Kapitel 9

Fehlerbehandlung (Recovery)

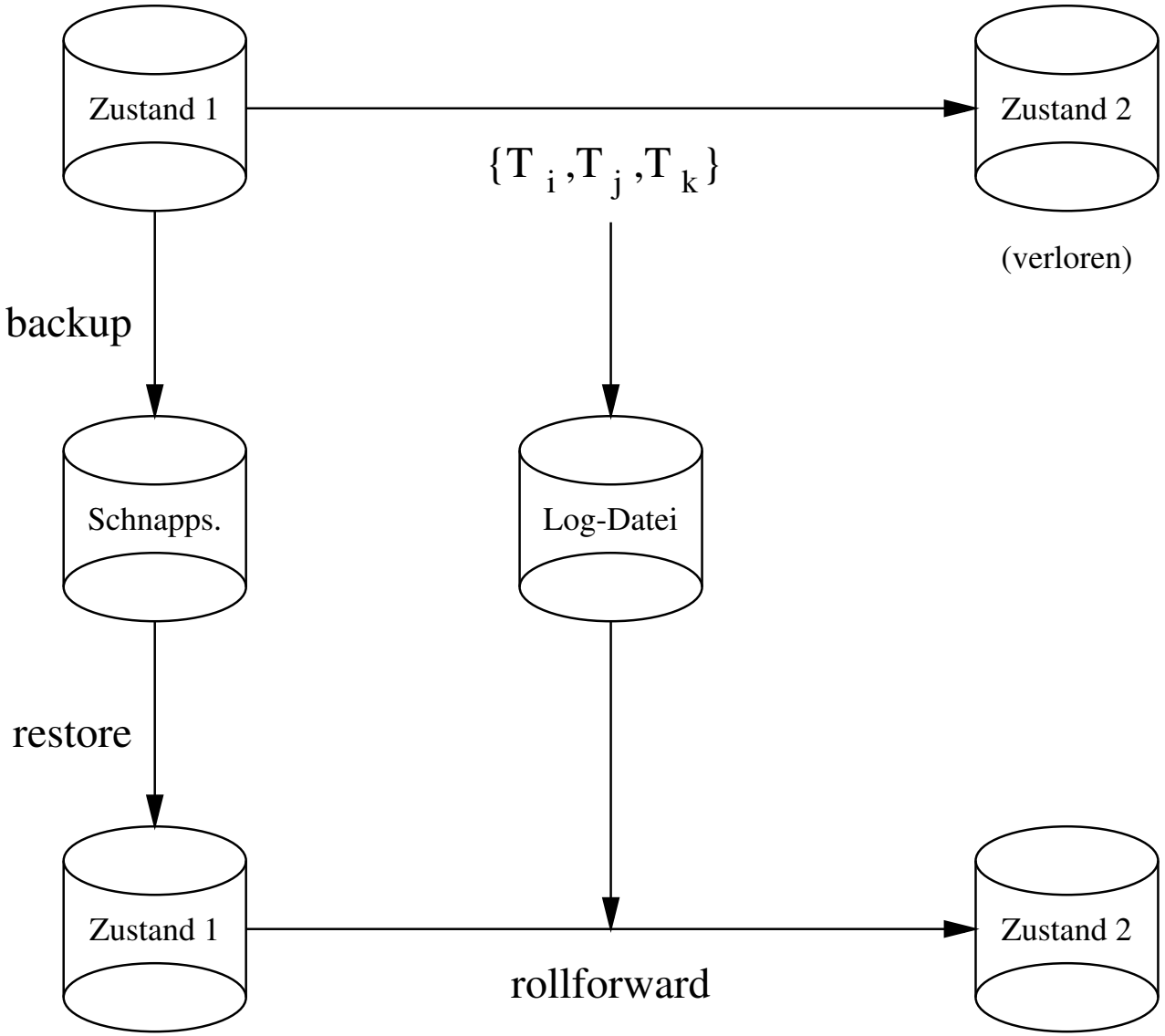
Recovery

- Wichtige Aufgabe eines DBMS ist das Verhindern von Datenverlust durch Systemabstürze
- Die zwei wichtigsten Mechanismen des Recovery sind:
  - Sicherungspunkte (Backups)
  - Log-Dateien

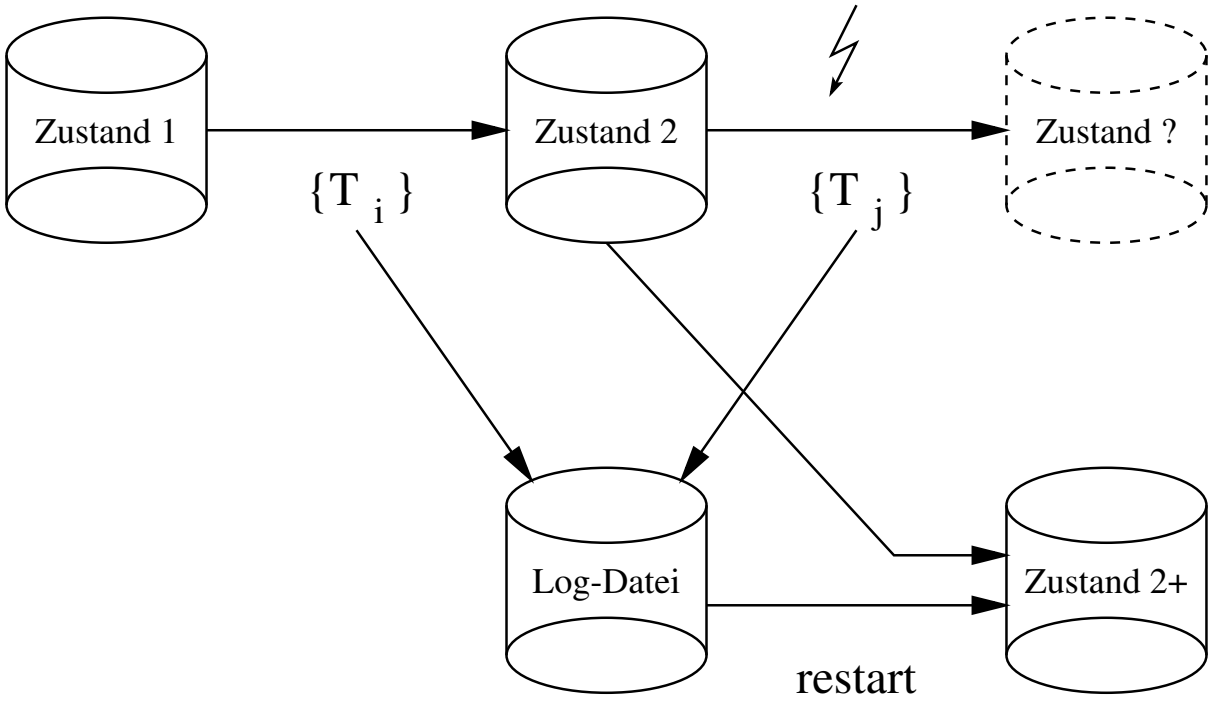
Recovery(2)

- Ein *Sicherungspunkt* ist ein Schnappschuß des Datenbankinhalts zu einem bestimmten Zeitpunkt
- In einer *Log-Datei* werden alle Änderungen an der Datenbasis mitprotokolliert
- Offensichtlich sollten Sicherungspunkte und Log-Dateien nicht auf der gleichen Maschine gespeichert werden ...

