Systemprogrammierung

Dateisystem

Jürgen Kleinöder

Lehrstuhl Informatik 4

13. Januar 2015
20. Januar 2015

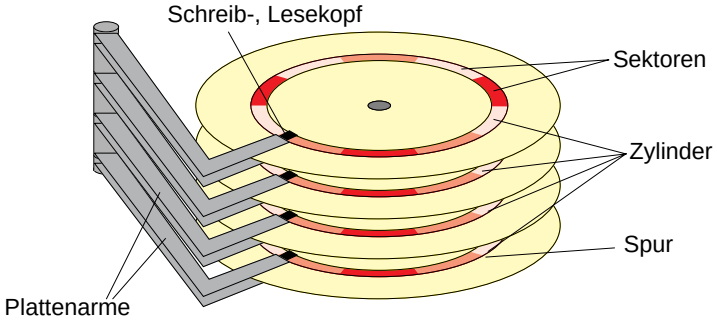
Überblick

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

Medien

2.1 Festplatten

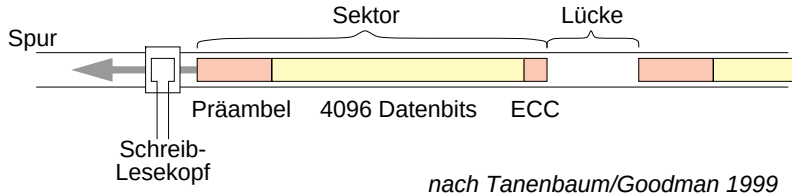
- Häufigstes Medium zum Speichern von Dateien
  - Aufbau einer Festplatte



  - Kopf schwebt auf Luftpolster

2.1 Festplatten (2)

- Sektoraufbau



nach Tanenbaum/Goodman 1999

  - 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

09.2014: Kapazität bis 8 TB bei 7.200 U/min oder 600 GB bei 15.000 U/min, Zugriffszeit ab 2,7 ms, Transferrate bis 200 MB/s

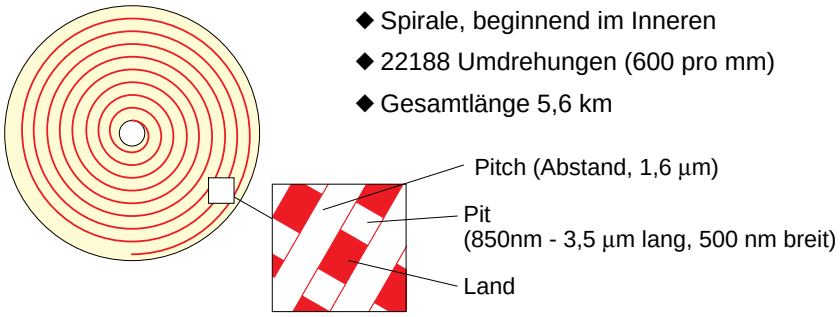
SSD: Kapazität bis 4 TB, Zugriffszeit ca. 0,1 ms, Transferrate bis 3 GB/s

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
  - **Pit**: Vertiefung, wird von Laser (780 nm Wellenlänge) abgetastet
- DVD
  - gleiches Grundkonzept, Wellenlänge des Lasers 650 nm
  - Pits und Spurabstand 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)

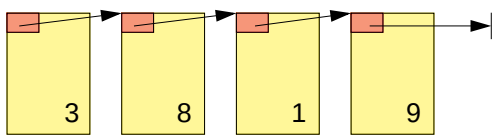
- ▲ Probleme
  - Finden des freien Platzes auf der Festplatte (Menge aufeinanderfolgender und freier Plattenblöcke)
  - Fragmentierungsproblem (Verschnitt: nicht nutzbare Plattenblöcke; siehe auch Speicherverwaltung)
  - Größe bei neuen Dateien oft nicht im Voraus bekannt
  - Erweitern ist problematisch
    - ➤ 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

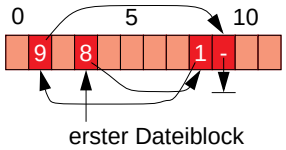
3.2 Verkettete Speicherung (2)

