Fehlerbehandlung (Recov

- Fehlerarten
- Auswirkung der Speicherhierarchie
- Protokollierung von Änderungen
- Wiederanlauf nach Fehler
- (Sicherungspunkte)
- Media-Recovery

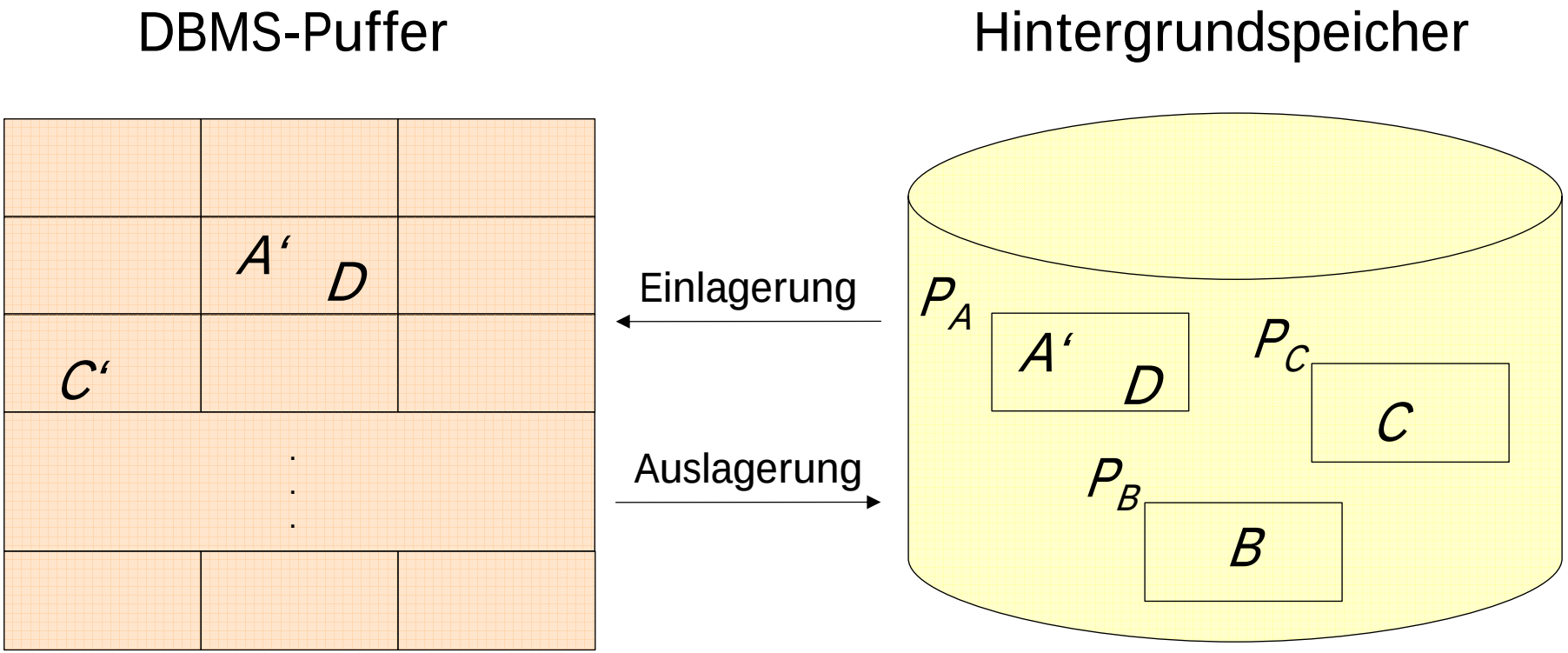
Kapitel 10

Fehlerbehandlung (Recovery)

Fehlerklassifikation

1. Lokaler Fehler in einer noch nicht festgeschriebenen (committed) Transaktion
    - Wirkung muss zurückgesetzt werden
    - *R1*-Recovery
2. Fehler mit Hauptspeicherverlust
    - Abgeschlossene TAs müssen erhalten bleiben (R2-Recovery)
    - Noch nicht abgeschlossene TAs müssen zurückgesetzt werden (R3-Recovery)
3. Fehler mit Hintergrundspeicherverlust
    - R4-Recovery

