

Implementierung von Dateien

■ Überblick

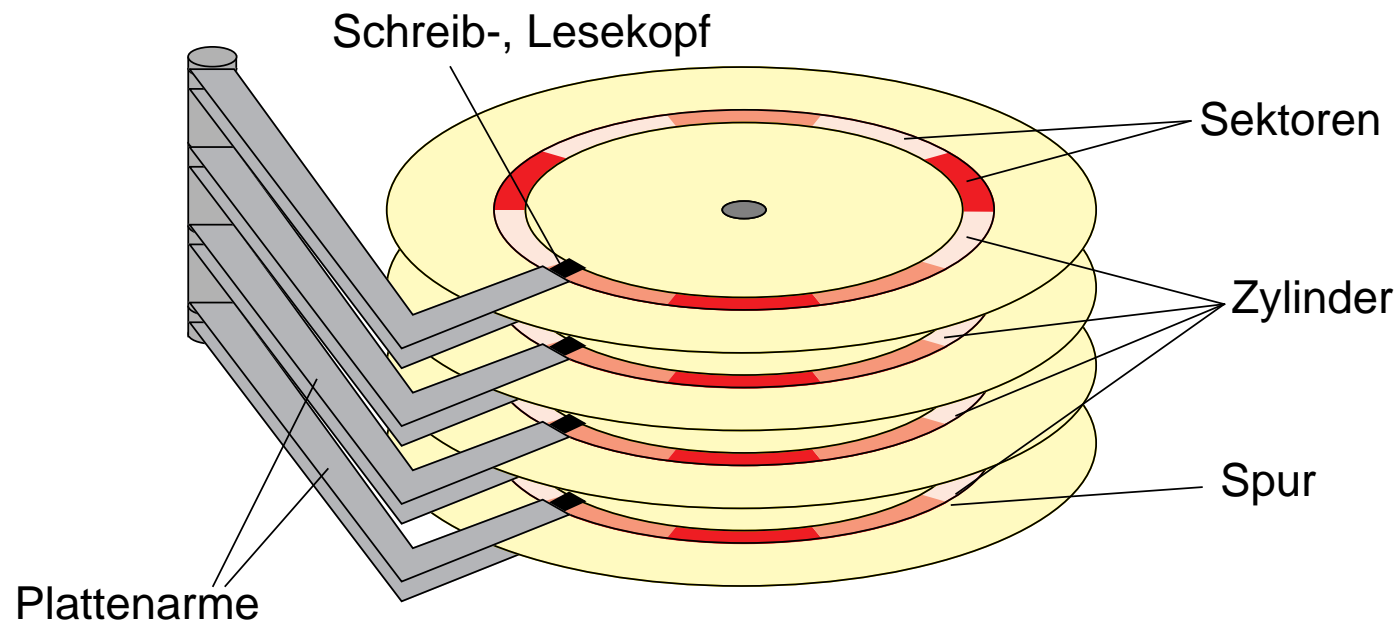
- Medien
- Speicherung von Dateien
- Freispeicherverwaltung
- Beispiele: Dateisysteme unter UNIX und Windows
- Dateisysteme mit Fehlererholung
- Datensicherung

Medien

1 Festplatten

■ Häufigstes Medium zum Speichern von Dateien

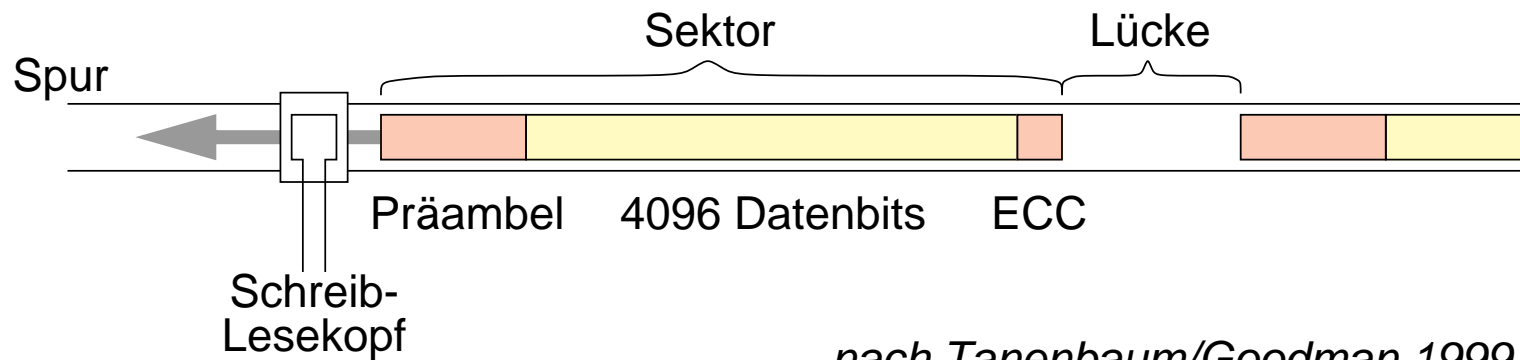
◆ Aufbau einer Festplatte



◆ Kopf schwebt auf Luftpolster

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)

1 Festplatten (3)

■ Datenblätter von drei 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
Positionier- zeiten	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

1 Festplatten (4)

■ Zugriffsmerkmale

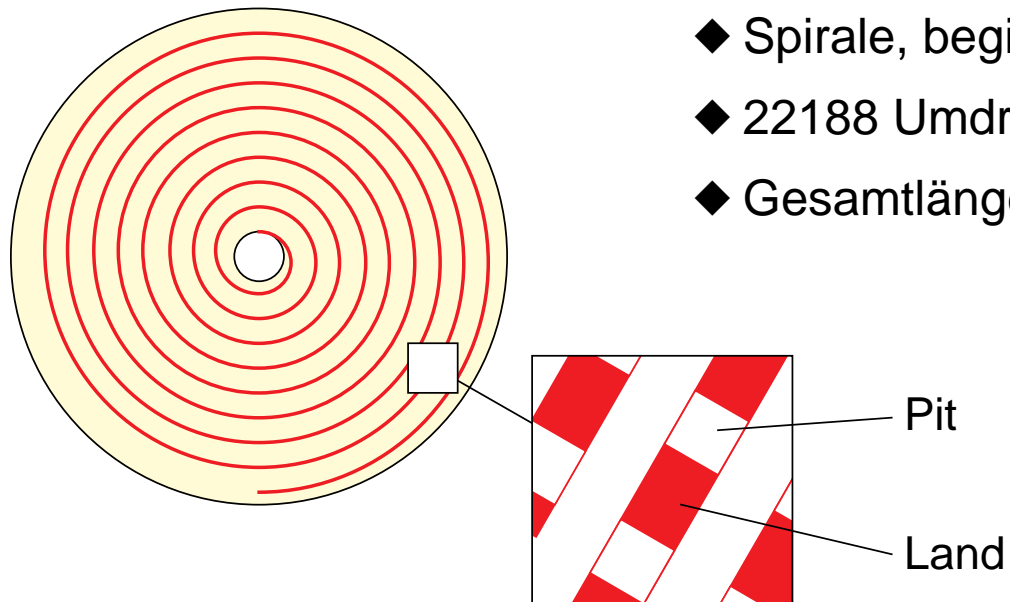
- ◆ blockorientierter und wahlfreier Zugriff
- ◆ Blockgröße zwischen 32 und 4096 Bytes (typisch 512 Bytes)
- ◆ Zugriff erfordert Positionierung des Schwenkarms auf den richtigen Zylinder und Warten auf den entsprechenden Sektor
- ◆ heutige Platten haben internen Cache und verbergen die Hardware-Details

