



Ludwig Maximilians Universität München
Institut für Informatik
Lehr- und Forschungseinheit für Datenbanksysteme

Datenbanksysteme II
Kapitel 3: Logging & Recovery

Skript zur Vorlesung
Datenbanksysteme II
Sommersemester 2007

Kapitel 3: Logging & Recovery

Vorlesung: Christian Böhm
Übungen: Elke Achtert, Peter Kunath, Alexey Pryakhin

Skript © 2006 Christian Böhm

<http://www.dbs.informatik.uni-muenchen.de/Lehre/DBSII>



Inhalt

Datenbanksysteme II
Kapitel 3: Logging & Recovery

1. Recovery-Arten
2. Logging-Techniken
3. Abhängigkeiten zu anderen Systemkomponenten
4. Sicherungspunkte



Transaktions-Recovery

Transaktionsfehler

- Lokaler Fehler einer noch nicht festgeschriebenen TA, z.B. durch
 - Fehler im Anwendungsprogramm
 - Expliziter Abbruch der TA durch den Benutzer (ROLLBACK)
 - Verletzung von Integritätsbedingungen oder Zugriffsrechten
 - Rücksetzung aufgrund von Synchronisationskonflikten
- Behandlung durch **Rücksetzen**
 - *Lokales UNDO*: der ursprüngliche DB-Zustand wie zu BOT wird wiederhergestellt, d.h. Rücksetzen aller Aktionen, die diese TA ausgeführt hat
 - Transaktionsfehler treten relativ häufig auf
 - Behebung innerhalb von Millisekunden notwendig



Crash Recovery

Systemfehler

- Fehler mit Hauptspeicherverlust, d.h. permanente Speicher sind *nicht* betroffen, z.B. durch
 - Stromausfall
 - Ausfall der CPU
 - Absturz des Betriebssystems, ...
- Behandlung durch **Crash Recovery** (Warmstart)
 - *Globales UNDO*: Rücksetzen aller noch nicht abgeschlossenen TAs, die **bereits** in die DB eingebracht wurden
 - *Globales REDO*: Nachführen aller bereits abgeschlossenen TAs, die **noch nicht** in die DB eingebracht wurden
 - Systemfehler treten i.d.R. im Intervall von Tagen auf
 - Recoverydauer einige Minuten



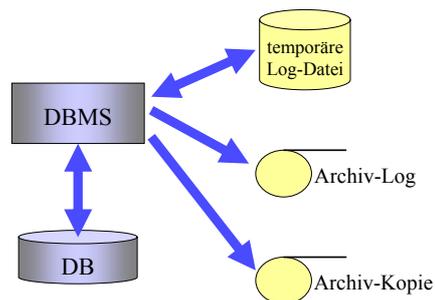
Geräte-Recovery

Medienfehler

- Fehler mit Hintergrundspeicherverlust, d.h. Verlust von permanenten Daten, z.B. durch
 - Plattencrash
 - Brand, Wasserschaden, ...
 - Fehler in Systemprogrammen, die zu einem Datenverlust führen
- Behandlung durch **Geräte-Recovery** (Kaltstart)
 - Aufsetzen auf einem früheren, gesicherten DB-Zustand (Archivkopie)
 - *Globales REDO*: Nachführen aller TAs, die nach dem Erzeugen der Sicherheitskopie abgeschlossen wurden
 - Medienfehler treten eher selten auf (mehrere Jahre)
 - Recoverydauer einige Stunden / Tage
 - Wichtig: regelmäßige Sicherungskopien der DB notwendig



Systemkomponenten der DB-Recovery



- Behandlung von Transaktions- und Systemfehlern
 $DB + \text{temporäre Log-Datei} \rightarrow DB$
- Behandlung von Medienfehlern
 $Archiv-Kopie + Archiv-Log \rightarrow DB$



