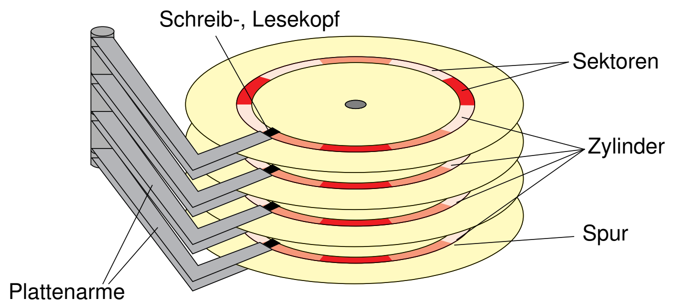
Implementierung von Dateien

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

Medien

1 Festplatten

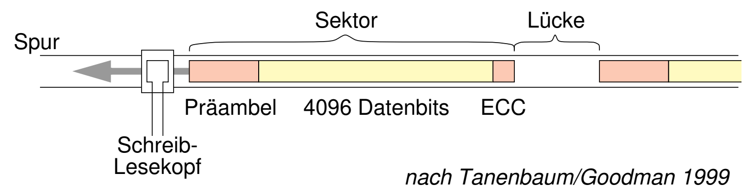
- Häufigstes Medium zum Speichern von Dateien
  - ◆ Aufbau einer Festplatte



  - ◆ 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

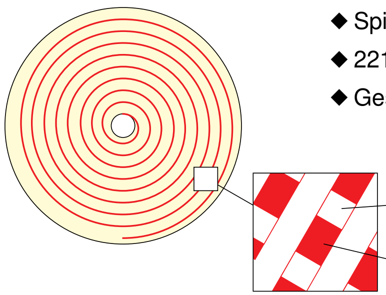
Plattentyp		Fujitsu M2344 (1987)	Seagate Cheetah	Seagate Barracuda
Kapazität		690 MB	300 GB	400 GB
Platten/Köpfe		8 / 28	4 / 8	781.422.768 Sektoren
Zylinderzahl		624	90.774	
Cache		-	4 MB	8 MB
Posititionier -zeiten	Spur zu Spur	4 ms	0,5 ms	-
	mittlere	16 ms	5,3 ms	8 ms
	maximale	33 ms	10,3 ms	-
Transferrate		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)

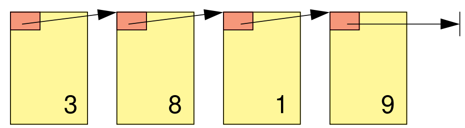
- ▲ Probleme
  - ◆ Finden des freien Platzes auf der Festplatte (Menge aufeinanderfolgender und freier Plattenblöcke)
  - ◆ Fragmentierungsproblem (Verschnitt: nicht nutzbare Plattenblöcke; siehe auch Speicherverwaltung)
  - ◆ Größe bei neuen Dateien oft nicht im Voraus bekannt
  - ◆ Erweitern ist problematisch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

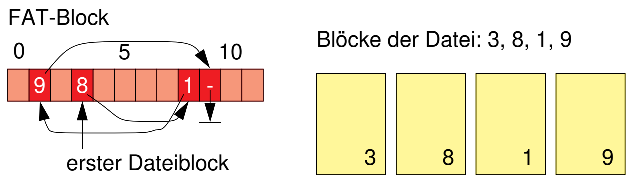
▲ Probleme

- 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



★ Vorteile

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

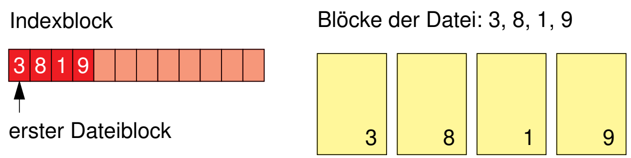
2 Verkettete Speicherung (4)

▲ 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

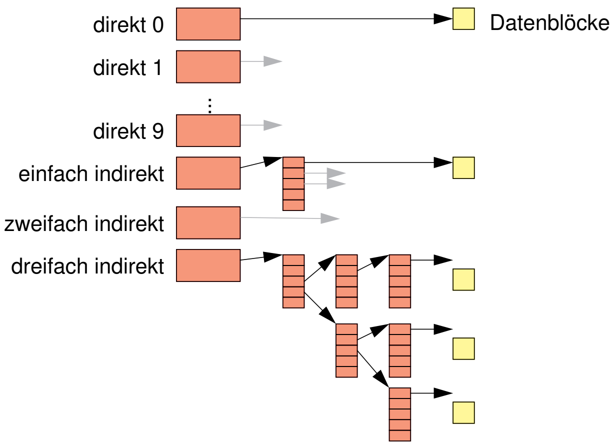


▲ Problem

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

3 Indiziertes Speichern (2)

- Beispiel UNIX Inode



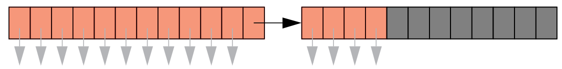
3 Indiziertes Speichern (3)