■ 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 CD-ROM

■ Aufbau einer CD



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

- ◆ **Pit:** Vertiefung, die von einem Laser abgetastet werden kann

2 CD-ROM (2)

■ Kodierung

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

- ◆ *Effizienz:* 7203 Bytes transportieren 2048 Nutzbytes

■ Transferrate

- ◆ Single-Speed-Laufwerk:
75 Sektoren pro Sekunde (153.600 Bytes pro Sekunde)
- ◆ 40-fach-Laufwerk:
3000 Sektoren pro Sekunde (6.144.000 Bytes pro Sekunde)

2 CD-ROM (3)

■ Kapazität

- ◆ ca. 650 MB

■ Varianten

- ◆ **CD-R** (Recordable): einmal beschreibbar
- ◆ **CD-RW** (Rewritable): mehrfach beschreibbar

■ DVD (Digital Versatile Disk)

- ◆ kleinere Pits, engere Spirale, andere Laserlichtfarbe
- ◆ einseitig oder zweiseitig beschrieben
- ◆ ein- oder zweischichtig beschrieben
- ◆ Kapazität: 4,7 bis 17 GB

Speicherung von Dateien

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

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

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

1 Kontinuierliche Speicherung (3)

■ Variation

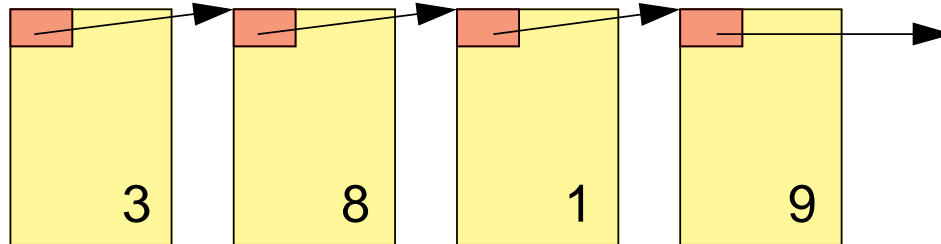
- ◆ Unterteilen einer Datei in Folgen von Blocks (*Chunks*, *Extents*)
- ◆ Blockfolgen werden kontinuierlich gespeichert
- ◆ Pro Datei muss erster Block und Länge jedes einzelnen Chunks gespeichert werden

▲ Problem

- ◆ Verschnitt innerhalb einer Folge (siehe auch Speicherverwaltung: interner Verschnitt bei Seitenadressierung)

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

- ★ File kann wachsen und verlängert werden

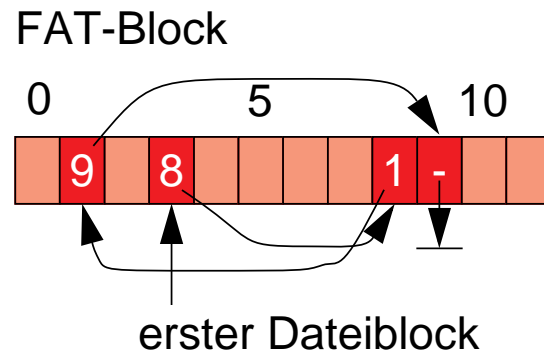
2 Verkettete Speicherung (2)

▲ Probleme

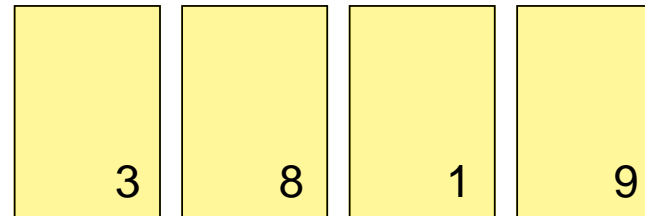
- ◆ Speicher für Verzeigerung geht von den Nutzdaten im Block ab (ungünstig im Zusammenhang mit Paging: Seite würde immer aus Teilen von zwei Plattenblöcken bestehen)
- ◆ Fehleranfälligkeit: Datei ist nicht restaurierbar, falls einmal Verzeigerung fehlerhaft
- ◆ schlechter direkter Zugriff auf bestimmte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

2 Verkettete Speicherung (3)

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



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

2 Verkettete Speicherung (4)

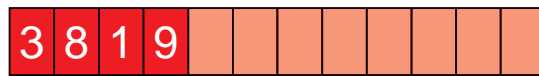
▲ Probleme

- ◆ 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 Indiziertes Speichern

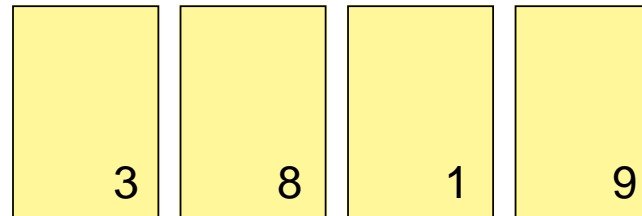
- Spezieller Plattenblock enthält Blocknummern der Datenblocks einer Datei