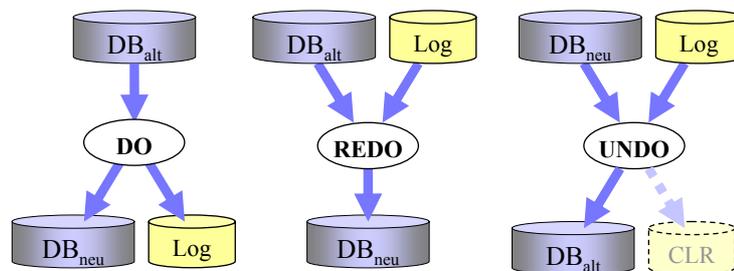
Inhalt

1. Recovery-Arten
2. Logging-Techniken
3. Abhängigkeiten zu anderen Systemkomponenten
4. Sicherungspunkte



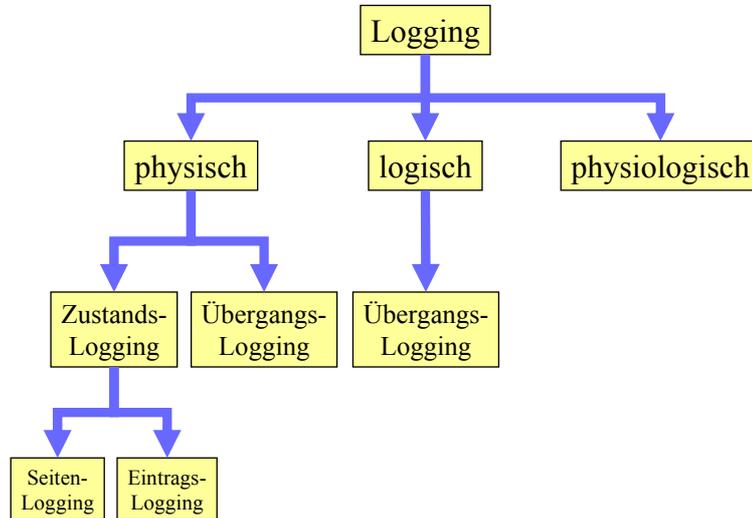
Aufgaben des Logging

- Für jede Änderungsoperation auf der Datenbank im Normalbetrieb (**DO**) benötigt man Protokolleinträge für
 - **REDO**: Information zum Nachvollziehen der Änderungen erfolgreicher TAs
 - **UNDO**: Information zum Zurücknehmen der Änderungen unvollständiger TAs





Klassifikation von Logging-Verfahren



Physisches Logging (1)

- Protokoll auf der Ebene der physischen Objekte (Seiten, Datensätze, Indexeinträge)
- **Zustandslogging**
 - Protokollierung der Werte vor und nach jeder Änderung:
 - Alte Zustände *BFIM* (Before-Images) und neue Zustände *AFIM* (After-Images) der geänderten Objekte werden in die Log-Datei geschrieben
- **Zustandslogging auf Seitenebene**
 - vollständige Kopien von Seiten werden protokolliert
 - Recovery sehr einfach und schnell, da Seiten einfach zurückkopiert werden
 - sehr großer Logumfang und hohe I/O-Kosten auch bei nur kleinen Änderungen
 - Seitenlogging impliziert Seitensperren → hohe Konfliktrate bei Synchronisation



Physisches Logging (2)

- **Zustandslogging auf Eintragebene**
 - statt ganzer Seiten werden nur tatsächlich geänderte Einträge protokolliert
 - kleinere Sperrgranulate als Seiten möglich
 - Protokollgröße reduziert sich typischerweise um mindestens eine Größenordnung
 - Log-Einträge werden in Puffer gesammelt → wesentlich weniger Plattenzugriffe
 - Recovery ist aufwändiger: zu ändernde Datenbankseiten müssen vollständig in den Hauptspeicher geladen werden, um die Log-Einträge anwenden zu können



Physisches Logging (3)

- **Übergangslogging**
 - Protokollierung der Zustandsdifferenz zwischen *BFIM* und *AFIM*
 - Aus *BFIM* muss *AFIM* berechenbar sein (u.u.)
 - Realisierbar durch *XOR*-Operation \oplus (eXclusive-OR):

	Zustands-Logging	Übergangs-Logging
DO Änderung $A_{alt} \rightarrow A_{neu}$	Protokollierung von $BFIM = A_{alt}, AFIM = A_{neu}$	Protokollierung von $D = A_{alt} \oplus A_{neu}$
REDO (in DB liegt A_{alt})	Überschreibe A_{alt} mit <i>AFIM</i>	$A_{neu} = A_{alt} \oplus D$
UNDO (in DB liegt A_{neu})	Überschreibe A_{neu} mit <i>BFIM</i>	$A_{alt} = A_{neu} \oplus D$

XOR:
 $0 \oplus 0 = 0$
 $0 \oplus 1 = 1$
 $1 \oplus 0 = 1$
 $1 \oplus 1 = 0$



Logisches Logging (1)

- Spezielle Form des Übergangs-Logging: nicht physische Zustandsänderungen protokollieren, sondern Änderungsoperationen mit ihren aktuellen Parametern
- **Vorteil:** Protokoll auf hoher Abstraktionsebene ermöglicht kurze Log-Einträge
- **Probleme für REDO**
Änderungen umfassen typischerweise mehrere Seiten (Tabelle, Indexe)
 - Atomares Einbringen der Mehrfachänderungen schwierig.
 - Logische Änderungen sind aufwändiger durchzuführen als physische Änderungen



Logisches Logging (2)