★ 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

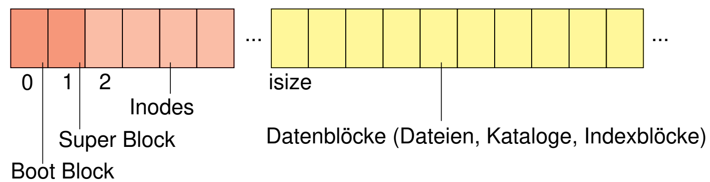
- Prinzipiell ähnlich wie Verwaltung von freiem Hauptspeicher
  - ◆ Bitvektoren zeigen für jeden Block Belegung an
  - ◆ verkettete Listen repräsentieren freie Blöcke
    - Verkettung kann in den freien Blöcken vorgenommen werden
    - Optimierung: aufeinanderfolgende Blöcke werden nicht einzeln aufgenommen,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

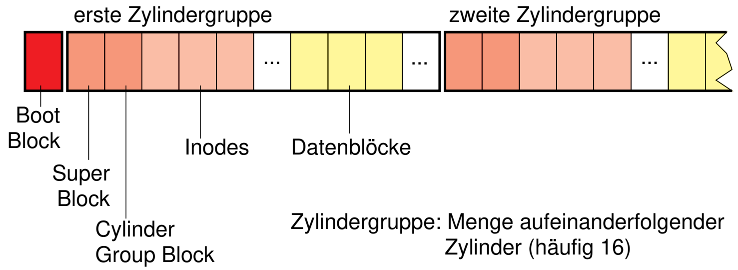
- Blockorganisation



  - ◆ 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



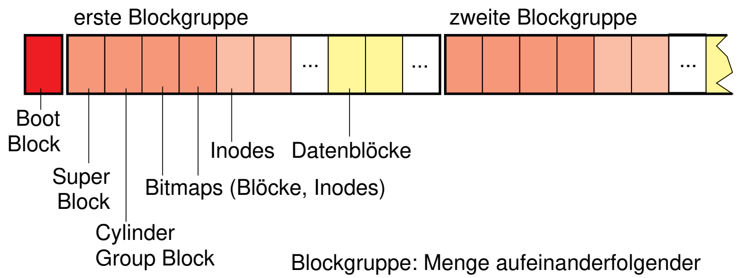
Zylindergruppe: Menge aufeinanderfolgender Zylinder (häufig 16)

- ◆ 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



Blockgruppe: Menge aufeinanderfolgender Blöcke

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

Beispiel: Windows NT (NTFS)

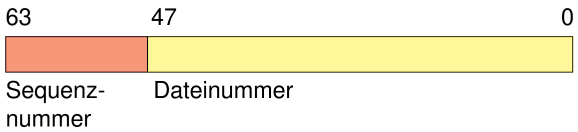
- Dateisystem für Windows NT
- Datei
  - ◆ beliebiger Inhalt; für das Betriebssystem ist der Inhalt transparent
  - ◆ Rechte verknüpft mit NT-Benutzern und -Gruppen
  - ◆ Datei kann automatisch komprimiert oder verschlüsselt gespeichert werden
  - ◆ große Dateien bis zu 2^{64} Bytes lang
  - ◆ Hard links: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

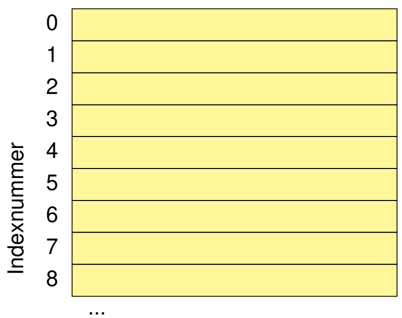
- *File-Reference*
  - ◆ Bezeichnet eindeutig eine Datei oder einen Katalog



  - • 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

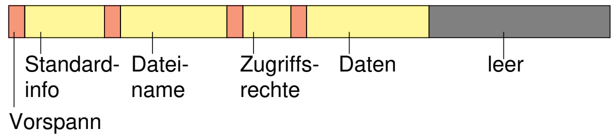


entsprechender Eintrag für eine *File-Reference* enthält Informationen über bzw. die *Streams* der Datei

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

2 Master-File-Table (2)

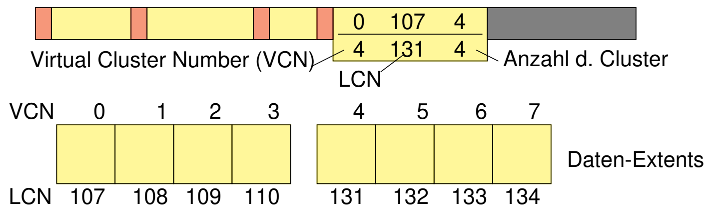
- Eintrag für eine kurze Datei



- 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



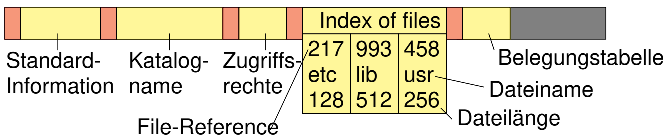
  - ◆ ***Extents*** werden außerhalb der MFT in aufeinanderfolgenden Clustern gespeichert
  - ◆ Lokalisierungsinformationen werden in einem eigenen Stream gespeichert