Indexblock



↑
erster Dateiblock

Blöcke der Datei: 3, 8, 1, 9

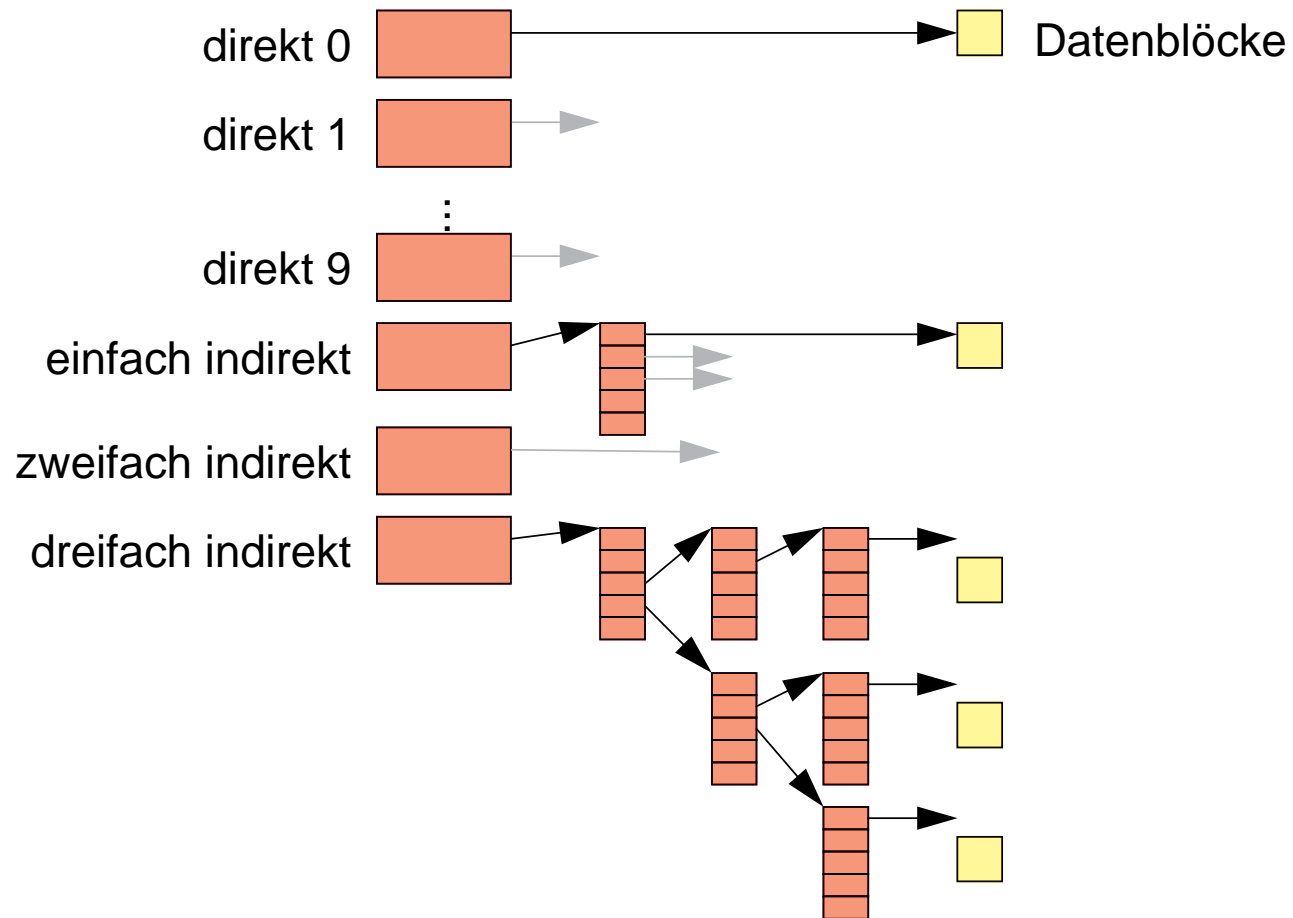


▲ Problem

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

3 Indiziertes Speichern (2)

■ Beispiel UNIX Inode

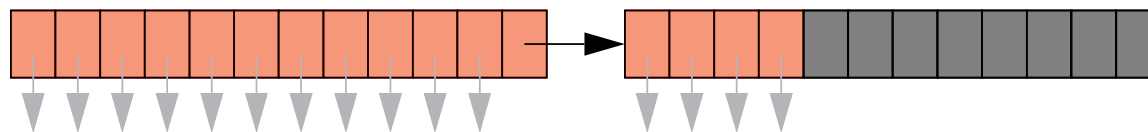


3 Indiziertes Speichern (3)

- ★ 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

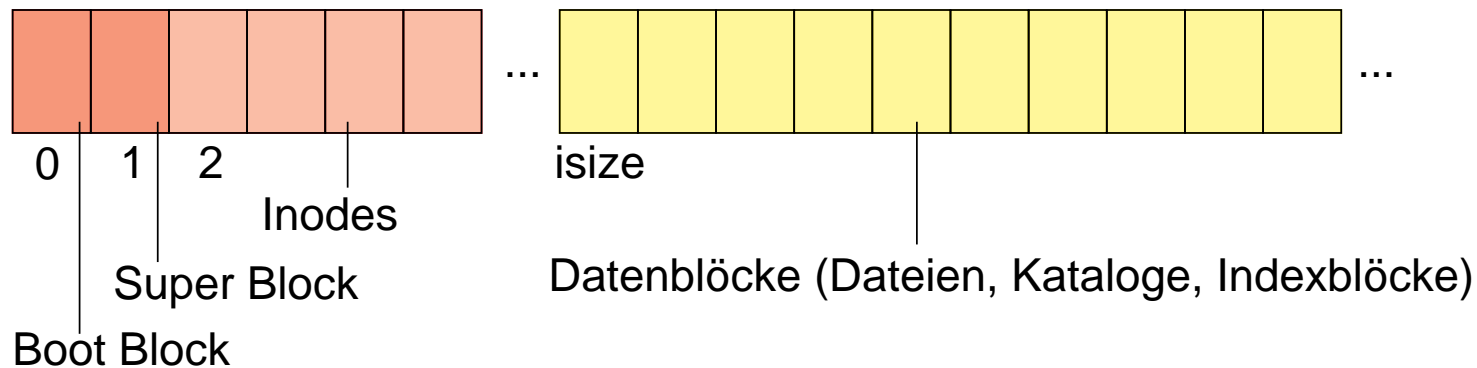
- Prinzipiell ähnlich wie Verwaltung von freiem Hauptspeicher
 - ◆ Bitvektoren zeigen für jeden Block Belegung an
 - ◆ verkettete Listen repräsentieren freie Blöcke
 - Verkettung kann in den freien Blöcken vorgenommen werden
 - Optimierung: aufeinanderfolgende Blöcke werden nicht einzeln aufgenommen,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