Vollständiger Verlust



Verlust des Hauptspeichers



- Problem: einige TAs in $\{T_j\}$ waren noch aktiv, andere haben schon committet
- Restart stellt Zustand 2 + die Änderungen der committeten TAs in $\{T_j\}$ wieder her

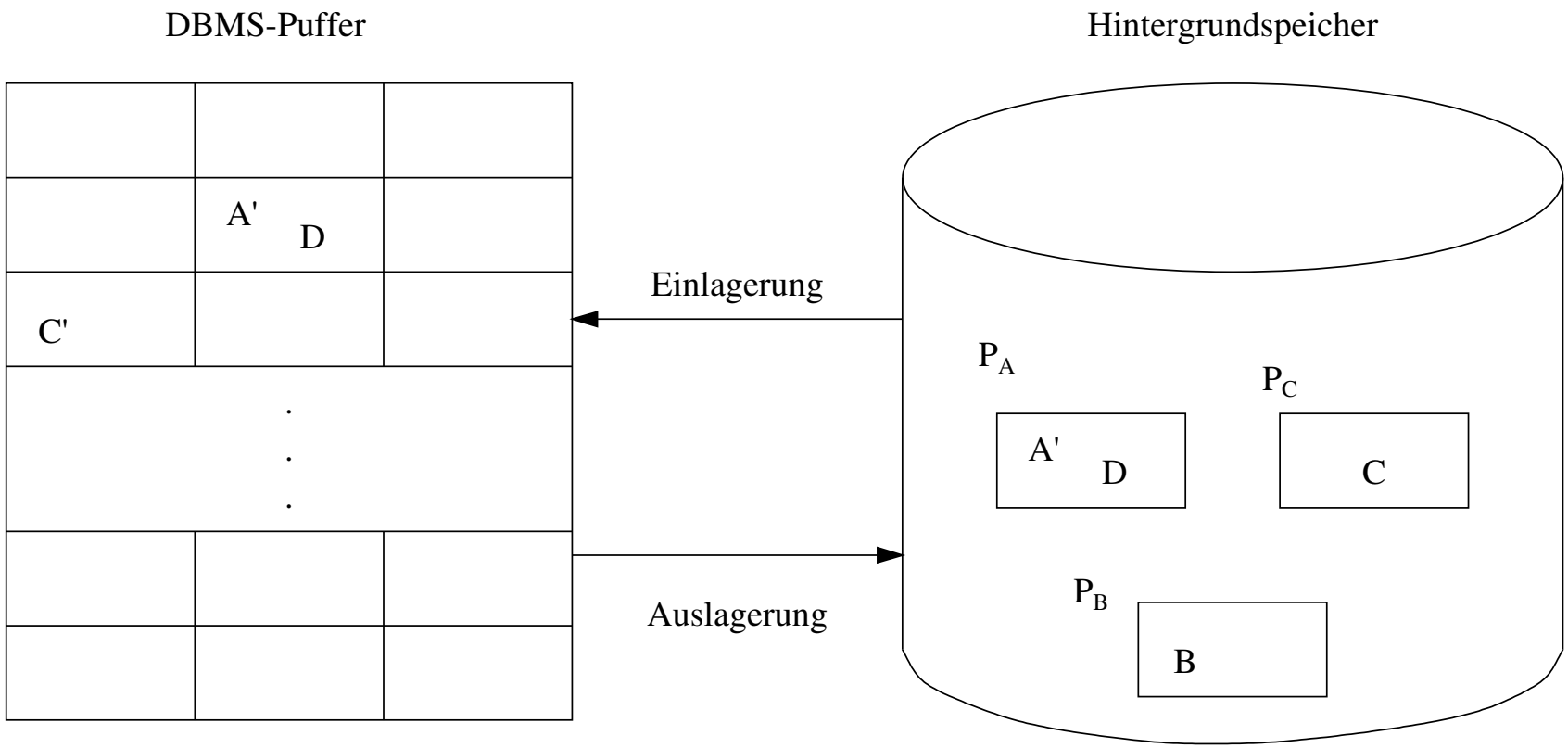
Abbruch einer Transaktion

- Log-Dateien können auch dazu verwendet werden die Änderungen einer abgebrochenen TA zurückzusetzen
- Nach diesem groben Überblick werfen wir jetzt einen Blick hinter die Kulissen

Fehlerklassifikation

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

Speicherhierarchie



Speicherhierarchie(2)

- Ersetzungsstrategien von Puffer-Seiten
  - $\neg$*steal*: 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

Speicherhierarchie(3)

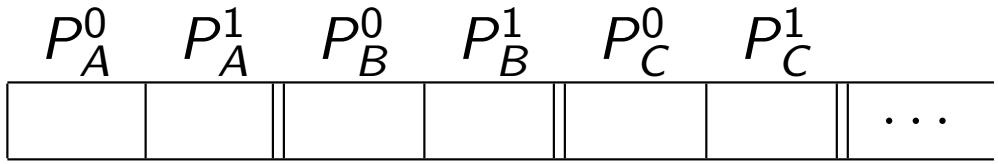
- Einbringen von Änderungen abgeschlossener TAs
  - *force*-Strategie: Änderungen werden zum Transaktionsende auf den Hintergrundspeicher geschrieben
  - ¬*force*-Strategie: geänderte Seiten können im Puffer verbleiben und später zurückgeschrieben werden

Auswirkung auf Recovery

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

Einbringstrategien

- Update in Place
  - jede Seite hat genau eine "Heimat" auf dem Hintergrundspeicher
  - der alte Zustand der Seite wird überschrieben
- Twin-Block-Verfahren