- ▲ 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

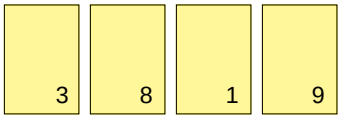
3.2 Verkettete Speicherung (3)

- Verkettung wird in speziellen Plattenblocks gespeichert
  - FAT-Ansatz *(FAT: File Allocation Table)*, z. B. MS-DOS, Windows 95

FAT-Block



Blöcke der Datei: 3, 8, 1, 9



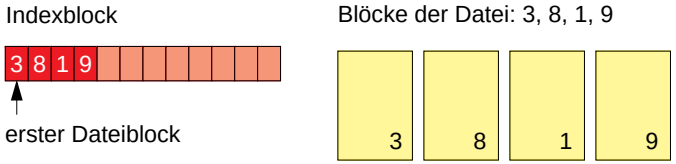
- ★ Vorteile
  - kompletter Inhalt des Datenblocks ist nutzbar (günstig bei Paging)
  - mehrfache Speicherung der FAT möglich: Einschränkung der Fehleranfälligkeit

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

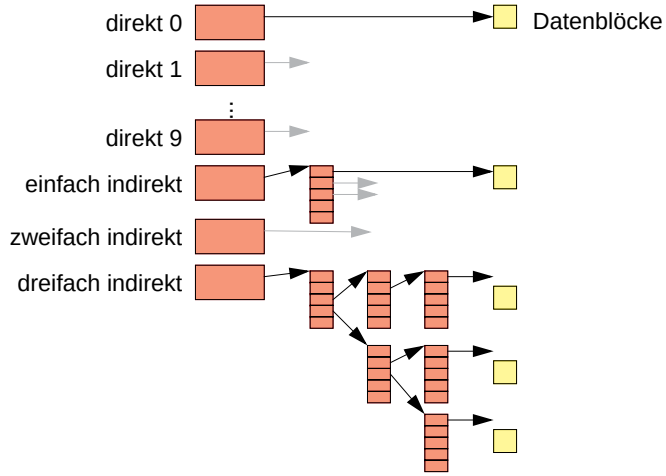
- Spezieller Plattenblock enthält Blocknummern der Datenblocks einer Datei



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

3.3 Indiziertes Speichern (2)

- Beispiel UNIX Inode

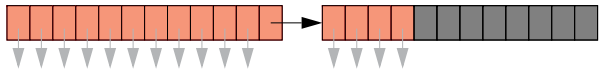


3.3 Indiziertes Speichern (3)

- ★ 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)

Freispeicherverwaltung

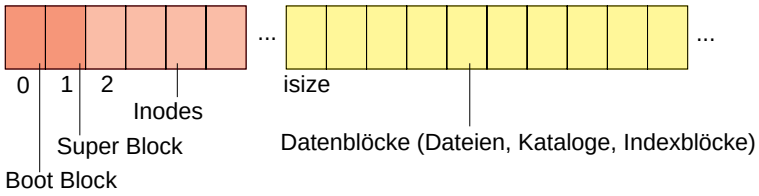
- Prinzipiell ähnlich wie Verwaltung von freiem Hauptspeicher
  - ◆ Bitvektoren zeigen für jeden Block Belegung an
  - ◆ verkettete Listen repräsentieren freie Blöcke
    - Verkettung kann in den freien Blöcken vorgenommen werden
    - Optimierung: aufeinanderfolgende Blöcke werden nicht einzeln aufgenommen, 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

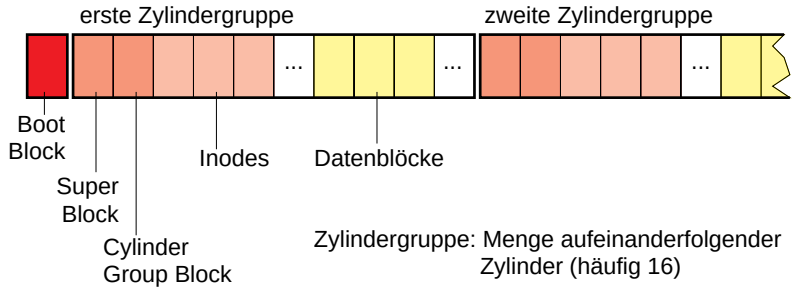
- Blockorganisation



  - 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*)

