

Implementierung von Dateien

■ Überblick

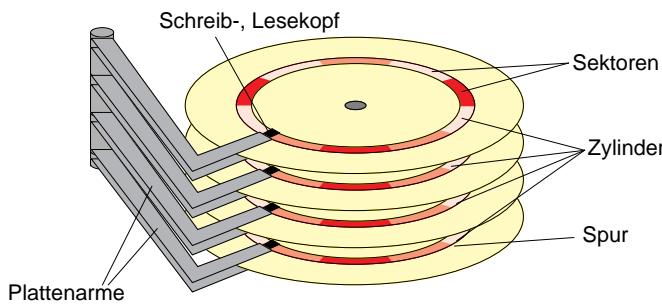
- Medien
- Speicherung von Dateien
- Freispeicherverwaltung
- Beispiele: Dateisysteme unter UNIX und Windows
- Dateisysteme mit Fehlererholung
- Datensicherung

Medien

1 Festplatten

■ Häufigstes Medium zum Speichern von Dateien

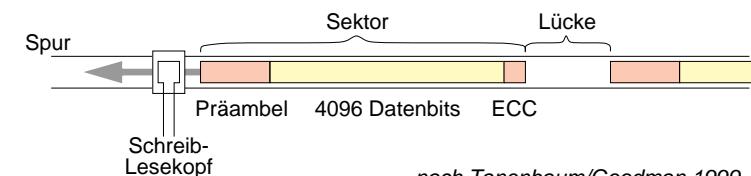
◆ Aufbau einer Festplatte



◆ 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)

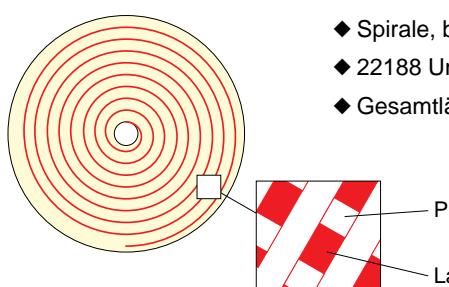
■ Datenblätter von drei Beispielplatten

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
Positionierzeiten	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

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)

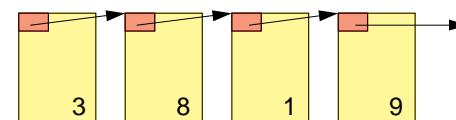
- ▲ Probleme
 - ◆ Finden des freien Platzes auf der Festplatte (Menge aufeinanderfolgender und freier Plattenblöcke)
 - ◆ Fragmentierungsproblem (Verschnitt: nicht nutzbare Plattenblöcke; siehe auch Speicherverwaltung)
 - ◆ Größe bei neuen Dateien oft nicht im Voraus bekannt
 - ◆ Erweitern ist problematisch
 - 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 Verzweigung 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 Verzweigung fehlerhaft
- ◆ schlechter direkter Zugriff auf bestimmte Dateiposition
- ◆ häufiges Positionieren des Schreib-, Lesekopfs bei verstreuten Datenblöcken