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

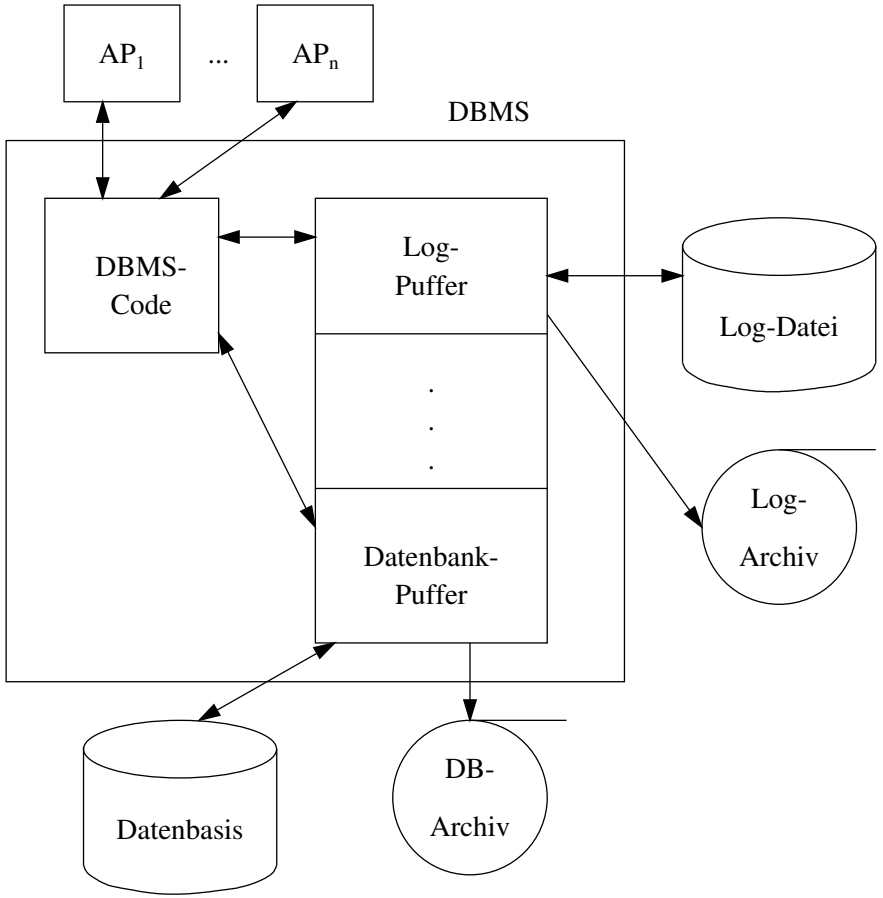
Systemkonfiguration

- steal
- $\neg$force
- update-in-place
- Kleine Sperrgranulate

ARIES-Protokoll

- ARIES-Protokoll ist weit verbreitetes Protokoll zur Fehlerbehandlung in DBMSen
- Log-Datei enthält:
  - Redo-Information: gibt an, wie Änderungen nachvollzogen werden können
  - Undo-Information: beschreibt, wie Änderungen rückgängig gemacht werden können

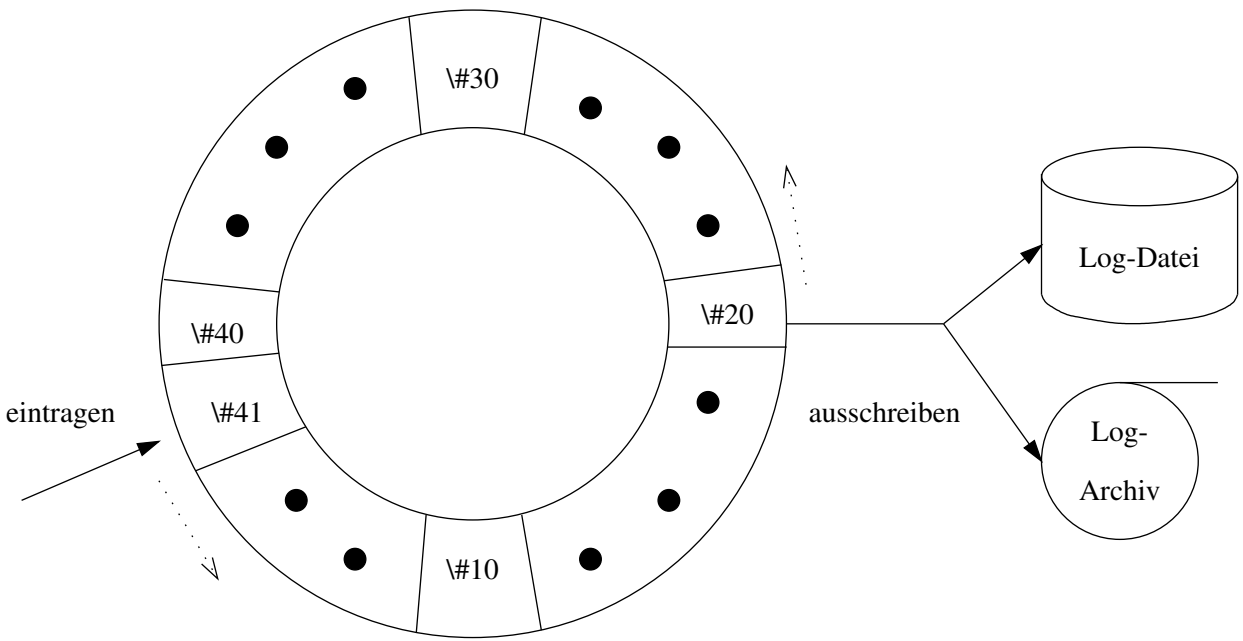
Schreiben der Log-Daten



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

Schreiben der Log-Daten(2)

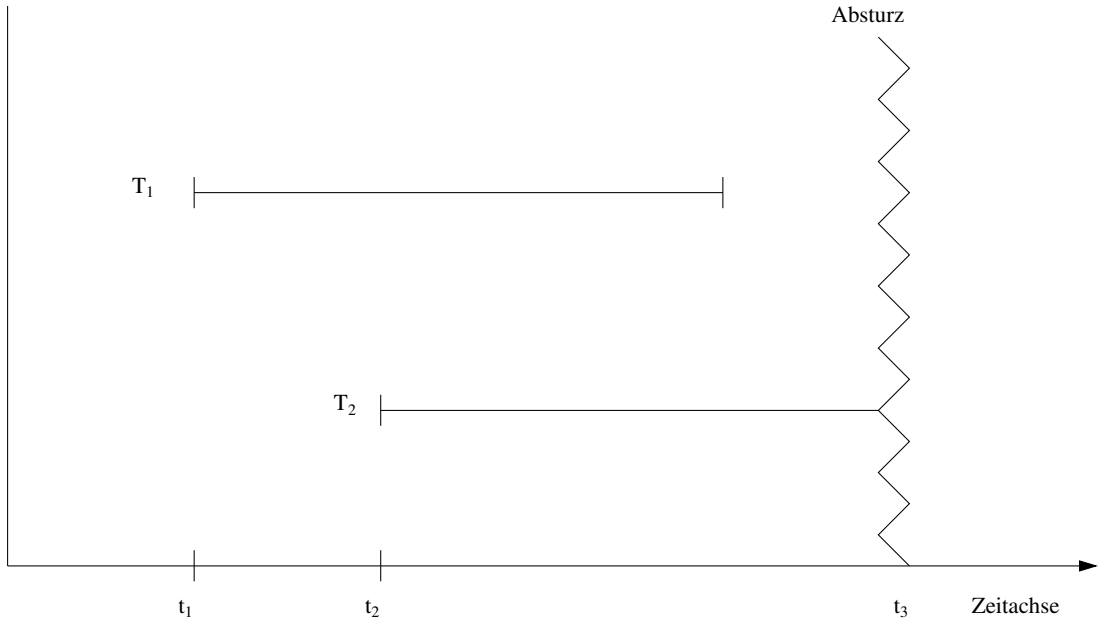
- Anordnung des Log-Ringpuffers:



Schreiben der Log-Daten(3)

- **W**rite **A**head **L**og-Prinzip (WAL-Prinzip)
  - Bevor eine Transaktion festgeschrieben (**committed**) wird, müssen alle "zu ihr gehörenden" Log-Einträge ausgeschrieben werden
  - 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

Wiederanlauf nach Fehler

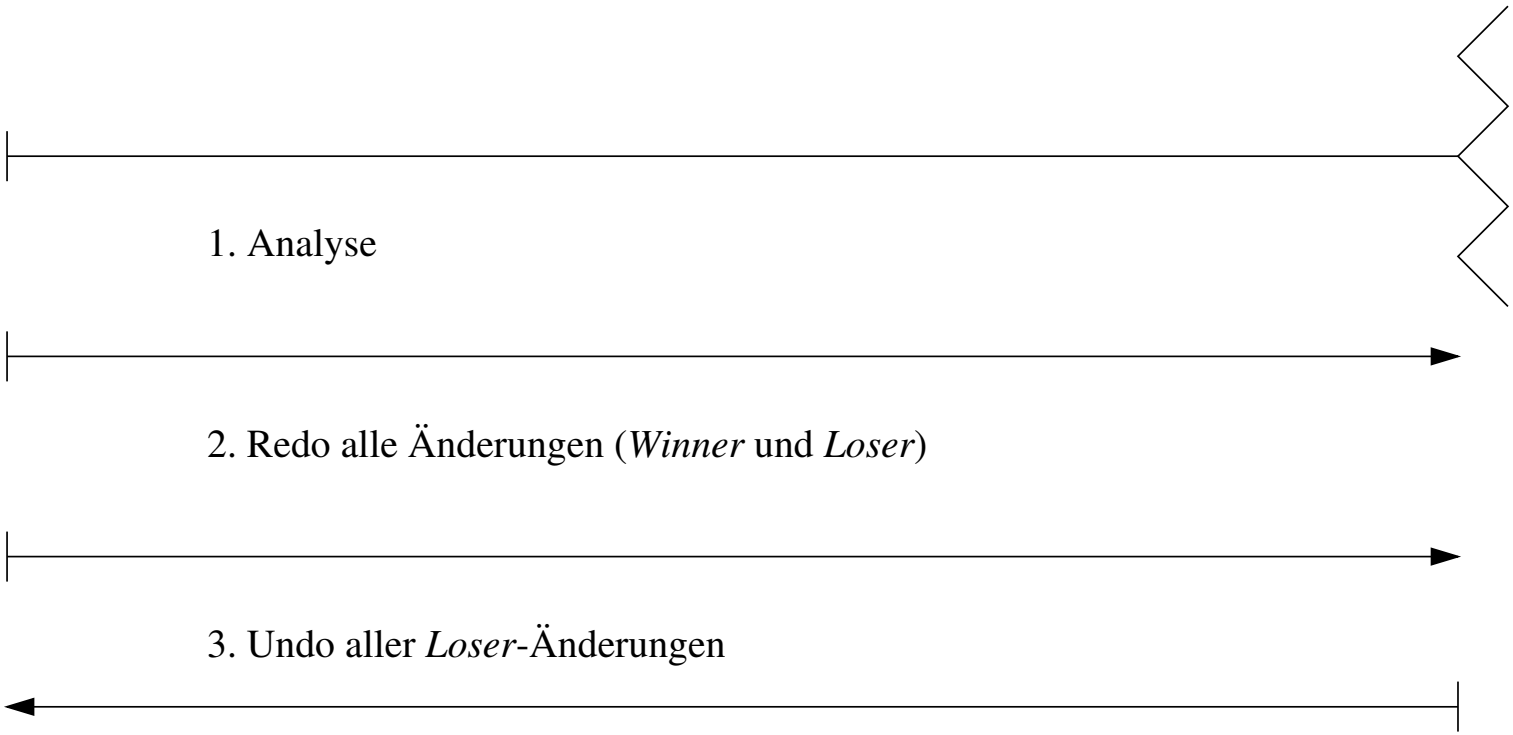


- TAs der Art T_1 sind *Winner*: müssen vollständig nachvollzogen werden
- TAs der Art T_2 sind *Loser*: müssen rückgängig gemacht werden

Phasen des Wiederanlaufs

- *Analyse*:
  - Ermittlung der *Winner*-Menge von Transaktionen des Typs T_1
  - Ermittlung der *Loser*-Menge von Transaktionen der Art T_2.
- *Wiederholung der Historie*:
  - *Alle* protokollierten Änderungen werden in der Reihenfolge ihrer Ausführung in die Datenbasis eingebracht
- *Undo der Loser*:
  - Die Änderungoperationen der *Loser*-Transaktionen werden in umgekehrter Reihenfoge ihrer ursprünglichen Ausführung rückgängig gemacht

Phasen des Wiederanlaufs(2)



Struktur der Log-Einträge

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

- Redo:
  - Physische Protokollierung: After-Image
  - Logische Protokollierung: Code mit dem aus dem Before-Image das After-Image erzeugt werden kann
- Undo:
  - Physische Protokollierung: Before-Image
  - Logische Protokollierung: Code mit dem aus dem After-Image das Before-Image erzeugt werden kann

Struktur der Log-Einträge(2)

- *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
- *TA*
  - Transaktionskennung der Transaktion, die die Änderung durchgeführt hat

Struktur der Log-Einträge(3)

