

6.3 Metadaten

■ Alle Metadaten werden in Dateien gehalten

Indexnummer	0	MFT	Feste Dateien in der MFT
	1	MFT Kopie (teilweise)	
	2	Log File	
	3	Volume Information	
	4	Attributtabelle	
	5	Wurzelkatalog	
	6	Clusterbelegungstabelle	
	7	Boot File	
	8	Bad Cluster File	
	...		
16	Benutzerdateien u. -kataloge		
17			
...			

6.3 Metadaten (2)

■ Bedeutung der Metadateien

- ◆ MFT und MFT Kopie: MFT wird selbst als Datei gehalten (d.h. Cluster der MFT stehen im Eintrag 0)
MFT Kopie enthält die ersten 16 Einträge der MFT (Fehlertoleranz)
- ◆ Log File: enthält protokollierte Änderungen am Dateisystem
- ◆ Volume Information: Name, Größe und ähnliche Attribute des Volumes
- ◆ Attributtabelle: definiert mögliche Ströme in den Einträgen
- ◆ Wurzelkatalog
- ◆ Clusterbelegungstabelle: Bitmap für jeden Cluster des Volumes
- ◆ Boot File: enthält initiales Programm zum Laden, sowie ersten Cluster der MFT
- ◆ Bad Cluster File: enthält alle nicht lesbaren Cluster der Platte
NTFS markiert automatisch alle schlechten Cluster und versucht die Daten in einen anderen Cluster zu retten

6.4 Fehlererholung

- NTFS ist ein Journal-File-System
 - ◆ Änderungen an der MFT und an Dateien werden protokolliert.
 - ◆ Konsistenz der Daten und Metadaten kann nach einem Systemausfall durch Abgleich des Protokolls mit den Daten wieder hergestellt werden.
- ▲ Nachteile
 - ◆ etwas ineffizienter
 - ◆ nur für Volumes >400 MB geeignet

Dateisysteme mit Fehlererholung

- Metadaten und aktuell genutzte Datenblöcke geöffneter Dateien werden im Hauptspeicher gehalten (Dateisystem-Cache)
 - ◆ effizienter Zugriff
 - ◆ Konsistenz zwischen Cache und Platte muss regelmäßig hergestellt werden
 - synchrone Änderungen: Operation kehrt erst zurück, wenn Änderungen auf der Platte gespeichert wurden
 - asynchrone Änderungen: Änderungen erfolgen nur im Cache, Operation kehrt danach sofort zurück, Synchronisation mit der Platte erfolgt später
- Mögliche Fehlerursachen
 - ◆ Stromausfall (dummer Benutzer schaltet einfach Rechner aus)
 - ◆ Systemabsturz

7.1 Konsistenzprobleme

- Fehlerursachen & Auswirkungen auf das Dateisystem
 - ◆ Cache-Inhalte und aktuelle E/A-Operationen gehen verloren
 - ◆ inkonsistente Metadaten
 - z. B. Katalogeintrag fehlt zur Datei oder umgekehrt
 - z. B. Block ist benutzt aber nicht als belegt markiert
- ★ Reparaturprogramme
 - ◆ Programme wie **chkdsk**, **scandisk** oder **fsck** können inkonsistente Metadaten reparieren
- ▲ Datenverluste bei Reparatur möglich
- ▲ Große Platten bedeuten lange Laufzeiten der Reparaturprogramme

7.2 Journaling-File-Systems

- Zusätzlich zum Schreiben der Daten und Meta-Daten (z. B. Inodes) wird ein Protokoll der Änderungen geführt
 - ◆ Grundidee: Log-based Recovery bei Datenbanken
 - ◆ alle Änderungen treten als Teil von Transaktionen auf.
 - ◆ Beispiele für Transaktionen:
 - Erzeugen, Löschen, Erweitern, Verkürzen von Dateien
 - Dateiattribute verändern
 - Datei umbenennen
 - ◆ Protokollieren aller Änderungen am Dateisystem zusätzlich in einer Protokolldatei (*Log File*)
 - ◆ beim Bootvorgang wird Protokolldatei mit den aktuellen Änderungen abgeglichen und damit werden Inkonsistenzen vermieden.

7.2 Journaling-File-Systems (2)

■ Protokollierung

- ◆ für jeden Einzelvorgang einer Transaktion wird zunächst ein Logeintrag erzeugt und
- ◆ danach die Änderung am Dateisystem vorgenommen
- ◆ dabei gilt:
 - der Logeintrag wird immer **vor** der eigentlichen Änderung auf Platte geschrieben
 - wurde etwas auf Platte geändert, steht auch der Protokolleintrag dazu auf der Platte

■ Fehlererholung

- ◆ Beim Bootvorgang wird überprüft, ob die protokollierten Änderungen vorhanden sind:
 - Transaktion kann wiederholt bzw. abgeschlossen werden (*Redo*) falls alle Logeinträge vorhanden
 - angefangene, aber nicht beendete Transaktionen werden rückgängig gemacht (*Undo*).