Zweistufige Speicherhierarchie



Die Speicherhierarchie

Ersetzung von Puffer-Seiten

- ¬*steal:* Bei dieser Strategie wird die Ersetzung von Seiten, die von einer noch aktiven Transaktion modifiziert wurden, ausgeschlossen.
- steal: Jede nicht fixierte Seite ist prinzipiell ein Kandidat für die Ersetzung, falls neue Seiten eingelagert werden müssen.

Einbringen von Änderungen abgeschlossener TAs

- Force-Strategie: Änderungen werden zum Transaktionsende auf den Hintergrundspeicher geschrieben.
- ¬force-Strategie: geänderte Seiten können im Puffer verbleiben.

Auswirkungen auf Recovery

	force	¬force
¬steal	• kein Redo • kein Undo	• Redo • kein Undo
steal	• kein Redo • Undo	• Redo • Undo

... nötig.

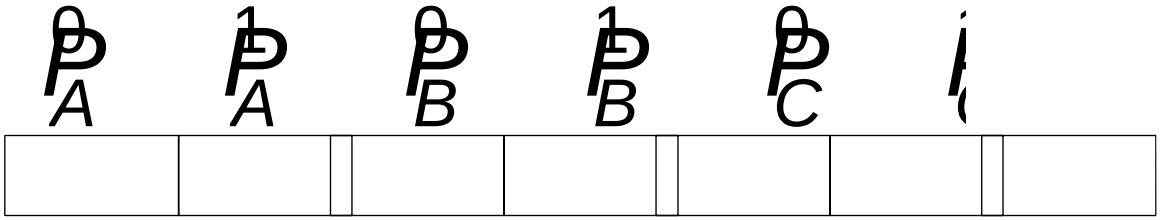
Einbringungsstrategien

Update in Place

- jede Seite hat genau eine „Heimat“ auf dem Hintergrundspeicher
- der alte Zustand der Seite wird überschrieben
- Recovery durch Log-Dateien

Twin-Block-Verfahren

- jede Seite existiert zweimal auf dem Hintergrundspeicher
- Bsp.: Anordnung von Seiten P_A, P_B, und P_C:



- wird nur noch selten genutzt

Schattenspeicherkonzept

- nur geänderte Seiten werden dupliziert
- weniger Redundanz als beim Twin-Block-Verfahren

Hier zugrunde gelegte Sytemkonfiguration

- *steal*
  - „dreckige Seiten“ können in der Datenbank (auf Platte) geschrieben werden
- *¬force*
  - geänderte Seiten sind möglicherweise noch nicht auf die Platte geschrieben
- update-in-place
  - Es gibt von jeder Seite nur eine Kopie auf der Platte
- *Kleine Sperrgranulate*
  - auf Satzebene
  - also kann eine Seite gleichzeitig „dreckige“ Daten (einer noch nicht abgeschlossenen TA) und „committed updates“ enthalten
  - das gilt sowohl für Puffer- als auch Datenbankseiten

Änderungsoperationen

Struktur der Log-Einträge

[LSN, TransaktionsID, PageID, Redo, Undo, PrevLSN]

- *LSN (Log Sequence Number),*
  - eine eindeutige Kennung des Log-Eintrags.
  - LSNs müssen monoton aufsteigend vergeben werden,
  - die chronologische Reihenfolge der Protokolleinträge kann dadurch ermittelt werden.
- *Transaktionskennung TA* der Transaktion, die die Änderung durchgeführt hat.
- *PageID*
  - die Kennung der Seite, auf der die Änderungsoperation vollzogen wurde.
  - Wenn eine Änderung mehr als eine Seite betrifft, müssen entsprechend viele Log-Einträge generiert werden.

