

# Implementierung von Dateien

## ■ Überblick

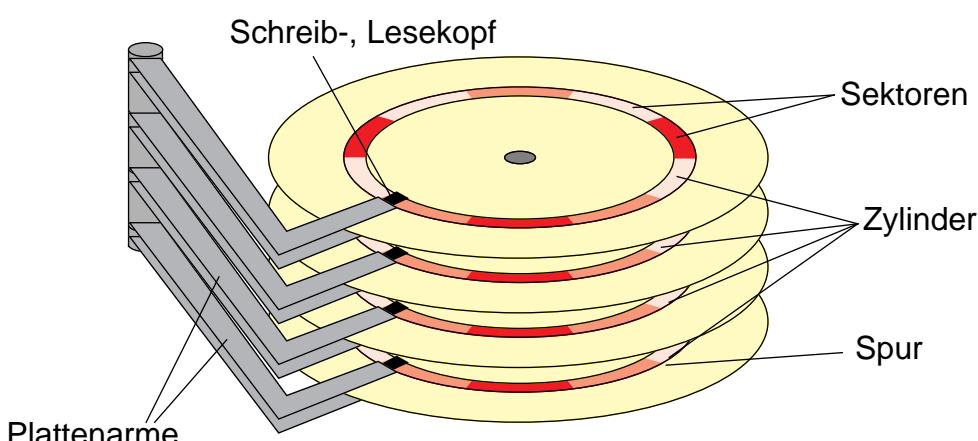
- Medien
- Speicherung von Dateien
- Freispeicherverwaltung
- Beispiele: Detisysteme unter UNIX und Windows
- Dateisysteme mit Fehlererholung
- Datensicherung

# Medien

## 1 Festplatten

### ■ Häufigstes Medium zum Speichern von Dateien

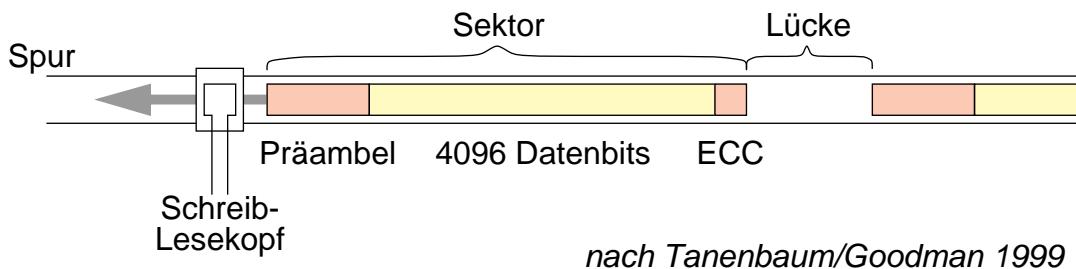
#### ◆ Aufbau einer Festplatte



#### ◆ 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
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

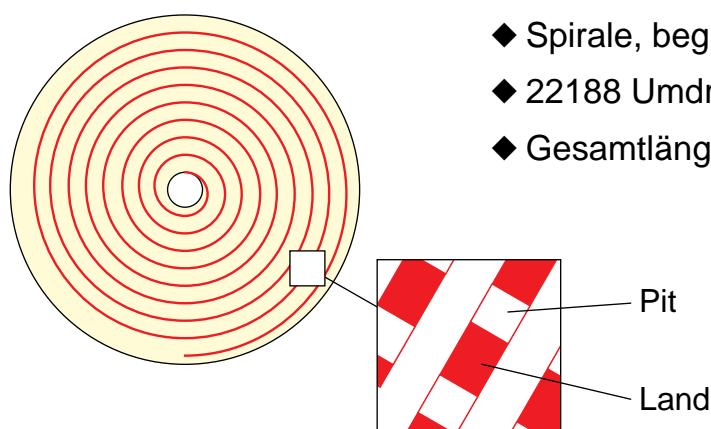
- ◆ blockorientierter und wahlfreier Zugriff
- ◆ Blockgröße zwischen 32 und 4096 Bytes (typisch 512 Bytes)
- ◆ Zugriff erfordert Positionierung des Schwenkarms auf den richtigen Zylinder und Warten auf den entsprechenden Sektor
- ◆ heutige Platten haben internen Cache und verbergen die Hardware-Details