7.2 Journaling-File-Systems (3)

■ Beispiel: Löschen einer Datei im NTFS

- ◆ Vorgänge der Transaktion
 - Beginn der Transaktion
 - Freigeben der Extents durch Löschen der entsprechenden Bits in der Belegungstabelle (gesetzte Bits kennzeichnen belegten Cluster)
 - Freigeben des MFT-Eintrags der Datei
 - Löschen des Katalogeintrags der Datei (evtl. Freigeben eines Extents aus dem Index)
 - Ende der Transaktion
- ◆ Alle Vorgänge werden unter der File-Reference im Log-File protokolliert, danach jeweils durchgeführt.
 - Protokolleinträge enthalten Informationen zum *Redo* und zum *Undo*

7.2 Journaling-File-Systems (4)

◆ Log vollständig (Ende der Transaktion wurde protokolliert und steht auf Platte):

- ▶ *Redo* der Transaktion:
alle Operationen werden wiederholt, falls nötig

◆ Log unvollständig (Ende der Transaktion steht nicht auf Platte):

- ▶ *Undo* der Transaktion:
in umgekehrter Reihenfolge werden alle Operation rückgängig gemacht

■ Checkpoints

◆ Log-File kann nicht beliebig groß werden

◆ gelegentlich wird für einen konsistenten Zustand auf Platte gesorgt (*Checkpoint*) und dieser Zustand protokolliert (alle Protokolleinträge von vorher können gelöscht werden)

◆ ähnlich verfährt NTFS, wenn Ende des Log-Files erreicht wird.

7.2 Journaling-File-Systems (5)

★ Ergebnis

◆ eine Transaktion ist entweder vollständig durchgeführt oder gar nicht

◆ Benutzer kann ebenfalls Transaktionen über mehrere Dateizugriffe definieren, wenn diese ebenfalls im Log erfasst werden

◆ keine inkonsistenten Metadaten möglich

◆ Hochfahren eines abgestürzten Systems benötigt nur den relativ kurzen Durchgang durch das Log-File.

- ▶ Alternative `chkdsk` benötigt viel Zeit bei großen Platten

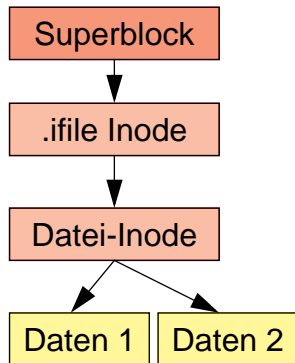
▲ Nachteile

◆ ineffizienter, da zusätzliches Log-File geschrieben wird

■ Beispiele: NTFS, EXT3, EXT4, ReiserFS

7.3 Copy-on-Write- / Log-Structured-File-Systems

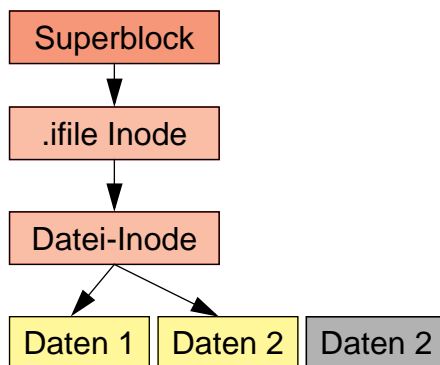
- Alternatives Konzept zur Realisierung von atomaren Änderungen
- Alle Änderungen im Dateisystem erfolgen auf Kopien
 - ◆ Der Inhalt veränderter Blöcke wird in einen neuen Block geschrieben



- ◆ Beispiel LinLogFS: Superblock einziger nicht ersetzter Block

7.3 Copy-on-Write- / Log-Structured-File-Systems

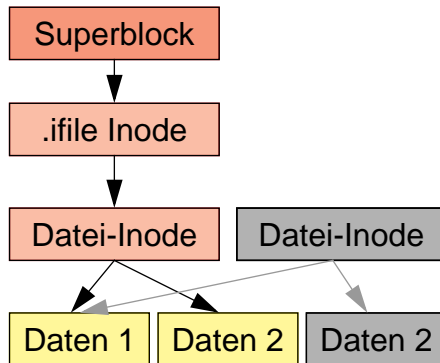
- Alternatives Konzept zur Realisierung von atomaren Änderungen
- Alle Änderungen im Dateisystem erfolgen auf Kopien
 - ◆ Der Inhalt veränderter Blöcke wird in einen neuen Block geschrieben