- **Probleme für UNDO**
Mengenorientierte Änderungen können sehr aufwändige Protokolleinträge verursachen:
 - Bsp. `DELETE FROM Products WHERE Group = 'G1'`
=> *UNDO* erfordert viele Einfügungen, falls Produktgruppe G1 umfangreich ist
 - Bsp. `UPDATE Products SET Group = 'G2' WHERE Group = 'G1'`
=> *UNDO* muss alte und neue Produkte der Gruppe G2 unterscheiden



Physiologisches Logging

- Kombination von physischem und logischem Logging:
Protokollierung von *elementaren Operationen innerhalb einer Seite*
- **Physical-to-a-page**
 - Protokollierungseinheiten sind geänderte Seiten
 - gut verträglich mit Pufferverwaltung und direktem (atomarem) Einbringen
- **Logical-within-a-page**
 - logische Protokollierung der Änderungen auf einer Seite
- **Bewertung**
 - Log-Einträge beziehen sich nicht auf mehrere Seiten wie bei logischem Logging
 - Dadurch einfachere Recovery als bei logischem Logging
 - Log-Datei ist länger als bei logischem Logging aber kürzer als bei physischem Logging
 - Flexibler als physisches Logging wegen variabler Objektpositionen auf Seiten.



Aufbau der Log-Datei (1)

- **Art der Protokolleinträge**
 - Beginn, Commit und Rollback von Transaktionen
 - Änderungen des DB-Zustandes durch Transaktionen
 - Sicherungspunkte (Checkpoints)
- **Struktur der Log-Einträge für Änderungen**
(*LSN, TA-Id, Page-Id, REDO, UNDO, PrevLSN*)
 - *LSN (Log Sequence Number)*: eindeutige Kennung des Log-Eintrags in chronologischer Reihenfolge
 - *TA-Id*: eindeutige Kennung der TA, die die Änderung durchgeführt hat
 - *Page-Id*: Kennung der Seite auf der die Änderungsoperation vollzogen wurde (ein Eintrag pro geänderter Seite)
 - *REDO*: gibt an, wie die Änderung nachvollzogen werden kann
 - *UNDO*: beschreibt, wie die Änderung rückgängig gemacht werden kann
 - *PrevLSN*: Zeiger auf vorhergehenden Log-Eintrag der jeweiligen TA (Effizienzgründe)



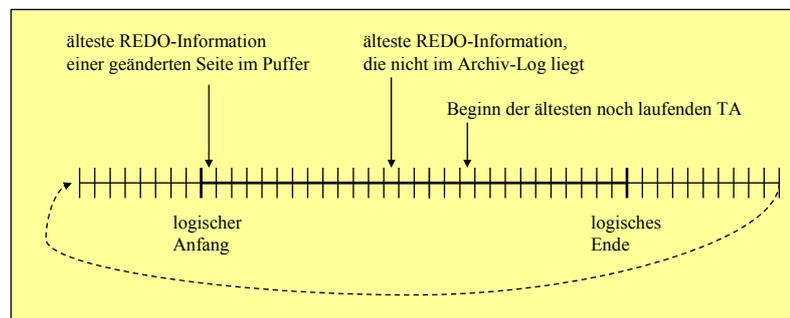
Aufbau der Log-Datei (2)

- Log ist eine **sequentielle** Datei: Schreiben neuer Protokolldaten an das aktuelle Dateiende
- Log-Daten sind für **Crash-Recovery** nur begrenzte Zeit relevant:
 - *UNDO*-Sätze für erfolgreich beendete TAs werden nicht mehr benötigt
 - Nach Einbringen der Seite in die DB wird *REDO*-Information nicht mehr benötigt
- *REDO*-Information für **Geräte-Recovery** ist im Archiv-Log zu sammeln



Aufbau der Log-Datei (3)

- **Ringpuffer-Organisation** der Log-Datei





Beispiel einer Log-Datei

Ablauf T_1	Ablauf T_2	Log-Eintrag <i>(LSN, TA-Id, Page-Id, REDO, UNDO, PrevLSN)</i>
begin		(#1, T_1 , begin, 0)
read(A, a_1)		(#2, T_2 , begin, 0)
$a_1 := a_1 - 50$	begin	
write (A, a_1)	read(C, c_2) //80	(#3, T_1 , p_A , $A-=50$, $A+=50$, #1)
	$c_2 := 100$	
read(B, b_1) //70	write (C, c_2)	(#4, T_2 , p_C , $C=100$, $C=80$, #2)
$b_1 := 50$		
write (B, b_1)		(#5, T_1 , p_B , $B=50$, $B=70$, #3)
commit		(#6, T_1 , commit, #5)
	read(A, a_2)	
	$a_2 := a_2 - 100$	
	write (A, a_2)	(#7, T_2 , p_A , $A-=100$, $A+=100$, #4)
	commit	(#8, T_2 , commit, #7)

