
Kapitel 3

Synchronisation

Vorlesung: Dr. Matthias Schubert

Skript © 2009 Matthias Schubert

Dieses Skript basiert auf dem Skript zur Vorlesung Datenbanksysteme II von Prof. Dr. Christian Böhm gehalten im Sommersemester 2007 an der LMU München und dem Skript von Dr. Peer Kröger gehalten im Sommersemester 2008

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

3 Synchronisation

Übersicht

- 3.1 Einleitung
- 3.2 Serialisierbarkeit von Transaktionen
- 3.3 Sperrverfahren (Locking)
- 3.4 Behandlung von Verklemmungen
- 3.5 Synchronisation ohne Sperren

3.1 Einleitung

Synchronisation (Concurrency Control)

- Serielle Ausführung von Transaktionen
 - unerwünscht, da die Leistungsfähigkeit des Systems beeinträchtigt ist
 - Folgen: niedriger Durchsatz, hohe Wartezeiten
- Mehrbenutzerbetrieb
 - führt i.A. zu einer besseren Auslastung des Systems (z.B. Wartezeiten bei E/A-Vorgängen können zur Bearbeitung anderer Transaktionen genutzt werden)
- Aufgabe der Synchronisation
 - Gewährleistung des *logischen Einbenutzerbetriebs*, d.h. innerhalb einer TA ist ein Benutzer von den Aktivitäten anderer Benutzer nicht betroffen

39

3.1 Einleitung

Anomalien im Mehrbenutzerbetrieb

- Klassifikation
 - Verloren gegangene Änderungen (*Lost Updates*)
 - Zugriff auf „schmutzige“ Daten (*Dirty Read / Dirty Write*)
 - Nicht-reproduzierbares Lesen (*Non-Repeatable Read*)
 - Phantomproblem
- Beispiel: Flugdatenbank

Passagiere	FlugNr	Name	Platz	Gepäck
	LH745	Müller	3A	8
	LH745	Meier	6D	12
	LH745	Huber	5C	14
	BA932	Schmidt	9F	9
	BA932	Huber	5C	14

40

3.1 Einleitung

Lost Updates

- Änderungen einer TA können durch Änderungen anderer TA überschrieben werden und dadurch verloren gehen
- Bsp.: Zwei Transaktionen T1 und T2 führen je eine Änderung auf demselben Objekt aus
 - T1: UPDATE Passagiere SET Gepäck = Gepäck+3
 WHERE FlugNr = LH745 AND Name = „Meier“;
 - T2: UPDATE Passagiere SET Gepäck = Gepäck+5
 WHERE FlugNr = LH745 AND Name = „Meier“;

41

3.1 Einleitung

Lost Updates (cont.)

- Möglicher Ablauf

T1	T2
<pre>read(Passagiere.Gepäck, x1); x1 := x1+3; write(Passagiere.Gepäck, x1);</pre>	<pre>read(Passagiere.Gepäck, x2); x2 := x2 + 5; write(Passagiere.Gepäck, x2);</pre>

- In der DB ist nur die Änderung von T1 wirksam, die Änderung von T2 ist verloren gegangen
→ Verstoß gegen *Durability*

42

3.1 Einleitung

Dirty Read / Dirty Write

- Zugriff auf „schmutzige“ Daten, d.h. auf Objekte, die von einer noch nicht abgeschlossenen Transaktion geändert wurden
- Beispiel:
 - T1 erhöht das Gepäck um 3 kg, wird aber später abgebrochen
 - T2 erhöht das Gepäck um 5 kg und wird erfolgreich abgeschlossen

43

3.1 Einleitung

Dirty Read / Dirty Write

- Möglicher Ablauf:

T1	T2
<pre>UPDATE Passagiere SET Gepäck = Gepäck+3; ROLLBACK;</pre>	<pre>UPDATE Passagiere SET Gepäck = Gepäck+5; COMMIT;</pre>

- Durch Abbruch von T1 werden die geänderten Werte ungültig, die T2 gelesen hat (*Dirty Read*). T2 setzt weitere Änderungen darauf auf (*Dirty Write*)
 - Verstoß gegen
 - *Consistency*: Ablauf verursacht inkonsistenten DB-Zustand
oder
 - *Durability*: T2 muss zurückgesetzt werden

44

3.1 Einleitung

Non-Repeatable Read

- Eine Transaktion sieht während ihrer Ausführung unterschiedliche Werte desselben Objekts
- Beispiel:
 - T1 liest das Gepäckgewicht der Passagiere auf Flug BA932 zwei mal
 - T2 bucht den Platz 3F auf dem Flug BA932 für Passagier Meier mit 5kg Gepäck