5.2 BSD 4.2 (Berkeley Fast File System)

- Blockorganisation

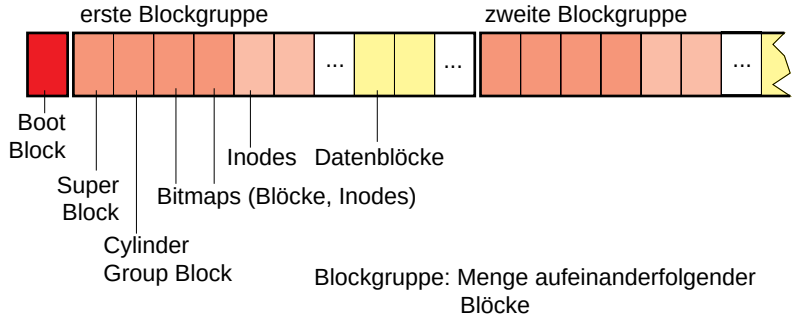


  - Kopie des Super Blocks in jeder Zylindergruppe
  - freie Inodes u. freie Datenblöcke werden im *Cylinder Group Block* gehalten
  - eine Datei wird möglichst innerhalb einer Zylindergruppe gespeichert

★ Vorteil: kürzere Positionierungszeiten

5.3 Linux EXT2 File System

- Blockorganisation



  - Ähnliches Layout wie BSD FFS
  - Blockgruppen unabhängig von Zylindern

Beispiel: Windows NT (NTFS)

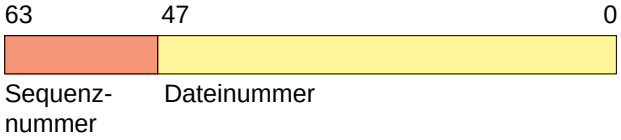
- Dateisystem für Windows NT
- Datei
  - beliebiger Inhalt; für das Betriebssystem ist der Inhalt transparent
  - Rechte verknüpft mit NT-Benutzern und -Gruppen
  - Datei kann automatisch komprimiert oder verschlüsselt gespeichert werden
  - große Dateien bis zu 2^{64} Bytes lang
  - Hard links: mehrere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

6.1 Dateiverwaltung (2)

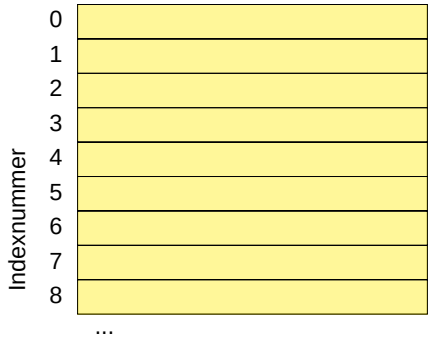
- *File-Reference*
  - Bezeichnet eindeutig eine Datei oder einen Katalog



  - 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

- Rückgrat des gesamten Systems
  - große Tabelle mit gleich langen Elementen (1KB, 2KB oder 4KB groß, je nach Clustergröße)
  - kann dynamisch erweitert werden

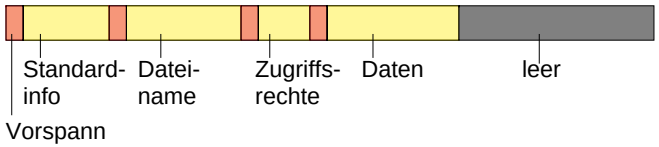


entsprechender Eintrag für eine *File-Reference* enthält Informationen über bzw. die *Streams* der Datei

