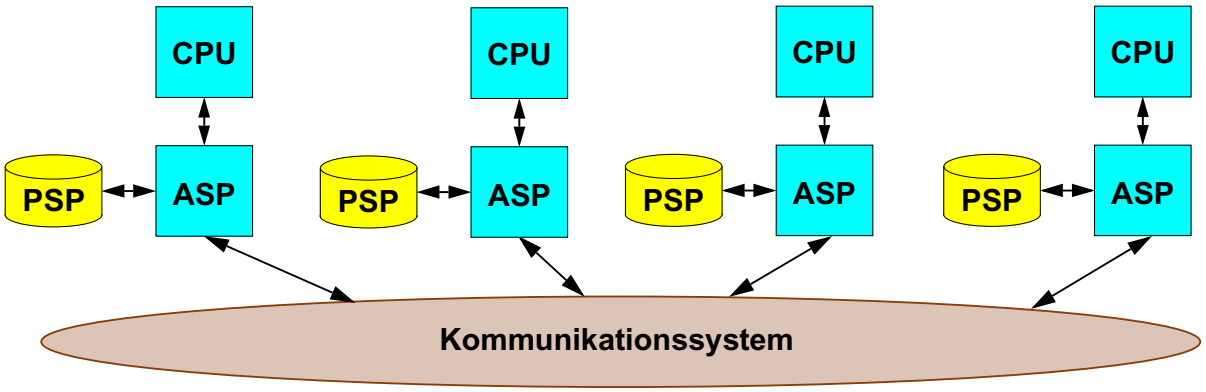
- **P_t seien die zum Zeitpunkt t von A aber nicht von A' eingelagerten Seiten.**
- **R_t seien die zum Zeitpunkt t von A wieder ausgelagerten Seiten, die aber noch nicht von A' ausgelagerten wurden, also $R_t = (R_{t-1} + Y_t - X_t) \cap S'_t$.**

Mit diesen Bezeichnungen gilt $S'_t = S_t + R_t - P_t$.

- **Bis erstmalig alle Kacheln belegt sind, muß A mindestens so viele Einlagerungen wie A' gemacht haben, da ja A' nur angesprochene Seiten einlagert.**
- **Sind zu einem Zeitpunkt unter A' alle Kacheln belegt sind und es muß eine Einlagerung erfolgen, so wird eine Seite aus $R_{t-1} + Y_t$ ausgelagert.**
- **Angenommen diese Vorgehensweise funktioniere bis t und es sei eine Seite einzulagern, die unter A bereits im Arbeitsspeicher ist und nicht zu Y_t gehört. Dann kann R_{t-1} nicht leer sein, denn es muß unter A eine der Seiten aus S'_{t-1} ausgelagert worden sein, um Platz für r_t zu haben. Wenn A' eine der Seiten aus $R_{t-1} + Y_t$ auslagert, so muß diese bis zum nächsten Ansprechen auch von A wieder eingelagert werden.**
- **Also ist auch bis zum nächsten Zeitpunkt die Zahl der Einlagerungen unter A mindestens so groß wie unter A'.**

3.2 Verteilter, gemeinsam genutzter Speicher

Hardwarestruktur



Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Informatik 4 (Verteilte Systeme und Betriebssysteme), F. Hofmann
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage zu Lehrzwecken außerhalb der Universität Erlangen-Nürnber
ist ohne Genehmigung des Autors unzulässig

Programmierparadigmen

Nachrichtensysteme

Prozesse (Threads) versenden und empfangen Nachrichten

Gemeinsamer Speicher

Prozesse benutzen den ASP als Pufferspeicher

Anforderungen für gemeinsam genutzten Speicher

- Beispiel: parallele Bearbeitung von Satellitendaten mit evtl. unterschiedlichen Programmen
- Differenzierte Behandlung der Regionen bei fork: ‘text’-Segmente können gemeinsam genutzt werden
- Manche Regionen (z. B. solche die Dateien beherbergen) können für den erzeugten Prozeß irrelevant sein
- Bei manchen Regionen kann der Anfangszustand relevant sein, aber es sollen erzeugender und erzeugter Prozeß eigene Kopien besitzen
- Algorithmen für Realisierung von gemeinsam genutzten Speicher sowohl für NORMA- als auch für NUMA-Architekturen von Interesse

