

Systemprogrammierung

Dateisystem

Jürgen Kleinöder

Lehrstuhl Informatik 4

22. Januar 2014

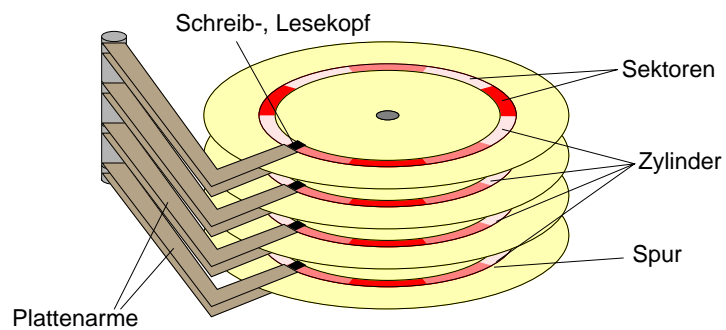
29. Januar 2014

Medien

2.1 Festplatten

■ Häufigstes Medium zum Speichern von Dateien

◆ Aufbau einer Festplatte



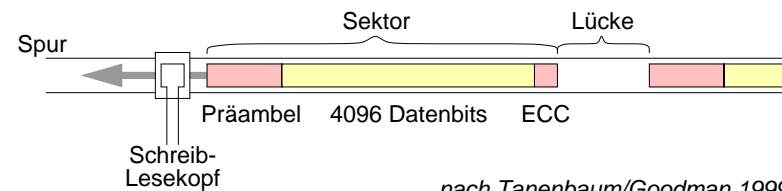
◆ Kopf schwebt auf Luftpolster

Überblick

- Medien
- Speicherung von Dateien
- Freispeicherverwaltung
- Beispiele: Dateisysteme unter UNIX und Windows
- Dateisysteme mit Fehlererholung
- Datensicherung

2.1 Festplatten (2)

■ Sektoraufbau



- ◆ Breite der Spur: 5–10 μm
- ◆ Spuren pro Zentimeter: 800–2000
- ◆ Breite einzelner Bits: 0,1–0,2 μm

■ Zonen

- ◆ Mehrere Zylinder (10–30) bilden eine Zone mit gleicher Sektorenanzahl (bessere Plattenausnutzung)

2.1 Festplatten (3)

■ Datenblätter von drei (alten) Beispielplatten

Plattentyp		Fujitsu M2344 (1987)	Seagate Cheetah	Seagate Barracuda
Kapazität		690 MB	300 GB	400 GB
Platten/Köpfe		8 / 28	4 / 8	781.422.768 Sektoren
Zylinderzahl		624	90.774	
Cache		-	4 MB	8 MB
Positionierzeiten	Spur zu Spur	4 ms	0,5 ms	-
	mittlere	16 ms	5,3 ms	8 ms
	maximale	33 ms	10,3 ms	-
Transferrate		2,4 MB/s	320 MB/s	-150 MB/s
Rotationsgeschw.		3.600 U/min	10.000 U/min	7.200 U/min
eine Plattenumdrehung		16 ms	6 ms	8 ms
Stromaufnahme		?	16-18 W	12,8 W

Juli 2013: Kapazität bis 4 TB bei 7.200 U/min oder 600 GB bei 15.000 U/min, Zugriffszeit ab 2,7 ms, Transferrate bis 200 MB/s

SSD: Kapazität bis 3,2 TB, Zugriffszeit ca. 0,1 ms, Transferrate bis 2,8 GB/s

2.1 Festplatten (4)

■ Zugriffsmerkmale

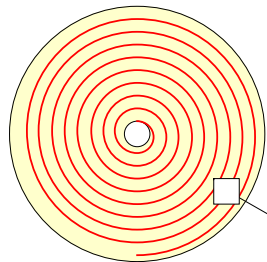
- ◆ blockorientierter und wahlfreier Zugriff
- ◆ Blockgröße zwischen 32 und 4096 Bytes (typisch 512 Bytes)
- ◆ Zugriff erfordert Positionierung des Schwenkarms auf den richtigen Zylinder und Warten auf den entsprechenden Sektor
- ◆ heutige Platten haben internen Cache und verbergen die Hardware-Details