19

(hier: logisches Logging)



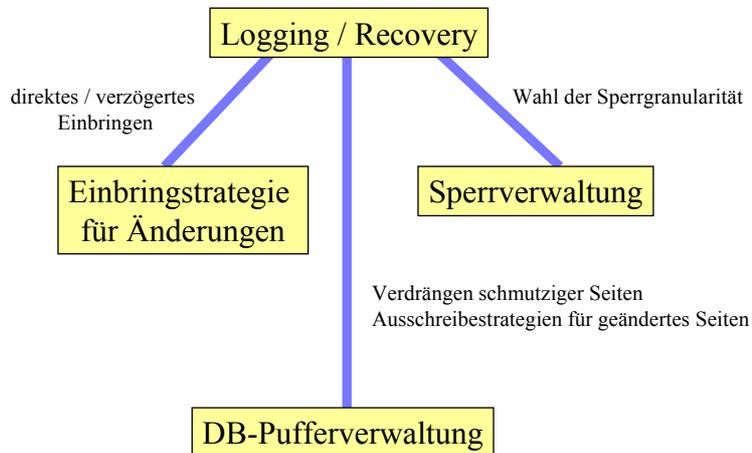
Inhalt

1. Recovery-Arten
2. Logging-Techniken
3. Abhängigkeiten zu anderen Systemkomponenten
4. Sicherungspunkte

20



Abhängigkeiten zu anderen Systemkomponenten



Einbringstrategien (1)

- **Direktes Einbringen (*NonAtomic, Update-in-Place*)**
 - Geänderte Objekte werden immer auf denselben Block auf Platte zurück geschrieben
 - Schreiben ist dadurch gleichzeitig Einbringen in die permanente DB
 - Es ist nicht möglich mehrere Seiten *atomic* einzubringen, d.h. Unterbrechungsfreiheit des Einbringens kann nicht garantiert werden (*NonAtomic*).



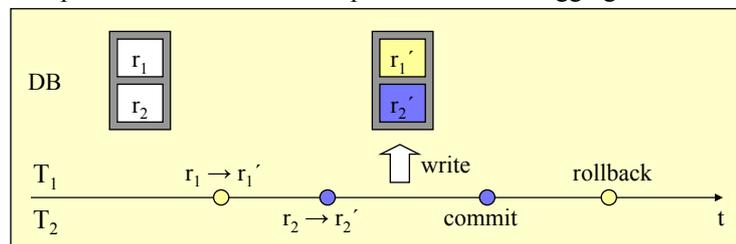
Einbringstrategien (2)

- **Indirektes (verzögertes) Einbringen (*Atomic*)**
 - Ziel: Einbringen in die Datenbank wird unterbrechungsfrei durchgeführt
 - Geänderte Seite wird in separaten Block auf Platte geschrieben (z.B. *Schattenspeichertechnik* oder *Twin-Block-Verfahren*)
 - Einbringen in die DB kann von *COMMIT* losgelöst werden und z.B. erst beim nächsten Sicherungspunkt stattfinden (*verzögertes Einbringen*)
 - Atomares Einbringen mehrerer geänderter Seiten ist durch Umschalten von Seitentabellen möglich (*Atomic*)
 - Alte Versionen der Objekte bleiben erhalten, d.h. es muss keine *UNDO*-Information explizit gespeichert werden



Einfluss der Sperrgranularität

- Log-Granularität muss kleiner oder gleich der Sperrgranularität sein, sonst Lost Updates möglich
- D.h. Satzsperrern erzwingen feine Log-Granulate
- Beispiel für Problem bei “Satzsperrern mit Seitenlogging”



- T₁ und T₂ ändern die Datensätze r₁ und r₂, die auf derselben DB-Seite liegen
- Die Seite wird in die DB zurück geschrieben, T₂ endet mit *COMMIT*
- Falls T₁ zurückgesetzt wird, geht auch die Änderung r₂ → r₂' verloren
- Lost Update, d.h. eklatanter Verstoß gegen die Dauerhaftigkeit des *COMMIT*



Pufferverwaltung (1)

- **Verdrängungsstrategien**

Ersetzung „schmutziger“ Seiten im Puffer, d.h. $\text{Seite}_{\text{Puffer}} \neq \text{Seite}_{\text{DB}}$

- **No-Steal**

- Schmutzige Seiten dürfen nicht aus dem Puffer entfernt werden
- DB enthält keine Änderungen nicht-erfolgreicher TAs
- *UNDO*-Recovery ist nicht erforderlich
- Probleme bei langen Änderungs-TAs, da große Teile des Puffers blockiert werden

