

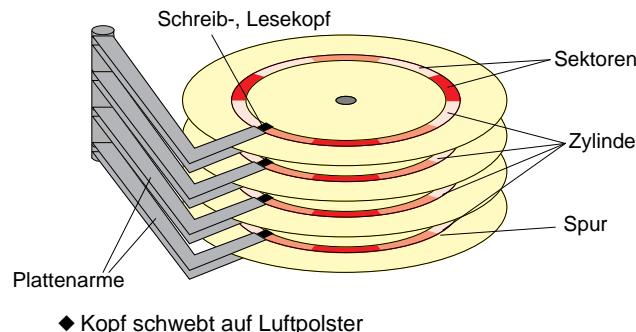
10 Implementierung von Dateien

10-1 Medien

1 Festplatten

■ Häufigstes Medium zum Speichern von Dateien

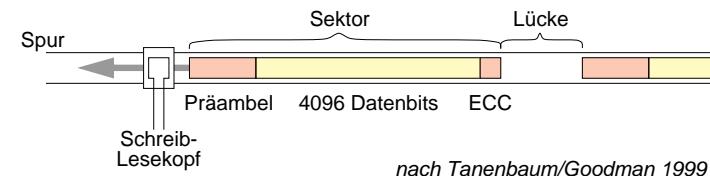
◆ Aufbau einer Festplatte



◆ Kopf schwebt auf Luftpolder

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

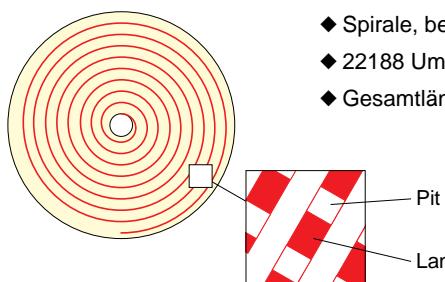
Plattentyp	Fujitsu M2344 (1987)	Seagate Cheetah	Seagate Barracuda
Kapazität	690 MB	300 GB	400 GB
Platten/Köpfe	8 / 28	4 / 8	781.422.768 Sektoren
Zylinderzahl	624	90.774	
Cache	-	4 MB	8 MB
Positionier -zeiten	Spur zu Spur	4 ms	0,5 ms
	mittlere	16 ms	5,3 ms
	maximale	33 ms	10,3 ms
Transferrate	2,4 MB/s	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

10-2 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 Datei position
 - ◆ 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

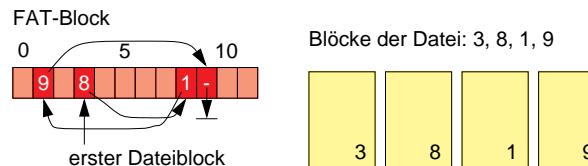
2 Verkettete Speicherung (2)

▲ 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

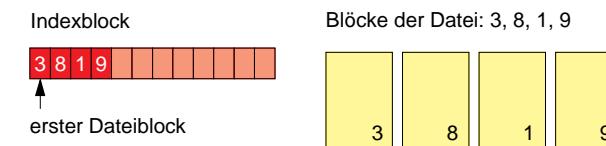
2 Verkettete Speicherung (4)

▲ 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

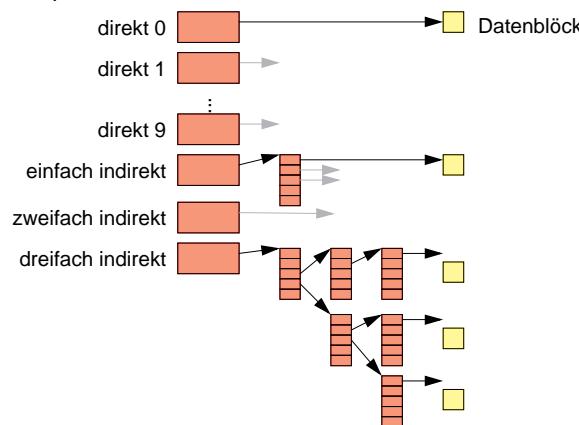


▲ Problem

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

3 Indiziertes Speichern (2)

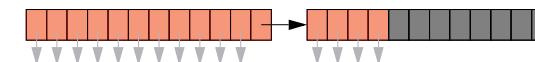
■ Beispiel UNIX Inode



10-3 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



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

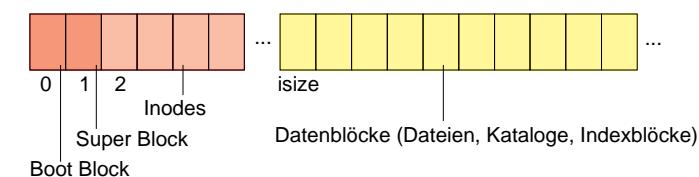
▲ Nachteil

- ◆ mehrere Blöcke müssen geladen werden (nur bei langen Dateien)