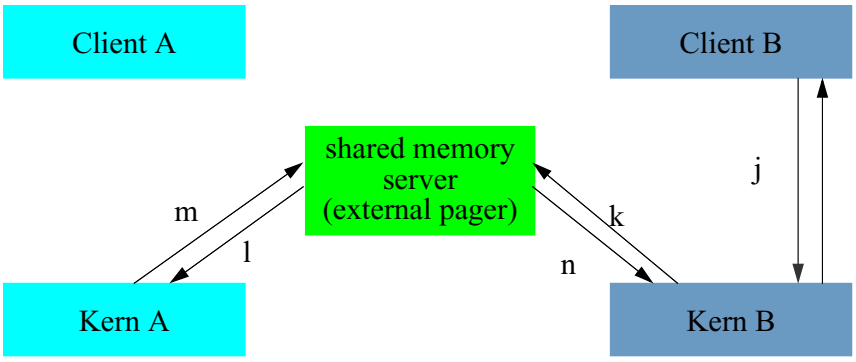
Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Informatik 4 (Verteilte Systeme und Betriebssysteme), F. Hofmann
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage zu Lehrzwecken außerhalb der Universität Erlangen-Nürnber
ist ohne Genehmigung des Autors unzulässig

Wichtige Gesichtspunkte

- Struktur und Granularität
- Kohärenz-Semantik
- Skalierbarkeit
- Implementierung
  - Datenlokalisierung und Zugriff
  - Kohärenzprotokoll (write-invalidate, write-update)
  - Ersetzungsstrategie
  - Seitenflattern (Thrashing)
  - Interaktionsmechanismen

Grundsätzliche Vorgehensweise

Zuletzt von A angesprochene Seite wird von B lesend angesprochen



j	Zugriff mit Seitenfehler
k	data_request
l	lock_request (read only)
m	lock_completed
n	data_provided (read only)

Probleme?

Performanz: Eine Seite könnte ständig zwischen zwei oder mehr Prozessoren hin- und hergeschoben werden

➡ **Seitenflattern (thrashing)**

Lösung: Replizieren von Seiten

➡ **Kohärenzprotokoll erforderlich**

Frage: Anforderungen an das Kohärenzprotokoll anwendungsabhängig

➡ **abgestufte Kohärenzprotokolle**

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage zu Lehrzwecken außerhalb der Universität Erlangen-Nürnber ist ohne Genehmigung des Autors unzulässig

Kohärenzarten

Strikte Konsistenz
Lesen liefert zuletzt geschriebenen Wert

Sequentielle Konsistenz
Die Ausführung erscheint als zeitliche Durchmischung der Operationen, wie sie bei Mehrprozeßbetrieb auftreten kann.

Prozessorkonsistenz
Schreibaufrufe eines Prozessors werden immer in der Reihenfolge ihrer Anforderung sichtbar. Über Anforderungen von verschiedenen Prozessoren kann keine Aussage über die Reihenfolge gemacht werden, in der ihre Ausführung sichtbar wird.

Schwache Konsistenz
Koordinierungsoperationen sind sequentiell konsistent.
Vor Zugriff auf Koord.-Variablen müssen alle Schreibvorgänge abgeschlossen sein.
Zugriff auf Daten nur, wenn alle vorherigen Zugriffe auf Koord.-Variablen abgeschlossen sind.