45

3.1 Einleitung

Non-Repeatable Read

- Möglicher Ablauf:

T1	T2
<pre>SELECT Gepäck FROM Passagiere WHERE FlugNr = „BA932“;</pre>	<pre>INSERT INTO Passagiere VALUES (BA932, Meier, 3F, 5); COMMIT;</pre>
<pre>SELECT Gepäck FROM Passagiere WHERE FlugNr = „BA932“;</pre>	

- Die beiden SELECT-Anweisungen von Transaktion T1 liefern unterschiedliche Ergebnisse, obwohl T1 den DB-Zustand nicht geändert hat
→ Verstoß gegen *Isolation*

46

3.1 Einleitung

Phantomproblem

- Ausprägung (Spezialfall) des nicht-reproduzierbaren Lesens, bei der neu generierte Daten, sowie meist bei der 2. TA Aggregat-Funktionen beteiligt sind
- Bsp.:
 - T1 druckt die Passagierliste sowie die Anzahl der Passagiere für den Flug LH745
 - T2 bucht den Platz 7D auf dem Flug LH745 für Phantomas

47

3.1 Einleitung

Phantomproblem

- Möglicher Ablauf

T1	T2
<pre>SELECT * FROM Passagiere WHERE FlugNr = „LH745“; SELECT COUNT(*) FROM Passagiere WHERE FlugNr = „ LH745“;</pre>	<pre>INSERT INTO Passagiere VALUES (LH745, Phantomas, 7D, 2); COMMIT;</pre>

- Für Transaktion T1 erscheint Phantomas noch nicht auf der Passagierliste, obwohl er in der danach ausgegebenen Anzahl der Passagiere berücksichtigt ist

48

3 Synchronisation

Übersicht

- 3.1 Einleitung
- 3.2 Serialisierbarkeit von Transaktionen
- 3.3 Sperrverfahren (Locking)
- 3.4 Behandlung von Verklemmungen
- 3.5 Synchronisation ohne Sperren

3.2 Serialisierbarkeit von Transaktionen

Motivation

- Bearbeitung von Transaktionen
 - Nebenläufigkeit vor den Benutzern verbergen

 - Transparent für den Benutzer, als ob
 - TAs (in einer beliebigen Reihenfolge) hintereinander ausgeführt werden
- und NICHT als ob
- TAs ineinander verzahnt ablaufen und sich dadurch (unbeabsichtigt) beeinflussen

3.2 Serialisierbarkeit von Transaktionen

Schedules

- Allgemeiner Schedule:
Ein Schedule („Historie“) für eine Menge $\{T_1, \dots, T_n\}$ von Transaktionen ist eine Folge von Aktionen, die durch Mischen der Aktionen der Transaktionen T_i entsteht, wobei die Reihenfolge innerhalb der jeweiligen Transaktion beibehalten wird.
- Frage: Warum darf die Reihenfolge der Aktionen innerhalb einer TA nicht verändert werden?

51

3.2 Serialisierbarkeit von Transaktionen

Schedules (cont.)

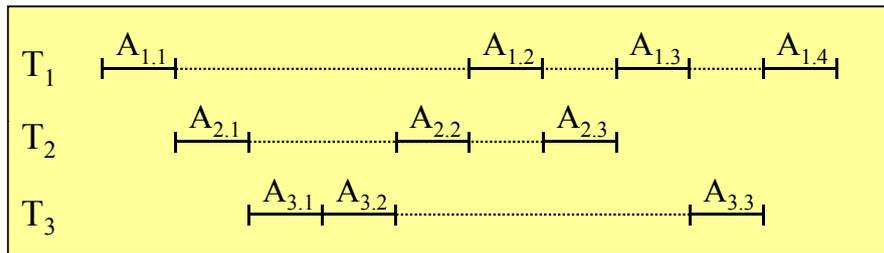
- Serieller Schedule:
Ein serieller Schedule ist ein Schedule S von $\{T_1, \dots, T_n\}$, in dem die Aktionen der einzelnen Transaktionen nicht untereinander verzahnt sondern in Blöcken hintereinander ausgeführt werden.
- Serialisierbarer Schedule:
Ein Schedule S von $\{T_1, \dots, T_n\}$ ist serialisierbar, wenn er dieselbe Wirkung hat wie ein beliebiger serieller Schedule von $\{T_1, \dots, T_n\}$.
- **Nur serialisierbare Schedules dürfen zugelassen werden!**