10-4 Beispiel: UNIX File Systems

1 System V File System

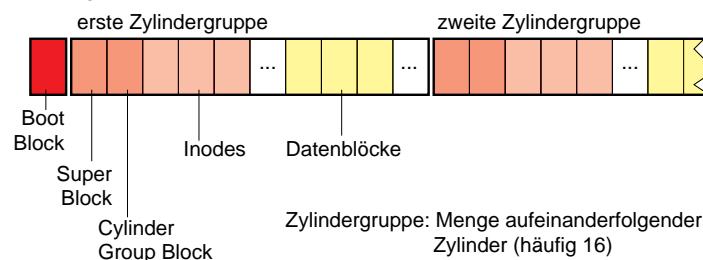
■ Blockorganisation



- ◆ 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

10-5 Beispiel: Windows NT (NTFS)

■ Dateisystem für Windows NT

■ Datei

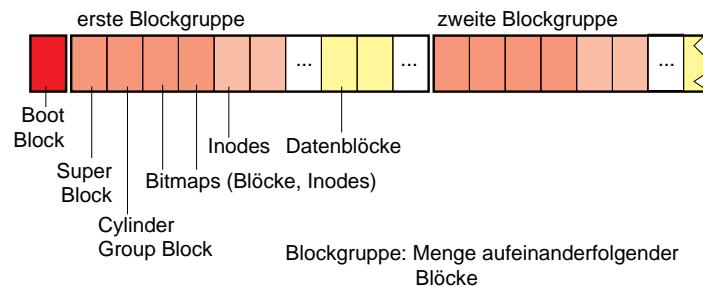
- ◆ beliebiger Inhalt; für das Betriebssystem ist der Inhalt transparent
- ◆ Rechte verknüpft mit NT-Benutzern und -Gruppen
- ◆ Datei kann automatisch komprimiert oder verschlüsselt gespeichert werden
- ◆ große Dateien bis zu 2^{64} Bytes lang
- ◆ Hard links: mehrere Einträge derselben Datei in verschiedenen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

■ Dateinhalt: Sammlung von Streams

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

3 Linux EXT2 File System

■ Blockorganisation



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

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)

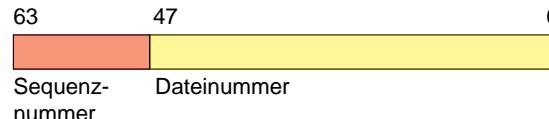
■ Basiseinheit „Strom“

- ◆ 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

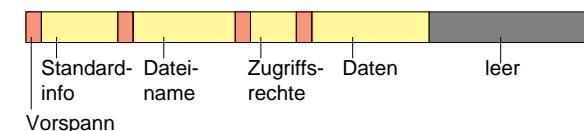
- ◆ Bezeichnet eindeutig eine Datei oder einen Katalog



- 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 (2)

Eintrag für eine kurze Datei



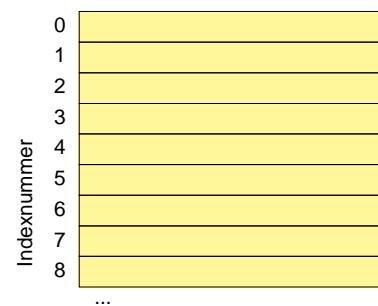
Streams

- ◆ 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

Rückgrat des gesamten Systems

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

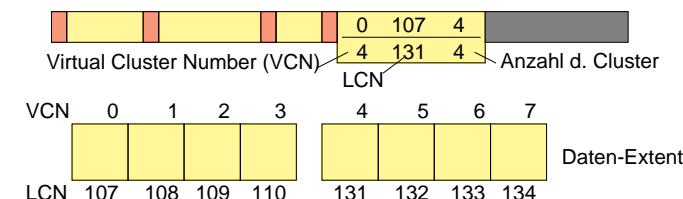


entsprechender Eintrag für eine File-Reference enthält Informationen über bzw. die Streams der Datei

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

2 Master-File-Table (3)

Eintrag für eine längere Datei



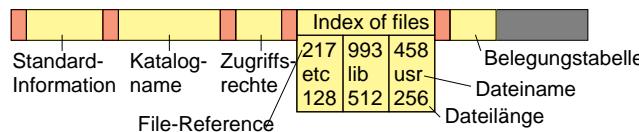
- ◆ Extents werden außerhalb der MFT in aufeinanderfolgenden Clustern gespeichert
- ◆ Lokalisierungsinformationen werden in einem eigenen Stream gespeichert