### ■ 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

# 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

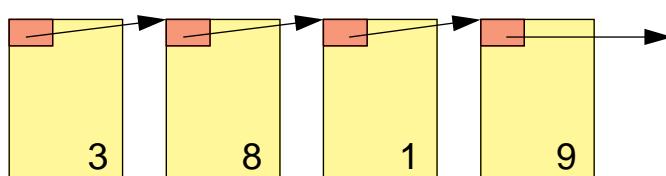
- ◆ Unterteilen einer Datei in Folgen von Blocks (*Chunks, Extents*)
- ◆ Blockfolgen werden kontinuierlich gespeichert
- ◆ Pro Datei muss erster Block und Länge jedes einzelnen Chunks gespeichert werden

### ▲ 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

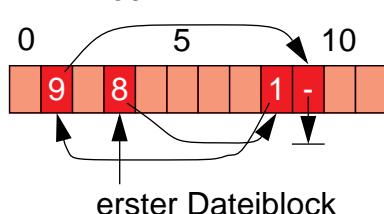
- ◆ Speicher für Verzweigerung geht von den Nutzdaten im Block ab (ungünstig im Zusammenhang mit Paging: Seite würde immer aus Teilen von zwei Plattenblöcken bestehen)
- ◆ Fehleranfälligkeit: Datei ist nicht restaurierbar, falls einmal Verzweigerung fehlerhaft
- ◆ schlechter direkter Zugriff auf bestimmte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

## 2 Verkettete Speicherung (3)

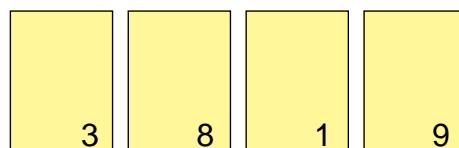
### ■ Verkettung wird in speziellen Plattenblocks gespeichert

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

FAT-Block



Blöcke der Datei: 3, 8, 1, 9



### ★ Vorteile

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

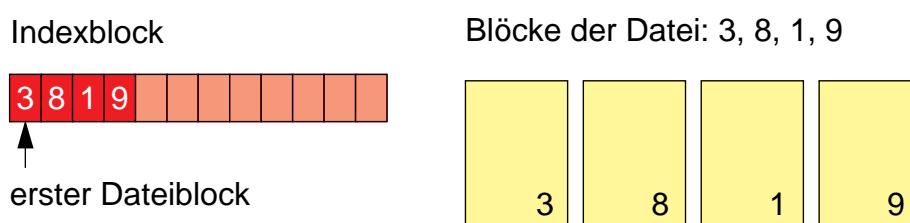
## 2 Verkettete Speicherung (4)

