

# Systemprogrammierung

## Dateisystem

Jürgen Kleinöder

Lehrstuhl Informatik 4

13. Januar 2015

20. Januar 2015

# Überblick

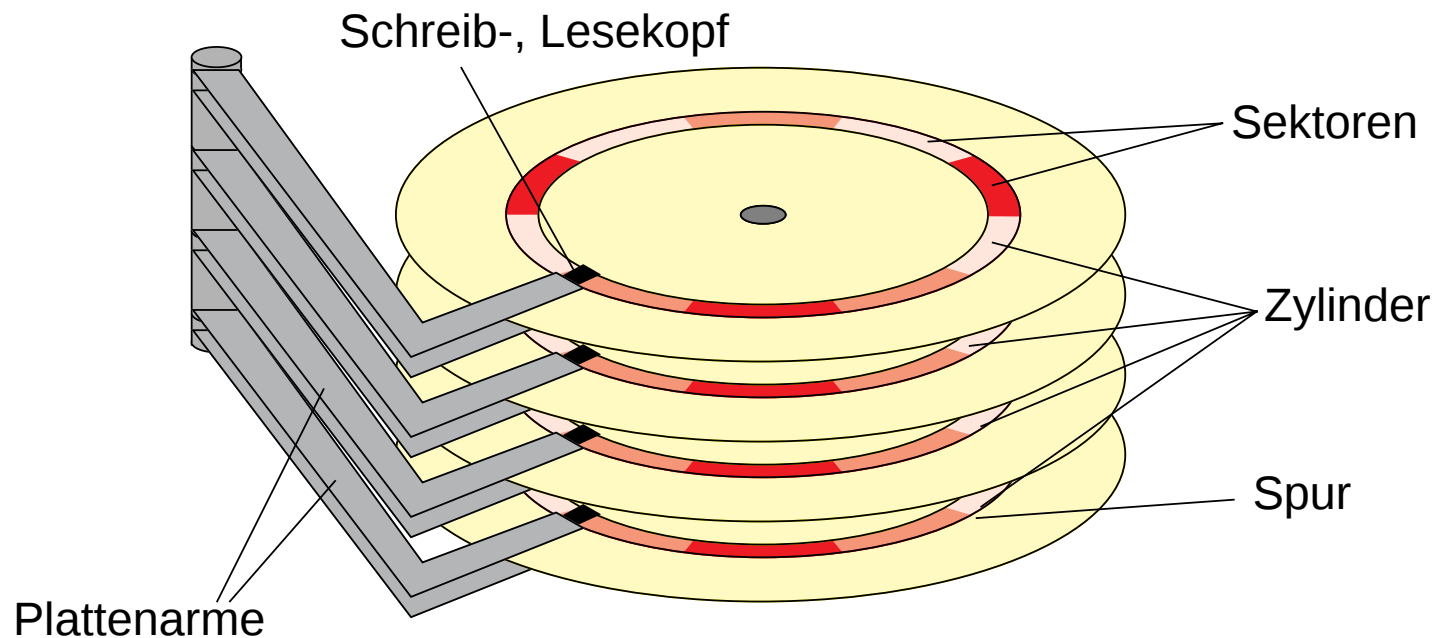
- Medien
- Speicherung von Dateien
- Freispeicherverwaltung
- Beispiele: Dateisysteme unter UNIX und Windows
- Dateisysteme mit Fehlererholung
- Datensicherung

# Medien

## 2.1 Festplatten

■ Häufigstes Medium zum Speichern von Dateien

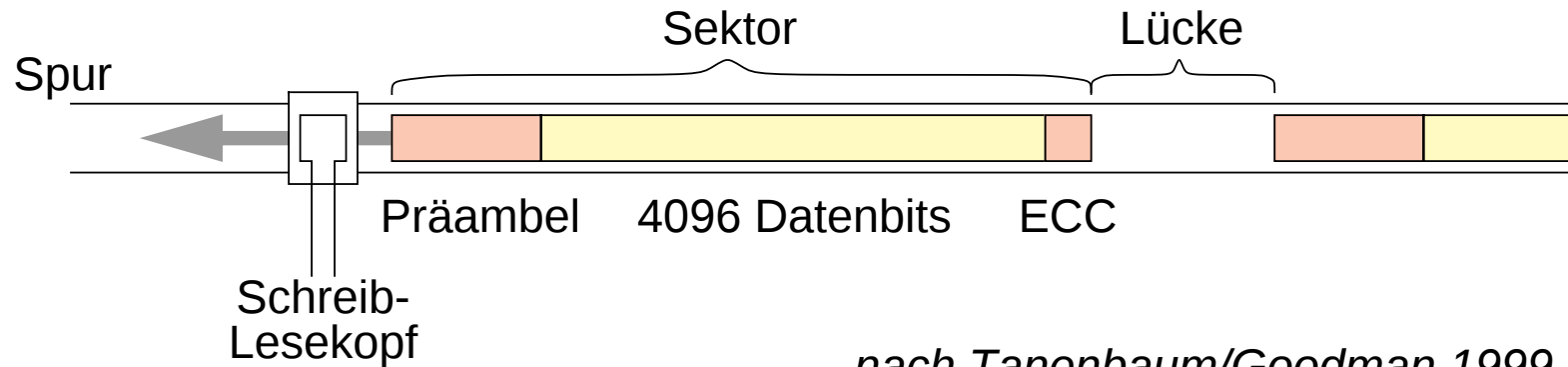
◆ Aufbau einer Festplatte



◆ Kopf schwebt auf Luftpolster

## 2.1 Festplatten (2)

### ■ Sektoraufbau



*nach Tanenbaum/Goodman 1999*

- ◆ Breite der Spur: 5–10  $\mu\text{m}$
- ◆ Spuren pro Zentimeter: 800–2000
- ◆ Breite einzelner Bits: 0,1–0,2  $\mu\text{m}$

### ■ Zonen

- ◆ Mehrere Zylinder (10–30) bilden eine Zone mit gleicher Sektorenanzahl (bessere Plattenausnutzung)

## 2.1 Festplatten (3)

### ■ Datenblätter von drei (alten) Beispielplatten

| Plattentyp             |              | Fujitsu M2344<br>(1987) | Seagate Cheetah | Seagate<br>Barracuda    |
|------------------------|--------------|-------------------------|-----------------|-------------------------|
| Kapazität              |              | 690 MB                  | 300 GB          | 400 GB                  |
| Platten/Köpfe          |              | 8 / 28                  | 4 / 8           | 781.422.768<br>Sektoren |
| Zylinderzahl           |              | 624                     | 90.774          |                         |
| Cache                  |              | -                       | 4 MB            | 8 MB                    |
| Positionier-<br>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                  |

09.2014: Kapazität bis 8 TB bei 7.200 U/min oder 600 GB bei 15.000 U/min,  
Zugriffszeit ab 2,7 ms, Transferrate bis 200 MB/s