Freigabe (Release) Konsistenz
Jede der beiden Koordinierungsoperationen acquire und release ist prozessorkonsistent
Vor Ausführung von release müssen alle vorherigen Schreib- und Lesevorgänge des Prozesses abgeschlossen sein

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage zu Lehrzwecken außerhalb der Universität Erlangen-Nürnber ist ohne Genehmigung des Autors unzulässig

Präzisierung der Vorstellungen

Gharachorloo, K; Lenoski, D.; Laudon J.; Gibbons, P.; Gupta, A.; Hennessy, J.: Memory Consistency and Event Ordering in Scalable Shared-Memory Multiprocessors. Proc. 17th Annual Int. Symp. on Computer Architecture, May 28-31, 1990, Seattle Washington, pp.15-26.

Bezeichnungen

- **Eine Load-Operation eines Prozessors P_i wird zu einem Zeitpunkt als *ausgeführt bezüglich Pk* betrachtet, wenn ein späterer Anstoß einer Store-Operation durch P_k das Ergebnis der Load-Operation nicht beeinflussen kann.**
- **Eine Store-Operation eines Prozessors wird zu einem Zeitpunkt als *ausgeführt bezüglich Pk* betrachtet, wenn ein späterer Anstoß einer LOAD-Operation durch P_k den Wert liefert, den die Store-Operation oder eine spätere, die gleiche Speicherstelle betreffende geschrieben hat.**
- **Eine Speicheroperation gilt als *ausgeführt*, wenn sie bezüglich aller Prozessoren ausgeführt ist.**
- **Eine Load-Operation gilt als *global ausgeführt*, wenn sie ausgeführt ist und die Store-Operation, die die Ursache für den erhaltenen Wert ist, ausgeführt ist.**

Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Informatik 4 (Verteilte Systeme und Betriebssysteme), F. Hofmann
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage zu Lehrzwecken außerhalb der Universität Erlangen-Nürnber
ist ohne Genehmigung des Autors unzulässig

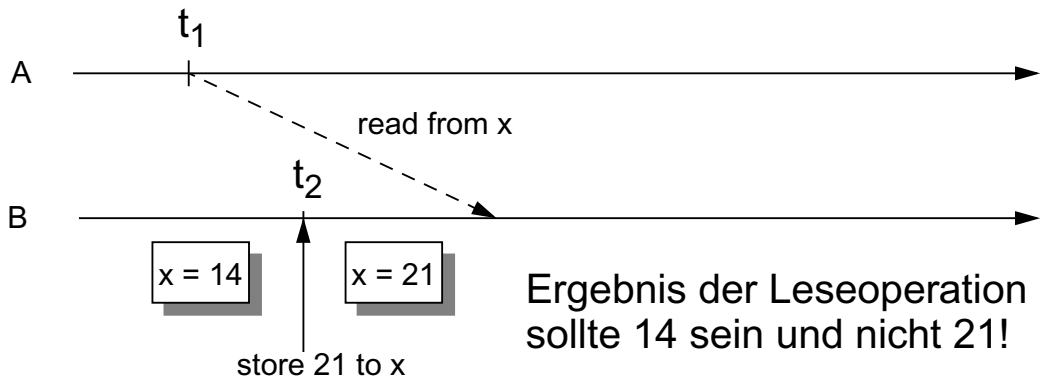
In den folgenden Kohärenz-Definitionen wird stillschweigend vorausgesetzt, daß unter Prozessoren nur Monoprozessoren verstanden werden und ihre eigene Befehl

sarbeitung die übliche Ausführungs-Reihenfolge einhält.

Strikte Konsistenz

Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Informatik 4 (Verteilte Systeme und Betriebssysteme), F. Hofmann
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage zu Lehrzwecken außerhalb der Universität Erlangen-Nürnber
ist ohne Genehmigung des Autors unzulässig

Lesen liefert zuletzt geschriebenen Wert



Ergebnis der Leseoperation sollte 14 sein und nicht 21!