1 System V File System

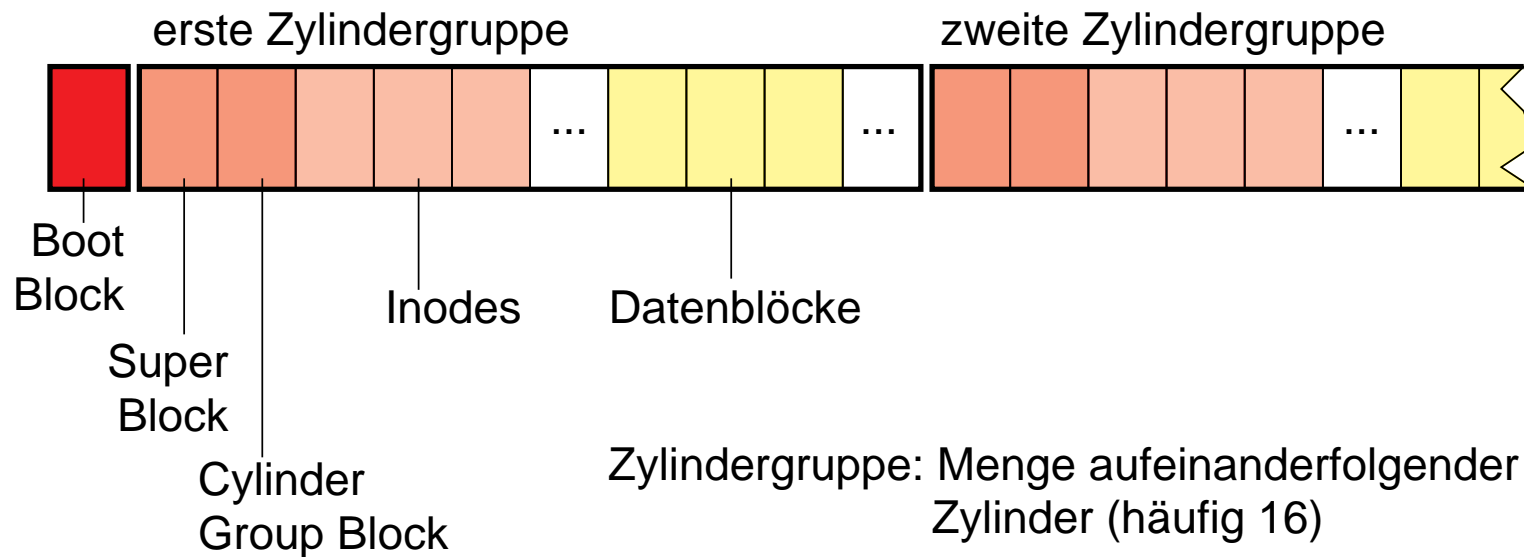
■ Blockorganisation



- ◆ 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*)

2 BSD 4.2 (Berkeley Fast File System)

■ Blockorganisation

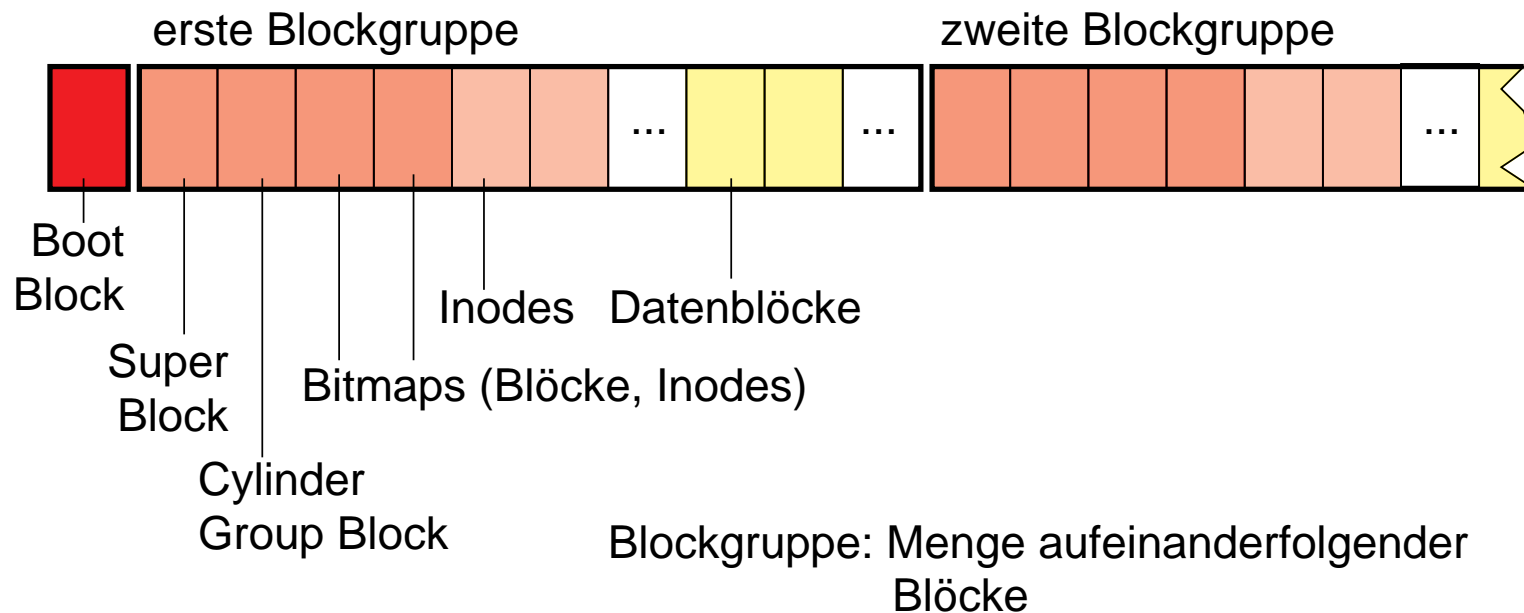


- ◆ Kopie des Super Blocks in jeder Zylindergruppe
- ◆ freie Inodes u. freie Datenblöcke werden im Cylinder group block gehalten
- ◆ eine Datei wird möglichst innerhalb einer Zylindergruppe gespeichert

★ Vorteil: kürzere Positionierungszeiten

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`

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)