- **Steal**

- Schmutzige Seiten dürfen jederzeit ersetzt und in die DB eingebracht werden
- DB kann unbestätigte Änderungen enthalten
- *UNDO*-Recovery ist erforderlich
- effektivere Puffernutzung bei langen TAs mit vielen Änderungen



Pufferverwaltung (2)

- **Ausschreibestrategien (*EOT*-Behandlung)**

- **Force**

- Alle geänderte Seiten werden spätestens bei *EOT* (vor *COMMIT*) in die DB geschrieben
- keine *REDO*-Recovery erforderlich bei Systemfehler
- sehr hoher I/O-Aufwand, da Änderungen jeder TA einzeln geschrieben werden
- Vielzahl an Schreibvorgängen führt zu schlechteren Antwortzeiten, länger gehaltenen Sperren und damit zu mehr Sperrkonflikten
- Große DB-Puffer werden schlecht genutzt

- **No-Force**

- Änderungen können auch erst nach dem *COMMIT* in die DB geschrieben werden
- Beim *COMMIT* werden lediglich *REDO*-Informationen in die Log-Datei geschrieben
- *REDO*-Recovery erforderlich bei Systemfehler
- Änderungen auf einer Seite über mehrere TAs hinweg können gesammelt werden



Pufferverwaltung (3)

- Kombination der Verdrängungs- und Ausschreibestrategien

	No-Steal	Steal
Force	kein <i>UNDO</i> – kein <i>REDO</i> (nicht für Update-in-Place)	<i>UNDO</i> – kein <i>REDO</i>
No-Force	kein <i>UNDO</i> – <i>REDO</i>	<i>UNDO</i> – <i>REDO</i>

- Bewertung **Steal / No-Force**
 - erfordert zwar *UNDO* als auch *REDO*, ist aber allgemeinste Lösung
 - beste Leistungsmerkmale im Normalbetrieb
- Bewertung **No-Steal / Force**
 - optimiert den Fehlerfall auf Kosten des Normalfalls (sehr teures *COMMIT*)
 - für *Update-in-Place* nicht durchführbar:
 - wegen *No-Steal* dürfen Änderungen erst nach *COMMIT* in die DB gelangen, was jedoch *Force* widerspricht (*No-Steal* → *No-Force*)
 - wegen *Force* müssten Änderungen vor dem *COMMIT* in der DB stehen, was bei *Update-in-Place* unterbrochen werden kann, *UNDO* wäre nötig (*Force* → *Steal*)



WAL-Prinzip und COMMIT-Regel

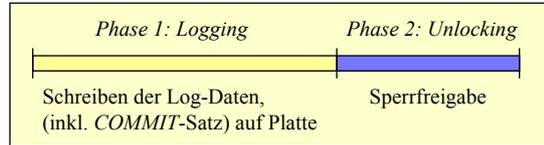
Fundamentale Regeln zum korrekten Wiederanlauf im Fehlerfall:

- **WAL-Prinzip (*Write-Ahead-Log*)**
 - *UNDO*-Information (z.B. *BFIM*) muss vor Änderung der DB im Protokoll stehen
 - Wichtig, um schmutzige Änderungen rückgängig machen zu können
 - Nur relevant für *Steal*
 - Wichtig bei direktem Einbringen
- **COMMIT-Regel (*Force-Log-at-Commit*)**
 - *REDO*-Information (z.B. *AFIM*) muss vor dem *COMMIT* im Protokoll stehen
 - Voraussetzung zur Durchführbarkeit der Crash-Recovery bei *No-Force*
 - Erforderlich für Geräte-Recovery (auch bei *Force*)
 - Gilt für direkte und indirekte Einbringstrategien gleichermaßen
- Bemerkung:
Um die chronologische Reihenfolge im Ringpuffer zu wahren, werden alle Log-Einträge bis zum letzten notwendigen ausgeschrieben, d.h. es werden keine Log-Einträge übergangen



COMMIT-Verarbeitung (1)

• Standard Zwei-Phasen-Commit



- *Phase 1: Logging*
 - Überprüfen der verzögerten Integritätsbedingungen
 - Logging der *REDO*-Informationen incl. *COMMIT*-Satz
- *Phase 2: Unlocking*
 - Freigabe der Sperren (Sichtbarmachen der Änderungen)
 - Bestätigung des *COMMIT* an das Anwendungsprogramm
- *Problem: COMMIT-Regel verlangt Ausschreiben des Log-Puffers bei jedem COMMIT*
 - Beeinträchtigung für kurze TAs, deren Log-Daten weniger als eine Seite umfassen
 - Durchsatz an TAs ist eingeschränkt



COMMIT-Verarbeitung (2)