  - Index in die Tabelle ist Teil der *File-Reference*

6.2 Master-File-Table (2)

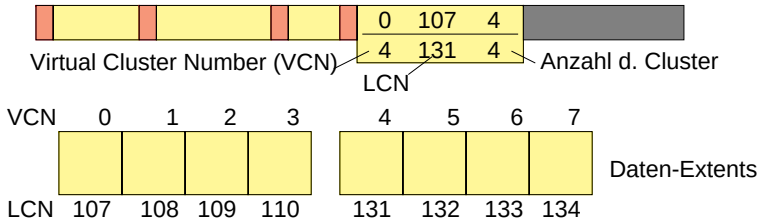
- Eintrag für eine kurze Datei



- 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



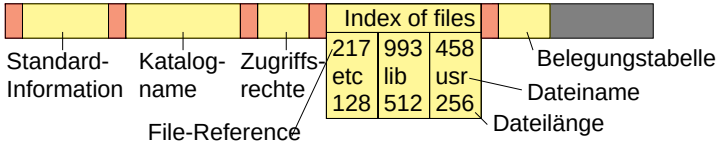
- ***Extents*** werden außerhalb der MFT in aufeinanderfolgenden Clustern gespeichert
- Lokalisierungsinformationen werden in einem eigenen Stream gespeichert

6.2 Master-File-Table (4)

- Mögliche weitere Streams *(Attributes)*
  - Index
    - Index über einen Attributschlüssel (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)

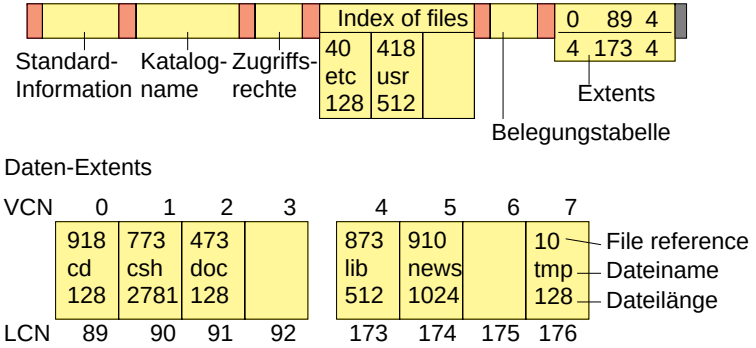
- Eintrag für einen kurzen Katalog



- 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)

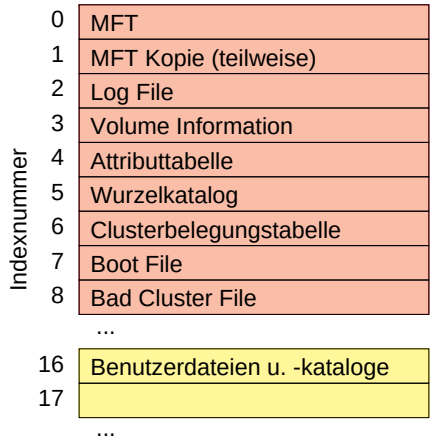
- Eintrag für einen längeren Katalog



- 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



Feste Dateien in der MFT

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

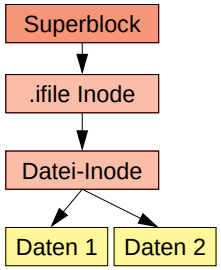
▲ Nachteile
- ineffizienter, da zusätzliches Log-File geschrieben wird

■ 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

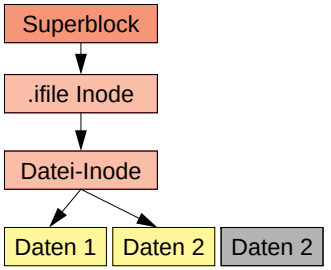


- Beispiel LinLogFS: Superblock einziger nicht ersetzter Block

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

■ Alternatives Konzept zur Realisierung von atomaren Änderungen

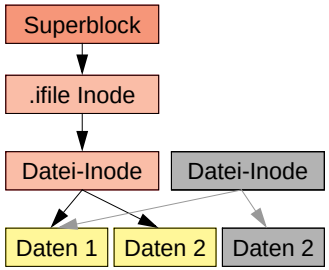
■ Alle Änderungen im Dateisystem erfolgen auf Kopien
- Der Inhalt veränderter Blöcke wird in einen neuen Block geschrieben