Änderungsoperationen II

Struktur der Log-Einträge II

[LSN, TransaktionsID, PageID, Redo, Undo, PrevLSN]

- Die *Redo* -Information gibt an, wie die Änderung nachvollzogen werden kann.
- Die *Undo* -Information beschreibt, wie die Änderung rückgängig gemacht werden kann.
- *PrevLSN*, einen Zeiger auf den vorhergehenden Log-Eintrag der jeweiligen Transaktion. Diesen Eintrag benötigt man aus Effizienzgründen.

Beispiel einer Log-Datei

Schritt	T_1	T_2	Log
			[LSN, TA, PageID, Redo, Undo, PrevLSN]
1.	**BOT**		[#1, T_1,**BOT**,0]
2.	$r(A,a_1)$		
3.		**BOT**	[#2, T_2,**BOT**,0]
4.		$r(C,c_2)$	
5.	$a_1 := a_1 - 50$		
6.	$w(A,a_1)$		[#3, T_1,P_A,A-=50,A+=50,#1]
7.		$c_2 := c_2 + 100$	
8.		$w(C,c_2)$	[#4, T_2,P_C,C+=100,C-=100,#2]
9.	$r(B,b_1)$		
10.	$b_1 := b_1 + 50$		
11.	$w(B,b_1)$		[#5, T_1,P_B,B+=50,B-=50,#3]
12.	**commit**		[#6, T_1,**commit**,#5]
13.		$r(A,a_2)$	
14.		$a_2 := a_2 - 100$	
15.		$w(A,a_2)$	[#7,T_2,P_A,A-=100,A+=100,#4]
16.		**commit**	[#8, T_2,**commit**,#7]

Logische oder physische Protokollierung

Physische Protokollierung

Es werden Inhalte / Zustände protokolliert:

1. **before-image** enthält den Zustand vor Ausführung der Operation
2. **after-image** enthält den Zustand nach Ausführung der Operation

Logische Protokollierung

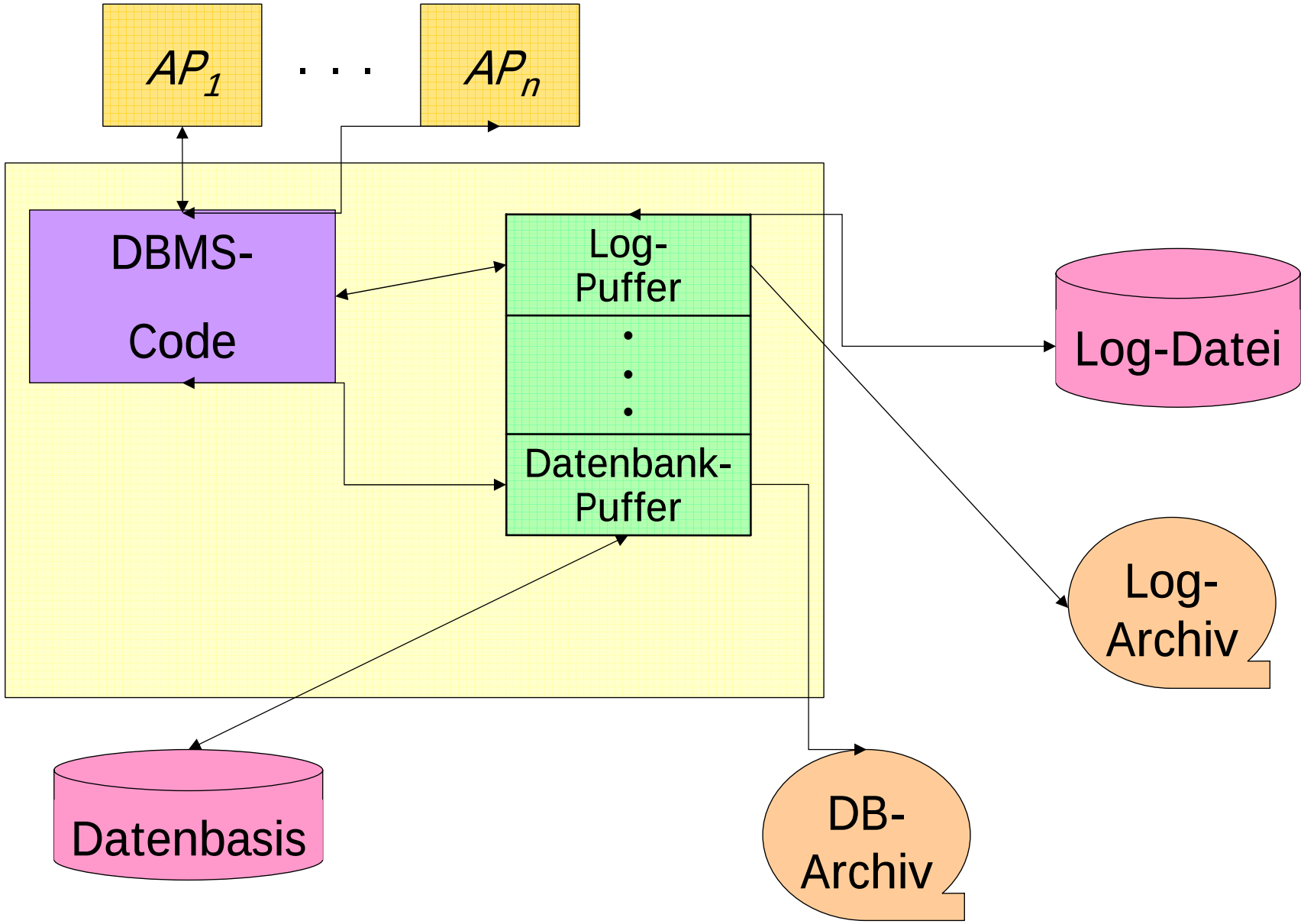
- das *Before-Image* wird durch Ausführung des Undo-Codes aus dem *After-Image* generiert und
- das *After-Image* durch Ausführung des Redo-Codes aus dem *Before-Image* berechnet.