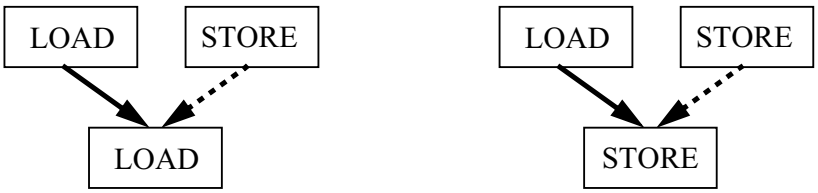
Kaum realisierbar in einem verteilten System

Graphische Charakterisierung verschiedener Konsistenzmodelle

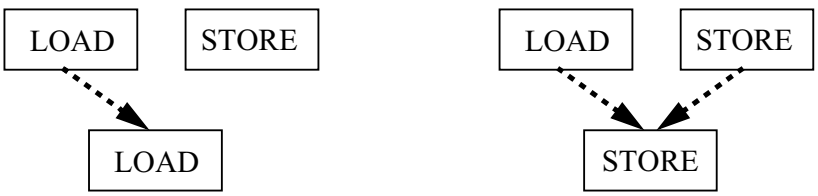
u ⇢ v : v kann bzgl. irgendeines Prozessors erst ausgeführt werden, wenn u ausgeführt ist.

u → v : v kann bzgl. irgendeines Prozessors erst ausgeführt werden, wenn u **global** ausgeführt ist

Sequentielle Konsistenz



Prozessor-Konsistenz



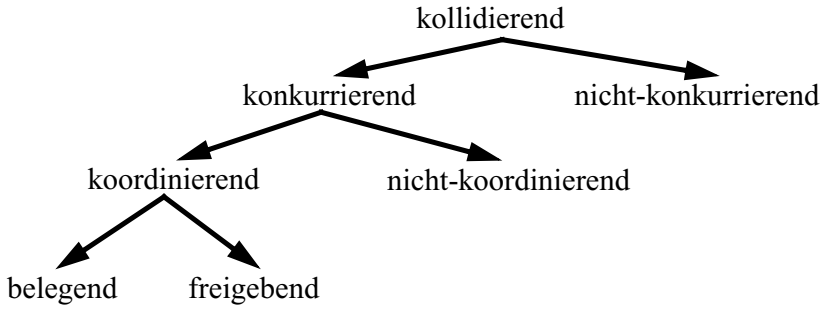
Klassifikation von Speicherzugriffen

Mehrere Speicherzugriffe sind

- **kollidierend (conflicting), wenn sie den gleichen Speicherort betreffen und wenigstens einer eine STORE-Operation ist;**
- **konkurrierend (competing), wenn sie kollidieren und gleichzeitig zur Ausführung anstehen können,**
- **koordinierend (synchronizing), wenn sie zur Erzwingung von Ausführungsreihenfolgen konkurrierender Zugriffe benutzt werden.**

Sie sind unterteilbar in

- **Belegoperationen (acquire) und**
- **Freigabeoperationen (release)**



Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Informatik 4 (Verteilte Systeme und Betriebssysteme), F. Hofmann
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage zu Lehrzwecken außerhalb der Universität Erlangen-Nürnber
ist ohne Genehmigung des Autors unzulässig

Jede Speicheroperation eines Programms sei mit einer der Marken

m_kollidierend, m_konkurrierend, m_nicht_konkurrierend, m_koordinierend, m_nicht_koordinierend, m_belegend oder m_freigebend

markiert.

Definition

Ein Programm enthält genügend koordinierende Zugriffe, wenn folgendes gilt:

Es seien u und v zwei beliebige, kollidierende Zugriffe der beiden Fäden P_u und P_v, von denen wenigstens einer mit m_konkurrierend markiert ist. Dann muß bei jedem Ablauf, in dem v nach (vor) u ausgeführt wird, wenigstens ein mit m_koordinierend markierter Schreibzugriff (Lesezugriff) von P_u existieren und ein ebenso markierter Lesezugriff (Schreibzugriff) von P_v, die u und v so trennen, daß der Schreibaufruf vor dem Leseaufruf erfolgt.

Der Schreibaufruf muß mit m_freigebend, der Leseaufruf mit m_belegend markiert sein.