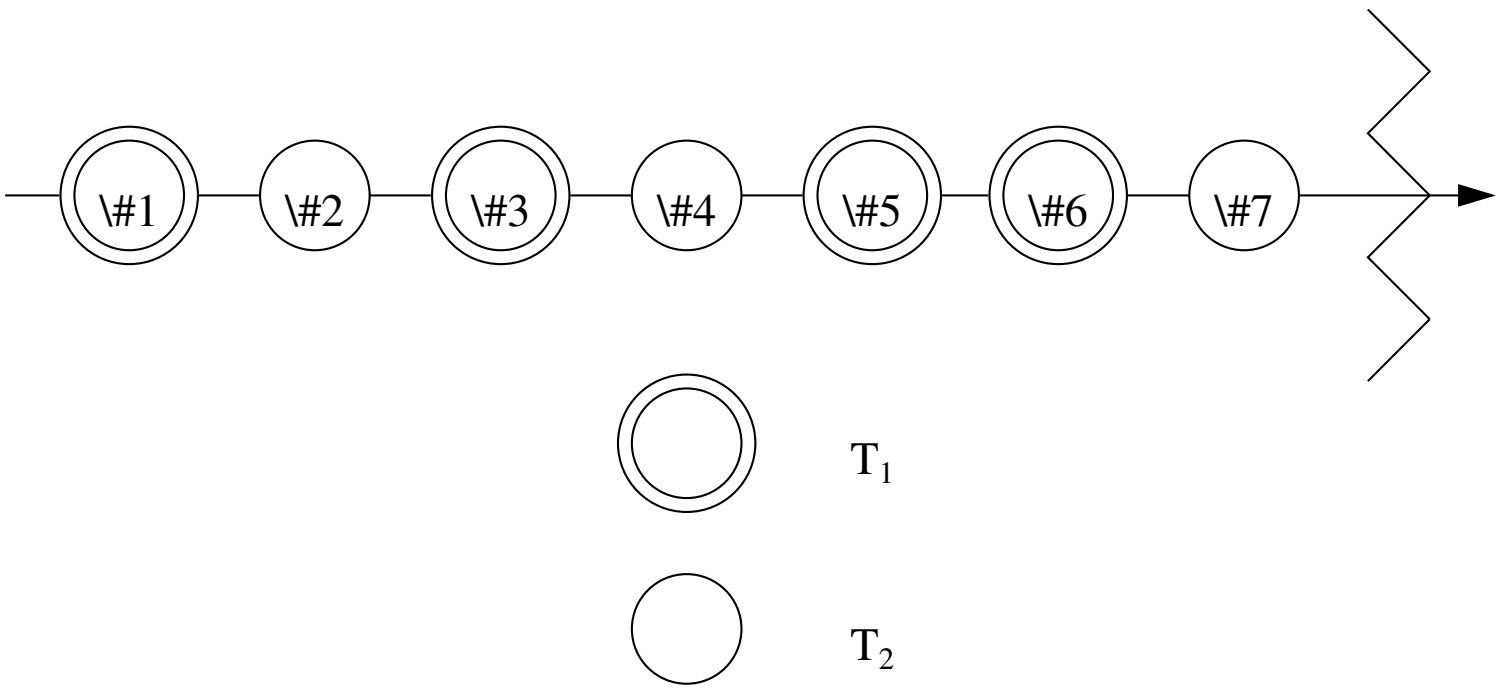
- *PageID*
  - die Kennung der Seite, auf der die Änderungsoperation vollzogen wurde
  - Wenn eine Änderung mehr als eine Seite betrifft, müssen entsprechend viele Log-Einträge generiert werden
- *PrevLSN*,
  - Zeiger auf den vorhergehenden Log-Eintrag der jeweiligen Transaktion
  - Diesen Eintrag benötigt man aus Effizienzgründen

Beispiel einer Log-Datei

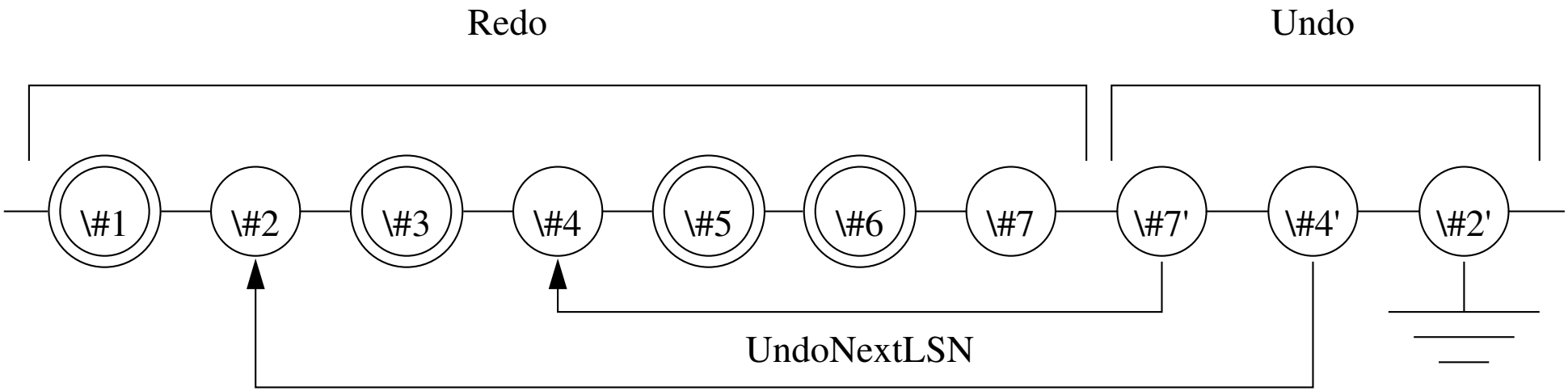
	T_1	T_2	Log [LSN,TA,PageID,Redo,Undo,PrevLSN]
1.	**BOT**		[#1, T_1,**BOT**, 0]
2.	$r(A, a_1)$		
3.		**BOT**	[#2, T_2, **BOT**, 0]
4.		$r(C, c_2)$	
5.	$a_1 := a_1 - 50$		
6.	$w(A, a_1)$		[#3, T_1, P_A, A–=50, A+=50, #1]
7.		$c_2 := c_2 + 100$	
8.		$w(C, c_2)$	[#4, T_2, P_C, C+=100, C–=100, #2]
9.	$r(B, b_1)$		
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]

Fehlertoleranz Wiederanlauf

$$undo(undo(\cdots(undo(a))\cdots)) = undo(a)$$
$$redo(redo(\cdots(redo(a))\cdots)) = redo(a)$$



Fehlertoleranz Wiederanlauf(2)