■ Blöcke sind üblicherweise nummeriert

- ◆ früher getrennte Nummerierung: Zylindernummer, Sektornummer
- ◆ heute durchgehende Nummerierung der Blöcke
 - Kompatibilität zu alten Betriebssystemen wird durch *logical CHS (Cylinder/Head/Sector)*-Umrechnung hergestellt

2.2 CD-ROM / DVD

■ Aufbau einer CD



- ◆ Spirale, beginnend im Inneren
- ◆ 22188 Umdrehungen (600 pro mm)
- ◆ Gesamtlänge 5,6 km

Pitch (Abstand, 1,6 µm)

Pit (850nm - 3,5 µm lang, 500 nm breit)

Land

- ◆ **Pit:** Vertiefung, wird von Laser (780 nm Wellenlänge) abgetastet

■ DVD

- ◆ gleiches Grundkonzept, Wellenlänge des Lasers 650 nm
- ◆ Pits und Spurbabstand weniger als halb so groß

2.2 CD-ROM / DVD (2)

■ Kodierung einer CD

- ◆ **Symbol:** ein Byte wird mit 14 Bits kodiert (kann bereits bis zu zwei Bitfehler korrigieren)
- ◆ **Frame:** 42 Symbole (192 Datenbits, 396 Fehlerkorrekturbits)
- ◆ **Sektor:** 98 Frames werden zusammengefasst (16 Bytes Präambel, 2048 Datenbytes, 288 Bytes Fehlerkorrektur)
- ◆ **Effizienz:** 7203 Bytes transportieren 2048 Nutzbytes (28,4 %)

■ Kodierung einer DVD

- ◆ Codierung mit Reed-Solomon-Product-Code, 8/16-Bit-Modulation, 43,2 % Nutzdaten

■ Transferrate

- ◆ CD-Single-Speed-Laufwerk: 75 Sektoren/Sek. (153.600 Bytes/Sek.)
- ◆ CD-72-fach-Laufwerk: 11,06 MB/Sek.
- ◆ DVD 1-fach: 1.3 MB/sec, 24-fach: 33.2 MB/sec

2.2 CD-ROM / DVD (3)

- Kapazität
 - ◆ CD: ca. 650 MB
 - ◆ DVD single layer: 4.7 GB
 - ◆ DVD dual layer: 8.5 GB, beidseitig: 17 GB
- Varianten
 - ◆ DVD/CD-R (Recordable): einmal beschreibbar
 - ◆ DVD/CD-RW (Rewritable): mehrfach beschreibbar

Speicherung von Dateien

- Dateien benötigen oft mehr als einen Block auf der Festplatte
 - ◆ Welche Blöcke werden für die Speicherung einer Datei verwendet?

3.1 Kontinuierliche Speicherung

- Datei wird in Blöcken mit aufsteigenden Blocknummern gespeichert
 - ◆ Nummer des ersten Blocks und Anzahl der Folgeblöcke muss gespeichert werden
- ★ Vorteile
 - ◆ Zugriff auf alle Blöcke mit minimaler Positionierzeit des Schwenkarms
 - ◆ Schneller direkter Zugriff auf bestimmter Dateiposition
 - ◆ Einsatz z. B. bei Systemen mit Echtzeitanforderungen

3.1 Kontinuierliche Speicherung (2)

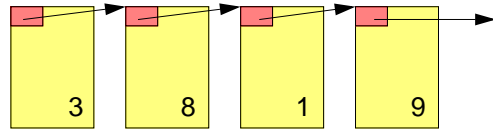
- ▲ Probleme
 - ◆ Finden des freien Platzes auf der Festplatte (Menge aufeinanderfolgender und freier Plattenblöcke)
 - ◆ Fragmentierungsproblem (Verschnitt: nicht nutzbare Plattenblöcke; siehe auch Speicherverwaltung)
 - ◆ Größe bei neuen Dateien oft nicht im Voraus bekannt
 - ◆ Erweitern ist problematisch
 - Umkopieren, falls kein freier angrenzender Block mehr verfügbar

3.1 Kontinuierliche Speicherung (3)

- Variation
 - ◆ Unterteilen einer Datei in Folgen von Blöcken (*Chunks, Extents*)
 - ◆ Blockfolgen werden kontinuierlich gespeichert
 - ◆ Pro Datei muss erster Block und Länge jedes einzelnen Chunks gespeichert werden
- ▲ Problem
 - ◆ Verschnitt innerhalb einer Folge (siehe auch Speicherverwaltung: interner Verschnitt bei Seitenadressierung)

