



LUDWIG-
MAXIMILIANS-
UNIVERSITY
MUNICH



DEPARTMENT
INSTITUTE FOR
INFORMATICS



DATABASE
SYSTEMS
GROUP

Skript zur Vorlesung:

Datenbanksysteme II

Sommersemester 2014

Kapitel 3 Synchronisation

Vorlesung: PD Dr. Peer Kröger

http://www.dbs.ifi.lmu.de/cms/Datenbanksysteme_II

© Peer Kröger 2014

Dieses Skript basiert im Wesentlichen auf den Skripten zur Vorlesung Datenbanksysteme II an der LMU München von

Prof. Dr. Christian Böhm (SoSe 2007),
PD Dr. Peer Kröger (SoSe 2008, 2014) und
PD Dr. Matthias Schubert (SoSe 2009)



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

3.2 Serialisierbarkeit von Transaktionen

3.3 Sperrverfahren (Locking)

3.4 Behandlung von Verklemmungen

3.5 Synchronisation ohne Sperren

Synchronisation (Concurrency Control)

- Serielle Ausführung von Transaktionen (= *Isolation*)
 - 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

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

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“;
```

- 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**

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

- 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

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

- 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**

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

- 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

3.1 Einleitung

3.2 Serialisierbarkeit von Transaktionen