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

Logeinträge nach Wiederanlauf

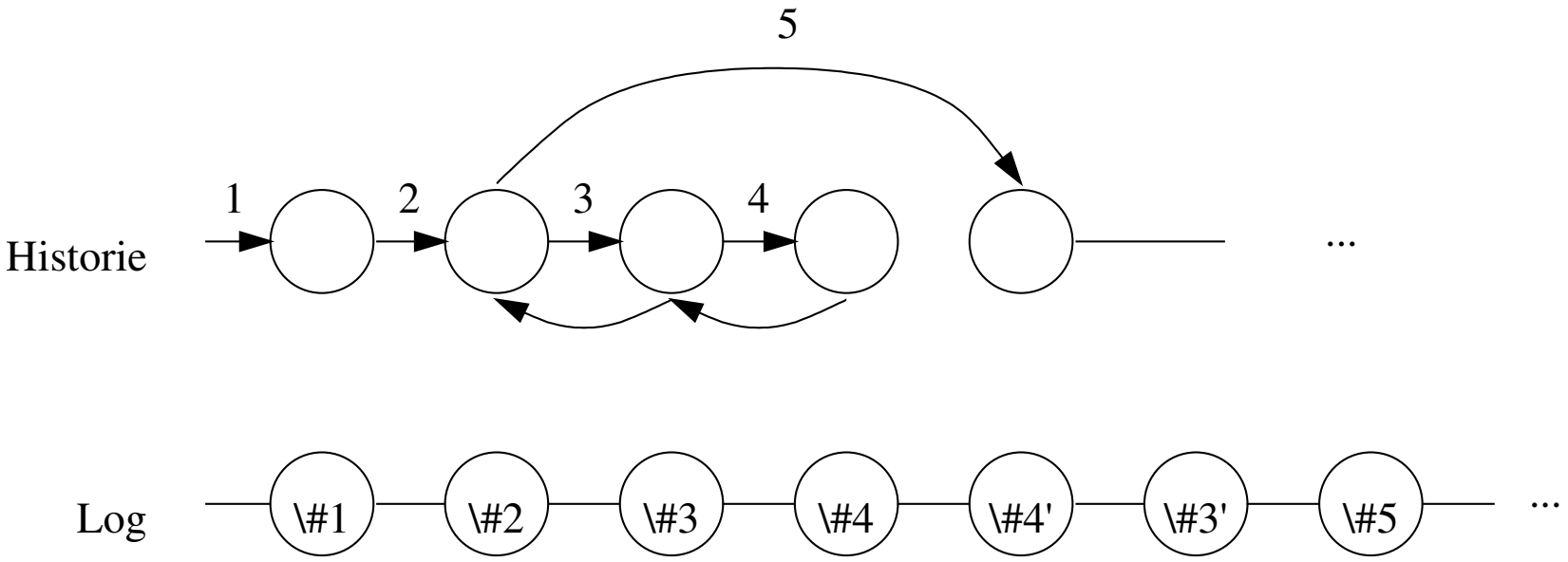
$$[\#1, T_1, \textbf{BOT}, 0]$$
$$[\#2, T_2, \textbf{BOT}, 0]$$
$$[\#3, T_1, P_A, A{-}{=}50, A{+}{=}50, \#1]$$
$$[\#4, T_2, P_C, C{+}{=}100, C{-}{=}100, \#2]$$
$$[\#5, T_1, P_B, B{+}{=}50, B{-}{=}50, \#3]$$
$$[\#6, T_1, \textbf{commit}, \#5]$$
$$[\#7, T_2, P_A, A{-}{=}100, A{+}{=}100, \#4]$$
$$\langle \#7', T_2, P_A, A{+}{=}100, \#7, \#4 \rangle$$
$$\langle \#4', T_2, P_C, C{-}{=}100, \#7', \#2 \rangle$$
$$\langle \#2', T_2, -, -, \#4', 0 \rangle$$

- CLRs sind durch spitze Klammern $\langle \ldots \rangle$ gekennzeichnet

CLR

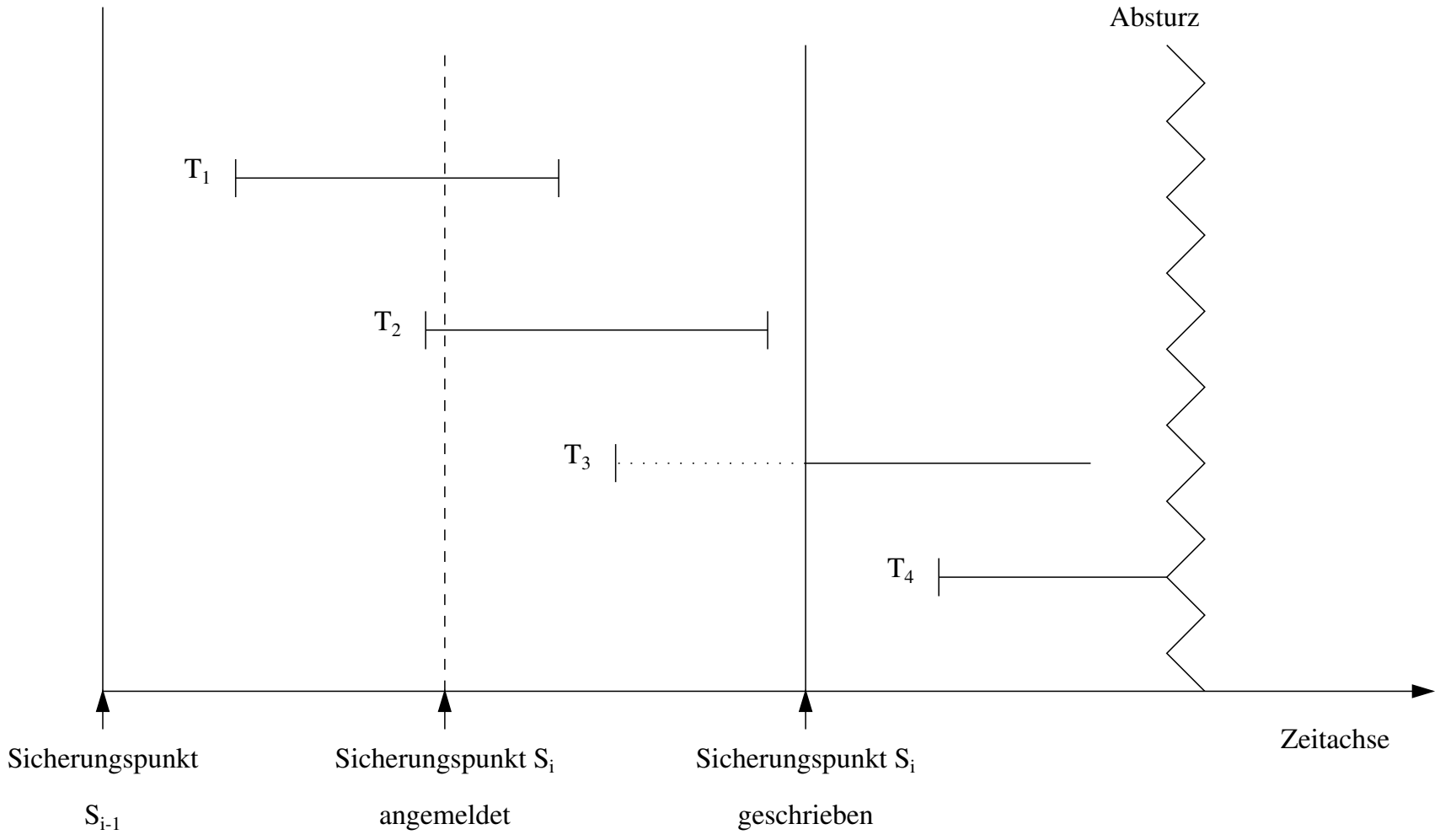
- der Aufbau eines CLR ist wie folgt
  - LSN
  - TA-Identifikator
  - betroffene Seite
  - Redo-Information
  - PrevLSN
  - UndoNxtLSN (Verweis auf die nächste rückgängig zu machende Änderung)