3.2 Verkettete Speicherung

■ Blöcke einer Datei sind verkettet



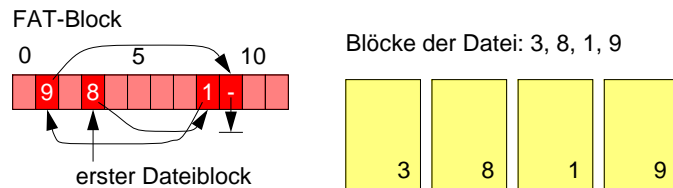
- ◆ z. B. Commodore Systeme (CBM 64 etc.)
 - Blockgröße 256 Bytes
 - die ersten zwei Bytes bezeichnen Spur- und Sektornummer des nächsten Blocks
 - wenn Spurnummer gleich Null: letzter Block
 - 254 Bytes Nutzdaten

★ Datei kann wachsen und verlängert werden

3.2 Verkettete Speicherung (3)

■ Verkettung wird in speziellen Plattenblocks gespeichert

- ◆ FAT-Ansatz (*FAT: File Allocation Table*), z. B. MS-DOS, Windows 95



★ Vorteile

- ◆ kompletter Inhalt des Datenblocks ist nutzbar (günstig bei Paging)
- ◆ mehrfache Speicherung der FAT möglich: Einschränkung der Fehleranfälligkeit

3.2 Verkettete Speicherung (2)

▲ Probleme

- ◆ Speicher für Verzeigerung geht von den Nutzdaten im Block ab (ungünstig im Zusammenhang mit Paging: Seite würde immer aus Teilen von zwei Plattenblöcken bestehen)
- ◆ Fehleranfälligkeit: Datei ist nicht restaurierbar, falls einmal Verzeigerung fehlerhaft
- ◆ schlechter direkter Zugriff auf bestimmte Dateiposition
- ◆ häufiges Positionieren des Schreib-, Lesekopfs bei verstreuten Datenblöcken

3.2 Verkettete Speicherung (4)

▲ Probleme

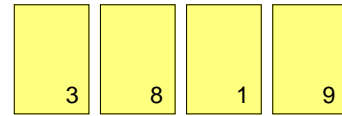
- ◆ mindestens ein zusätzlicher Block muss geladen werden (Caching der FAT zur Effizienzsteigerung nötig)
- ◆ FAT enthält Verkettungen für alle Dateien: das Laden der FAT-Blöcke lädt auch nicht benötigte Informationen
- ◆ aufwändige Suche nach dem zugehörigen Datenblock bei bekannter Position in der Datei
- ◆ häufiges Positionieren des Schreib-, Lesekopfs bei verstreuten Datenblöcken

3.3 Indiziertes Speichern

- Spezieller Plattenblock enthält Blocknummern der Datenblöcke einer Datei

Indexblock

Blöcke der Datei: 3, 8, 1, 9



▲ Problem

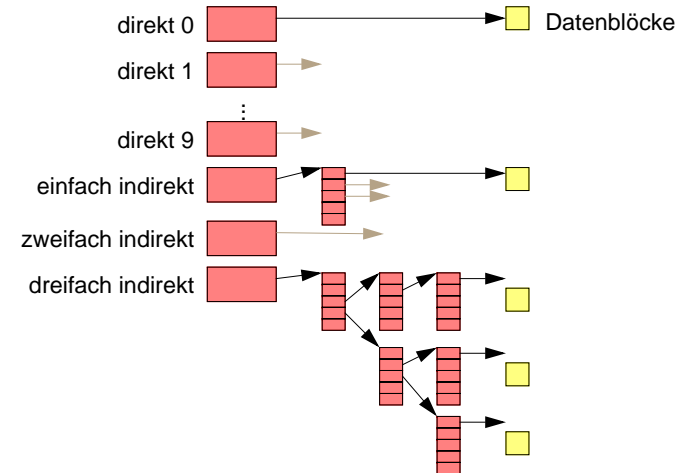
- ◆ feste Anzahl von Blöcken im Indexblock
 - Verschnitt bei kleinen Dateien
 - Erweiterung nötig für große Dateien