SSD: Kapazität bis 4 TB, Zugriffszeit ca. 0,1 ms, Transferrate bis 3 GB/s

## 2.1 Festplatten (4)

### ■ Zugriffsmerkmale

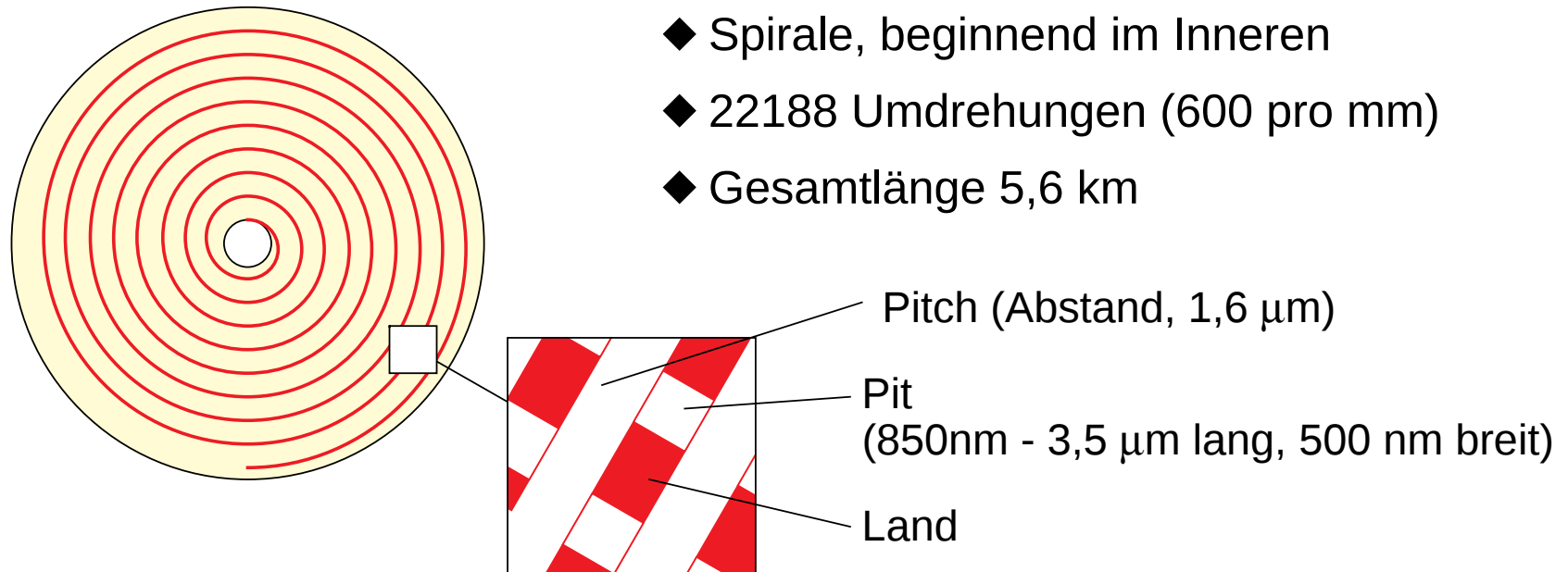
- ◆ blockorientierter und wahlfreier Zugriff
- ◆ Blockgröße zwischen 32 und 4096 Bytes (typisch 512 Bytes)
- ◆ Zugriff erfordert Positionierung des Schwenkarms auf den richtigen Zylinder und Warten auf den entsprechenden Sektor
- ◆ heutige Platten haben internen Cache und verbergen die Hardware-Details

### ■ 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

## 2.2 CD-ROM / DVD

### ■ Aufbau einer CD



◆ **Pit:** Vertiefung, wird von Laser (780 nm Wellenlänge) abgetastet

### ■ DVD

◆ gleiches Grundkonzept, Wellenlänge des Lasers 650 nm

◆ Pits und Spurabstand weniger als halb so groß

## 2.2 CD-ROM / DVD (2)

### ■ Kodierung einer CD

- ◆ **Symbol**: ein Byte wird mit 14 Bits kodiert  
(kann bereits bis zu zwei Bitfehler korrigieren)
- ◆ **Frame**: 42 Symbole (192 Datenbits, 396 Fehlerkorrekturbits)
- ◆ **Sektor** : 98 Frames werden zusammengefasst  
(16 Bytes Präambel, 2048 Datenbytes, 288 Bytes Fehlerkorrektur)
- ◆ *Effizienz* : 7203 Bytes transportieren 2048 Nutzbytes (28,4 %)

### ■ Kodierung einer DVD

- ◆ Codierung mit Reed-Solomon-Product-Code, 8/16-Bit-Modulation,  
43,2 % Nutzdaten

### ■ Transferrate

- ◆ CD-Single-Speed-Laufwerk: 75 Sektoren/Sek. (153.600 Bytes/Sek.)
- ◆ CD-72-fach-Laufwerk: 11,06 MB/Sek.
- ◆ DVD 1-fach: 1.3 MB/sec, 24-fach: 33.2 MB/sec

## 2.2 CD-ROM / DVD (3)

### ■ Kapazität

- ◆ CD: ca. 650 MB
- ◆ DVD single layer: 4.7 GB
- ◆ DVD dual layer: 8.5 GB, beidseitig: 17 GB

### ■ Varianten

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

# Speicherung von Dateien

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

## 3.1 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

## 3.1 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

## 3.1 Kontinuierliche Speicherung (3)

### ■ Variation

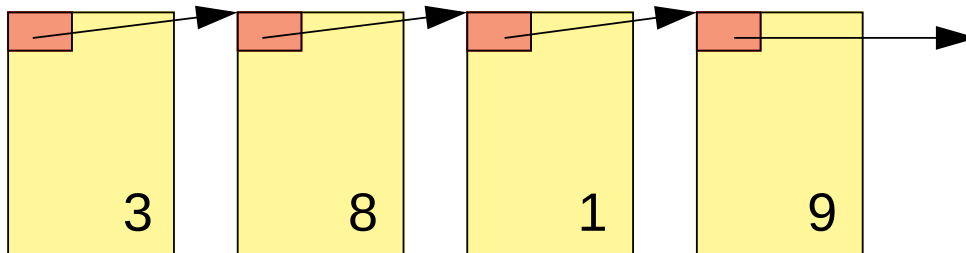
- ◆ Unterteilen einer Datei in Folgen von Blöcken (*Chunks, Extents*)
- ◆ Blockfolgen werden kontinuierlich gespeichert
- ◆ Pro Datei muss erster Block und Länge jedes einzelnen Chunks gespeichert werden

### ▲ Problem

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

## 3.2 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

★ Datei kann wachsen und verlängert werden

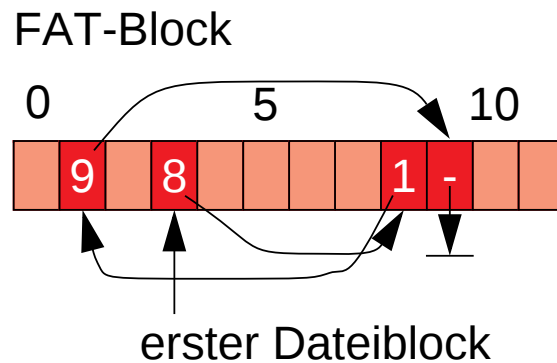
## 3.2 Verkettete Speicherung (2)

### ▲ Probleme

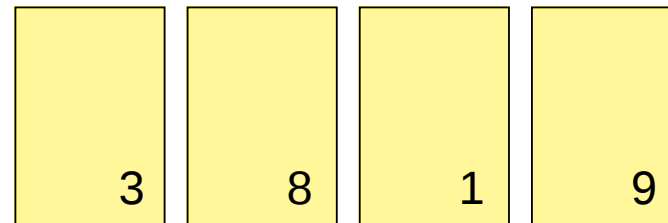
- ◆ Speicher für Verzeigerung geht von den Nutzdaten im Block ab  
(ungünstig im Zusammenhang mit Paging: Seite würde immer aus Teilen von zwei Plattenblöcken bestehen)
- ◆ Fehleranfälligkeit: Datei ist nicht restaurierbar, falls einmal Verzeigerung fehlerhaft
- ◆ schlechter direkter Zugriff auf bestimmte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