52

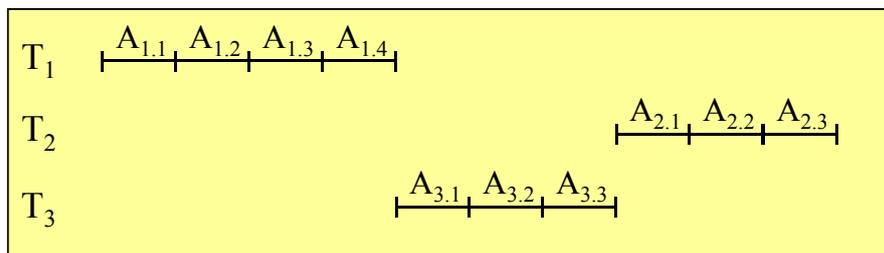
3.2 Serialisierbarkeit von Transaktionen

Schedules: Beispiel

– Beliebiger Schedule:



– Serieller Schedule:



53

3.2 Serialisierbarkeit von Transaktionen

Wirkung von Schedules

- Frage: Wann haben zwei Schedules S1 und S2 die gleiche Wirkung auf den Datenbank-Inhalt?
- Achtung:
 - Gleiches Ergebnis kann u.a. Ergebnis eines Zufalls sein
 - Dies könnte aber nur durch nachträgliches Überprüfen der Datenbank-Zustände nach S1 und S2 festgestellt werden.

54

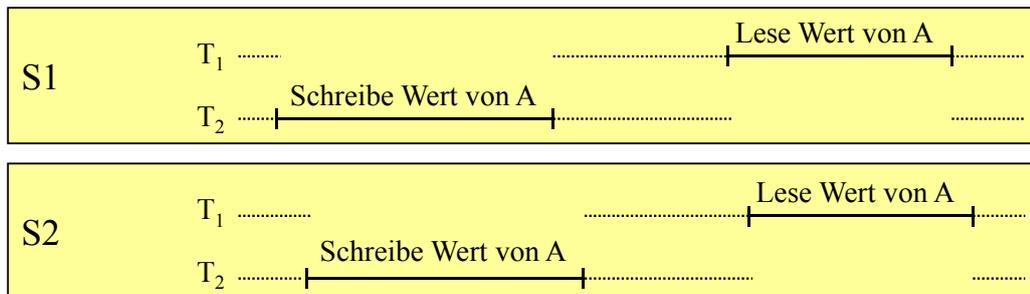
3.2 Serialisierbarkeit von Transaktionen

Wirkung von Schedules (cont.)

- Wir benötigen ein objektivierbares Kriterium:

Konflikt-Äquivalenz

- Idee:** Wenn in S1 eine Transaktion T_1 z.B. einen Wert liest, den T_2 geschrieben hat, dann muss das auch in S2 so sein.



- Wir sprechen hier von einer Schreib-Lese-Abhängigkeit (bzw. Konflikt) zwischen T_2 und T_1 (in Schedule S1 und S2)

55

3.2 Serialisierbarkeit von Transaktionen

Abhängigkeiten

Sei S ein Schedule. Wir sprechen von einer

- Schreib-Lese-Abhängigkeit** von $T_i \rightarrow T_j$
 - Es existiert Objekt x , so dass in S $w_i(x)$ vor $r_j(x)$ kommt
 - Abkürzung: **wr_{ij}(x)**
- Lese-Schreib-Abhängigkeit** von $T_i \rightarrow T_j$
 - Es existiert Objekt x , so dass in S $r_i(x)$ vor $w_j(x)$ kommt
 - Abkürzung: **rw_{ij}(x)**
- Schreib-Schreib-Abhängigkeit** von $T_i \rightarrow T_j$
 - Es existiert Objekt x , so dass in S $w_i(x)$ vor $w_j(x)$ kommt
 - Abkürzung: **ww_{ij}(x)**

56

3.2 Serialisierbarkeit von Transaktionen

Konfliktäquivalenz von Schedules

- Zwei Schedules S_1 und S_2 heißen konfliktäquivalent, wenn
 - S_1 und S_2 die gleichen Transaktions- und Aktionsmengen besitzen, d.h. wenn beide Schedules dieselben Operationen ausführen.
 - S_1 und S_2 die gleichen Abhängigkeitsmengen besitzen, d.h. wenn in der Abhängigkeitsmenge von S_1 z.B. die Schreib-Lese-Abhängigkeit " $w_j(x)$ vor $r_j(x)$ " vorkommt, dann muss diese auch in der Abhängigkeitsmenge von S_2 vorkommen.
- Zwei konflikt-äquivalente Schedules haben die gleiche Wirkung auf den Datenbank-Inhalt. (Gilt die Umkehrung?)