3.3 Indiziertes Speichern (3)

- ★ Einsatz von mehreren Stufen der Indizierung
 - ◆ Inode benötigt sowieso einen Block auf der Platte (Verschnitt unproblematisch bei kleinen Dateien)
 - ◆ durch mehrere Stufen der Indizierung auch große Dateien adressierbar
- ▲ Nachteil
 - ◆ mehrere Blöcke müssen geladen werden (nur bei langen Dateien)

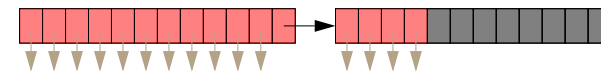
3.3 Indiziertes Speichern (2)

■ Beispiel UNIX Inode



Freispeicherverwaltung

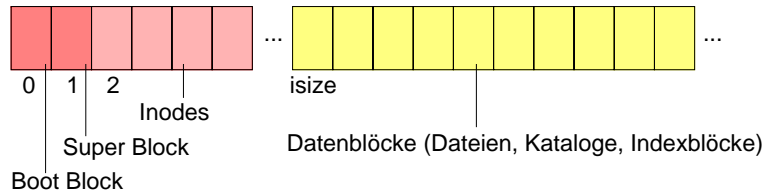
- Prinzipiell ähnlich wie Verwaltung von freiem Hauptspeicher
 - ◆ Bitvektoren zeigen für jeden Block Belegung an
 - ◆ verkettete Listen repräsentieren freie Blöcke
 - Verkettung kann in den freien Blöcken vorgenommen werden
 - Optimierung: aufeinanderfolgende Blöcke werden nicht einzeln aufgenommen, sondern als Stück verwaltet
 - Optimierung: ein freier Block enthält viele Blocknummern weiterer freier Blöcke und evtl. die Blocknummer eines weiteren Blocks mit den Nummern freier Blöcke



Beispiel: UNIX File Systems

5.1 System V File System

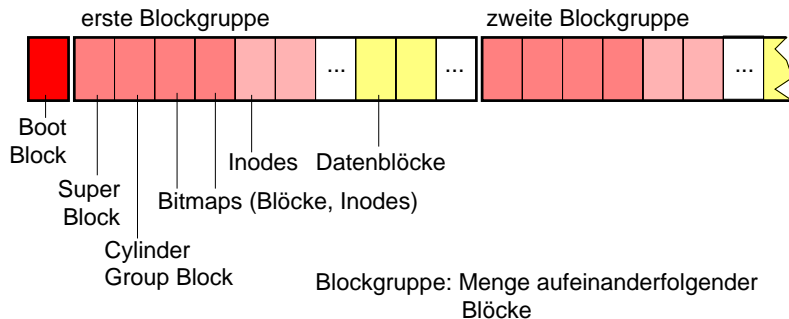
Blockorganisation



- ◆ Boot Block enthält Informationen zum Laden eines initialen Programms
- ◆ Super Block enthält Verwaltungsinformation für ein Dateisystem
 - Anzahl der Blöcke, Anzahl der Inodes
 - Anzahl und Liste freier Blöcke und freier Inodes
 - Attribute (z.B. *Modified flag*)

5.3 Linux EXT2 File System

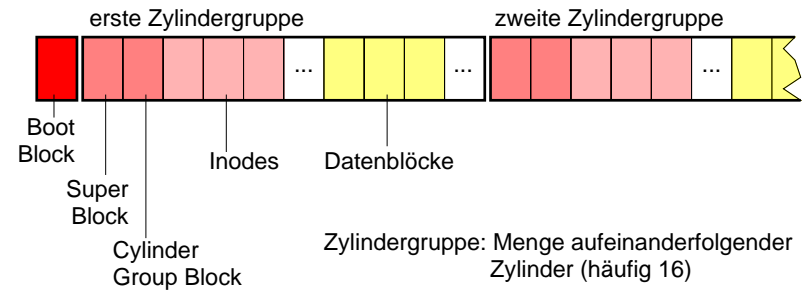
Blockorganisation



- ◆ Ähnliches Layout wie BSD FFS
- ◆ Blockgruppen unabhängig von Zylindern

5.2 BSD 4.2 (Berkeley Fast File System)

Blockorganisation



- ◆ Kopie des Super Blocks in jeder Zylindergruppe
- ◆ freie Inodes u. freie Datenblöcke werden im *Cylinder Group Block* gehalten
- ◆ eine Datei wird möglichst innerhalb einer Zylindergruppe gespeichert
- ★ Vorteil: kürzere Positionierungszeiten