- Beispiel LinLogFS: Superblock einziger nicht ersetzter Block

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

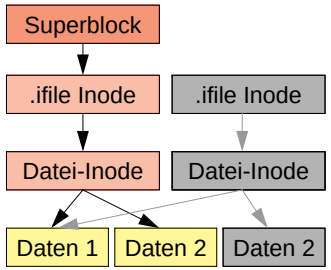
- Alternatives Konzept zur Realisierung von atomaren Änderungen
- Alle Änderungen im Dateisystem erfolgen auf Kopien
  - Der Inhalt veränderter Blöcke wird in einen neuen Block geschrieben



  - Beispiel LinLogFS: Superblock einziger nicht ersetzter Block

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

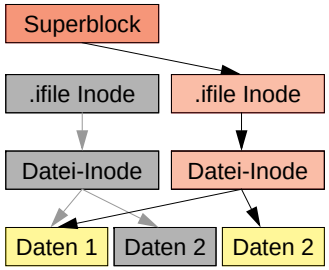
- Alternatives Konzept zur Realisierung von atomaren Änderungen
- Alle Änderungen im Dateisystem erfolgen auf Kopien
  - Der Inhalt veränderter Blöcke wird in einen neuen Block geschrieben



  - Beispiel LinLogFS: Superblock einziger nicht ersetzter Block

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

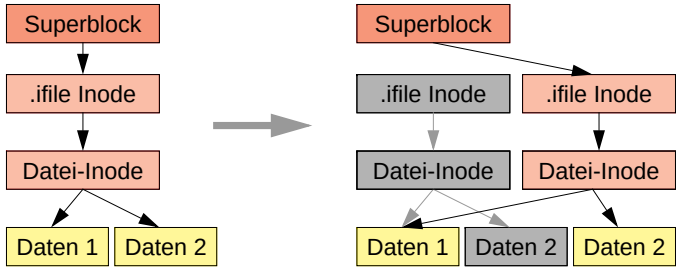
- Alternatives Konzept zur Realisierung von atomaren Änderungen
- Alle Änderungen im Dateisystem erfolgen auf Kopien
  - Der Inhalt veränderter Blöcke wird in einen neuen Block geschrieben



  - 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
  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

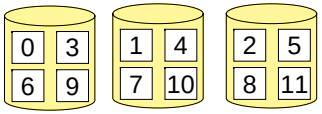
9.1 Sichern der Daten auf Tertiärspeicher

- ➤ 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

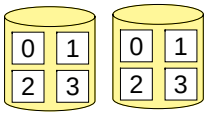


- ◆ Datentransfers sind nun schneller, da mehrere Platten gleichzeitig angesprochen werden können

▲ Nachteil
- ◆ keinerlei Datensicherung: Ausfall einer Platte lässt Gesamtsystem ausfallen

9.2 Einsatz mehrerer redundanter Platten (2)

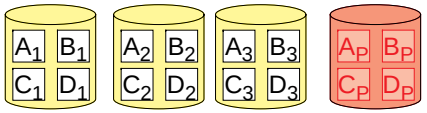
- Gespiegelte Platten (*Mirroring*; RAID 1)
  - Daten werden auf zwei Platten gleichzeitig gespeichert



  - 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 langsameres 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



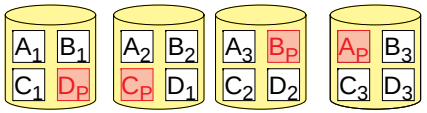
  - Paritätsblock enthält byteweise XOR-Verknüpfungen von den zugehörigen Blöcken aus den anderen Streifen
  - eine Platte kann ausfallen
  - schnelles Lesen
  - prinzipiell beliebige Plattenanzahl (ab drei)

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