Speicherung der Seiten-LSN

Die „Herausforderung“ besteht darin, beim Wiederanlauf zu entscheiden, ob man das Before- oder das After-Image auf dem Hintergrundspeicher vorgefunden hat.

Dazu wird auf jeder Seite die LSN des jüngsten diese Seite betreffenden Log-Eintrags gespeichert.

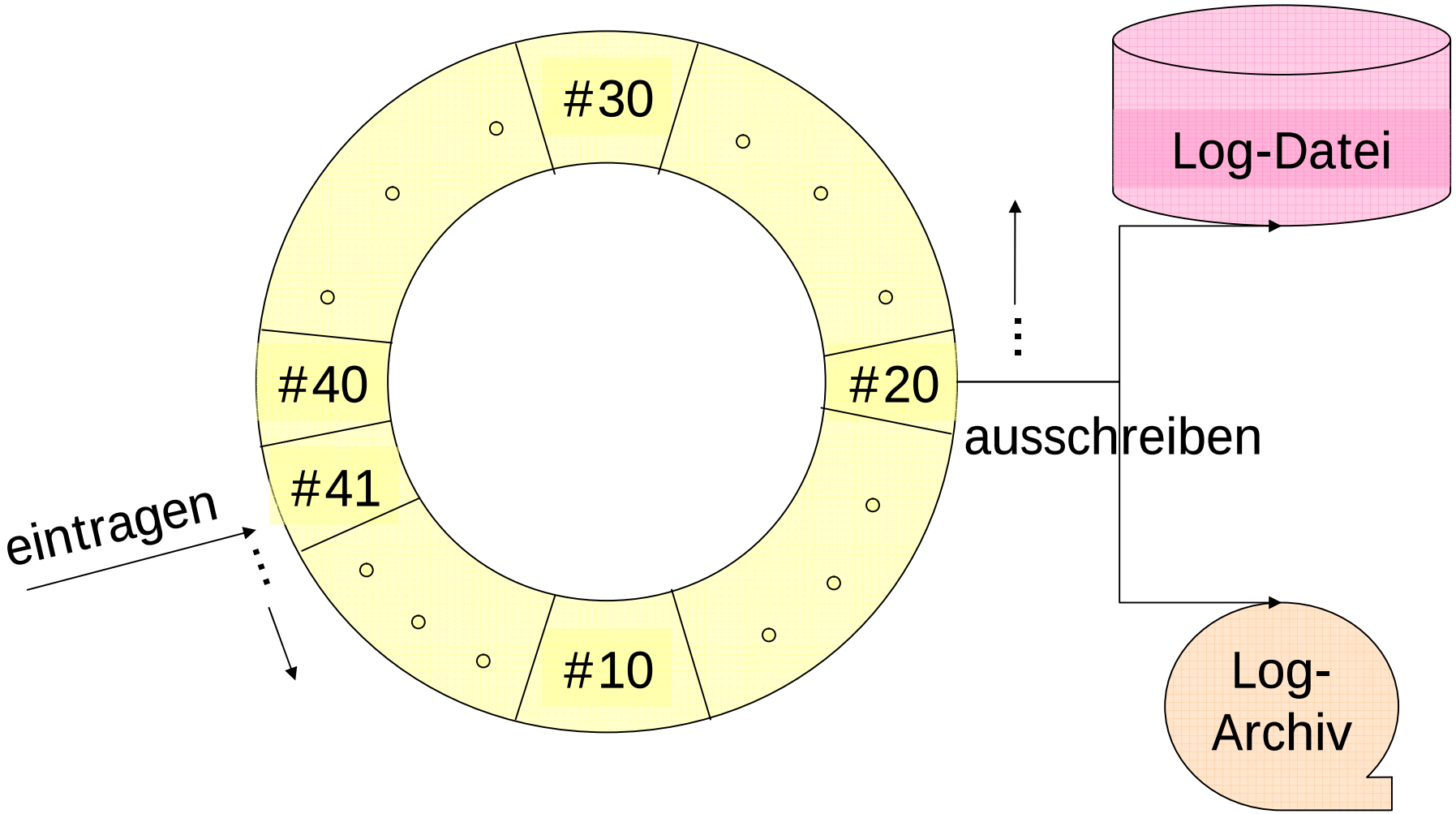
Schreiben der Log-Information



Schreiben der Log-Information

- Die Log-Information wird zweimal geschrieben
  1. Log-Datei für schnellen Zugriff
     - R1, R2 und R3-Recovery
  2. Log-Archiv
     - R4-Recovery