Beispiel: Windows NT (NTFS)

Dateisystem für Windows NT

Datei

- ◆ beliebiger Inhalt; für das Betriebssystem ist der Inhalt transparent
- ◆ Rechte verknüpft mit NT-Benutzern und -Gruppen
- ◆ Datei kann automatisch komprimiert oder verschlüsselt gespeichert werden
- ◆ große Dateien bis zu 2^{64} Bytes lang
- ◆ Hard links: mehrere Einträge derselben Datei in verschiedenen Katalogen möglich

Dateiinhalte: Sammlung von *Streams*

- ◆ *Stream*: einfache, unstrukturierte Folge von Bytes
- ◆ "normaler Inhalt" = unbenannter Stream (default stream)
- ◆ dynamisch erweiterbar
- ◆ Syntax: dateiname:streamname

6.1 Dateiverwaltung

- Basiseinheit „Cluster“
 - ◆ 512 Bytes bis 4 Kilobytes (beim Formatieren festgelegt)
 - ◆ wird auf eine Menge von hintereinanderfolgenden Blöcken abgebildet
 - ◆ logische Cluster-Nummer als Adresse (LCN)
- Basiseinheit „Strom“
 - ◆ jede Datei kann mehrere (Daten-)Ströme speichern
 - ◆ einer der Ströme wird für die eigentlichen Daten verwendet
 - ◆ Dateiname, MS-DOS Dateiname, Zugriffsrechte, Attribute und Zeitstempel werden jeweils in eigenen Datenströmen gespeichert (leichte Erweiterbarkeit des Systems)

6.2 Master-File-Table

- Rückgrat des gesamten Systems
 - ◆ große Tabelle mit gleich langen Elementen (1KB, 2KB oder 4KB groß, je nach Clustergröße)
 - ◆ kann dynamisch erweitert werden
- | | |
|-----|--|
| 0 | |
| 1 | |
| 2 | |
| 3 | |
| 4 | |
| 5 | |
| 6 | |
| 7 | |
| 8 | |
| ... | |
- entsprechender Eintrag für eine *File-Reference* enthält Informationen über bzw. die *Streams* der Datei
- ◆ Index in die Tabelle ist Teil der *File-Reference*

6.1 Dateiverwaltung (2)

- *File-Reference*
 - ◆ Bezeichnet eindeutig eine Datei oder einen Katalog
- | | | |
|--------------------|-------------|---|
| 63 | 47 | 0 |
| | | |
| Sequenz-
nummer | Dateinummer | |

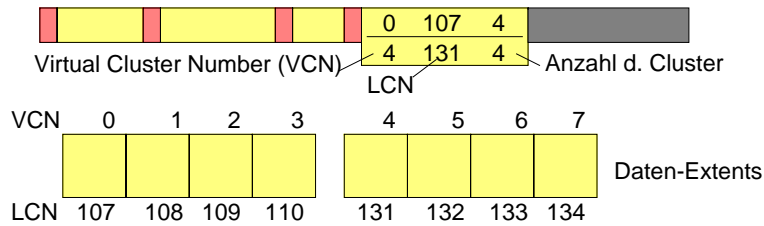
 - Dateinummer ist Index in eine globale Tabelle (*MFT: Master File Table*)
 - Sequenznummer wird hochgezählt, für jede neue Datei mit gleicher Dateinummer

6.2 Master-File-Table (2)

- Eintrag für eine kurze Datei
- Streams
 - ◆ Standard-Information (immer in der MFT)
 - enthält Länge, Standard-Attribute, Zeitstempel, Anzahl der Hard links, Sequenznummer der gültigen File-Reference
 - ◆ Dateiname (immer in der MFT)
 - kann mehrfach vorkommen (Hard links)
 - ◆ Zugriffsrechte (*Security Descriptor*)
 - ◆ Eigentliche Daten

6.2 Master-File-Table (3)

Eintrag für eine längere Datei



- ◆ **Extents** werden außerhalb der MFT in aufeinanderfolgenden Clustern gespeichert
- ◆ Lokalisierungsinformationen werden in einem eigenen Stream gespeichert