3.3 Sperrverfahren (Locking)

3.4 Behandlung von Verklemmungen

3.5 Synchronisation ohne Sperren

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

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.
- Allgemeine Schedules bieten offenbar eine beliebige Verzahnung und sind daher aus Performanz-Gründen erwünscht
- Frage: Warum darf die Reihenfolge der Aktionen innerhalb einer TA nicht verändert werden?

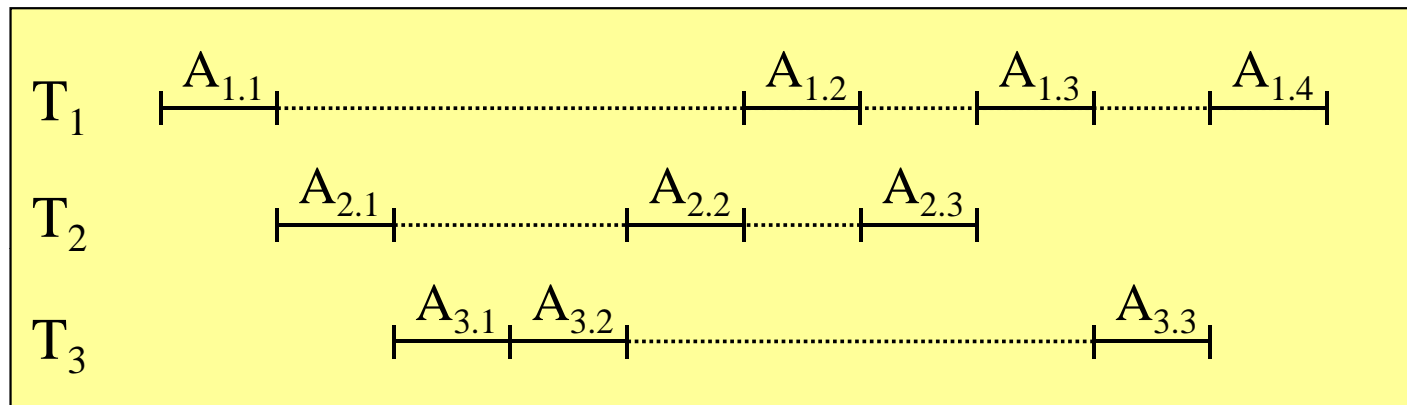
3.2 Serialisierbarkeit von Transaktionen

- Serieller Schedule (=Isolation):
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.
- Aus Sicht des Isolation-Prinzips werden serielle Schedules benötigt

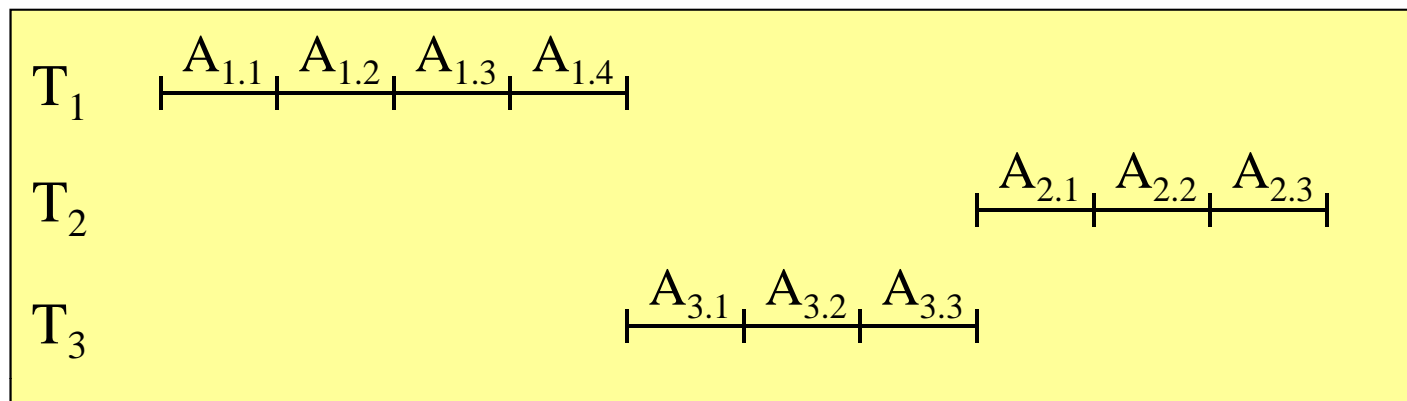
Kompromiss:

- Serialisierbarer Schedule:
Ein (allgemeiner) 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!***

- Beispiele
 - Beliebiger Schedule:



- Serieller Schedule:



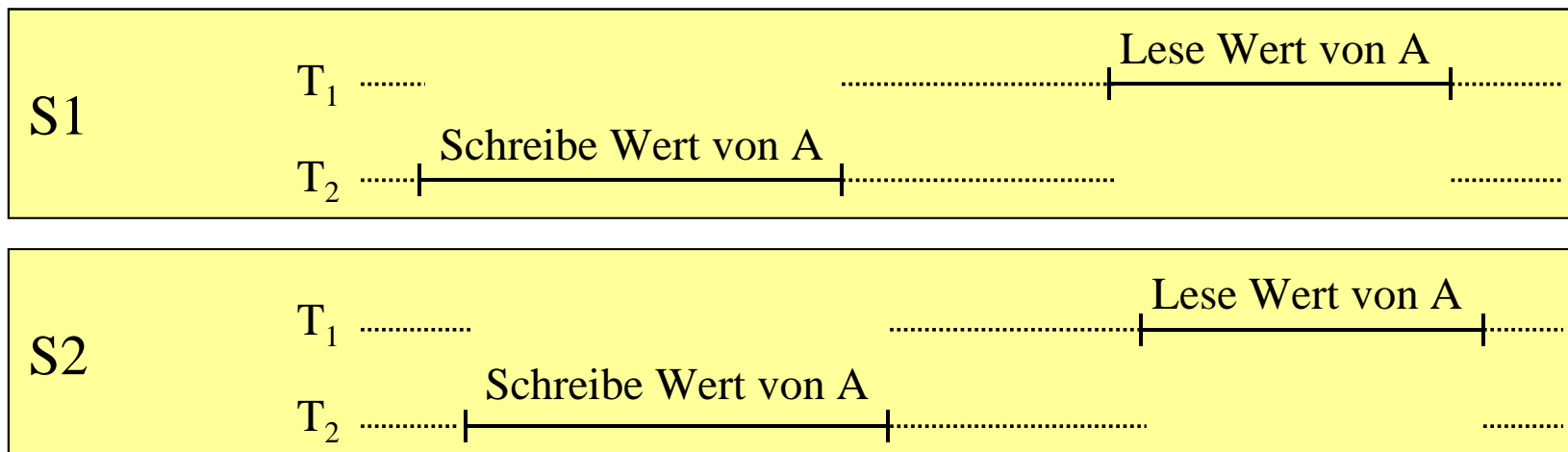
Wirkung von Schedules

- 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.

- 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)

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: $wr_{i,j}(x)$
- 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: $rw_{i,j}(x)$
- 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: $ww_{i,j}(x)$
- Warum keine Lese-Lese-Abhängigkeiten?

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 (für ein Objekt x), 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?)