Partielles Zurücksetzen



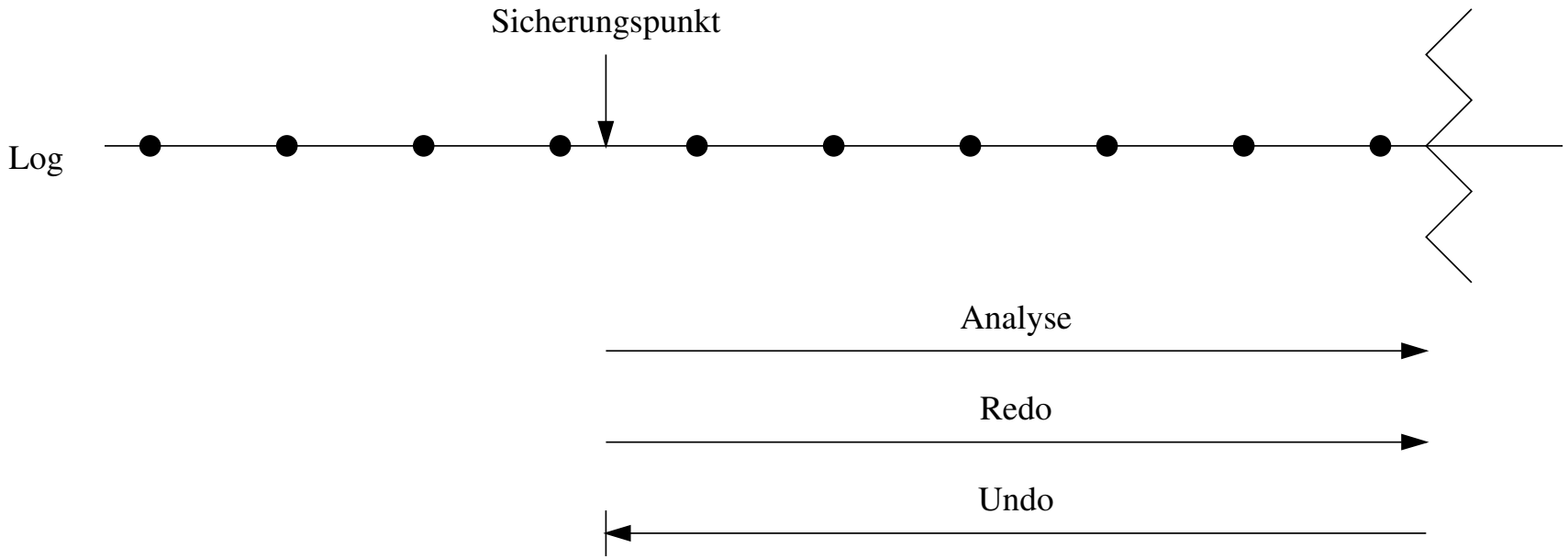
- Schritte 3 und 4 werden zurückgenommen
- notwendig für die Realisierung von Sicherungspunkten innerhalb einer TA

Sicherungspunkte



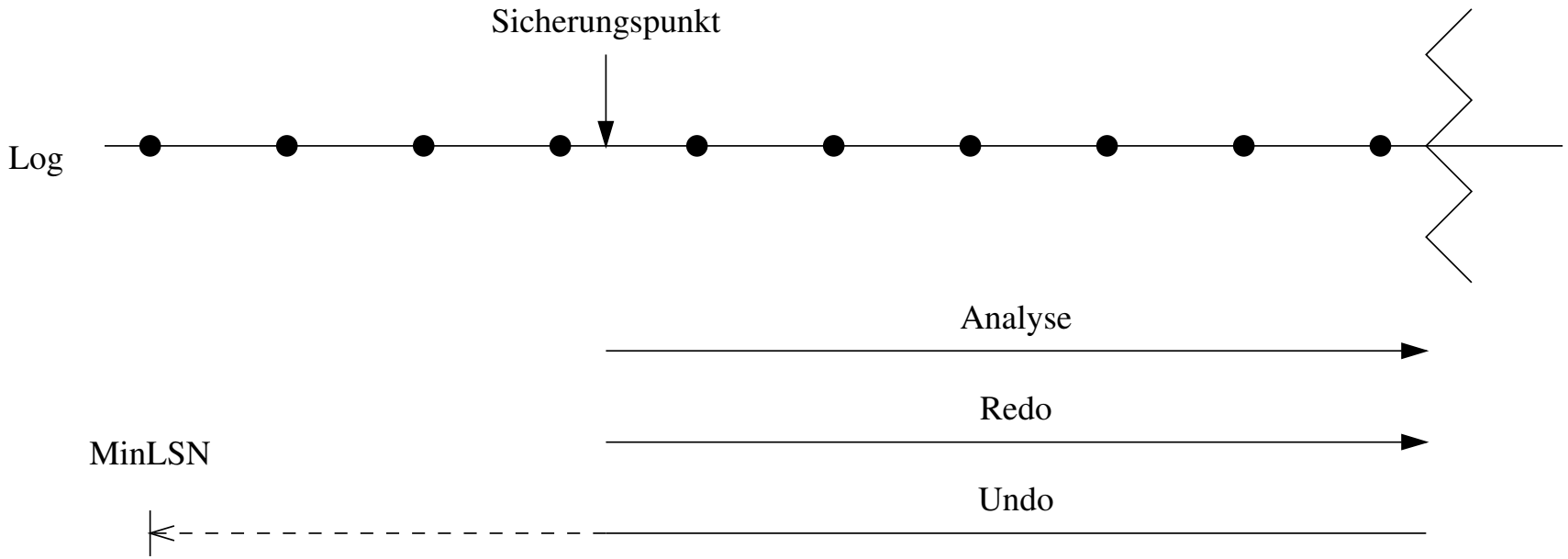
Sicherungspunktarten

- Transaktionskonsistent:

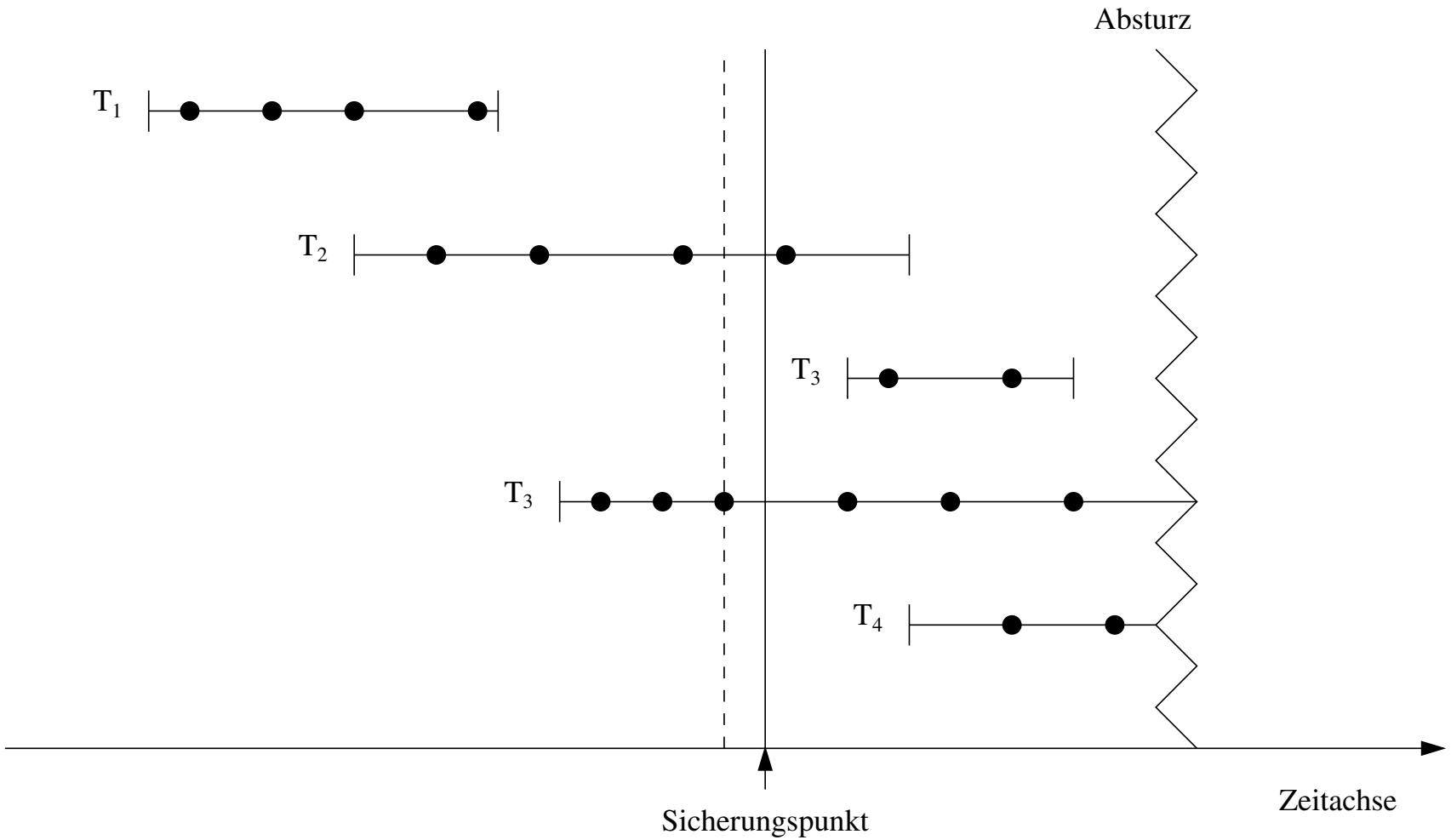


Sicherungspunktarten(2)

- Aktionskonsistent:

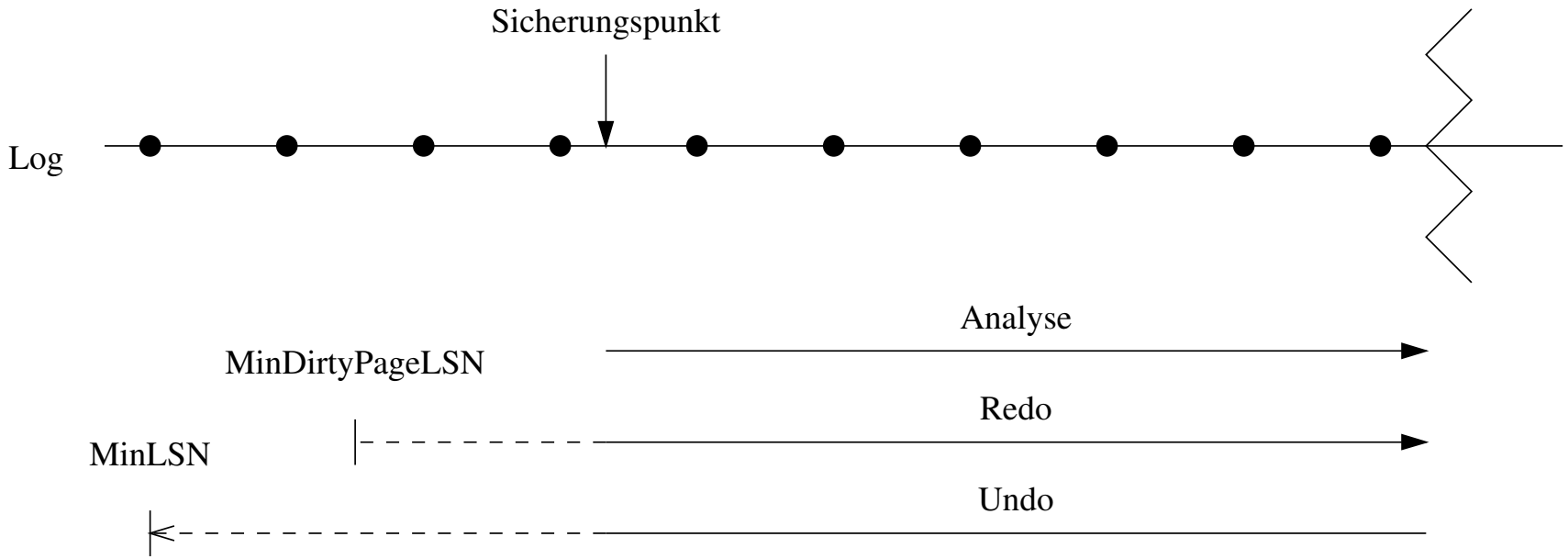


Aktionskonsistenter S.Punkt



Sicherungspunktarten(3)

- Unscharf (fuzzy):



Unscharfer Sicherungspunkt

- modifizierte Seiten werden nicht ausgeschrieben
- nur deren Kennung wird ausgeschrieben
  - *Dirty Pages*=Menge der modifizierten Seiten
- *MinDirtyPageLSN*: die minimale LSN, deren Änderungen noch nicht ausgeschrieben wurde

Zusammenfassung

- Fehlerbehandlung (Recovery) kann Zustand der Datenbasis zum Absturzzeitpunkt wiederherstellen
- Die zwei Hauptmechanismen dazu sind:
  - Log-Dateien
  - Sicherungspunkte