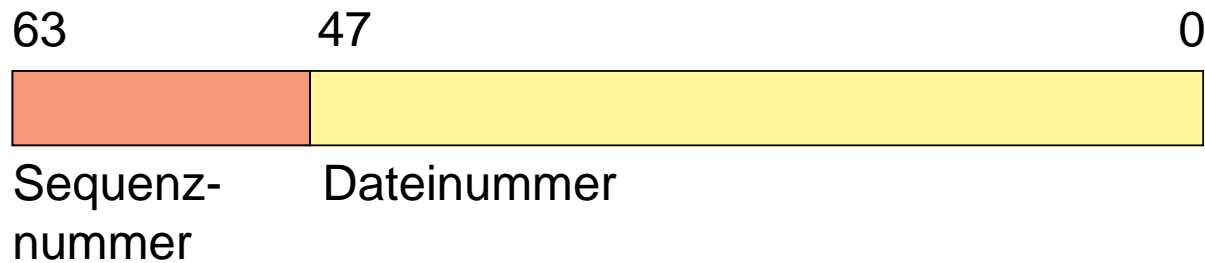
■ Basiseinheit „Strom“

- ◆ 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)

1 Dateiverwaltung (2)

■ *File-Reference*

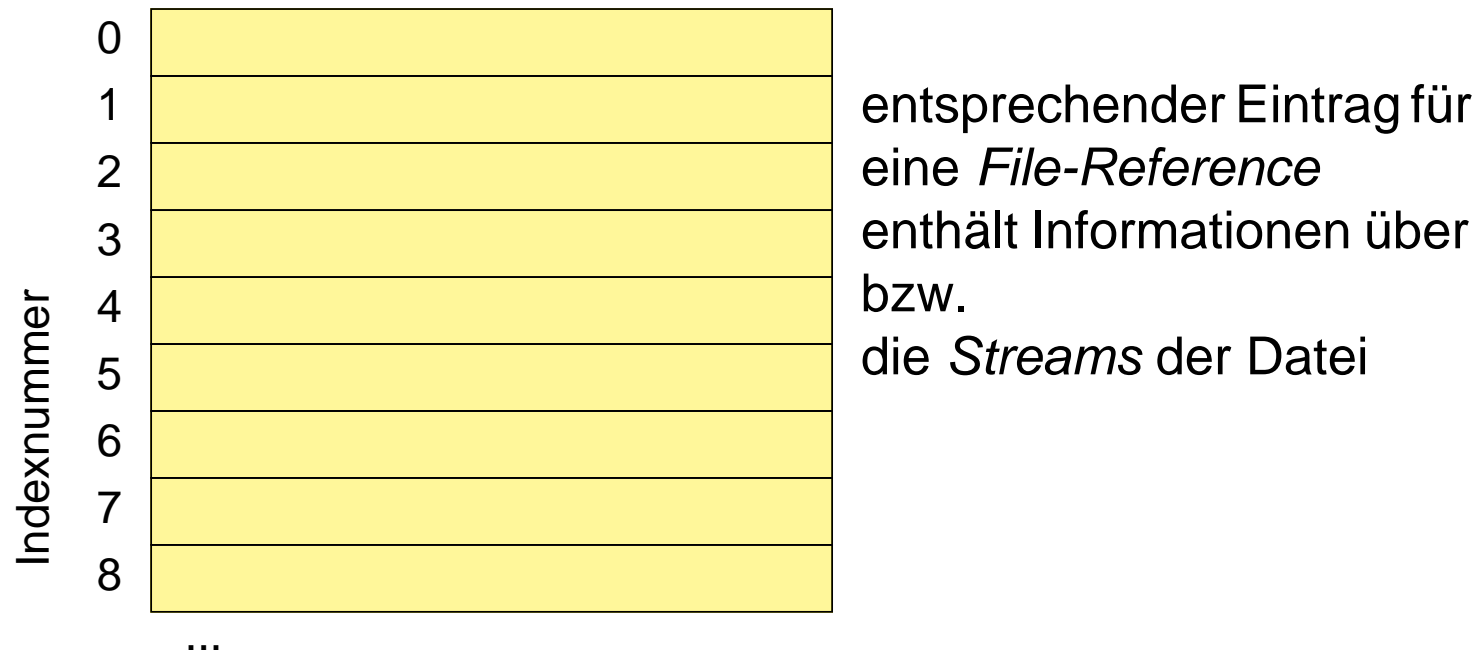
◆ Bezeichnet eindeutig eine Datei oder einen Katalog



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

2 Master-File-Table

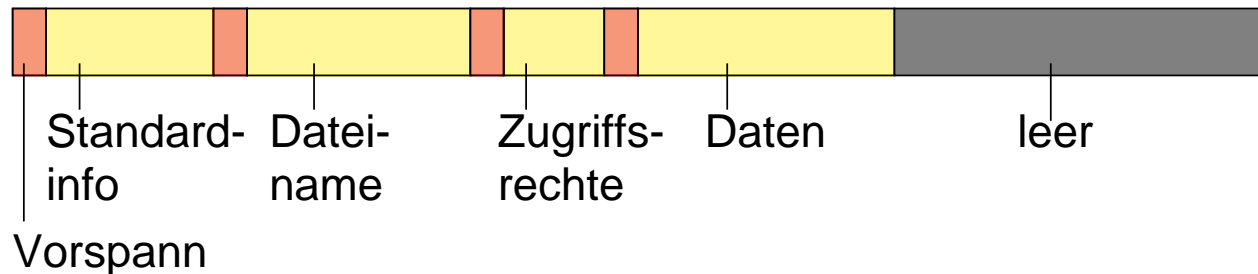
- Rückgrat des gesamten Systems
 - ◆ große Tabelle mit gleich langen Elementen (1KB, 2KB oder 4KB groß, je nach Clustergröße)
 - ◆ kann dynamisch erweitert werden



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

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)