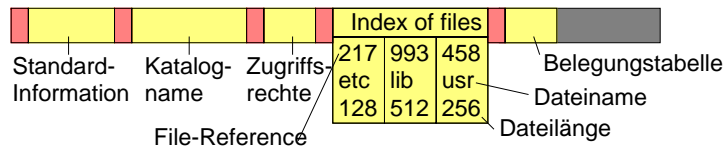
6.2 Master-File-Table (4)

Mögliche weitere Streams (*Attributes*)

- ◆ Index
 - Index über einen Attributsschlüssel (z.B. Dateinamen) implementiert Katalog
- ◆ Indexbelegungstabelle
 - Belegung der Struktur eines Index
- ◆ Attributliste (immer in der MFT)
 - wird benötigt, falls nicht alle Streams in einen MFT Eintrag passen
 - referenzieren weitere MFT Einträge und deren Inhalt
- ◆ Streams mit beliebigen Daten
 - wird gerne zum Verstecken von Viren genutzt, da viele Standard-Werkzeuge von Windows nicht auf die Bearbeitung mehrerer Streams eingestellt sind (arbeiten nur mit dem unbenannten Stream)

6.2 Master File Table (5)

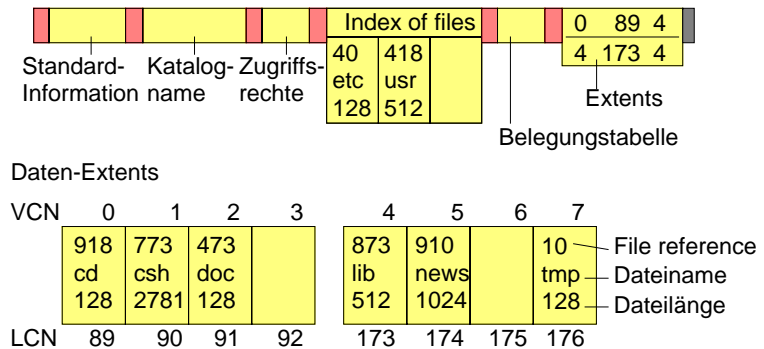
Eintrag für einen kurzen Katalog



- ◆ Dateien des Katalogs werden mit File-References benannt
- ◆ Name und Standard-Attribute (z.B. Länge) der im Katalog enthaltenen Dateien und Kataloge werden auch im Index gespeichert (doppelter Aufwand beim Update; schnellerer Zugriff beim Kataloglisten)

6.2 Master File Table (6)

Eintrag für einen längeren Katalog



- ◆ Speicherung als B⁺-Baum (sortiert, schneller Zugriff)
- ◆ in einen Cluster passen zwischen 3 und 15 Dateien (im Bild nur eine)

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)

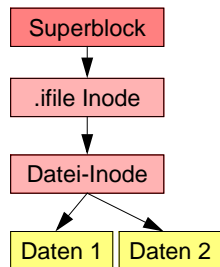
- ◆ Log vollständig (Ende der Transaktion wurde protokolliert und steht auf Platte):
 - *Redo* der Transaktion: alle Operationen werden wiederholt, falls nötig
- ◆ Log unvollständig (Ende der Transaktion steht nicht auf Platte):
 - *Undo* der Transaktion: in umgekehrter Reihenfolge werden alle Operation 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

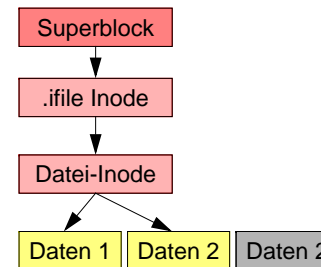
- Alternatives Konzept zur Realisierung von atomaren Änderungen
- Alle Änderungen im Dateisystem erfolgen auf Kopien
 - ◆ Der Inhalt veränderter Blöcke wird in einen neuen Block geschrieben



- ◆ Beispiel LinLogFS: Superblock einziger nicht ersetzter Block

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

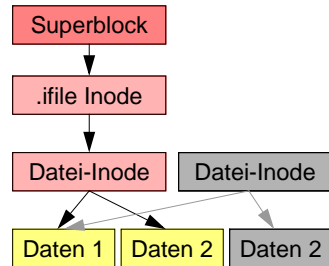
- Alternatives Konzept zur Realisierung von atomaren Änderungen
- Alle Änderungen im Dateisystem erfolgen auf Kopien
 - ◆ Der Inhalt veränderter Blöcke wird in einen neuen Block geschrieben