Anordnung des Log-Ringpuffers



Das WAL-Prinzip

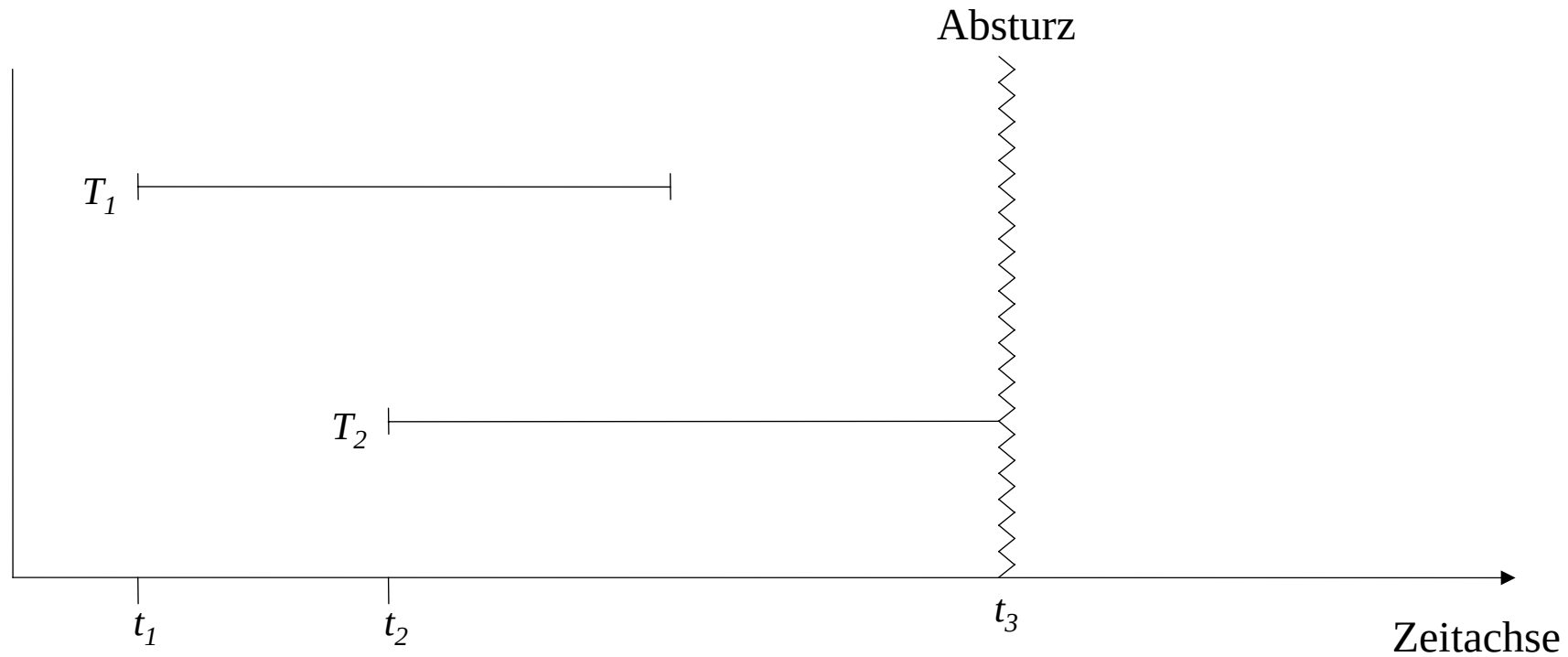
Write Ahead Log-Prinzip

1. Bevor eine Transaktion festgeschrieben (**committed**) wird, müssen alle „zu ihr gehörenden“ Log-Einträge ausgeschrieben werden. (→ redo sicherstellen)

2. Bevor eine modifizierte Seite ausgelagert werden darf, müssen alle Log-Einträge, die zu dieser