## 3.2 Verkettete Speicherung (3)

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



Blöcke der Datei: 3, 8, 1, 9



### ★ Vorteile

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

## 3.2 Verkettete Speicherung (4)

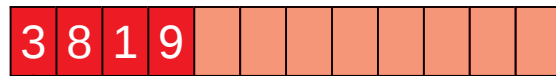
### ▲ Probleme

- ◆ 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

## 3.3 Indiziertes Speichern

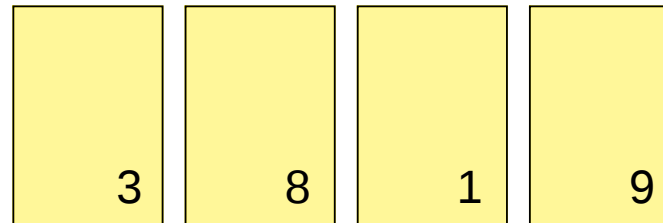
- Spezieller Plattenblock enthält Blocknummern der Datenblocks einer Datei

Indexblock



↑  
erster Dateiblock

Blöcke der Datei: 3, 8, 1, 9

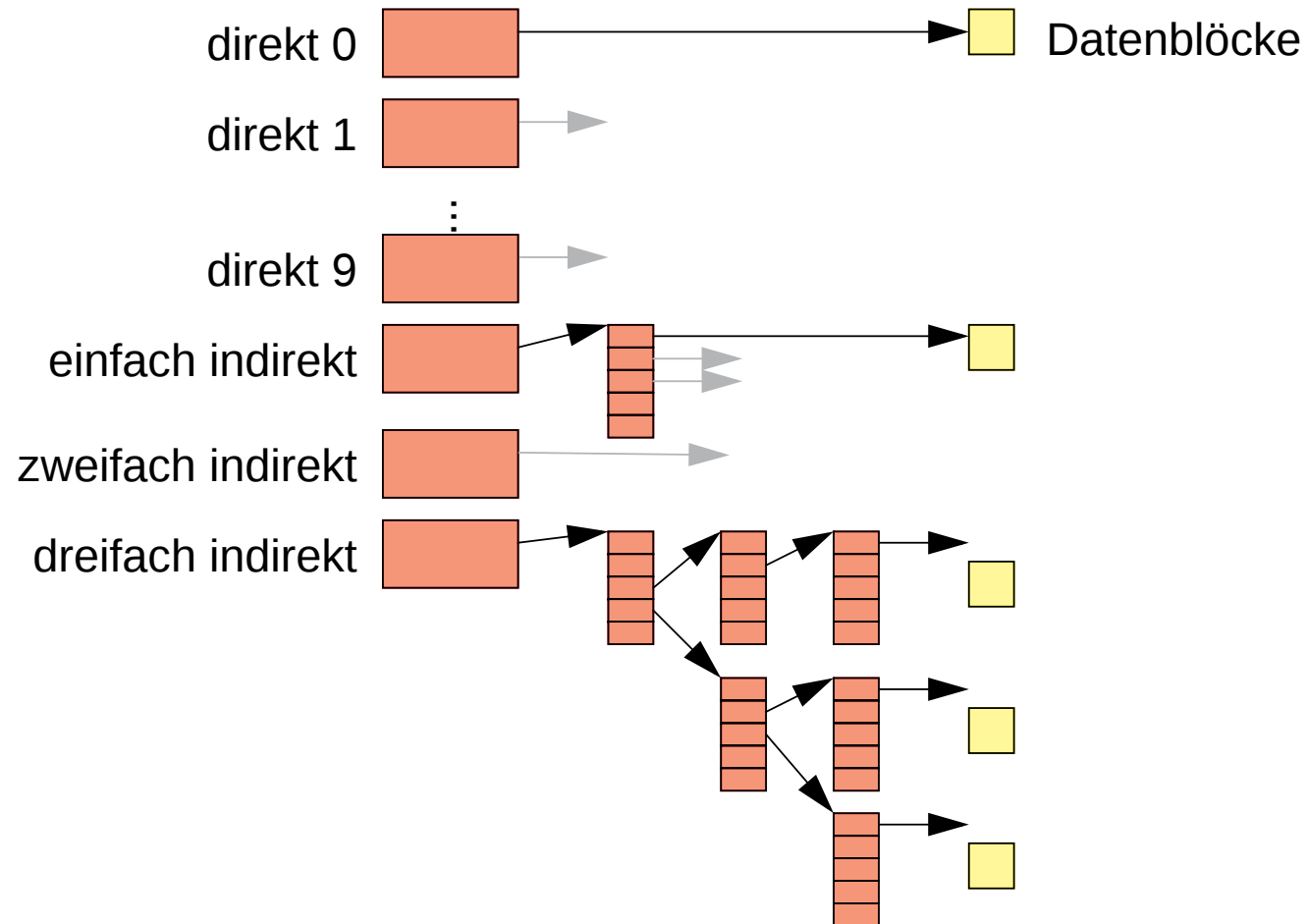


### ▲ Problem

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

## 3.3 Indiziertes Speichern (2)

### ■ Beispiel UNIX Inode

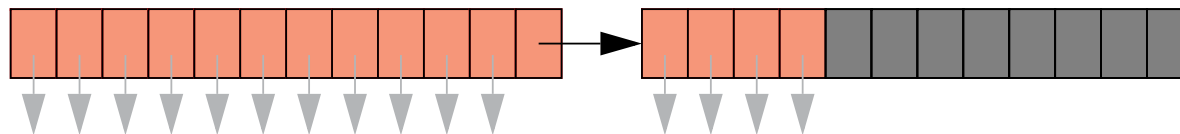


## 3.3 Indiziertes Speichern (3)

- ★ 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

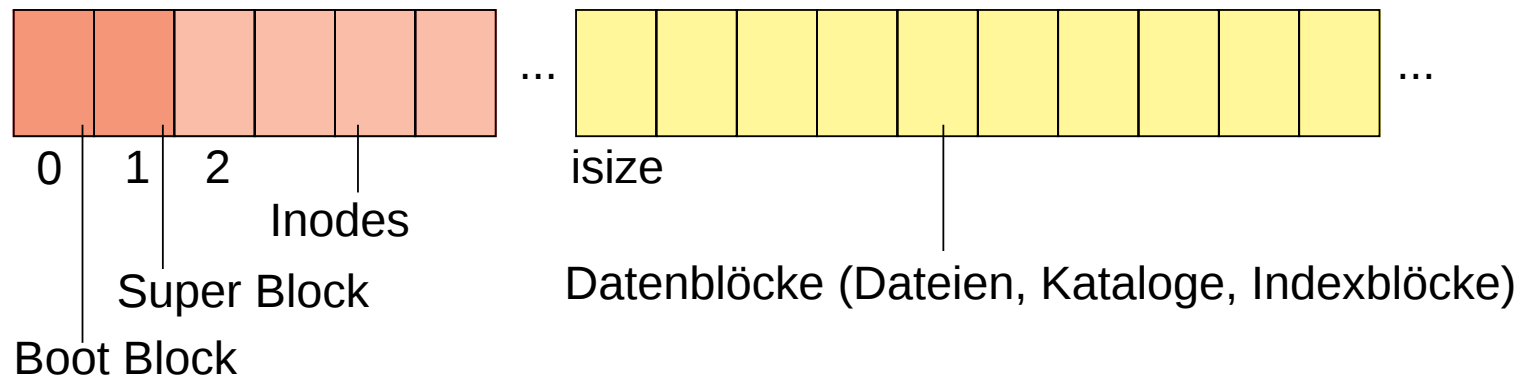
- Prinzipiell ähnlich wie Verwaltung von freiem Hauptspeicher
  - ◆ Bitvektoren zeigen für jeden Block Belegung an
  - ◆ verkettete Listen repräsentieren freie Blöcke
    - Verkettung kann in den freien Blöcken vorgenommen werden
    - Optimierung: aufeinanderfolgende Blöcke werden nicht einzeln aufgenommen,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