- ◆ Beispiel LinLogFS: Superblock einziger nicht ersetzter Block

7.3 Copy-on-Write- / Log-Structured-File-Systems

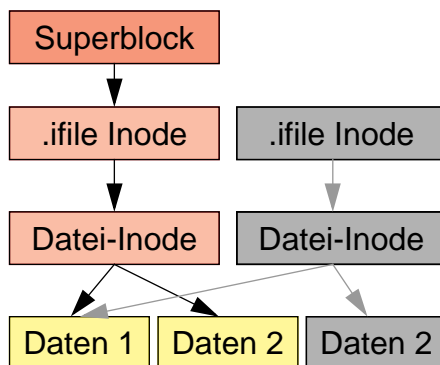
- Alternatives Konzept zur Realisierung von atomaren Änderungen
- Alle Änderungen im Dateisystem erfolgen auf Kopien
 - ◆ Der Inhalt veränderter Blöcke wird in einen neuen Block geschrieben



- ◆ Beispiel LinLogFS: Superblock einziger nicht ersetzter Block

7.3 Copy-on-Write- / Log-Structured-File-Systems

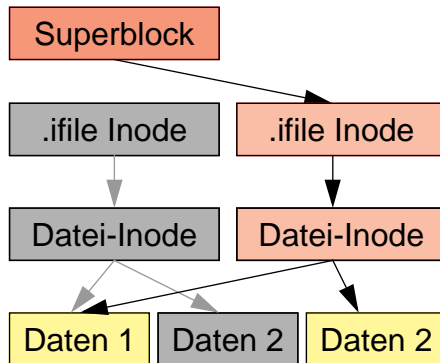
- Alternatives Konzept zur Realisierung von atomaren Änderungen
- Alle Änderungen im Dateisystem erfolgen auf Kopien
 - ◆ Der Inhalt veränderter Blöcke wird in einen neuen Block geschrieben



- ◆ Beispiel LinLogFS: Superblock einziger nicht ersetzter Block

7.3 Copy-on-Write- / Log-Structured-File-Systems

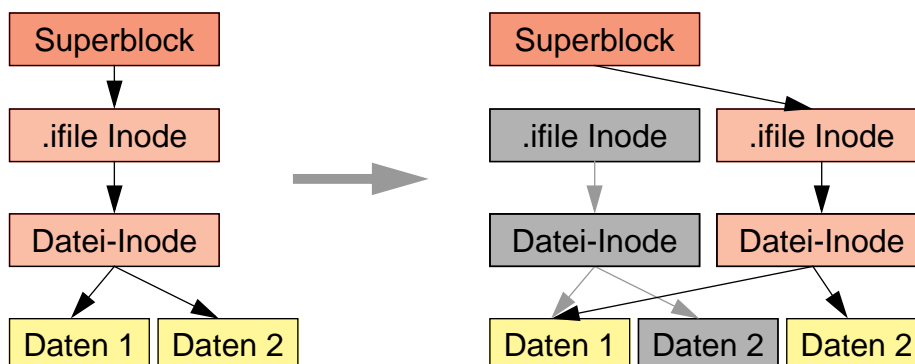
- Alternatives Konzept zur Realisierung von atomaren Änderungen
- Alle Änderungen im Dateisystem erfolgen auf Kopien
 - ◆ Der Inhalt veränderter Blöcke wird in einen neuen Block geschrieben



- ◆ Beispiel LinLogFS: Superblock einziger nicht ersetzter Block

7.4 Copy-on-Write- / Log-Structured-File-Systems

- Alternatives Konzept zur Realisierung von atomaren Änderungen
- Alle Änderungen im Dateisystem erfolgen auf Kopien
 - ◆ Der Inhalt veränderter Blöcke wird in einen neuen Block geschrieben



- ◆ Beispiel LinLogFS: Superblock einziger statischer Block (Anker im System)

7.4 Copy-on-Write- / Log-Structured-File-Systems (2)

★ Vorteile

- ◆ Datenkonsistenz bei Systemausfällen
 - ein atomare Änderung macht alle zusammengehörigen Änderungen sichtbar
- ◆ Schnappschüsse / Checkpoints einfach realisierbar

▲ Nachteile

- ◆ Gesamtperformanz geringer

■ Unterschied zwischen Copy-in-Write- und Log-Structured-File-Systems

- ◆ Log-Structured-File-Systems schreiben kontinuierlich an's Ende des belegten Plattenbereichs und geben vorne die Blöcke wieder frei
 - Gute Schreibeffizienz
 - Annahme: Lesen kann primär aus dem Cache erfolgen
- ◆ Beispiele: Log-Structured: LinLogFS, BSD LFS, AIX XFS
Copy-on-Write: Btrfs (Oracle)