Seite gehören, in das temporäre und das Log-Archiv ausgeschrieben werden. (→ undo sicherstellen)

Wiederanlauf nach einem Fehler

Transaktionsbeginn und -ende relativ zu einem Systemabsturz



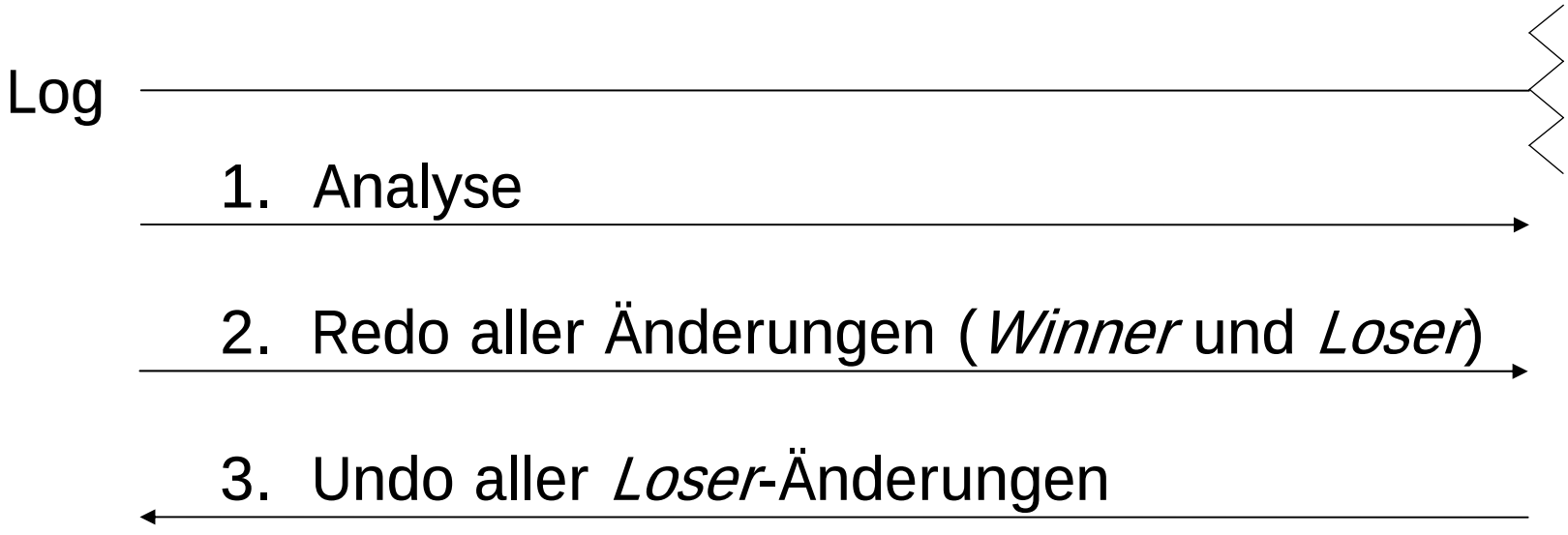
- Transaktionen der Art T_1 müssen hinsichtlich ihrer Wirkung vollständig nachvollzogen werden. Transaktionen dieser Art nennt man *Winner*.