## 5.1 System V File System

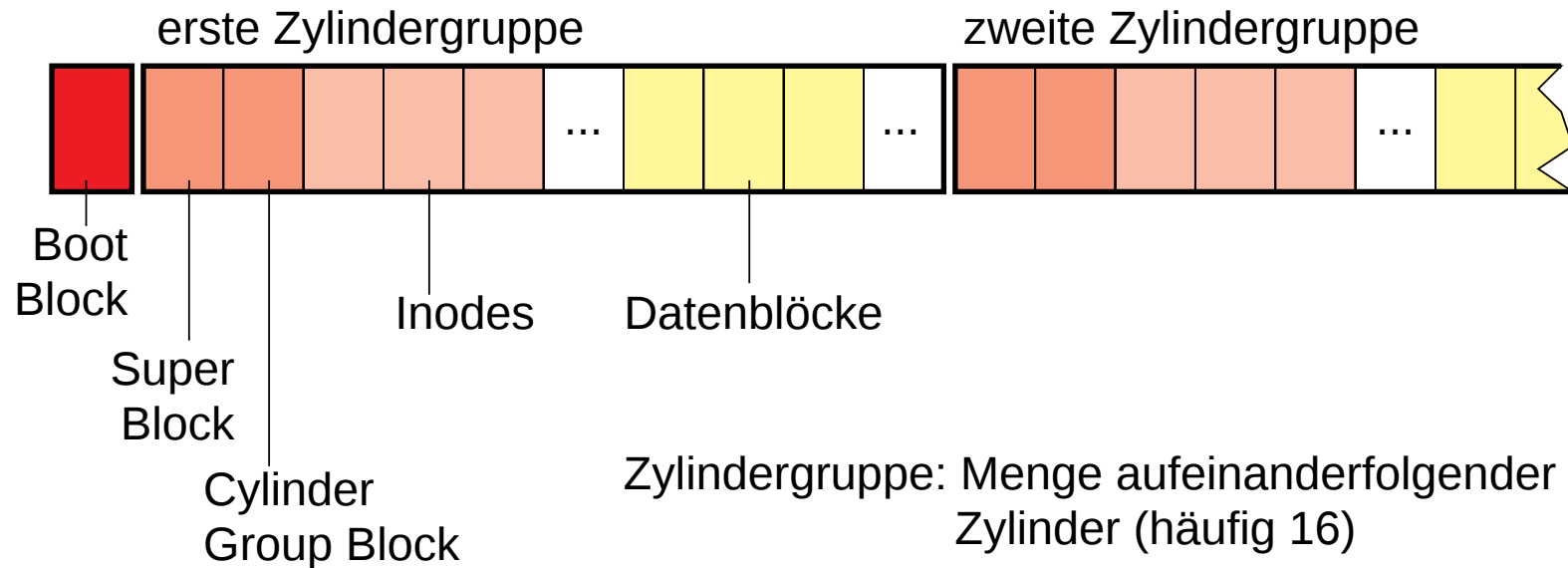
### ■ Blockorganisation



- ◆ 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*)

## 5.2 BSD 4.2 (Berkeley Fast File System)

### ■ Blockorganisation

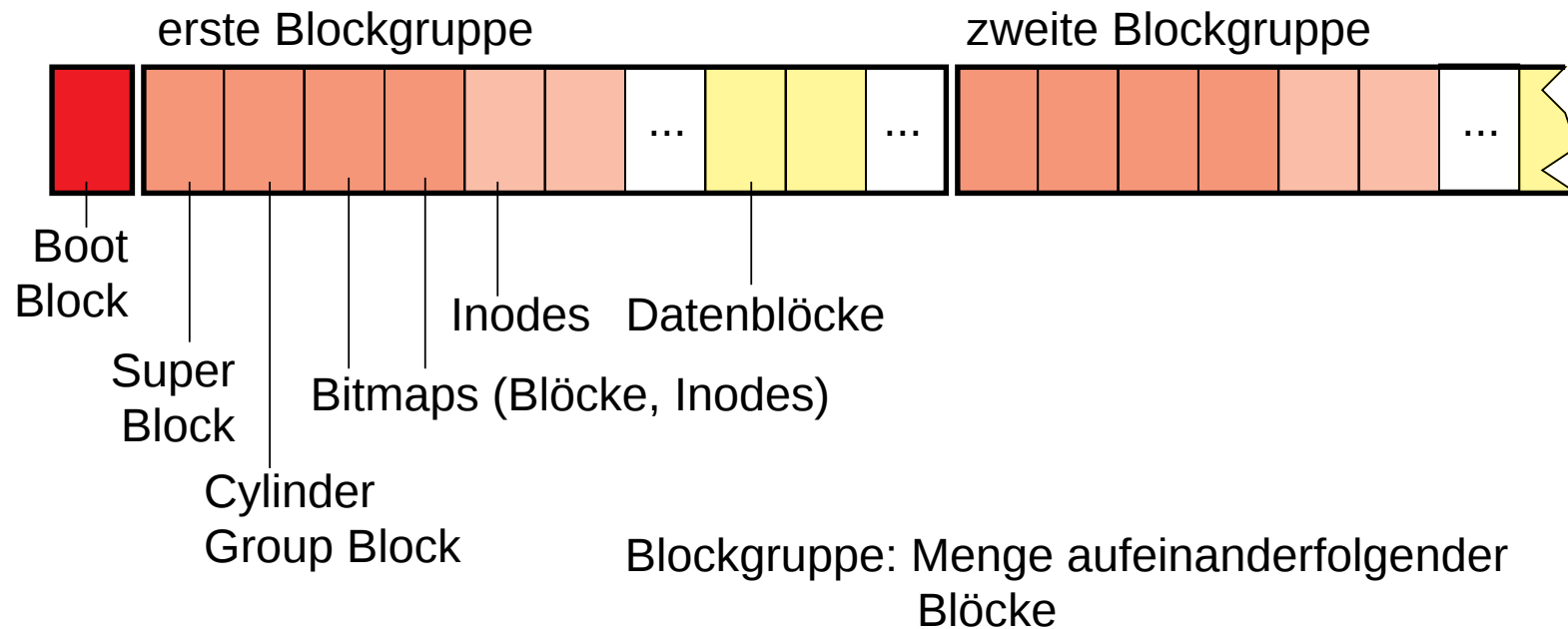


- ◆ Kopie des Super Blocks in jeder Zylindergruppe
- ◆ freie Inodes u. freie Datenblöcke werden im *Cylinder Group Block* gehalten
- ◆ eine Datei wird möglichst innerhalb einer Zylindergruppe gespeichert