### ▲ 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

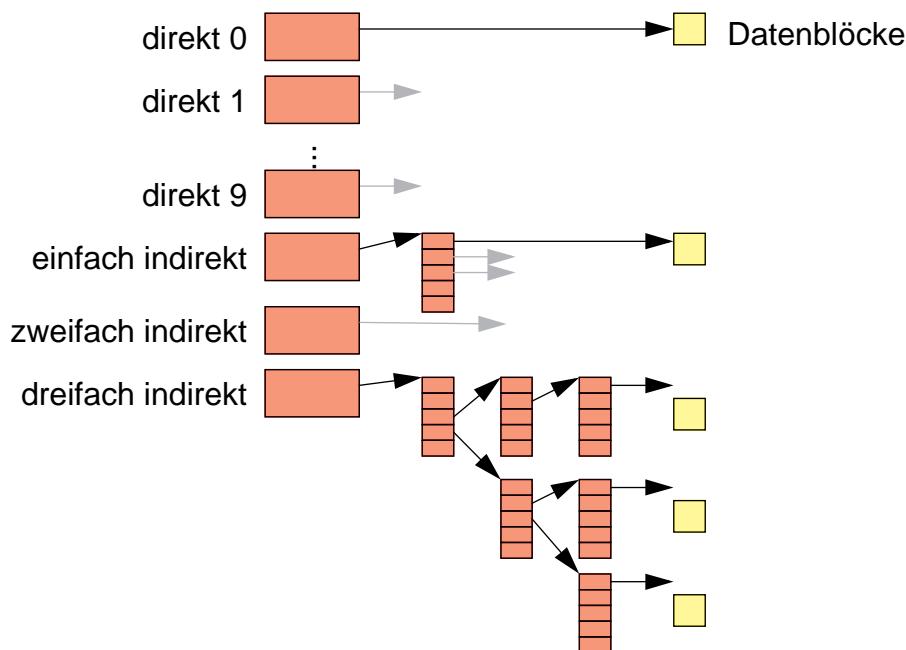


### ▲ Problem

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

### 3 Indiziertes Speichern (2)

#### ■ Beispiel UNIX Inode

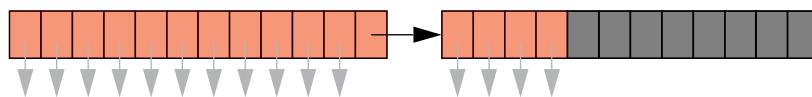


### 3 Indiziertes Speichern (3)

- ★ 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

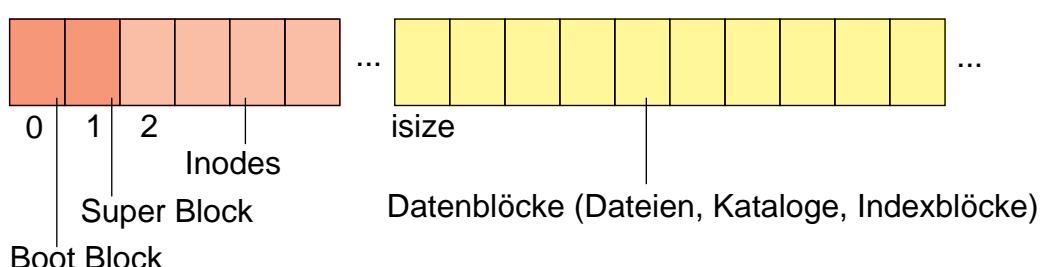
- Prinzipiell ähnlich wie Verwaltung von freiem Hauptspeicher
  - ◆ Bitvektoren zeigen für jeden Block Belegung an
  - ◆ verkettete Listen repräsentieren freie Blöcke
    - Verkettung kann in den freien Blöcken vorgenommen werden
    - Optimierung: aufeinanderfolgende Blöcke werden nicht einzeln aufgenommen,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