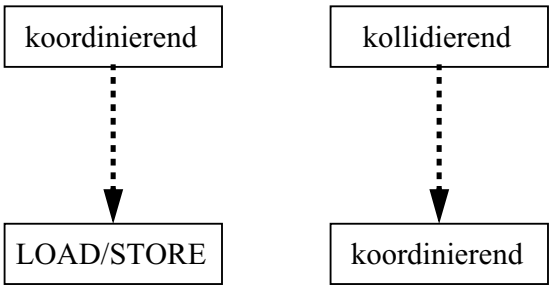
Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Informatik 4 (Verteilte Systeme und Betriebssysteme), F. Hofmann
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage zu Lehrzwecken außerhalb der Universität Erlangen-Nürnber
ist ohne Genehmigung des Autors unzulässig

Ein Programm heißt richtig markiert, wenn gilt:

- **Alle kollidierenden Zugriffe sind mit m_kollidierend markiert,**
- **alle konkurrierenden Zugriffe sind mit m_konkurrierend markiert und**
- **das Programm enthält (im vorangehend definierten Sinne) genügend mit m_koordinierend markierte Zugriffe.**

Weitere Konsistenzmodelle:

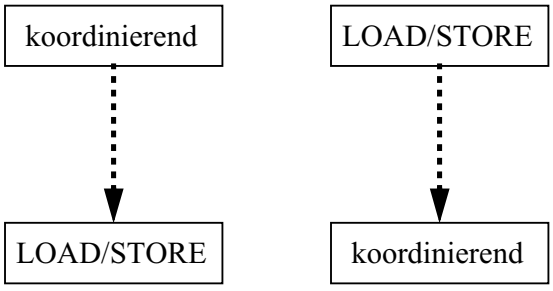
Schwache Konsistenz



Koordinierende Zugriffe untereinander sequentiell konsistent

Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Informatik 4 (Verteilte Systeme und Betriebssysteme), F. Hofmann
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage zu Lehrzwecken außerhalb der Universität Erlangen-Nürnber
ist ohne Genehmigung des Autors unzulässig

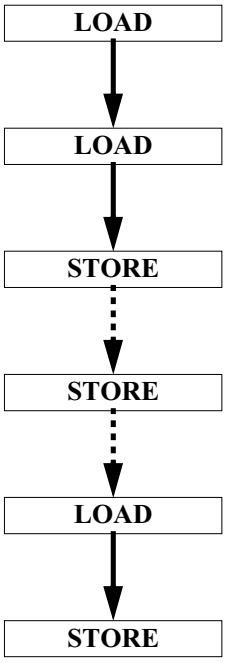
Freigabe-Konsistenz



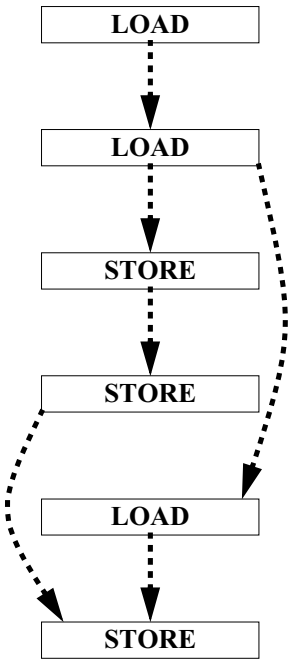
Koordinierende Zugriffe untereinander prozessor-konsistent

Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Informatik 4 (Verteilte Systeme und Betriebssysteme), F. Hofmann
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage zu Lehrzwecken außerhalb der Universität Erlangen-Nürnber
ist ohne Genehmigung des Autors unzulässig