- Beispiel:

$$S_1 = (r_1(x), r_1(y), r_2(x), w_2(x), w_1(x), w_1(y))$$

$$S_2 = (r_2(x), r_1(x), r_1(y), w_2(x), w_1(x), w_1(y))$$

$$S_3 = (r_1(x), r_1(y), r_2(x), w_1(x), w_2(x), w_1(y))$$

$$S_4 = (r_2(x), r_1(y), r_1(x), w_2(x), w_1(y), w_1(x))$$

$r_i(x) = T_i$ liest x

$w_i(x) = T_i$ schreibt x

- Aktionsmengen von S_1 , S_2 und S_3 sind identisch
- Abhängigkeitsmengen:

$$A_{S_1} = \{rw_{1,2}(x), rw_{2,1}(x), ww_{2,1}(x)\}$$

$$A_{S_2} = \{rw_{2,1}(x), rw_{1,2}(x), ww_{2,1}(x)\}$$

$$A_{S_3} = \{rw_{1,2}(x), rw_{2,1}(x), ww_{1,2}(x)\}$$

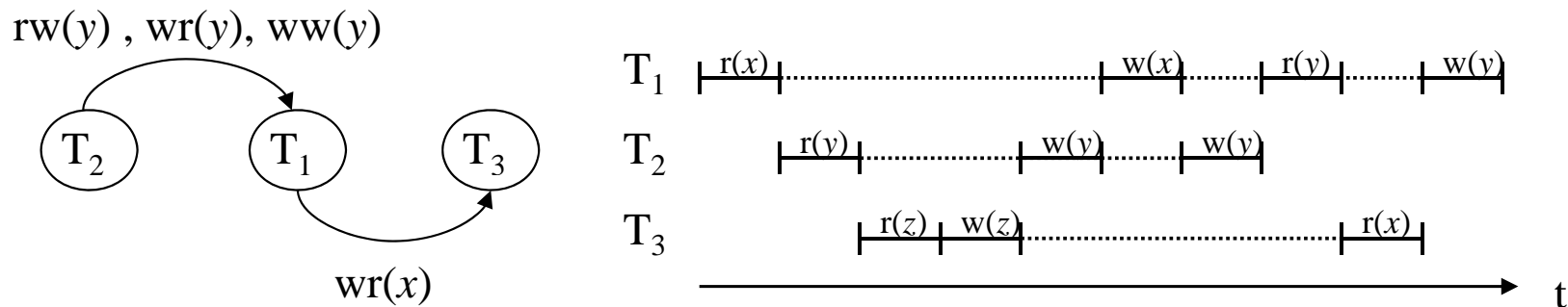
- Schedule S_1 und S_2 sind konfliktäquivalent
- Schedule S_1 und S_3 , bzw. S_2 und S_3 sind nicht konfliktäquivalent
- Schedule S_4 ist kein Schedule derselben Transaktionen, da die Aktionen transaktionsintern vertauscht sind.

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.

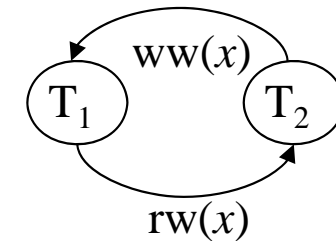
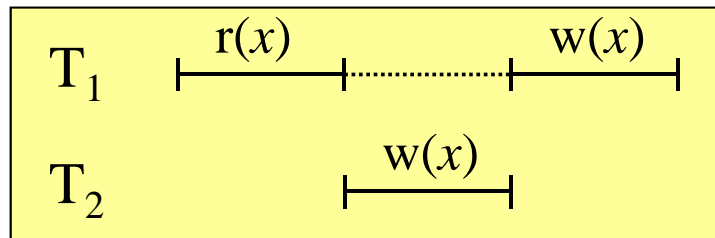
- Es gilt:
 - Ein Schedule ist serialisierbar, falls der Serialisierungs-Graph **zyklenfrei** ist
 - Einen zugehörigen konfliktäquivalenten seriellen Schedule erhält man durch topologisches Sortieren des Graphen (**Serialisierungsreihenfolge**)
 - Es kann i.A. mehrere serielle Schedules geben.
 - Beispiel: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



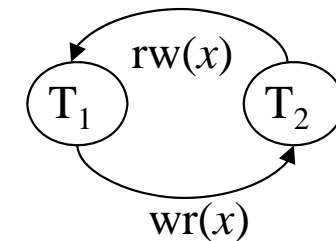
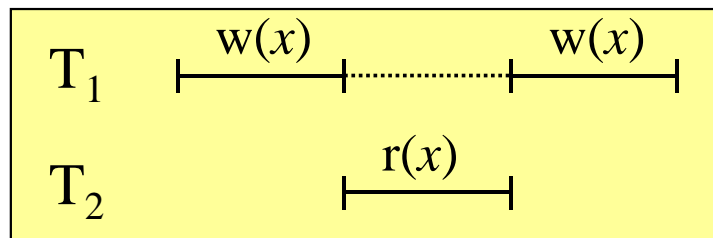