2 Master-File-Table (4)

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

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

10-6 Dateisysteme mit Fehlererholung

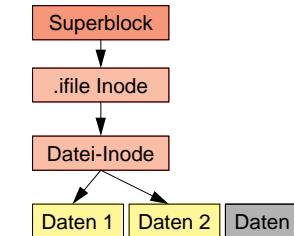
- Mögliche Fehler
 - ◆ Stromausfall (dummer Benutzer schaltet einfach Rechner aus)
 - ◆ Systemabsturz
- Auswirkungen auf das Dateisystem
 - ◆ inkonsistente Metadaten
 - z.B. Katalogeintrag fehlt zur Datei oder umgekehrt
 - z.B. Block ist benutzt aber nicht als belegt markiert
- ★ Reparaturprogramme
 - ◆ 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

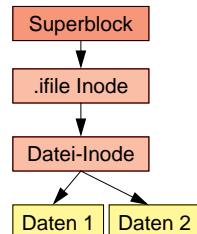
- Alle Änderungen im Dateisystem erfolgen auf Kopien
 - ◆ Der Inhalt veränderter Blöcke wird in einen neuen Block geschrieben



◆ Beispiel LinLogFS: Superblock einziger nicht ersetzter Block

2 Log-Structured-File-Systems

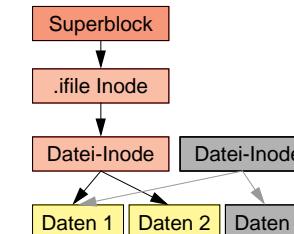
- Alle Änderungen im Dateisystem erfolgen auf Kopien
 - ◆ Der Inhalt veränderter Blöcke wird in einen neuen Block geschrieben



◆ Beispiel LinLogFS: Superblock einziger nicht ersetzter Block

2 Log-Structured-File-Systems

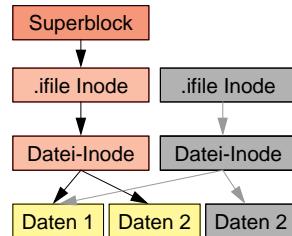
- Alle Änderungen im Dateisystem erfolgen auf Kopien
 - ◆ Der Inhalt veränderter Blöcke wird in einen neuen Block geschrieben



◆ Beispiel LinLogFS: Superblock einziger nicht ersetzter Block

2 Log-Structured-File-Systems

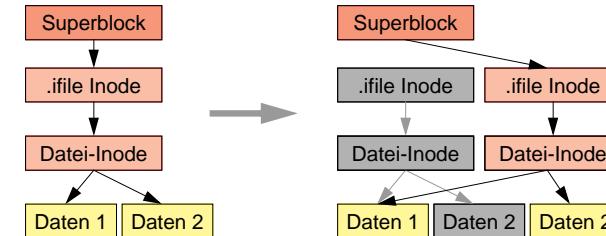
- Alle Änderungen im Dateisystem erfolgen auf Kopien
 - Der Inhalt veränderter Blöcke wird in einen neuen Block geschrieben



- Beispiel LinLogFS: Superblock einziger nicht ersetzer Block

3 Log-Structured-File-Systems

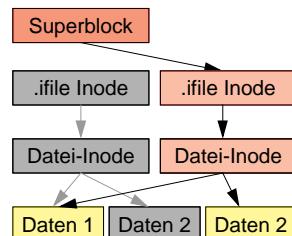
- Alle Änderungen im Dateisystem erfolgen auf Kopien
 - Der Inhalt veränderter Blöcke wird in einen neuen Block geschrieben



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

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 ersetzer Block

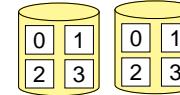
3 Log-Structured-File-Systems (2)

- ★ 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
 - Gesamtperformance geringer
- Beispiele: LinLogFS, BSD LFS, AIX XFS

10-7 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

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

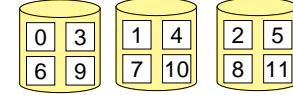
10-8 Datensicherung

- 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

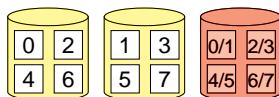
2 Einsatz mehrere redundanter Platten (2)

- 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

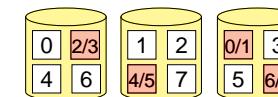


- ◆ Paritätsblock enthält byteweise XOR-Verknüpfungen von den zugehörigen Blöcken aus den anderen Streifen
- ◆ eine Platte kann ausfallen
- ◆ schnelles Lesen
- ◆ prinzipiell beliebige Plattenanzahl (ab drei)

2 Einsatz 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