Modellhafte Beispiele

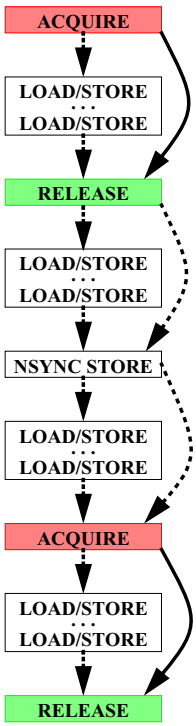


Sequentielle Konsistenz

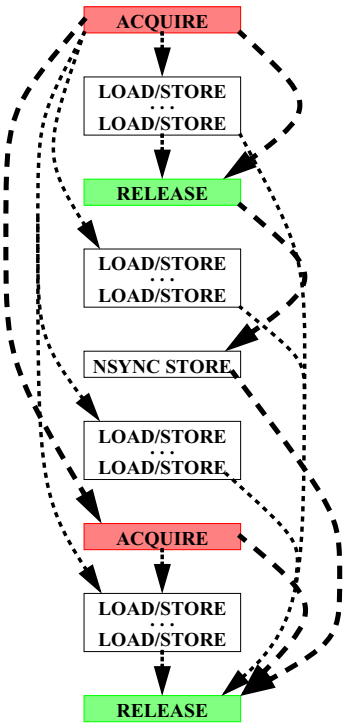


Prozessor-Konsistenz

Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Informatik 4 (Verteilte Systeme und Betriebssysteme), F. Hofmann
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage zu Lehrzwecken außerhalb der Universität Erlangen-Nürnber
ist ohne Genehmigung des Autors unzulässig



Schwache Konsistenz



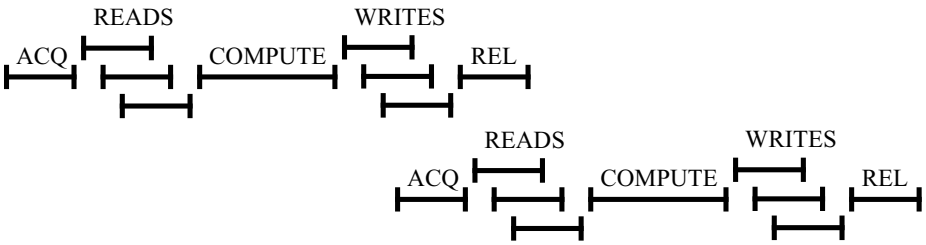
Freigabe-Konsistenz

Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Informatik 4 (Verteilte Systeme und Betriebssysteme), F. Hofmann
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage zu Lehrzwecken außerhalb der Universität Erlangen-Nürnber
ist ohne Genehmigung des Autors unzulässig

Überlappung bei der Bearbeitung einer verteilten Hash-Tabelle

Sequentielle Konsistenz

Schwache Konsistenz



Freigabe-Konsistenz

Satz: Richtig markierte Programme liefern bei Freigabe-Konsistenz dieselben Ergebnisse wie bei sequentieller Konsistenz.

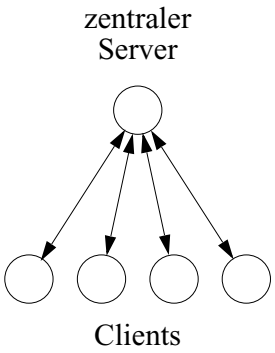
Beweis: Siehe eingangs angegebene Literaturstelle.

Algorithmen für die Plazierung von Seiten

	nicht vervielfachend	vervielfachend
Nicht migrierend	zentralisiert (central server)	allgemein vervielfachend (full-replication)
migrierend	migrierend (migration)	vervielfachend für Lesezugriff (read-replication)

Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Informatik 4 (Verteilte Systeme und Betriebssysteme), F. Hofmann
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage zu Lehrzwecken außerhalb der Universität Erlangen-Nürnber
ist ohne Genehmigung des Autors unzulässig

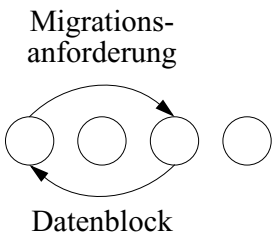
Zentraler Server (Central-server algorithm)



Client	zentraler Server
Datenanforderung senden	
	Anforderung entgegennehmen Datenzugriff durchführen Antwort senden
Antwort entgegennehmen	

Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Informatik 4 (Verteilte Systeme und Betriebssysteme), F. Hofmann
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage zu Lehrzwecken außerhalb der Universität Erlangen-Nürnber
ist ohne Genehmigung des Autors unzulässig