2 Verkettete Speicherung (4)

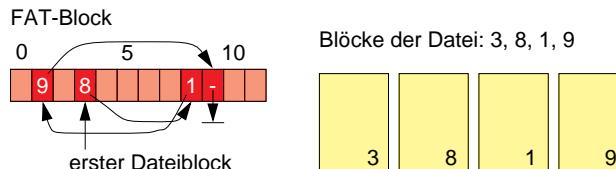
▲ Probleme

- ◆ 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

2 Verkettete Speicherung (3)

■ Verkettung wird in speziellen Plattenblocks gespeichert

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

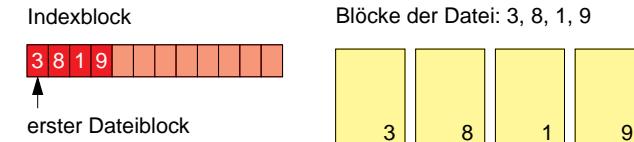


★ Vorteile

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

3 Indiziertes Speichern

■ Spezieller Plattenblock enthält Blocknummern der Datenblocks einer Datei

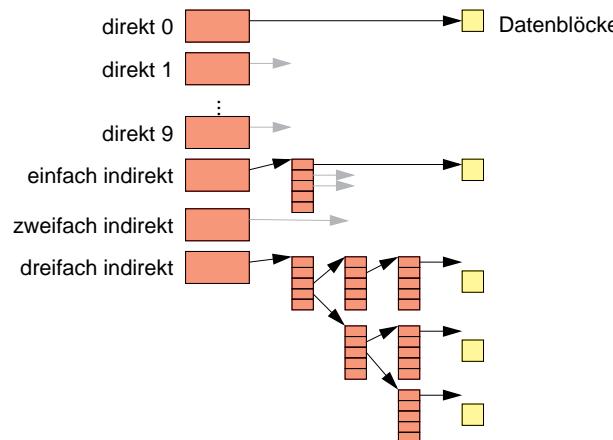


▲ Problem

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

3 Indiziertes Speichern (2)

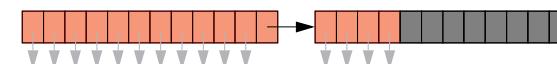
■ Beispiel UNIX Inode



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

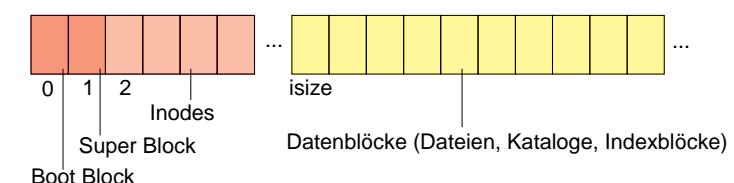
▲ Nachteil

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

Beispiel: UNIX File Systems

1 System V File System

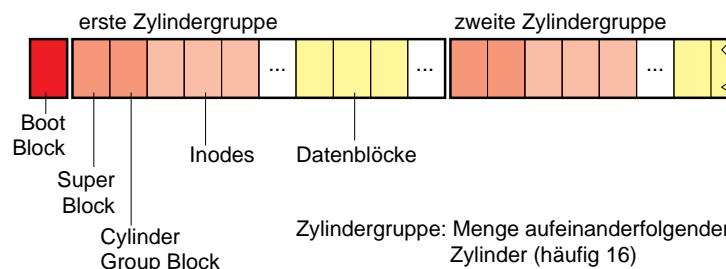
■ Blockorganisation



- ◆ 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)

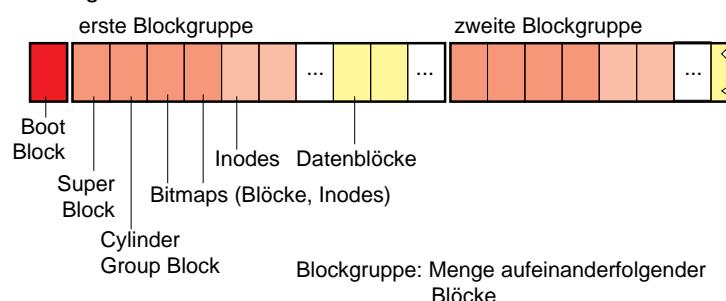
■ Blockorganisation



- ◆ 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

■ Dateinhalt: 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)

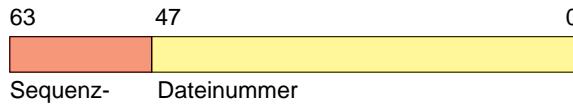
■ Basiseinheit „Strom“

- ◆ 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

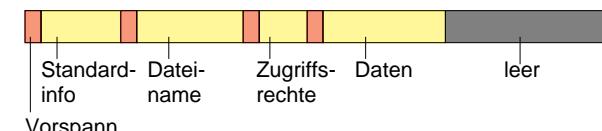
- Bezeichnet eindeutig eine Datei oder einen Katalog



- 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 (2)

Eintrag für eine kurze Datei



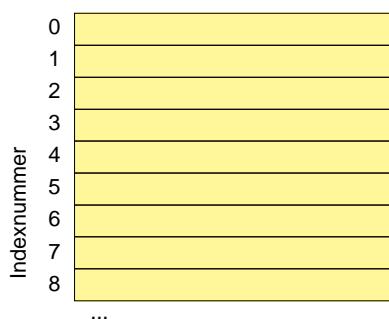
Streams

- 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

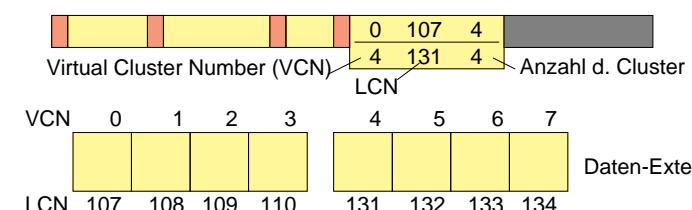


entsprechender Eintrag für eine *File-Reference*
enthält Informationen über bzw.
die *Streams* der Datei

- 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)

3 Fehlererholung

■ NTFS ist ein Journal-File-System

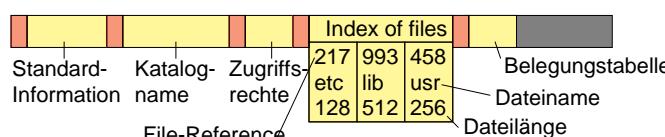
- ◆ Änderungen an der MFT und an Dateien werden protokolliert.
- ◆ Konsistenz der Daten und Metadaten kann nach einem Systemausfall durch Abgleich des Protokolls mit den Daten wieder hergestellt werden.