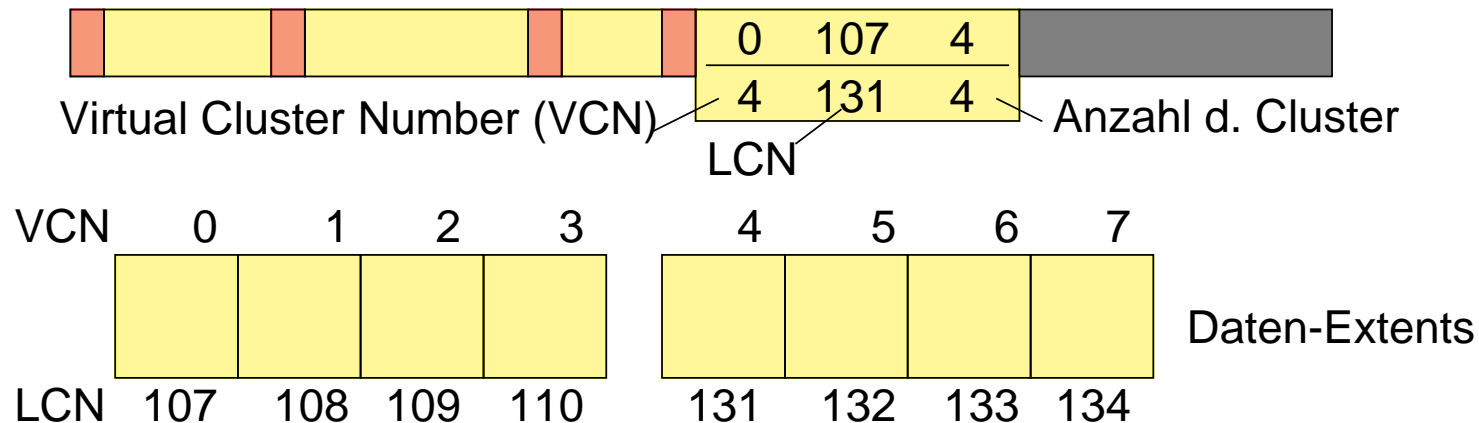
- kann mehrfach vorkommen (Hard links)

◆ Zugriffsrechte (*Security Descriptor*)

◆ Eigentliche Daten

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

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)

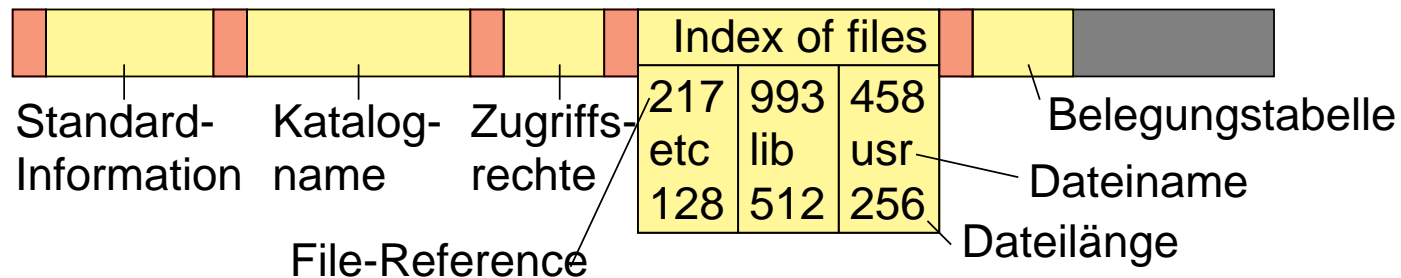
- wird benötigt, falls nicht alle Streams in einen MFT Eintrag passen
- referenzieren weitere MFT Einträge und deren Inhalt

◆ 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)

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)

3 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

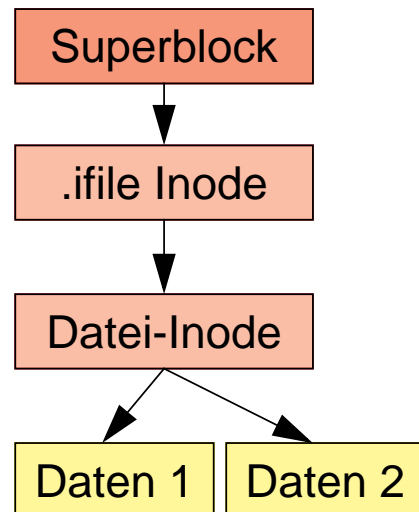
- Mögliche Fehler
 - ◆ Stromausfall (dummer Benutzer schaltet einfach Rechner aus)
 - ◆ Systemabsturz
- Auswirkungen auf das Dateisystem
 - ◆ inkonsistente Metadaten
 - z. B. Katalogeintrag fehlt zur Datei oder umgekehrt
 - z. B. Block ist benutzt aber nicht als belegt markiert
- ★ Reparaturprogramme
 - ◆ Programme wie **chkdsk**, **scandisk** oder **fsck** können inkonsistente Metadaten reparieren
- ▲ Datenverluste bei Reparatur möglich
- ▲ Große Platten bedeuten lange Laufzeiten der Reparaturprogramme

1 Journal-File-Systems

- Zusätzlich zum Schreiben der Daten und Meta-Daten (z. B. Inodes) wird ein Protokoll der Änderungen geführt
 - ◆ 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.
- Beispiele: NTFS, EXT3, ReiserFS

2 Log-Structured-File-Systems

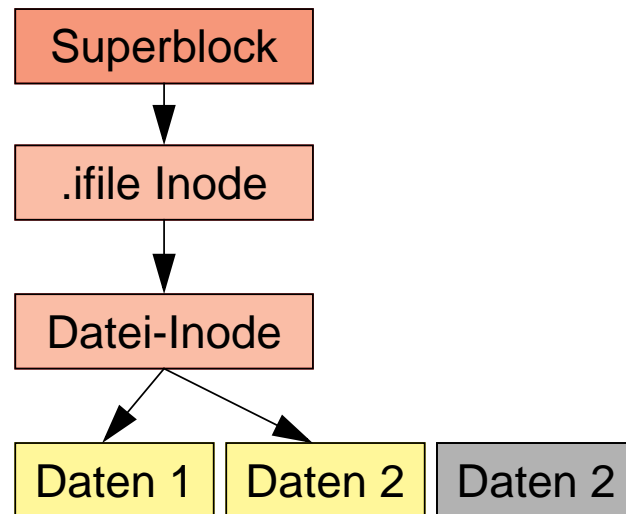
- Alle Änderungen im Dateisystem erfolgen auf Kopien
 - ◆ Der Inhalt veränderter Blöcke wird in einen neuen Block geschrieben