• Gruppen-Commit

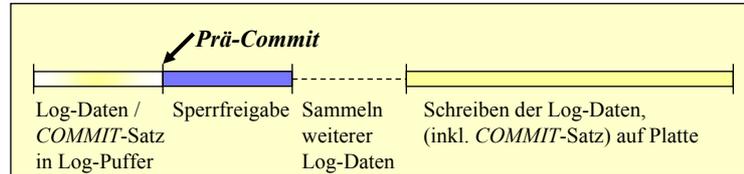


- Log-Daten mehrerer Transaktionen werden im Puffer gesammelt
- Log-Puffer wird auf Platte geschrieben, sobald Puffer gefüllt ist oder nach Timeout
- Vorteil: Reduktion der Plattenzugriffe und höhere Transaktionsraten möglich
- Nachteil: längere Sperrdauer führt zu längeren Antwortzeiten
- wird von zahlreichen DBS unterstützt



COMMIT-Verarbeitung (3)

• Prä-Commit



- Vermeidung der langen Sperrzeiten des Gruppen-Commit indem Sperren bereits freigegeben werden, wenn *COMMIT*-Satz im Log-Puffer steht
- Ist Prä-Commit zulässig?
 - *Normalfall*: ändernde TA kommt erfolgreich zu Ende, Änderungen sind gültig
 - *Fehlerfall*: Abbruch der TA nur noch durch Systemfehler möglich; bei Systemfehler werden auch die anderen laufenden TAs abgebrochen, "schmutziges Lesen" kann sich also nicht auf DB auswirken



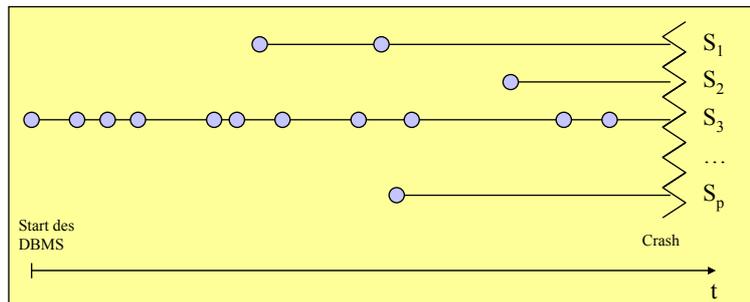
Inhalt

1. Recovery-Arten
2. Logging-Techniken
3. Abhängigkeiten zu anderen Systemkomponenten
4. Sicherungspunkte



Sicherungspunkte (1)

- Maßnahme zur Begrenzung des *REDO*-Aufwands nach Systemfehlern
- Ohne Sicherungspunkte müssten potentiell alle Änderungen seit Start des DBMS wiederholt werden
- Besonders kritisch: Hot-Spot-Seiten, die (fast) nie aus dem Puffer verdrängt werden



Sicherungspunkte (2)

- **Durchführung von Sicherungspunkten**
 - Spezielle Log-Einträge:
BEGIN_CHKPT
Info über laufende TAs
END_CHKPT
 - *LSN* des letzten vollständig ausgeführten Sicherungspunktes wird in Restart-Datei geführt
- **Häufigkeit von Sicherungspunkten**
 - *zu selten*: hoher *REDO*-Aufwand
 - *zu oft*: hoher Overhead im Normalbetrieb
 - z.B. Sicherungspunkte nach bestimmter Anzahl von Log-Sätzen einfügen



Direkte Sicherungspunkte

- **Charakterisierung**

- Alle geänderten Seiten werden in die persistente DB (Platte) geschrieben
- Zeitbedarf steigt mit dem zeitlichen Abstand der Sicherungspunkte
- Multi-Page-Access hilft, Schreibkopf-Positionierungen zu minimieren
- *REDO*-Recovery kann beim letzten vollständig ausgeführten Checkpoint beginnen

- **3 Arten**

- Transaktions-orientierte Sicherungspunkte (**TOC**)
- Transaktions-konsistente Sicherungspunkte (**TCC**)
- Aktions-konsistente Sicherungspunkte (**ACC**)



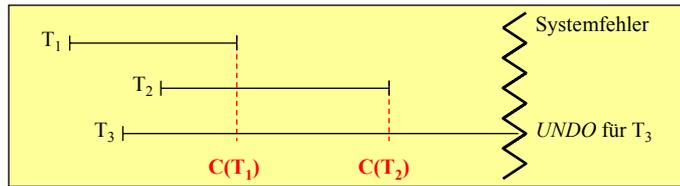
Transaktions-orientierte Sicherungspunkte: **TOC** (1)