- ◆ Beispiel LinLogFS: Superblock einziger nicht ersetzter Block

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

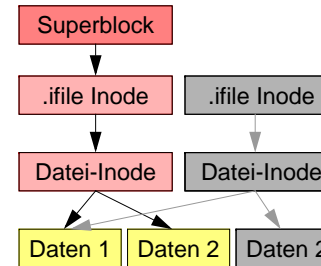
- Alternatives Konzept zur Realisierung von atomaren Änderungen
- Alle Änderungen im Dateisystem erfolgen auf Kopien
 - ◆ Der Inhalt veränderter Blöcke wird in einen neuen Block geschrieben



◆ Beispiel LinLogFS: Superblock einziger nicht ersetzter Block

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

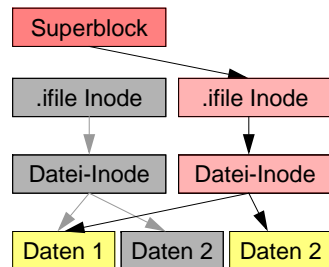
- Alternatives Konzept zur Realisierung von atomaren Änderungen
- Alle Änderungen im Dateisystem erfolgen auf Kopien
 - ◆ Der Inhalt veränderter Blöcke wird in einen neuen Block geschrieben



◆ Beispiel LinLogFS: Superblock einziger nicht ersetzter Block

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

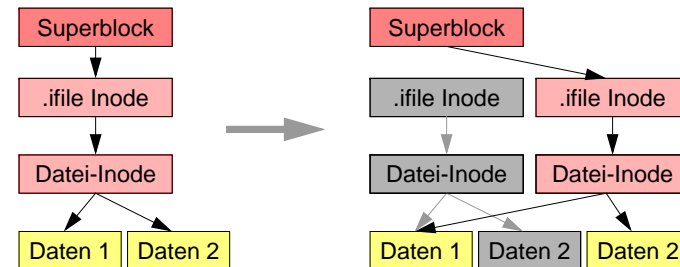
- Alternatives Konzept zur Realisierung von atomaren Änderungen
- Alle Änderungen im Dateisystem erfolgen auf Kopien
 - ◆ Der Inhalt veränderter Blöcke wird in einen neuen Block geschrieben



◆ 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)

Datensicherung

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

9.1 Sichern der Daten auf Tertiärspeicher

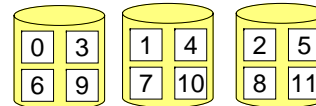
- Bänder
- WORM-Speicherplatten (*Write Once Read Many*)
- Sichern großer Datenbestände
 - ◆ Total-Backups benötigen lange Zeit
 - ◆ Inkrementelle Backups sichern nur Änderungen ab einem bestimmten Zeitpunkt
 - ◆ Mischen von Total-Backups mit inkrementellen Backups

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

9.2 Einsatz mehrerer (redundanter) Platten

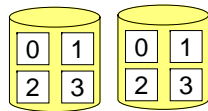
- Gestreifte Platten (*Striping*; RAID 0)
 - ◆ Daten werden über mehrere Platten gespeichert



- ◆ 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)

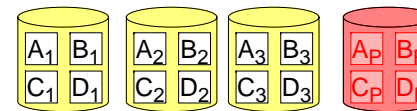
- Gespiegelte Platten (*Mirroring*; RAID 1)
 - ◆ Daten werden auf zwei Platten gleichzeitig gespeichert



- ◆ 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



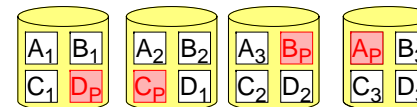
- ◆ Paritätsblock enthält byteweise XOR-Verknüpfungen von den zugehörigen Blöcken aus den anderen Streifen
- ◆ eine Platte kann ausfallen
- ◆ schnelles Lesen
- ◆ prinzipiell beliebige Plattenanzahl (ab drei)

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: $P_{neu} = P_{alt} \oplus B_{alt} \oplus B_{neu}$ (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