★ Vorteil: kürzere Positionierungszeiten

## 5.3 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`

## 6.1 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)

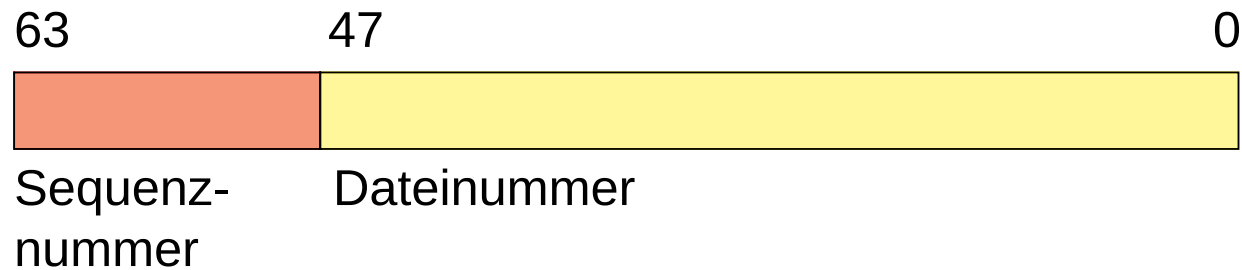
### ■ Basiseinheit „Strom“

- ◆ 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)

## 6.1 Dateiverwaltung (2)

### ■ *File-Reference*

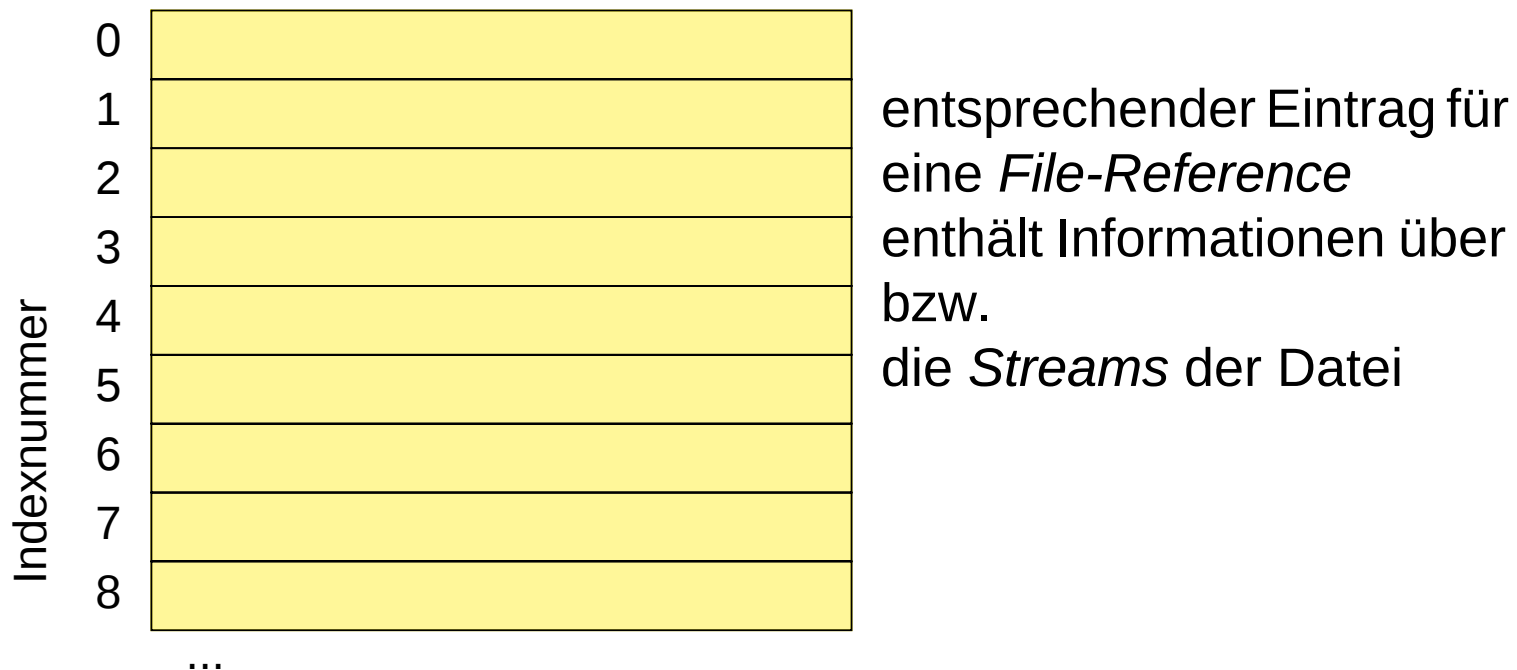
◆ Bezeichnet eindeutig eine Datei oder einen Katalog



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

## 6.2 Master-File-Table

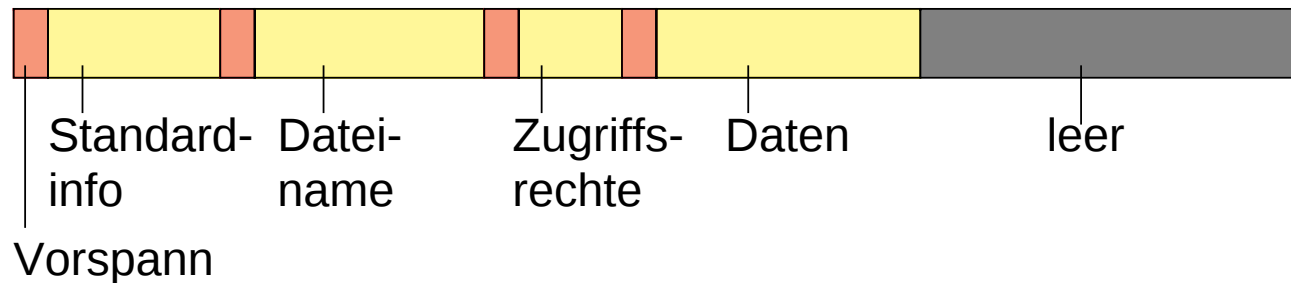
- Rückgrat des gesamten Systems
  - ◆ große Tabelle mit gleich langen Elementen  
(1KB, 2KB oder 4KB groß, je nach Clustergröße)
  - ◆ kann dynamisch erweitert werden



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

## 6.2 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)

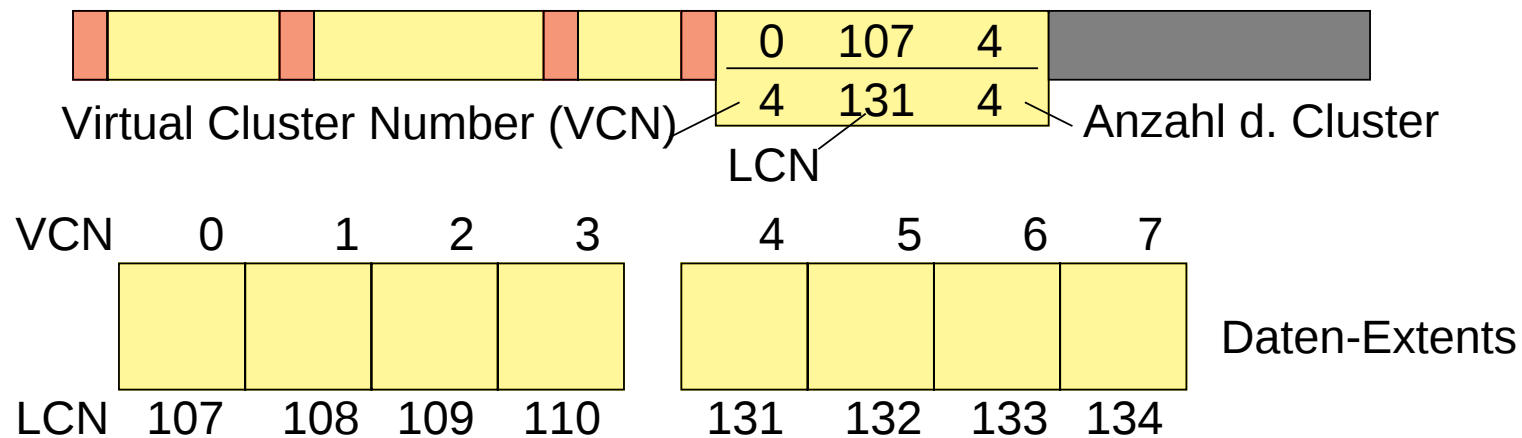
- kann mehrfach vorkommen (Hard links)