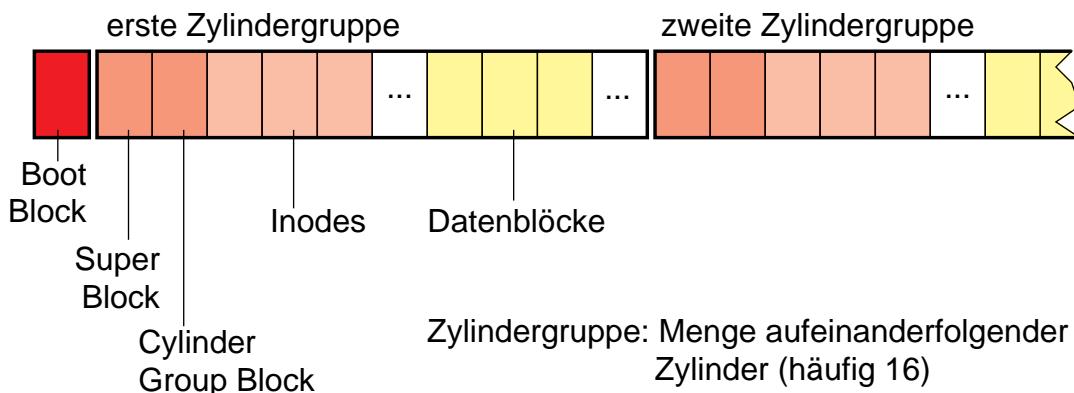
- Blockorganisation



- ◆ 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

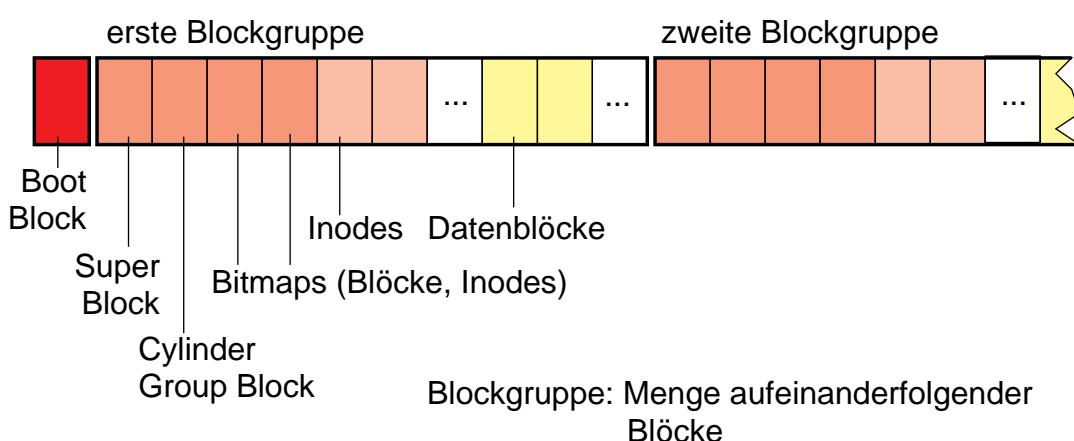


- ◆ Kopie des Super Blocks in jeder Zylindergruppe
  - ◆ freie Inodes u. freie Datenblöcke werden im Cylinder group block gehalten
  - ◆ eine Datei wird möglichst innerhalb einer Zylindergruppe gespeichert

### ★ 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

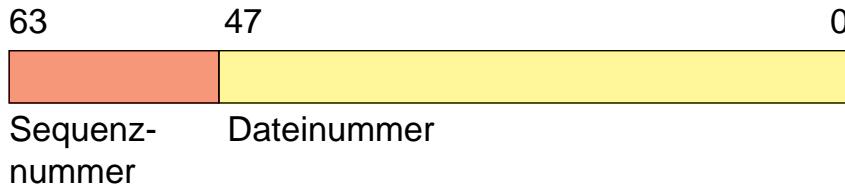
## 1 Dateiverwaltung

- 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

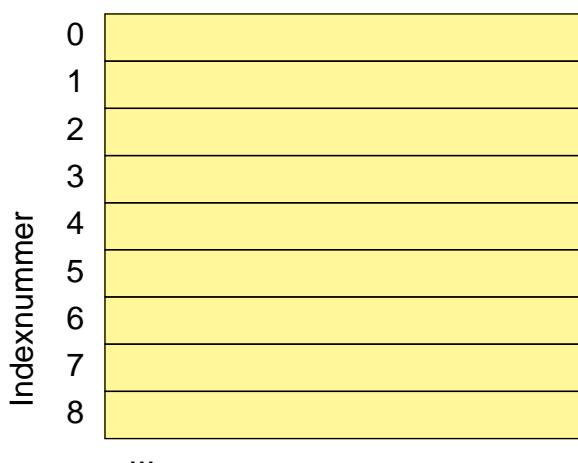


- Dateinummer ist Index in eine globale Tabelle (*MFT: Master File Table*)
- Sequenznummer wird hochgezählt, für jede neue Datei mit gleicher Dateinummer

## 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

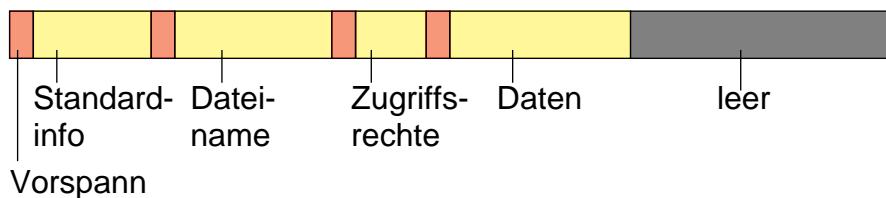


entsprechender Eintrag für  
 eine *File-Reference*  
 enthält Informationen über  
 bzw.  
 die *Streams* der Datei