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

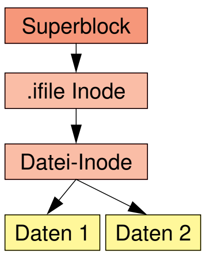
▲ Große Platten bedeuten lange Laufzeiten der Reparaturprogramme

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

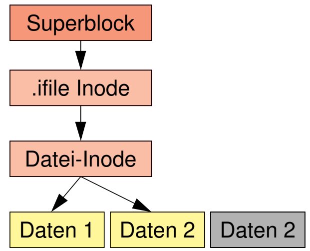
- Alle Änderungen im Dateisystem erfolgen auf Kopien
  - ◆ Der Inhalt veränderter Blöcke wird in einen neuen Block geschrieben



  - ◆ Beispiel LinLogFS: Superblock einziger nicht ersetzter Block

2 Log-Structured-File-Systems

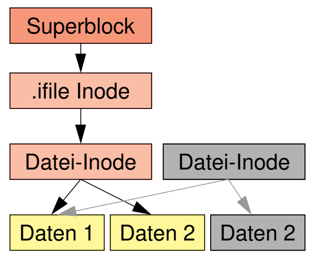
- Alle Änderungen im Dateisystem erfolgen auf Kopien
  - ◆ Der Inhalt veränderter Blöcke wird in einen neuen Block geschrieben



  - ◆ Beispiel LinLogFS: Superblock einziger nicht ersetzter Block

2 Log-Structured-File-Systems

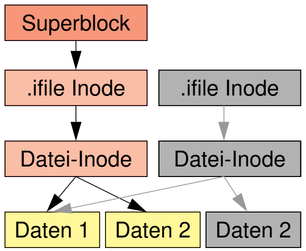
- Alle Änderungen im Dateisystem erfolgen auf Kopien
  - ◆ Der Inhalt veränderter Blöcke wird in einen neuen Block geschrieben



  - ◆ Beispiel LinLogFS: Superblock einziger nicht ersetzter Block

2 Log-Structured-File-Systems

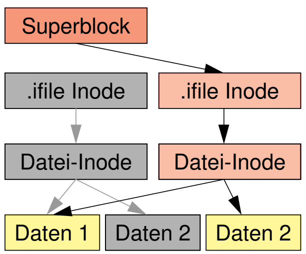
- Alle Änderungen im Dateisystem erfolgen auf Kopien
  - ◆ Der Inhalt veränderter Blöcke wird in einen neuen Block geschrieben



  - ◆ Beispiel LinLogFS: Superblock einziger nicht ersetzter Block

2 Log-Structured-File-Systems

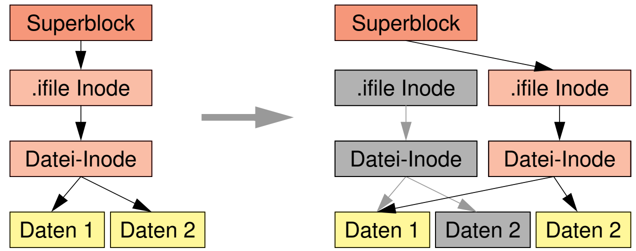
- Alle Änderungen im Dateisystem erfolgen auf Kopien
  - ◆ Der Inhalt veränderter Blöcke wird in einen neuen Block geschrieben



  - ◆ 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

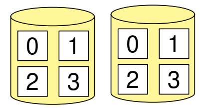
1 Sichern der Daten auf Tertiärspeicher

- ➤ 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

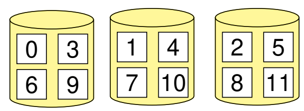
- Gespiegelte Platten (*Mirroring*; RAID 1)
  - Daten werden auf zwei Platten gleichzeitig gespeichert



  - 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 langsameres Schreiben durch Warten auf zwei Plattentransfers

2 Einsatz mehrere redundanter Platten (2)

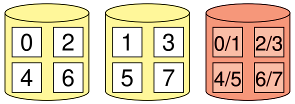
- Gestreifte Platten (*Striping*; RAID 0)
  - Daten werden über mehrere Platten gespeichert



  - 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



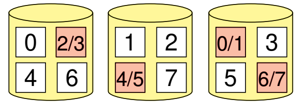
  - Paritätsblock enthält byteweise XOR-Verknüpfungen von den zugehörigen Blöcken aus den anderen Streifen
  - eine Platte kann ausfallen
  - schnelles Lesen
  - prinzipiell beliebige Plattenanzahl (ab drei)

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: $P_{neu} = P_{alt} \oplus B_{alt} \oplus B_{neu}$ (P=Parity, B=Block)
  - Schreiben eines kompletten Streifens benötigt nur einmaliges Schreiben des Paritätsblocks
  - Paritätsplatte ist hoch belastet
    (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

Resumee

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
  - ➤ Semaphor
    - – 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

Addressraum 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