Serialisierungsreihenfolge: (T₂, T₁, T₃)

Beispiele für nicht-serialisierbare Schedules

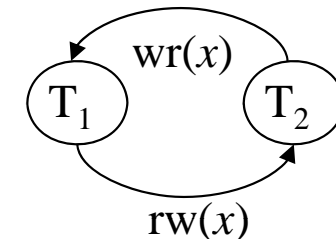
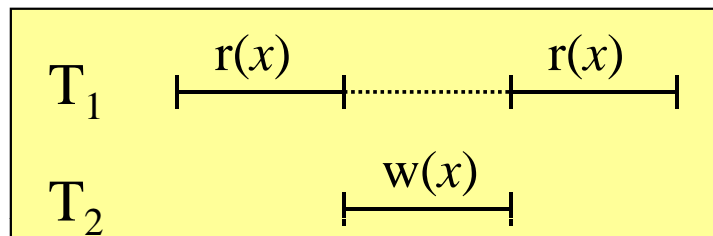
Lost Update: $S=(r_1(x), w_2(x), w_1(x))$



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



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

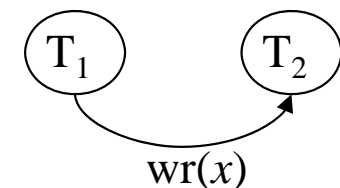
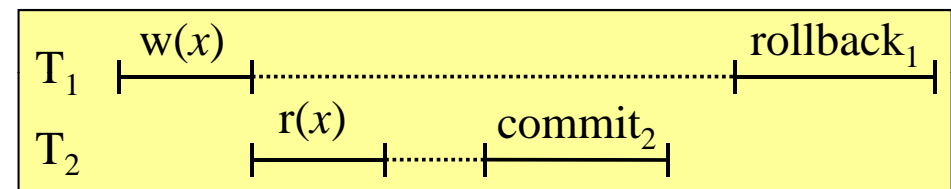


Rücksetzbare Schedules

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

- Beispiel:

- T_1 schreibt Datensatz x
- T_2 liest Datensatz x
- T_2 führt *COMMIT* aus
- Schedule ist serialisierbar, der Serialisierungs-Graph ist zyklensfrei



- ABER

- T_1 wird zurückgesetzt (d.h. Datensatz x wird wieder auf den Ursprungswert zurückgesetzt)
- T_2 müsste eigentlich auch zurückgesetzt werden, hat aber schon *COMMIT* ausgeführt

- 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

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

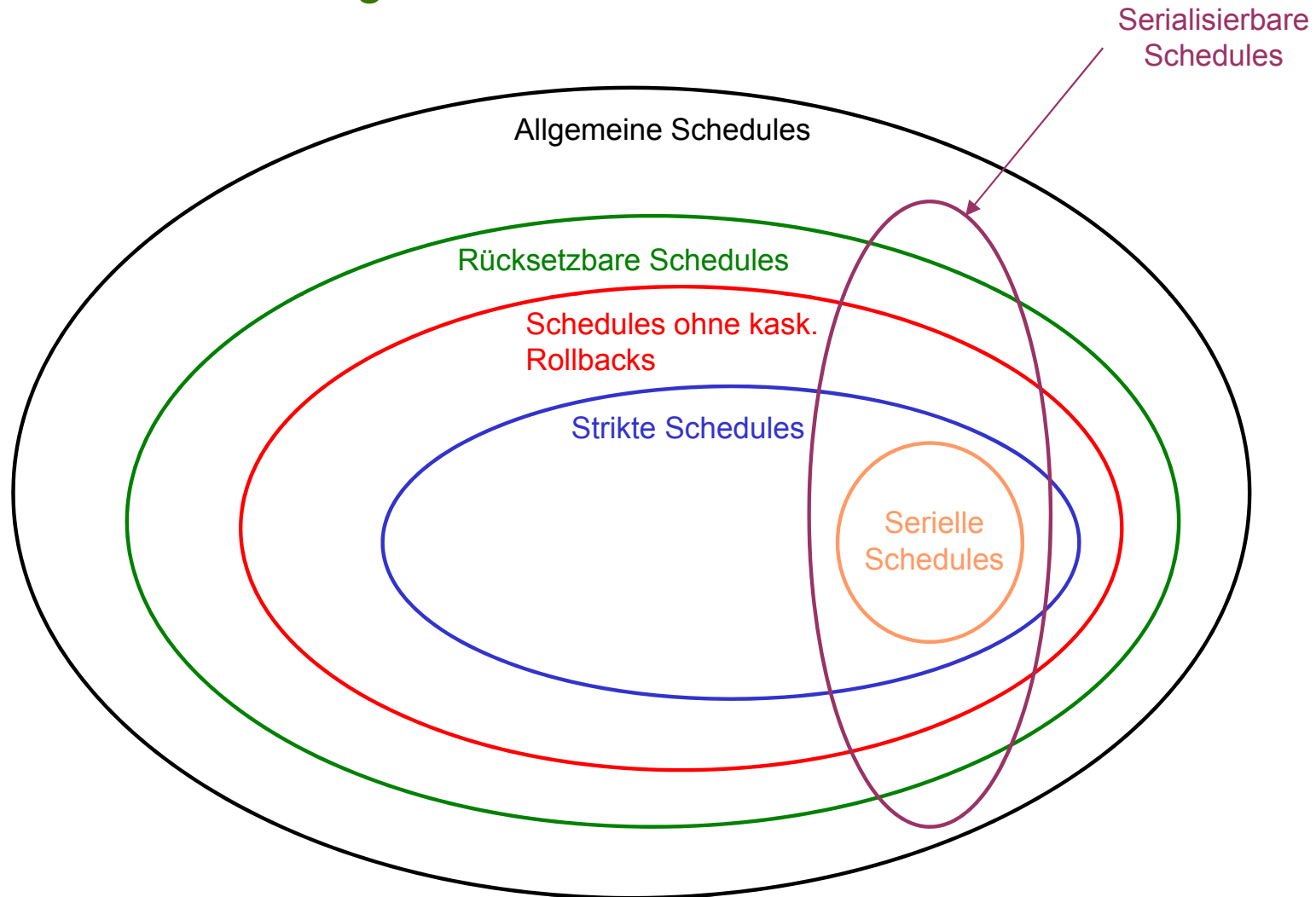
Schritt	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5
1.	$w_1(A)$				
2.		$r_2(A)$			
3.		$w_2(B)$			
4.			$r_3(B)$		
5.			$w_3(C)$		
6.				$r_4(C)$	
7.				$w_5(D)$	
8.					$r_5(D)$
9.	abort ₁				

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

Überblick: Scheduleklassen

- **Serieller S.**
 - TAs in einzelnen Blöcken, phys. Einbenutzerbetrieb
- **Serialisierbarer S.**
 - Konfliktäquivalent zu einem seriellen S.
- **Rücksetzbarer S.**