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

## 2 Master-File-Table (2)

### ■ Eintrag für eine kurze Datei

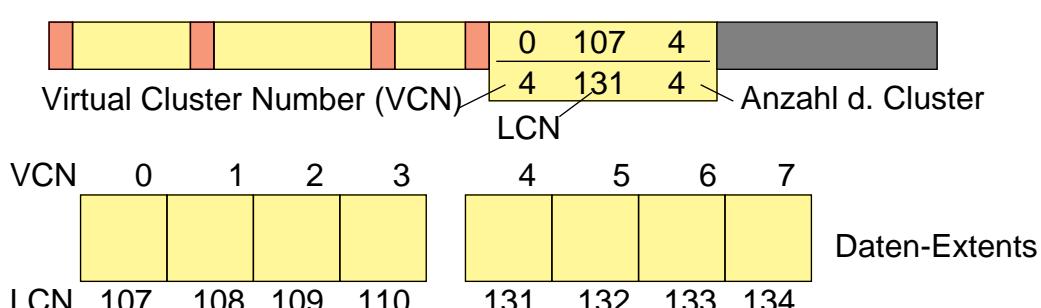


### ■ Streams

- ◆ 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

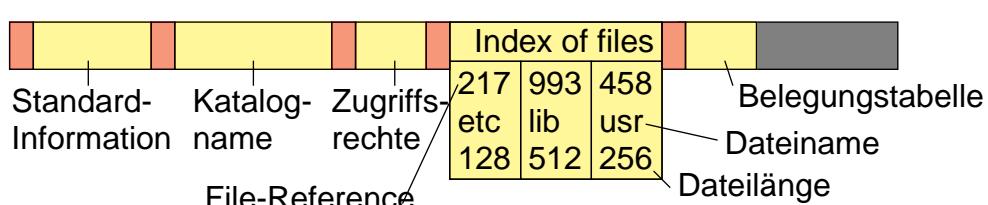
- ◆ Indexbelegungstabelle
  - Belegung der Struktur eines Index

- ◆ 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

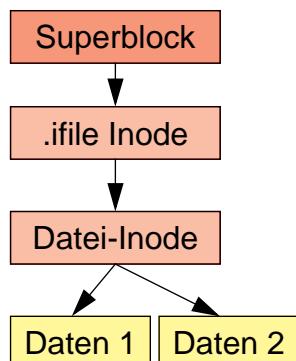
- Mögliche Fehler
  - ◆ Stromausfall (dummer Benutzer schaltet einfach Rechner aus)
  - ◆ Systemabsturz
  
- Auswirkungen auf das Dateisystem
  - ◆ inkonsistente Metadaten
    - z. B. Katalogeintrag fehlt zur Datei oder umgekehrt
    - z. B. Block ist benutzt aber nicht als belegt markiert
  
- ★ Reparaturprogramme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

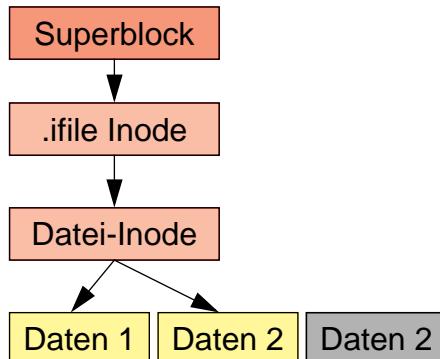
- Alle Änderungen im Dateisystem erfolgen auf Kopien
  - ◆ Der Inhalt veränderter Blöcke wird in einen neuen Block geschrieben



- ◆ Beispiel LinLogFS: Superblock einziger nicht ersetzer Block

## 2 Log-Structured-File-Systems

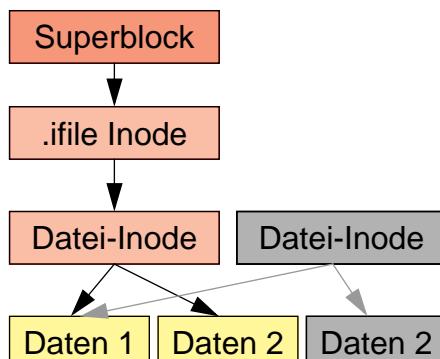
- Alle Änderungen im Dateisystem erfolgen auf Kopien
  - ◆ Der Inhalt veränderter Blöcke wird in einen neuen Block geschrieben



- ◆ Beispiel LinLogFS: Superblock einziger nicht ersetzer Block

## 2 Log-Structured-File-Systems

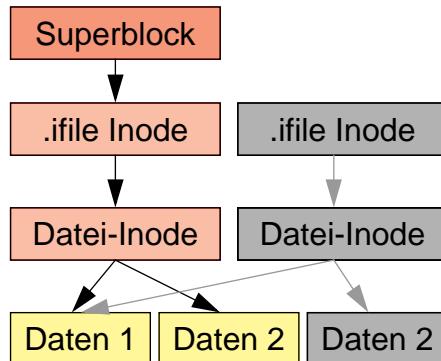
- Alle Änderungen im Dateisystem erfolgen auf Kopien
  - ◆ Der Inhalt veränderter Blöcke wird in einen neuen Block geschrieben