Fehlerhafte Plattenblöcke

■ Blöcke, die beim Lesen Fehlermeldungen erzeugen

- ◆ z.B. Prüfsummenfehler

■ Hardwarelösung

- ◆ Platte und Plattencontroller bemerken selbst fehlerhafte Blöcke und maskieren diese aus
- ◆ Zugriff auf den Block wird vom Controller automatisch auf einen „gesunden“ Block umgeleitet

■ Softwarelösung

- ◆ File-System bemerkt fehlerhafte Blöcke und markiert diese auch als belegt

Datensicherung

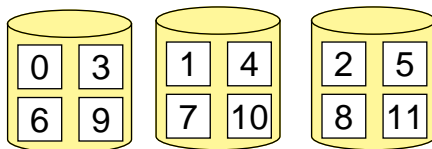
- Schutz vor dem Totalausfall von Platten
 - ◆ z. B. durch Head-Crash oder andere Fehler

9.1 Sichern der Daten auf Tertiärspeicher

- ▶ Bänder
- ▶ WORM-Speicherplatten (*Write Once Read Many*)
- Sichern großer Datenbestände
 - ◆ Total-Backups benötigen lange Zeit
 - ◆ Inkrementelle Backups sichern nur Änderungen ab einem bestimmten Zeitpunkt
 - ◆ Mischen von Total-Backups mit inkrementellen Backups

9.2 Einsatz mehrerer (redundanter) Platten

- Gestreifte Platten (*Striping*; RAID 0)
 - ◆ Daten werden über mehrere Platten gespeichert

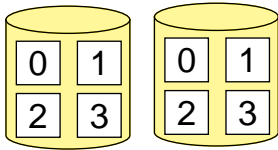


- ◆ Datentransfers sind nun schneller, da mehrere Platten gleichzeitig angesprochen werden können
- ▲ Nachteil
 - ◆ keinerlei Datensicherung: Ausfall einer Platte lässt Gesamtsystem ausfallen

9.2 Einsatz mehrerer redundanter Platten (2)

■ Gespiegelte Platten (*Mirroring*; RAID 1)

- ◆ Daten werden auf zwei Platten gleichzeitig gespeichert



- ◆ Implementierung durch Software (File-System, Plattentreiber) oder Hardware (spez. Controller)
- ◆ eine Platte kann ausfallen
- ◆ schnelleres Lesen (da zwei Platten unabhängig voneinander beauftragt werden können)

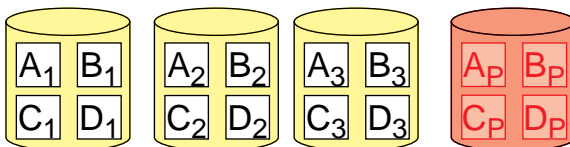
▲ Nachteil

- ◆ doppelter Speicherbedarf
- wenig langsames Schreiben durch Warten auf zwei Plattentransfers
- Verknüpfung von RAID 0 und 1 möglich (RAID 0+1)

9.2 Einsatz mehrerer redundanter Platten (3)

■ Paritätsplatte (RAID 4)

- ◆ Daten werden über mehrere Platten gespeichert, eine Platte enthält Parität



- ◆ Paritätsblock enthält byteweise XOR-Verknüpfungen von den zugehörigen Blöcken aus den anderen Streifen
- ◆ eine Platte kann ausfallen
- ◆ schnelles Lesen
- ◆ prinzipiell beliebige Plattenanzahl (ab drei)

9.2 Einsatz mehrerer redundanter Platten (4)

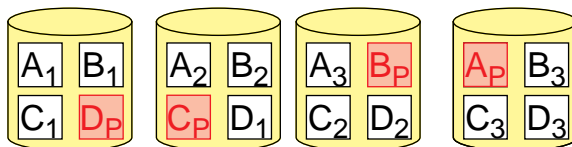
▲ Nachteil von RAID 4

- ◆ jeder Schreibvorgang erfordert auch das Schreiben des Paritätsblocks
- ◆ Erzeugung des Paritätsblocks durch Speichern des vorherigen Blockinhalts möglich: $P_{\text{neu}} = P_{\text{alt}} \oplus B_{\text{alt}} \oplus B_{\text{neu}}$ (P=Parity, B=Block)
- ◆ Schreiben eines kompletten Streifens benötigt nur einmaliges Schreiben des Paritätsblocks
- ◆ Paritätsplatte ist hoch belastet

9.2 Einsatz mehrerer redundanter Platten (5)

■ Verstreuter Paritätsblock (RAID 5)

- ◆ Paritätsblock wird über alle Platten verstreut



- ◆ zusätzliche Belastung durch Schreiben des Paritätsblocks wird auf alle Platten verteilt
- ◆ heute gängigstes Verfahren redundanter Platten
- ◆ Vor- und Nachteile wie RAID 4