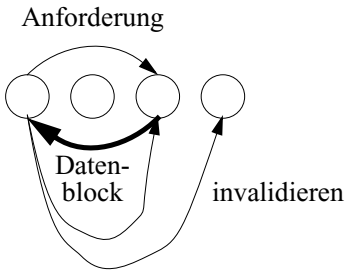
Migrationsalgorithmus



Client	Verwalter
Falls Block nicht lokal, Speicherort ermitteln und Anforderung senden	
	Anforderung entgegennehmen Block senden
Antwort entgegennehmen Datenzugriff durchführen	

Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Informatik 4 (Verteilte Systeme und Betriebssysteme), F. Hofmann
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage zu Lehrzwecken außerhalb der Universität Erlangen-Nürnber
ist ohne Genehmigung des Autors unzulässig

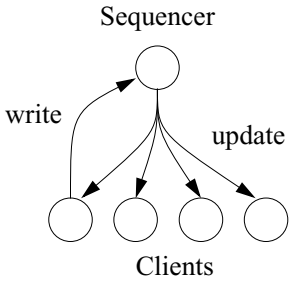
Vervielfachung für lesenden Zugriff (Schreibaufruf)



Client	Verwalter
Falls Block nicht lokal, Speicherort ermitteln und Anforderung senden	
	Anforderung entgegennehmen Block senden
Antwort entgegennehmen Invalidierung an alle anderen	
	Invalidierung vollziehen
Zugriff	

Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Informatik 4 (Verteilte Systeme und Betriebssysteme), F. Hofmann
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage zu Lehrzwecken außerhalb der Universität Erlangen-Nürnber
ist ohne Genehmigung des Autors unzulässig

Allgemeine Replikation



Client	Sequencer	Verwalter
Falls ‘write’ Daten an Sequencer		
	Sequenznummer anfügen Multicast	
		Daten empfangen ‘update’ lokal
Ausführung bestätigt ‘update’ lokal		

Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Informatik 4 (Verteilte Systeme und Betriebssysteme), F. Hofmann
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage zu Lehrzwecken außerhalb der Universität Erlangen-Nürnber
ist ohne Genehmigung des Autors unzulässig

Vergleichende Analyse

Stumm, M.; Zhou, S.: Algorithms Implementing Distributed Shared Memory. Computer, May 1990, pp. 54-64.

- **p** — **Zeit für Versenden oder Empfangen einer kurzen Nachricht (einige Byte) typischerweise einige msec**
- **P** — **Zeit für Versenden oder Empfangen einer langen Nachricht (8 KByte) typischerweise 20 bis 40 msec**
- **S** — **Zahl beteiligter Knoten**
- **r** — **Zahl der Leseaufrufe relativ zur Zahl der Schreibaufrufe**
- **f** — **Wahrscheinlichkeit für einen Zugriffsfehler bei Zugriff zu nicht-replizierten Datenblöcken unter dem Migrationsalgorithmus**
- **f’** — **Wahrscheinlichkeit für einen Zugriffsfehler bei Zugriff zu nicht-replizierten Datenblöcken bei Vervielfachung für lesenden Zugriff**

Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Informatik 4 (Verteilte Systeme und Betriebssysteme), F. Hofmann
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage zu Lehrzwecken außerhalb der Universität Erlangen-Nürnber
ist ohne Genehmigung des Autors unzulässig

Zentraler Server	$C_z = \left(1 - \frac{1}{S}\right)4p$
Migration	$C_m = f(2P + 4p)$
Lesevervielfachung	$C_{lv} = f'\left(2P + 4p + \frac{Sp}{r+1}\right)$
Allg. Replikation	$C_{av} = \frac{1}{r+1}(S+2)p$
Typischerweise:	$P \approx 20p$

Lesevervielfachung besser

Zentraler Server besser

Migration besser

Lesevervielfachung besser

Lesevervielfachung besser

Allgemeine Replikation besser

Allg. Repl. besser

Zentraler Server besser