- Transaktionen, die wie T_2 zum Zeitpunkt des Absturzes noch aktiv waren, müssen rückgängig gemacht werden. Diese Transaktionen bezeichnen wir als *Loser*.

Drei Phasen des Wiederanlaufs

1. *Analyse:*
   - Die temporäre Log-Datei wird von Anfang bis zum Ende analysiert,
   - Ermittlung der *Winner*-Menge von Transaktionen des Typs T_1
   - Ermittlung der *Loser*-Menge von Transaktionen der Art T_2.
2. *Wiederholung der Historie:*
   - *alle* protokollierten Änderungen werden in der Reihenfolge ihrer Ausführung in die Datenbasis eingebracht.
3. *Undo der Loser:*
   - Die Änderungsoperationen der *Loser*-Transaktionen werden in umgekehrter Reihenfolge ihrer ursprünglichen Ausführung rückgängig gemacht.

Wiederanlauf in drei Phasen



Fehlertoleranz (Idempotenz) des Wiederanlaufs

$$undo(undo(...(undo(a))...)) = undo(a)$$

$$redo(redo(...(redo(a))...)) = redo(a)$$

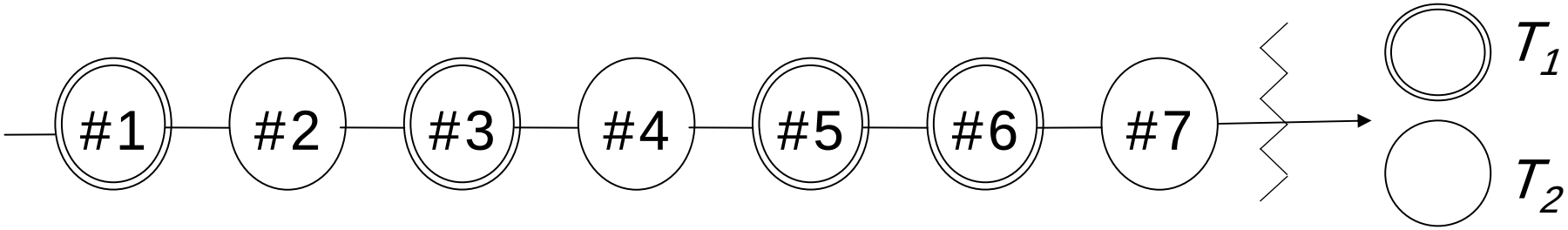
- Auch während der Recoveryphase kann das System abstürzen!

  → auch das Recovery muss geloggt werden.