- ◆ Beispiel LinLogFS: Superblock einziger nicht ersetzter Block

2 Log-Structured-File-Systems

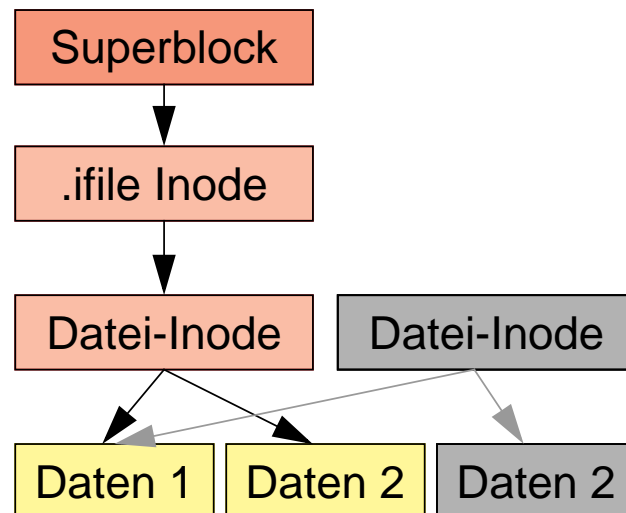
- Alle Änderungen im Dateisystem erfolgen auf Kopien
 - ◆ Der Inhalt veränderter Blöcke wird in einen neuen Block geschrieben



- ◆ Beispiel LinLogFS: Superblock einziger nicht ersetzter Block

2 Log-Structured-File-Systems

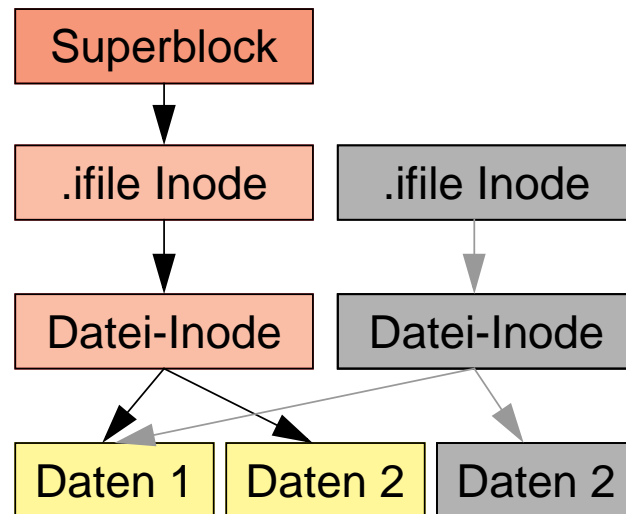
- Alle Änderungen im Dateisystem erfolgen auf Kopien
 - ◆ Der Inhalt veränderter Blöcke wird in einen neuen Block geschrieben



- ◆ Beispiel LinLogFS: Superblock einziger nicht ersetzter Block

2 Log-Structured-File-Systems

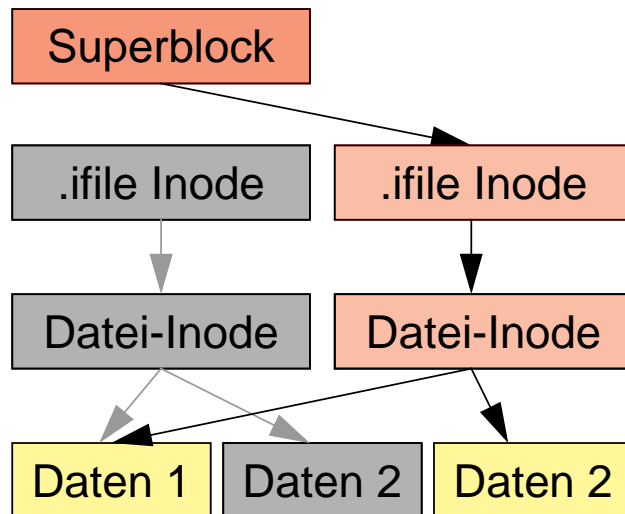
- Alle Änderungen im Dateisystem erfolgen auf Kopien
 - ◆ Der Inhalt veränderter Blöcke wird in einen neuen Block geschrieben



- ◆ Beispiel LinLogFS: Superblock einziger nicht ersetzter Block

2 Log-Structured-File-Systems

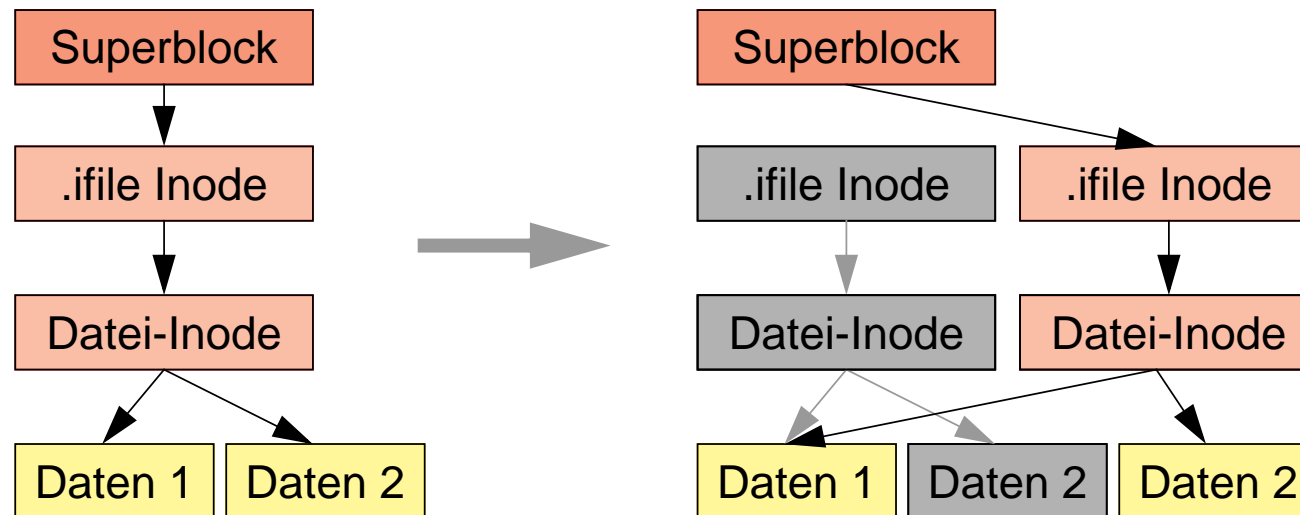
- Alle Änderungen im Dateisystem erfolgen auf Kopien
 - ◆ Der Inhalt veränderter Blöcke wird in einen neuen Block geschrieben



- ◆ Beispiel LinLogFS: Superblock einziger nicht ersetzter Block

3 Log-Structured-File-Systems

- 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)