57

3.2 Serialisierbarkeit von Transaktionen

Konfliktäquivalenz von Schedules

- Beispiel: $S_1 = (r_1(x), r_1(y), r_2(x), w_2(x), w_1(x), w_1(y))$
 $S_2 = (r_2(x), r_1(x), r_1(y), w_2(x), w_1(x), w_1(y))$
 $S_3 = (r_1(x), r_1(y), r_2(x), w_1(x), w_2(x), w_1(y))$
 $S_4 = (r_2(x), r_1(y), r_1(x), w_2(x), w_1(y), w_1(x))$
 - Aktionsmengen von S_1 , S_2 und S_3 sind identisch
 - Abhängigkeitsmengen:
 $A_{S_1} = \{(r_1(x), w_2(x)), (r_2(x), w_1(x)), (w_2(x), w_1(x))\}$
 $A_{S_2} = \{(r_2(x), w_1(x)), (r_1(x), w_2(x)), (w_2(x), w_1(x))\}$
 $A_{S_3} = \{(r_1(x), w_2(x)), (r_2(x), w_1(x)), (w_1(x), w_2(x))\}$
 - Schedule S_1 und S_2 sind konfliktäquivalent
 - Schedule S_1 und S_3 , bzw. S_2 und S_3 sind nicht konfliktäquivalent
 - Schedule S_4 ist kein Schedule derselben Transaktionen, da die Aktionen transaktionsintern vertauscht sind.

58

3.2 Serialisierbarkeit von Transaktionen

Serialisierungs-Graph

- Überprüfung, ob ein Schedule von $\{T_1, \dots, T_n\}$ serialisierbar ist (d.h. ob ein *konflikt-äquivalenter serieller Schedule existiert*)
- Die beteiligten Transaktionen $\{T_1, \dots, T_n\}$ sind die *Knoten* des Graphen
- Die *Kanten* beschreiben die Abhängigkeiten der Transaktionen: Eine Kante $T_i \rightarrow T_j$ wird eingetragen, falls im Schedule
 - $w_i(x)$ vor $r_j(x)$ kommt: Schreib-Lese-Abhängigkeiten $wr(x)$
 - $r_i(x)$ vor $w_j(x)$ kommt: Lese-Schreib-Abhängigkeiten $rw(x)$
 - $w_i(x)$ vor $w_j(x)$ kommt: Schreib-Schreib-Abhängigkeiten $ww(x)$

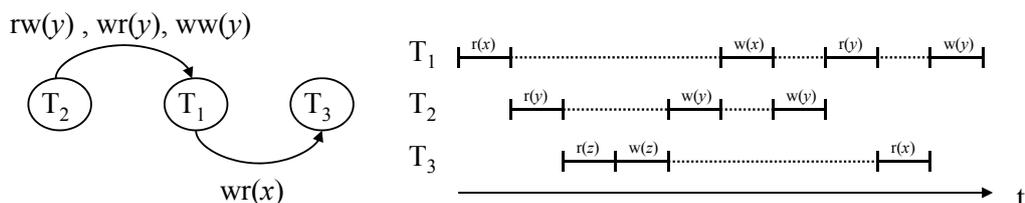
Die Kanten werden mit der Abhängigkeit beschriftet.

59

3.2 Serialisierbarkeit von Transaktionen

Serialisierungs-Graph

- Es gilt:
 - Ein Schedule ist serialisierbar, falls der Serialisierungs-Graph **zyklenfrei** ist
 - Einen zugehörigen konfliktäquivalenten seriellen Schedule erhält man durch topologisches Sortieren des Graphen
 - Es kann i.A. mehrere serielle Schedules geben.
 - Beispiel:
 $S = (r_1(x), r_2(y), r_3(z), w_3(z), w_2(y), w_1(x), w_2(y), r_1(y), r_3(x), w_1(y))$



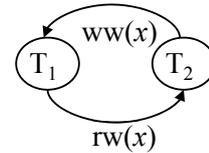
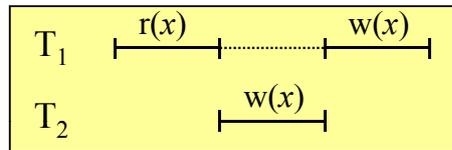
Serialisierungsreihenfolge: (T_2, T_1, T_3)