#### ◆ Zugriffsrechte (*Security Descriptor*)

#### ◆ Eigentliche Daten

## 6.2 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

## 6.2 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)

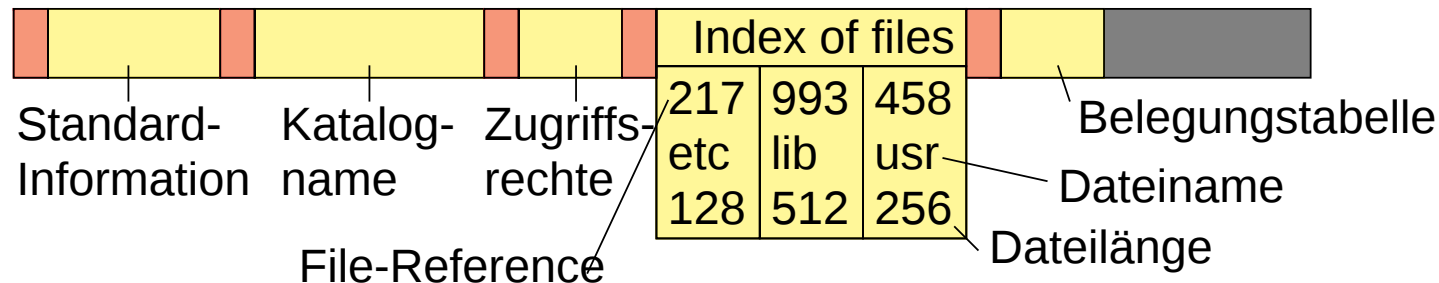
- wird benötigt, falls nicht alle Streams in einen MFT Eintrag passen
- referenzieren weitere MFT Einträge und deren Inhalt

#### ◆ 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)

## 6.2 Master File Table (5)

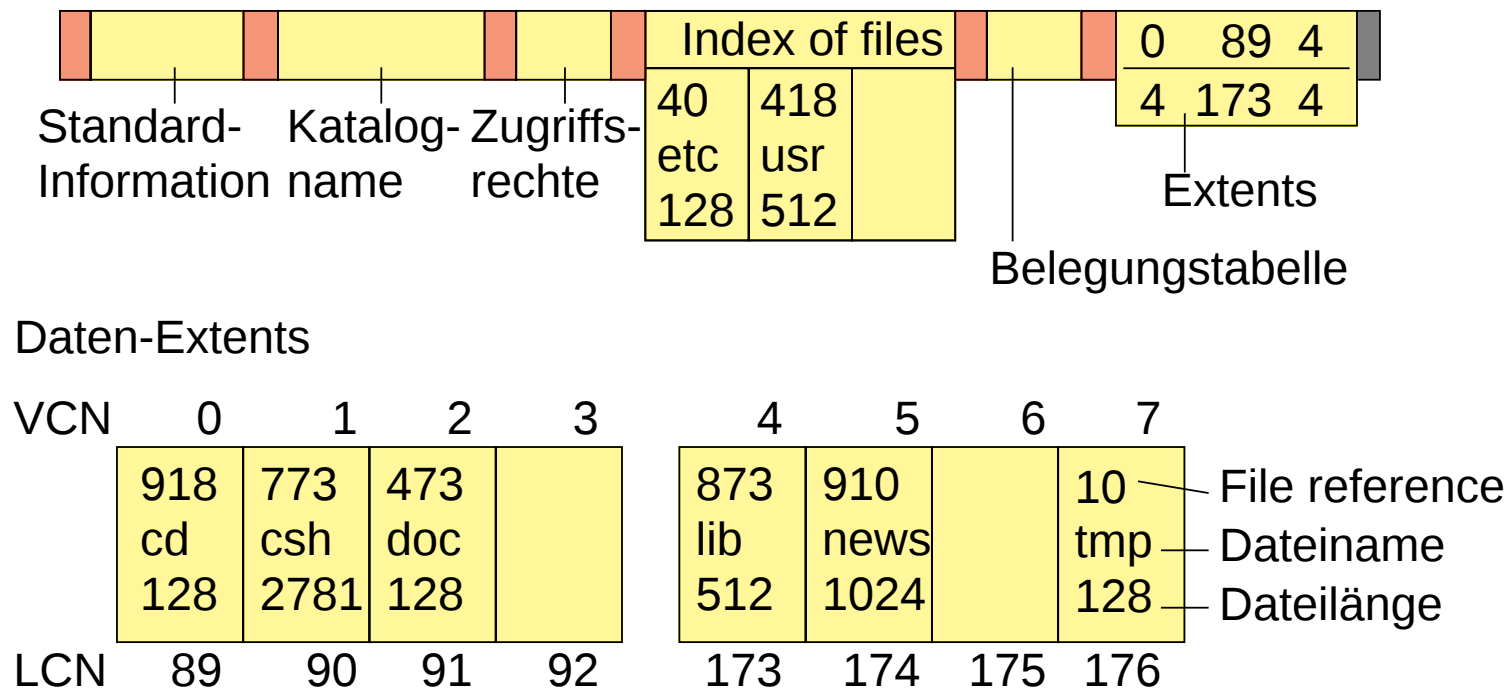
### ■ Eintrag für einen kurzen Katalog



- ◆ 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)

## 6.2 Master File Table (6)

### ■ Eintrag für einen längeren Katalog



- ◆ Speicherung als B<sup>+</sup>-Baum (sortiert, schneller Zugriff)
- ◆ in einen Cluster passen zwischen 3 und 15 Dateien (im Bild nur eine)

## 6.3 Metadaten

- Alle Metadaten werden in Dateien gehalten

|             |     |                              |                          |
|-------------|-----|------------------------------|--------------------------|
| Indexnummer | 0   | MFT                          | Feste Dateien in der MFT |
|             | 1   | MFT Kopie (teilweise)        |                          |
|             | 2   | Log File                     |                          |
|             | 3   | Volume Information           |                          |
|             | 4   | Attributtabelle              |                          |
|             | 5   | Wurzelkatalog                |                          |
|             | 6   | Clusterbelegungstabelle      |                          |
|             | 7   | Boot File                    |                          |
|             | 8   | Bad Cluster File             |                          |
|             | ... |                              |                          |
|             | 16  | Benutzerdateien u. -kataloge |                          |
|             | 17  |                              |                          |
|             | ... |                              |                          |