 - TA darf erst committen, wenn alle TAs von denen sie Daten gelesen hat committed haben
- **S. ohne kaskadierendes Rollback**
 - Veränderte Daten einer noch laufenden TA dürfen nicht gelesen werden
- **Strikter S.**
 - Zusätzlich dürfen veränderte Daten einer noch laufenden TA nicht überschrieben werden

- Überblick: Beziehungen zwischen Scheduleklassen



Techniken zur Synchronisation

- Verwaltungsaufwand für Serialisierungsgraphen ist in der Praxis zu hoch. Deshalb: Andere Verfahren, die Serialisierbarkeit gewährleisten
- Pessimistische Ablaufsteuerung (Standardverfahren: Locking)
 - Konflikte werden vermieden, indem Transaktionen (typischerweise durch Sperren) blockiert werden
 - Nachteil: ggf. lange Wartezeiten
 - Vorteil: I.d.R. nur wenig Rücksetzungen aufgrund von Synchronisationsproblemen nötig
- Optimistische Ablaufsteuerung
 - Transaktionen werden im Konfliktfall zurückgesetzt
 - Transaktionen arbeiten bis zum COMMIT ungehindert. Anschließend erfolgt Prüfung (z.B. anhand von Zeitstempeln), ob Konflikt aufgetreten ist
 - Nur geeignet, falls Konflikte zwischen Schreibern eher selten auftreten

Techniken zur Synchronisation

- Im folgenden:
 - zunächst Sperrverfahren (**DAS** Standardverfahren zur Synchronisierung)
 - 3.3 -> Grundlagen, verschiedene Varianten, etc.
 - 3.4 -> ein wesentliches Problem von Sperrverfahren: Deadlocks
 - Dann weitere pessimistische und optimistische Verfahren, die ohne Sperren auskommen