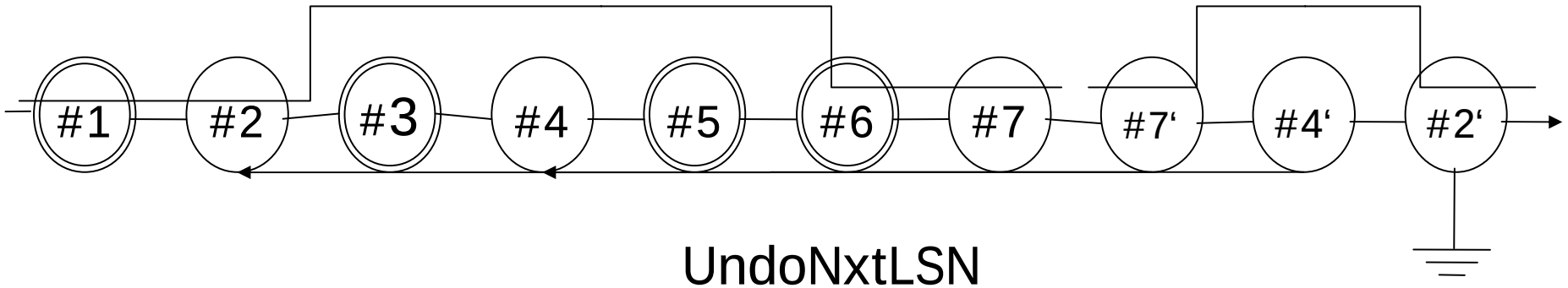
Beispiel einer Log-Datei

Schritt	T_1	T_2	Log
			[LSN, TA, PageID, Redo, Undo, PrevLSN]
1.	**BOT**		[#1, T_1,**BOT**,0]
2.	$r(A,a_1)$		
3.		**BOT**	[#2, T_2,**BOT**,0]
4.		$r(C,c_2)$	
5.	$a_1 := a_1 - 50$		
6.	$w(A,a_1)$		[#3, T_1,P_A,A-=50,A+=50,#1]
7.		$c_2 := c_2 + 100$	
8.		$w(C,c_2)$	[#4, T_2,P_C,C+=100,C-=100,#2]
9.	$r(B,b_1)$		
10.	$b_1 := b_1 + 50$		
11.	$w(B,b_1)$		[#5, T_1,P_B,B+=50,B-=50,#3]
12.	**commit**		[#6, T_1,**commit**,#5]
13.		$r(A,a_2)$	
14.		$a_2 := a_2 - 100$	
15.		$w(A,a_2)$	[#7,T_2,P_A,A-=100,A+=100,#4]
16.		**commit**	[#8, T_2,**commit**,#7]

Kompensationseinträge im Log



Wiederanlauf und Log



- Kompensationseinträge (CLR: compensating log record) für rückgängig gemachte Änderungen.
  - #7 ist CLR für #7
  - #4 ist CLR für #4

Wie bei der doppelten Buchführung darf im Log nicht „radiert“ werden.

Logeinträge
nach abgeschlossenem Wiederanlauf

[#1,T_1,BOT,0]

[#2,T_2,BOT,0]

[#3,T_1,P_A,A-=50,A+=50,#1]

[#4,T_2,P_C,C+=100,C-=100,#2]

[#5,T_1,P_B,B+=50,B-=50,#3]

[#6,T_1,commit,#5]

[#7,T_2,P_A,A-=100,A+=100,#4]

<#7‘,T_2,P_A,A+=100,#7,#4>

<#4‘,T_2,P_C,C-=100,#7‘,#2>

<#2‘,T_2,-,-,#4‘,0>

Logeinträge nach abgeschlossenem Wiederanlauf II

- CLRs sind durch spitze Klammern <…> gekennzeichnet.
- der Aufbau eines CLR ist wie folgt
  - LSN
  - TA-Identifikator
  - betroffene Seite
  - Redo-Information
  - PrevLSN
  - UndoNxtLSN (Verweis auf die nächste rückgängig zu machende Änderung)
- CLRs enthalten keine Undo-Information
  - warum nicht?

R4-Recovery / Media-Recovery

Recovery nach einem Verlust der materialisierten Datenbasis