## 6.3 Metadaten (2)

### ■ Bedeutung der Metadateien

- ◆ MFT und MFT Kopie: MFT wird selbst als Datei gehalten  
(d.h. Cluster der MFT stehen im Eintrag 0)  
MFT Kopie enthält die ersten 16 Einträge der MFT (Fehlertoleranz)
- ◆ Log File: enthält protokollierte Änderungen am Dateisystem
- ◆ Volume Information: Name, Größe und ähnliche Attribute des Volumes
- ◆ Attributtabelle: definiert mögliche Ströme in den Einträgen
- ◆ Wurzelkatalog
- ◆ Clusterbelegungstabelle: Bitmap für jeden Cluster des Volumes
- ◆ Boot File: enthält initiales Programm zum Laden, sowie ersten Cluster der MFT
- ◆ Bad Cluster File: enthält alle nicht lesbaren Cluster der Platte  
NTFS markiert automatisch alle schlechten Cluster und versucht die Daten in einen anderen Cluster zu retten

## 6.4 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

- Metadaten und aktuell genutzte Datenblöcke geöffneter Dateien werden im Hauptspeicher gehalten (Dateisystem-Cache)
  - ◆ effizienter Zugriff
  - ◆ Konsistenz zwischen Cache und Platte muss regelmäßig hergestellt werden
    - synchrone Änderungen: Operation kehrt erst zurück, wenn Änderungen auf der Platte gespeichert wurden
    - asynchrone Änderungen: Änderungen erfolgen nur im Cache, Operation kehrt danach sofort zurück, Synchronisation mit der Platte erfolgt später
- Mögliche Fehlerursachen
  - ◆ Stromausfall (dummer Benutzer schaltet einfach Rechner aus)
  - ◆ Systemabsturz

## 7.1 Konsistenzprobleme

- Fehlerursachen & Auswirkungen auf das Dateisystem
  - ◆ Cache-Inhalte und aktuelle E/A-Operationen gehen verloren
  - ◆ 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

## 7.2 Journaling-File-Systems

- Zusätzlich zum Schreiben der Daten und Meta-Daten (z. B. Inodes) wird ein Protokoll der Änderungen geführt
  - ◆ Grundidee: Log-based Recovery bei Datenbanken
  - ◆ 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.

## 7.2 Journaling-File-Systems (2)

### ■ Protokollierung

- ◆ für jeden Einzelvorgang einer Transaktion wird zunächst ein Logeintrag erzeugt und
- ◆ danach die Änderung am Dateisystem vorgenommen
- ◆ dabei gilt:
  - der Logeintrag wird immer **vor** der eigentlichen Änderung auf Platte geschrieben
  - wurde etwas auf Platte geändert, steht auch der Protokolleintrag dazu auf der Platte

### ■ Fehlererholung

- ◆ Beim Bootvorgang wird überprüft, ob die protokollierten Änderungen vorhanden sind:
  - Transaktion kann wiederholt bzw. abgeschlossen werden (*Redo*) falls alle Logeinträge vorhanden
  - angefangene, aber nicht beendete Transaktionen werden rückgängig gemacht (*Undo*).

## 7.2 Journaling-File-Systems (3)

### ■ Beispiel: Löschen einer Datei im NTFS

#### ◆ Vorgänge der Transaktion

- Beginn der Transaktion
- Freigeben der Extents durch Löschen der entsprechenden Bits in der Belegungstabelle (gesetzte Bits kennzeichnen belegten Cluster)
- Freigeben des MFT-Eintrags der Datei
- Löschen des Katalogeintrags der Datei (evtl. Freigeben eines Extents aus dem Index)
- Ende der Transaktion

#### ◆ Alle Vorgänge werden unter der File-Reference im Log-File protokolliert, danach jeweils durchgeführt.

- Protokolleinträge enthalten Informationen zum *Redo* und zum *Undo*

## 7.2 Journaling-File-Systems (4)

◆ Log vollständig (Ende der Transaktion wurde protokolliert und steht auf Platte):

➤ *Redo* der Transaktion:  
alle Operationen werden wiederholt, falls nötig

◆ Log unvollständig (Ende der Transaktion steht nicht auf Platte):

➤ *Undo* der Transaktion:  
in umgekehrter Reihenfolge werden alle Operation rückgängig gemacht

### ■ Checkpoints

◆ Log-File kann nicht beliebig groß werden

◆ gelegentlich wird für einen konsistenten Zustand auf Platte gesorgt (*Checkpoint*) und dieser Zustand protokolliert (alle Protokolleinträge von vorher können gelöscht werden)

◆ ähnlich verfährt NTFS, wenn Ende des Log-Files erreicht wird.

## 7.2 Journaling-File-Systems (5)

### ★ Ergebnis

- ◆ eine Transaktion ist entweder vollständig durchgeführt oder gar nicht
- ◆ Benutzer kann ebenfalls Transaktionen über mehrere Dateizugriffe definieren, wenn diese ebenfalls im Log erfasst werden
- ◆ keine inkonsistenten Metadaten möglich
- ◆ Hochfahren eines abgestürzten Systems benötigt nur den relativ kurzen Durchgang durch das Log-File.
  - Alternative **chkdsk** benötigt viel Zeit bei großen Platten

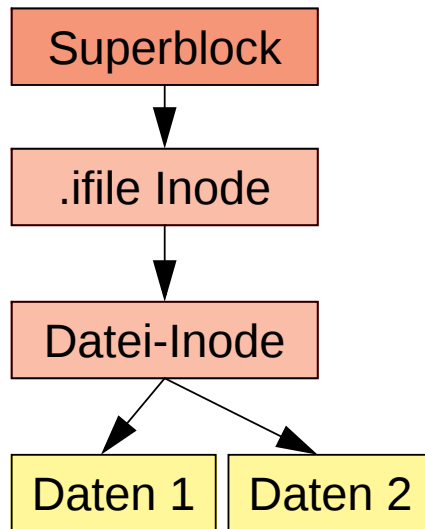
### ▲ Nachteile

- ◆ ineffizienter, da zusätzliches Log-File geschrieben wird

### ■ Beispiele: NTFS, EXT3, EXT4, ReiserFS

## 7.3 Copy-on-Write- / Log-Structured-File-Systems

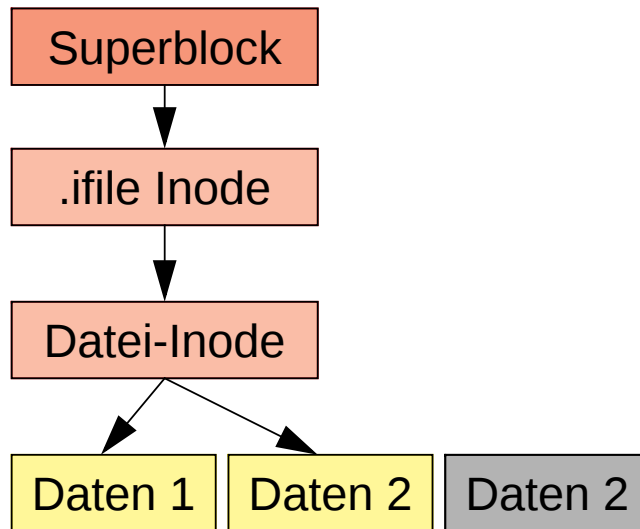
- Alternatives Konzept zur Realisierung von atomaren Änderungen
- Alle Änderungen im Dateisystem erfolgen auf Kopien
  - ◆ Der Inhalt veränderter Blöcke wird in einen neuen Block geschrieben