3 Log-Structured-File-Systems (2)

★ Vorteile

- ◆ Datenkonsistenz bei Systemausfällen
 - ein atomare Änderung macht alle zusammengehörigen Änderungen sichtbar
- ◆ Schnappschüsse / Checkpoints einfach realisierbar
- ◆ Gute Schreibeffizienz
 - Alle zu schreibenden Blöcke werden kontinuierlich geschrieben

▲ Nachteile

- ◆ Gesamtperformanz geringer

■ Beispiele: LinLogFS, BSD LFS, AIX XFS

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

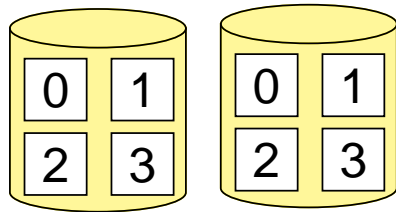
1 Sichern der Daten auf Tertiärspeicher

- 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

2 Einsatz mehrere redundanter Platten

■ 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)

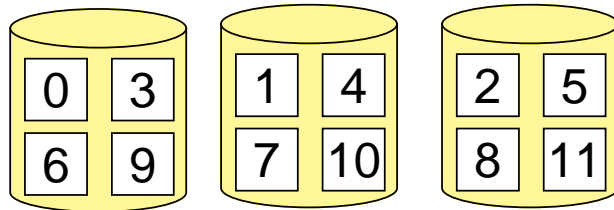
▲ Nachteil

- ◆ doppelter Speicherbedarf
- ◆ wenig langsames Schreiben durch Warten auf zwei Plattentransfers

2 Einsatz mehrere redundanter Platten (2)

■ Gestreifte Platten (*Striping*; RAID 0)

- ◆ Daten werden über mehrere Platten gespeichert



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

▲ Nachteil

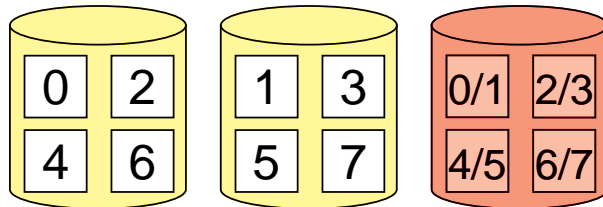
- ◆ keinerlei Datensicherung: Ausfall einer Platte lässt Gesamtsystem ausfallen

■ Verknüpfung von RAID 0 und 1 möglich (RAID 0+1)

2 Einsatz mehrere 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)

2 Einsatz mehrerer redundanter Platten (4)

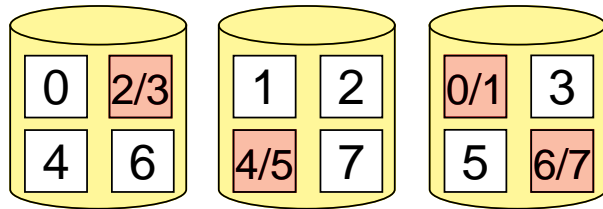
▲ Nachteil von RAID 4

- ◆ 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
(meist nur sinnvoll mit SSD [Solid state disk])

2 Einsatz mehrere 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

Resümee

Prozessverwaltung

■ Aktive Einheit: Thread (Faden)

- Scheduling = Strategische Entscheidung wer "dran kommen" soll (Einplanung)
- Dispatching = Aktivierung eines Threads (Einlastung)

■ Prozess-/Threadzustände:

- kurzfristig: bereit / laufend / blockiert
- mittelfristig: schwebend bereit / blockiert (durch swap-out)
z.B. zur Vermeidung von Seitenflattern

■ Scheduling-Strategien

- kooperativ/präemptiv, deterministisch/probabilistisch, statisch/dynamisch
- FCFS, SPN, Round Robin, MLQ, FB, MLFQ, Prioritäten

■ Threads

- Koroutinen, Kernel-level Threads, User-level Threads

Koordinierung / Synchronisation

■ einseitige / mehrseitige Synchronisation

- einseitig: Unterbrechungs- und Verdrängungssteuerung
- mehrseitig: v. a. gegenseitiger Ausschluss, aber auch nicht-blockierend

■ Gegenseitiger Ausschluss (Mutual Exclusion - Mutex)

- lock/unlock
 - Basis: Lock-Variablen, atomares Testen und Setzen
- Semaphore
 - binär, zählend, komplexere Varianten (chunks, Vektoren, ...)
- Monitor
 - Unterstützung kritischer Abschnitte durch die Programmiersprache
 - automatische Generierung der lock/unlock (oder P/V)-Operationen
 - wait/signal-Protokoll

■ nicht-blockierende Verfahren

- nur für einfache Situationen, Spezialbefehle der CPU sind die Basis

Verklemmungen

- Deadlock / Lifelock
- Voraussetzungen für Verklemmungen
 - exklusive Blegung von Betriebsmitteln, Nachfordern, kein Entzug + zirkuläres Warten
- Verklemmungsvorbeugung (deadlock prevention, Verkl.verhinderung)
 - Softwaresystem so entwerfen, dass die Voraussetzungen für Verklemmungen erst gar nicht vorliegen
- Verklemmungsvermeidung
 - bei der Anforderung von Betriebsmitteln zur Laufzeit antscheiden, ob es dadurch zu einer Verklemmung kommen kann
- Verklemmungserkennung und -auflösung

Adressraum und Speicher

- Seitenadressierung
 - Aufteilung des AR in Seiten gleicher Größe
- Segmentierung
 - Aufteilung des AR in Segmente (unterschiedlicher Größe und meist auch mit unterschiedlicher Bedeutung für das Anwendungsprogramm)
 - Jedes Segment kann ggf. auch wieder in Seiten organisiert werden
- virtueller Adressraum: Adressraum nur teilweise tatsächlich im Hauptspeicher vorhanden
 - Einlagerung bei Bedarf von Hintergrundspeicher
- Speicherzuteilung
 - Zuteilungsverfahren: first-fit / next-fit, best-fit / worst-fit, buddy
- Seitenersetzungsstrategien
 - FIFO, LFU, LRU, Second Chance (clock) // Freiseitenpuffer, Seitenflattern

Dateisysteme

- Blockorganisation
 - verketten, FAT, Indexblöcke
- Plattenorganisation
 - Inodes / Datenblöcke bei UNIX
 - Master-File-Table / Extents bei NT
- Journal-File-Systems
- Log-Structured File Systems
- Datensicherung
- RAID-Systeme
 - RAID 0: Striping
 - RAID 1: Mirroring
 - RAID 4 / RAID 5: Parity-Platte / verstreute Parity-Blöcke