- **TOC** = *Force*, d.h. Ausschreiben aller Änderungen beim *COMMIT*
- Nicht alle Seiten im Puffer werden geschrieben, sondern nur Änderungen der jeweiligen TA
- Sicherungspunkt bezieht sich immer auf genau eine TA
- **UNDO-Recovery**
Bei *Update-in-Place* ist *UNDO* nötig (*Force* → *Steal*), *UNDO* beginnt dann beim letzten Sicherungspunkt
- **REDO-Recovery** nicht nötig



Transaktions-orientierte Sicherungspunkte: **TOC** (2)

- **Vorteile:**
 - keine *REDO* nötig
 - Implementierung ist einfach in Kombination mit Seitensperren
- **Nachteil:** (sehr) aufwändiger Normalbetrieb, insbesondere für Hot-Spot-Seiten
- **Beispiel:** Sicherungspunkte bei *COMMIT* von T_1 und T_2 , deshalb kein *REDO* nötig



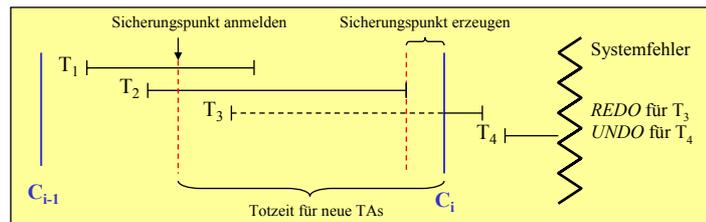
Transaktions-konsistente Sicherungspunkte: **TCC** (1)

- DB wird in TA-konsistenten Zustand gebracht, d.h. keine schmutzigen Änderungen
- Während der Sicherung dürfen keine Änderungs-TAs aktiv sein
- Sicherungspunkt bezieht sich immer auf alle TAs
- *UNDO*- und *REDO-Recovery* sind durch letzten Sicherungspunkt begrenzt
- **Ablauf:**
 - Anmeldung des Sicherungspunktes
 - Warten, bis alle Änderungs-TAs abgeschlossen sind
 - Erzeugen des Sicherungspunktes
 - Verzögerung neuer Änderungs-TAs bis zum Abschluss der Sicherung



Transaktions-konsistente Sicherungspunkte: **TCC** (2)

- **Vorteil:** *UNDO*- und *REDO*-Recovery beginnen beim letzten Sicherungspunkt (im Beispiel: C_i), d.h. es sind nur TAs betroffen, die nach der letzten Sicherung gestartet wurden (hier: T_3, T_4)
- **Nachteil:** lange Wartezeiten (“Totzeiten”) im System
- **Beispiel:**



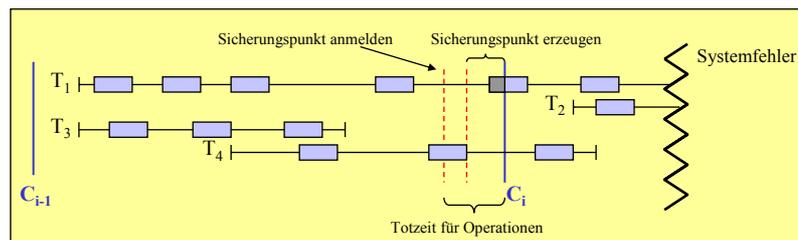
Aktions-konsistente Sicherungspunkte: **ACC** (1)

- Blockierung nur auf Operationenebene, nicht mehr für ganze TAs
- Keine Änderungsoperationen während der Sicherung
- **UNDO-Recovery** beginnt bei $MinLSN$ = kleinste LSN aller noch aktiven TAs des letzten Sicherungspunktes
- **REDO-Recovery** durch letzten Sicherungspunkt begrenzt
- **Ablauf:**
 - Anmelden des Sicherungspunktes
 - Beendigung aller laufenden Änderungsoperationen abwarten (im Beispiel: T_4)
 - Erzeugen des Sicherungspunktes
 - Verzögerung neuer Änderungsoperationen bis zum Abschluss der Sicherung (im Beispiel: T_1)



Aktions-konsistente Sicherungspunkte: ACC (2)

- **Vorteil:** Totzeit des Systems für Änderungen deutlich reduziert
- **Nachteil:** Geringere Qualität der Sicherungspunkte
 - schmutzige Änderungen können in die Datenbank gelangen
 - zwar *REDO*-, nicht jedoch *UNDO*-Recovery durch letzten Sicherungspunkt begrenzt
- **Beispiel:**



Indirekte Sicherungspunkte (1)

- **Charakterisierung**
 - Direkte Sicherungspunkte: hoher Aufwand bei großen DB-Puffern nicht akzeptabel
 - Indirekte Sicherungspunkte: Änderungen werden nicht vollständig ausgeschrieben
 - DB hat keinen Aktions- oder TA-konsistenten Zustand, sondern *unscharfen (fuzzy)* Zustand
- **Erzeugung eines indirekten Sicherungspunktes**
 - im wesentlichen Logging des Status von laufenden TAs und geänderten Seiten
 - minimaler Schreibaufwand, keine nennenswerte Unterbrechung des Betriebs