60

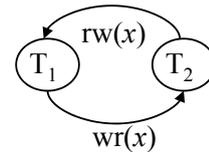
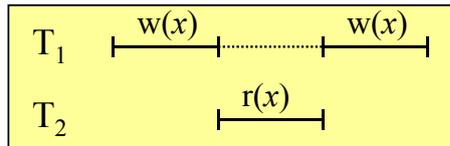
3.2 Serialisierbarkeit von Transaktionen

Beispiele für nicht-serialisierbare Schedules

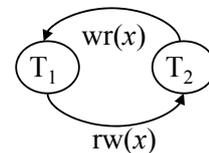
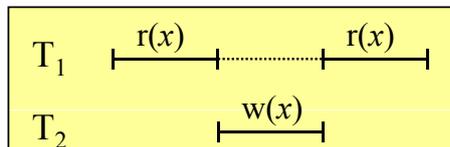
- Lost Update: $S=(r_1(x), w_2(x), w_1(x))$



- Dirty Read: $S=(w_1(x), r_2(x), w_1(x))$



- Non-repeatable Read: $S=(r_1(x), w_2(x), r_1(x))$



61

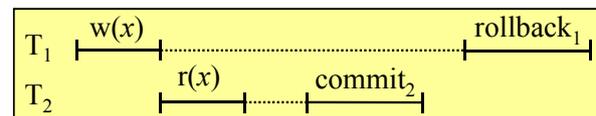
3.2 Serialisierbarkeit von Transaktionen

Rücksetzbare Schedules

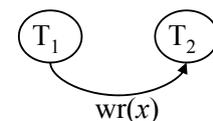
- Bisher: Serialisierbarkeit
- Frage: was passiert, wenn eine Transaktion (z.B. auf eigenen Wunsch) zurückgesetzt wird?

- Beispiel:

- T₁ schreibt Datensatz x
- T₂ liest Datensatz x
- T₂ committed



- Schedule ist serialisierbar, der Serialisierungs-Graph ist zyklensfrei
- ABER



- T₁ wird zurückgesetzt (d.h. Datensatz x wird wieder auf den Ursprungswert zurückgesetzt)
- T₂ müsste eigentlich auch zurückgesetzt werden, hat aber schon committed

62

3.2 Serialisierbarkeit von Transaktionen

Rücksetzbare Schedules (cont.)

- Also: Serialisierbarkeit alleine reicht leider nicht aus, wenn TAs zurückgesetzt werden können
- Rücksetzbarer Schedule:
Eine Transaktion T_i darf erst dann ihr COMMIT durchführen, wenn alle Transaktionen T_j , von denen sie Daten gelesen hat, beendet sind.
- Andernfalls Problem: Falls ein T_j noch zurückgesetzt wird, müsste auch T_i zurückgesetzt werden, was nach COMMIT (T_i) nicht mehr möglich wäre

63

3.2 Serialisierbarkeit von Transaktionen

Rücksetzbare Schedules (cont.)

- Rücksetzbare Schedules können eine Lawine weiterer Rollbacks in Gang setzen:

Schritt	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5
1.	$w_1(A)$				
2.		$r_2(A)$			
3.		$w_2(B)$			
4.			$r_3(B)$		
5.			$w_3(C)$		
6.				$r_4(C)$	
7.				$w_5(D)$	
8.					$r_5(D)$
9.	abort ₁				

- Schedule ohne kaskadierendes Rücksetzen:
Änderungen werden erst nach dem COMMIT für andere Transaktionen zum Lesen freigegeben

64

3.2 Serialisierbarkeit von Transaktionen

Techniken zur Synchronisation

- Verwaltungsaufwand für Serialisierungsgraphen ist in der Praxis zu hoch.
Deshalb: Andere Verfahren, die die Serialisierbarkeit gewährleisten
- Pessimistische Ablaufsteuerung (*Locking*)
 - Konflikte werden vermieden, indem Transaktionen durch Sperren blockiert werden
 - Nachteil: ggf. lange Wartezeiten
 - Vorteil: I.d.R. nur wenig Rücksetzungen aufgrund von Synchronisationsproblemen nötig
 - Standardverfahren

65

3.2 Serialisierbarkeit von Transaktionen

Techniken zur Synchronisation (cont.)

- Optimistische Ablaufsteuerung
 - Transaktionen werden im Konfliktfall zurückgesetzt
 - Transaktionen arbeiten bis zum COMMIT ungehindert.
Anschließend erfolgt Prüfung (z.B. anhand von Zeitstempeln), ob ein Konflikt aufgetreten ist
 - Nur geeignet, falls Konflikte zwischen Schreibern eher selten auftreten

66