▲ Nachteile

- ◆ etwas ineffizienter
- ◆ nur für Volumes >400 MB geeignet

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)

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

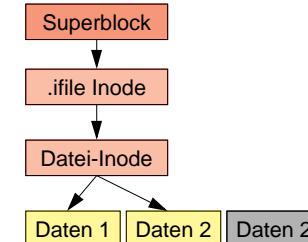
▲ Große Platten bedeuten lange Laufzeiten der Reparaturprogramme

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

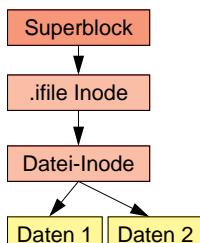
- Alle Änderungen im Dateisystem erfolgen auf Kopien
 - ◆ Der Inhalt veränderter Blöcke wird in einen neuen Block geschrieben



- ◆ Beispiel LinLogFS: Superblock einziger nicht ersetzer Block

2 Log-Structured-File-Systems

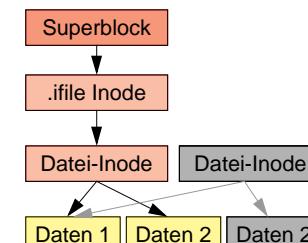
- Alle Änderungen im Dateisystem erfolgen auf Kopien
 - ◆ Der Inhalt veränderter Blöcke wird in einen neuen Block geschrieben



- ◆ Beispiel LinLogFS: Superblock einziger nicht ersetzer Block

2 Log-Structured-File-Systems

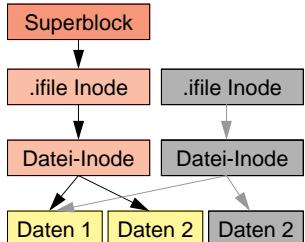
- Alle Änderungen im Dateisystem erfolgen auf Kopien
 - ◆ Der Inhalt veränderter Blöcke wird in einen neuen Block geschrieben



- ◆ Beispiel LinLogFS: Superblock einziger nicht ersetzer Block

2 Log-Structured-File-Systems

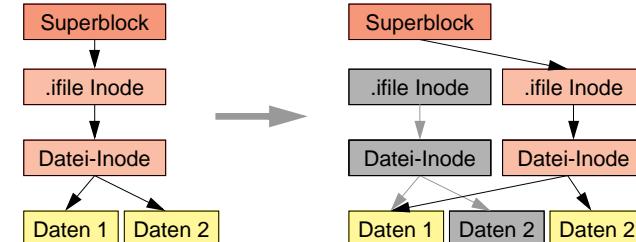
- Alle Änderungen im Dateisystem erfolgen auf Kopien
 - ◆ Der Inhalt veränderter Blöcke wird in einen neuen Block geschrieben



- ◆ Beispiel LinLogFS: Superblock einziger nicht ersetzter Block

3 Log-Structured-File-Systems

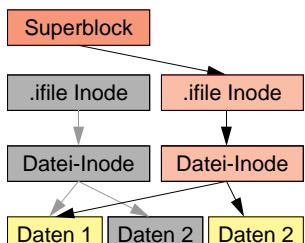
- Alle Änderungen im Dateisystem erfolgen auf Kopien
 - ◆ Der Inhalt veränderter Blöcke wird in einen neuen Block geschrieben



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

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 (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

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

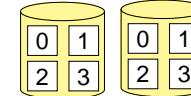
Datensicherung

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

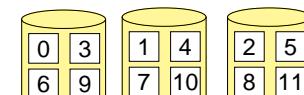
¹ Sichern der Daten auf Tertiärspeicher

- 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

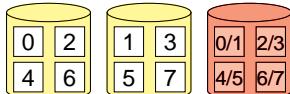
² Einsatz mehrere redundanter Platten (2)

- 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

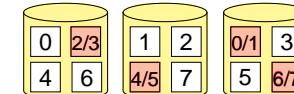


- ◆ Paritätsblock enthält byteweise XOR-Verknüpfungen von den zugehörigen Blöcken aus den anderen Streifen
- ◆ eine Platte kann ausfallen
- ◆ schnelles Lesen
- ◆ prinzipiell beliebige Plattenanzahl (ab drei)

2 Einsatz 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

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: $P_{\text{neu}} = P_{\text{alt}} \oplus B_{\text{alt}} \oplus B_{\text{neu}}$ ($P=\text{Parity}$, $B=\text{Block}$)
- ◆ Schreiben eines kompletten Streifens benötigt nur einmaliges Schreiben des Paritätsblocks
- ◆ Paritätsplatte ist hoch belastet
(meist nur sinnvoll mit SSD [Solid state disk])

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

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

- ## Verklemmungen
- Deadlock / Lifelock
 - Voraussetzungen für Verklemmungen
 - exklusive Biegung 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 entscheiden, ob es dadurch zu einer Verklemmung kommen kann
 - Verklemmungserkennung und -auflösung

- ## Dateisysteme
- Blockorganisation
 - verkettet, 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