- ◆ Beispiel LinLogFS: Superblock einziger nicht ersetzer Block

## 2 Log-Structured-File-Systems

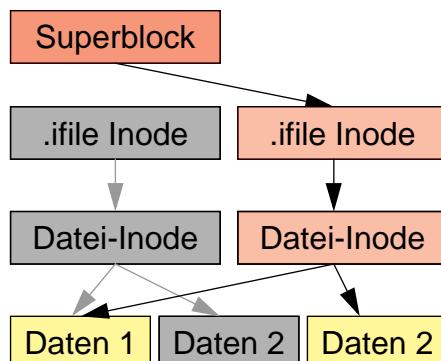
- Alle Änderungen im Dateisystem erfolgen auf Kopien
  - ◆ Der Inhalt veränderter Blöcke wird in einen neuen Block geschrieben



- ◆ Beispiel LinLogFS: Superblock einziger nicht ersetzer Block

## 2 Log-Structured-File-Systems

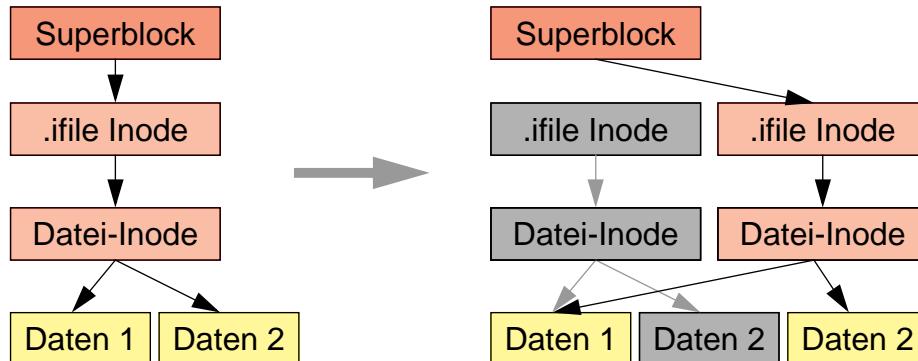
- Alle Änderungen im Dateisystem erfolgen auf Kopien
  - ◆ Der Inhalt veränderter Blöcke wird in einen neuen Block geschrieben



- ◆ Beispiel LinLogFS: Superblock einziger nicht ersetzer Block

### 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

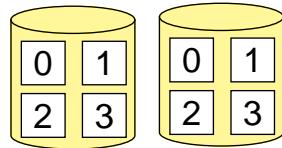
- Blöcke, die beim Lesen Fehlermeldungen erzeugen
  - ◆ z.B. Prüfsummenfehler
- Hardwarelösung
  - ◆ Platte und Plattencontroller bemerken selbst fehlerhafte Blöcke und maskieren diese aus
  - ◆ Zugriff auf den Block wird vom Controller automatisch auf einen „gesunden“ Block umgeleitet
- Softwarelösung
  - ◆ 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



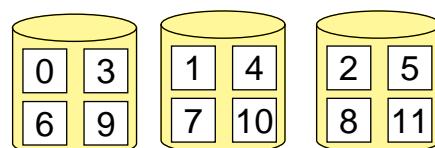
- ◆ Implementierung durch Software (File-System, Plattentreiber) oder Hardware (spez. Controller)
- ◆ eine Platte kann ausfallen
- ◆ schnelleres Lesen (da zwei Platten unabhängig voneinander beauftragt werden können)

### ▲ 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

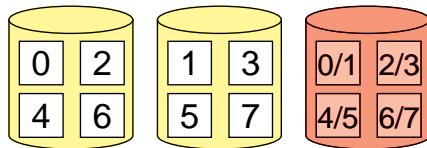
### ▲ Nachteil

- ◆ 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)

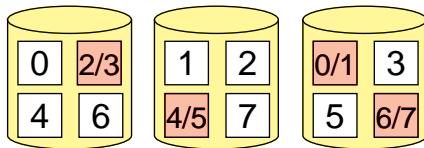
### ▲ Nachteil von RAID 4

- ◆ jeder Schreibvorgang erfordert auch das Schreiben des Paritätsblocks
- ◆ Erzeugung des Paritätsblocks durch Speichern des vorherigen Blockinhalts möglich:  $P_{\text{neu}} = P_{\text{alt}} \oplus B_{\text{alt}} \oplus B_{\text{neu}}$  ( $P=\text{Parity}$ ,  $B=\text{Block}$ )
- ◆ Schreiben eines kompletten Streifens benötigt nur einmaliges Schreiben des Paritätsblocks
- ◆ Paritätsplatte ist hoch belastet  
(meist nur sinnvoll mit SSD [Solid state disk])

## 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 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

# 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