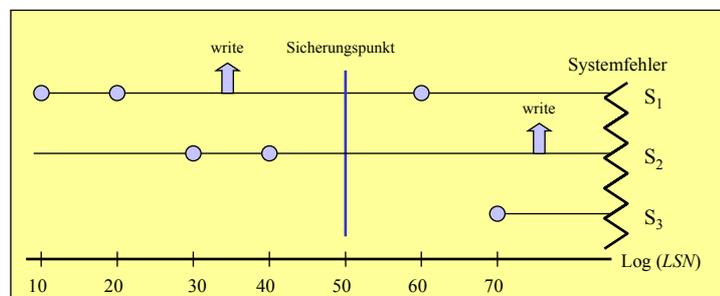
Indirekte Sicherungspunkte (2)

- **Ausschreiben von DB-Änderungen**
 - außerhalb der Sicherungspunkte, asynchron zur laufenden TA-Verarbeitung
 - länger nicht mehr referenzierte Seiten werden vorausschauend ausgeschrieben
 - Sonderbehandlung für Hot-Spot-Seiten nötig, die praktisch nie ersetzt werden:
 - zwangsweises Ausschreiben bei bestimmtem Log-Umfang
 - Anlegen einer Kopie, um keine Verzögerung für neue Änderungen zu verursachen
- **UNDO-Recovery** beginnt bei $MinLSN$
- **REDO-Recovery**
 - Startpunkt ist nicht mehr durch letzten Sicherungspunkt gegeben, auch weiter zurückliegende Änderungen müssen ggf. wiederholt werden
 - Zu jeder geänderten Seite wird $StartLSN$ vermerkt (LSN der 1. Änderung seit Einlesen von Platte)
 - $REDO$ beginnt bei $MinDirtyPageLSN = \min(StartLSN)$



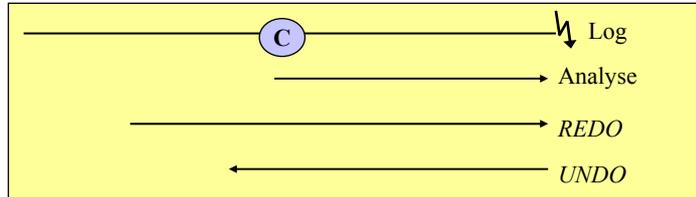
Indirekte Sicherungspunkte (3)

- **Beispiel:**
 - beim Sicherungspunkt stehen S_1 und S_2 geändert im Puffer
 - älteste noch nicht ausgeschriebene Änderung ist auf Seite S_2
 - $MinDirtyPageLSN$ hat also den Wert 30, dort muss $REDO$ -Recovery beginnen





Allgemeine Prozedur der Crash-Recovery (1)



1. Analyse-Phase

- Lies Log-Datei vom letzten Sicherungspunkt bis zum Ende
- Bestimmung von Gewinner- und Verlierer-TAs, sowie der Seiten, die von ihnen geändert wurden
 - *Gewinner*: TAs, für die ein *COMMIT*-Satz im Log vorliegt
 - *Verlierer*: TAs, für die ein *ROLLBACK*-Satz bzw. kein *COMMIT*-Satz vorliegt
- Ermittle alle weiteren Seiten, die nach dem Checkpoint geändert wurden



Allgemeine Prozedur der Crash-Recovery (2)

2. REDO-Phase

- Vorwärtslesen der Log-Datei: Startpunkt ist abhängig vom Sicherungspunkttyp
- Aufgabe: Wiederholen der Änderungen, die noch nicht in der DB vorliegen
- zwei Ansätze:
 - vollständiges *REDO* (*redo all*): Alle Änderungen werden wiederholt
 - selektives *REDO*: Nur die Änderungen der Gewinner-TAs werden wiederholt



Allgemeine Prozedur der Crash-Recovery (3)

3. *UNDO*-Phase

- Rückwärtslesen der Log-Datei bis zum *BOT*-Satz der ältesten Verlierer TA
- Aufgabe: Zurücksetzen der Verlierer-TAs
- Fertig wenn Beginn der ältesten TA erreicht ist, die bei letztem Checkpoint aktiv war
- abhängig von *REDO*-Vorgehen:
 - vollständiges *REDO*: nur zum Fehlerzeitpunkt noch laufende TAs zurücksetzen
 - selektives *REDO*: alle Verlierer-TAs zurücksetzen (beendete und unbeendete)

4. Abschluß der Recovery durch einen Sicherungspunkt