- ◆ Beispiel LinLogFS: Superblock einziger nicht ersetzter Block

## 7.3 Copy-on-Write- / Log-Structured-File-Systems

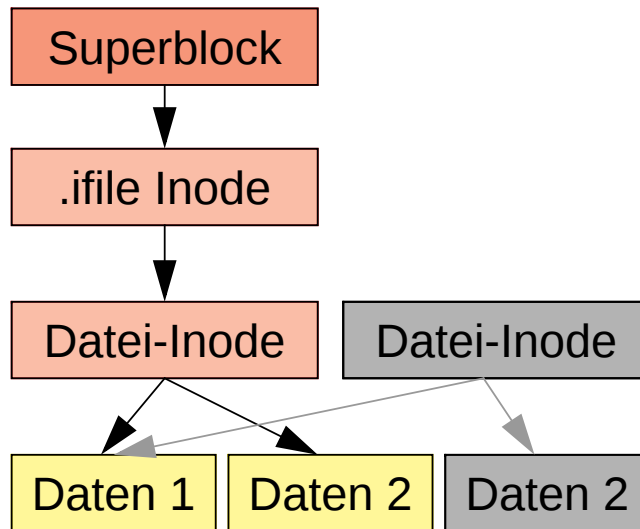
- Alternatives Konzept zur Realisierung von atomaren Änderungen
- Alle Änderungen im Dateisystem erfolgen auf Kopien
  - ◆ Der Inhalt veränderter Blöcke wird in einen neuen Block geschrieben



- ◆ Beispiel LinLogFS: Superblock einziger nicht ersetzter Block

## 7.3 Copy-on-Write- / Log-Structured-File-Systems

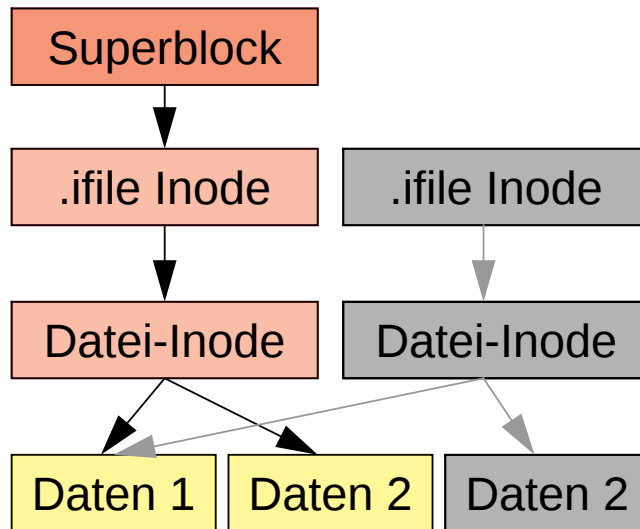
- Alternatives Konzept zur Realisierung von atomaren Änderungen
- Alle Änderungen im Dateisystem erfolgen auf Kopien
  - ◆ Der Inhalt veränderter Blöcke wird in einen neuen Block geschrieben



- ◆ Beispiel LinLogFS: Superblock einziger nicht ersetzter Block

## 7.3 Copy-on-Write- / Log-Structured-File-Systems

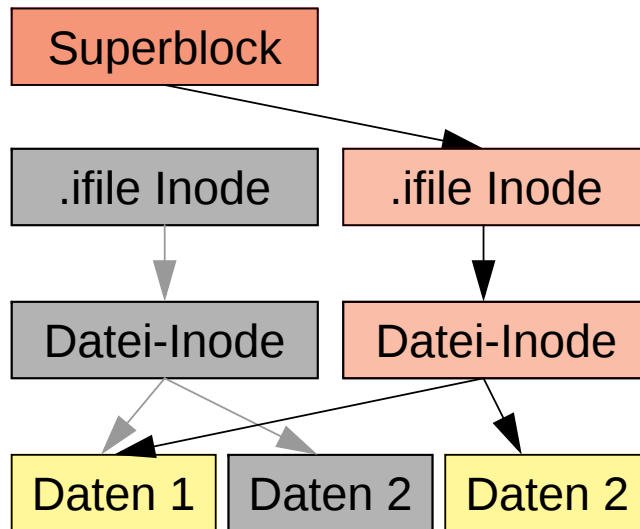
- Alternatives Konzept zur Realisierung von atomaren Änderungen
- Alle Änderungen im Dateisystem erfolgen auf Kopien
  - ◆ Der Inhalt veränderter Blöcke wird in einen neuen Block geschrieben



- ◆ Beispiel LinLogFS: Superblock einziger nicht ersetzter Block

## 7.3 Copy-on-Write- / Log-Structured-File-Systems

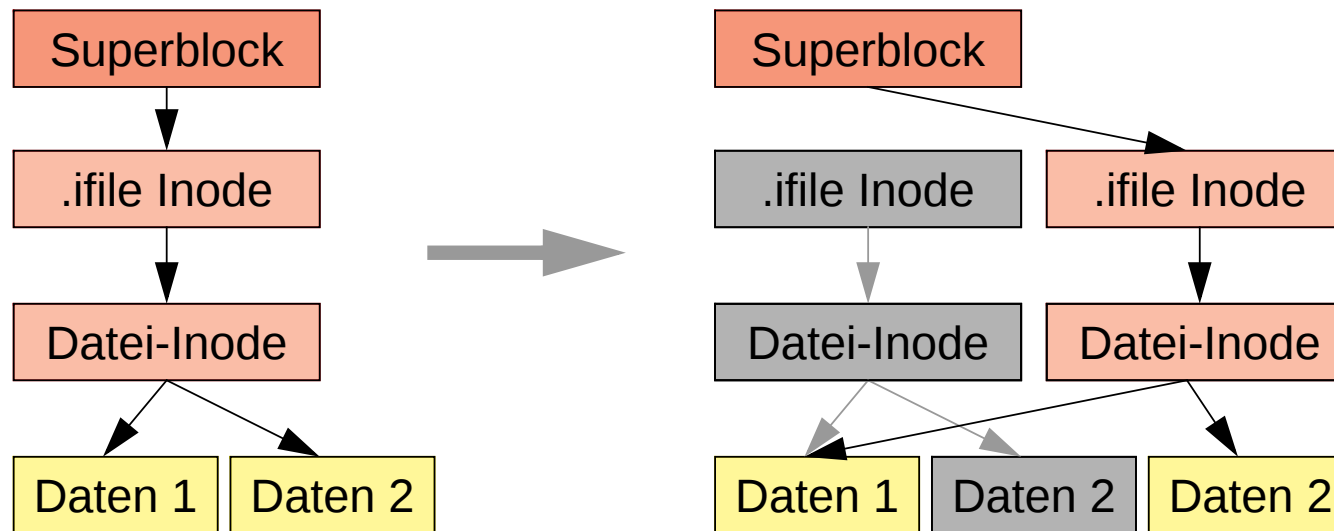
- Alternatives Konzept zur Realisierung von atomaren Änderungen
- Alle Änderungen im Dateisystem erfolgen auf Kopien
  - ◆ Der Inhalt veränderter Blöcke wird in einen neuen Block geschrieben



- ◆ Beispiel LinLogFS: Superblock einziger nicht ersetzter Block

## 7.4 Copy-on-Write- / Log-Structured-File-Systems

- Alternatives Konzept zur Realisierung von atomaren Änderungen
- 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)

## 7.4 Copy-on-Write- / Log-Structured-File-Systems (2)

### ★ Vorteile

#### ◆ Datenkonsistenz bei Systemausfällen

- ein atomare Änderung macht alle zusammengehörigen Änderungen sichtbar

#### ◆ Schnappschüsse / Checkpoints einfach realisierbar

### ▲ Nachteile

#### ◆ Gesamtperformanz geringer

### ■ Unterschied zwischen Copy-in-Write- und Log-Structured-File-Systems

#### ◆ Log-Structured-File-Systems schreiben kontinuierlich an's Ende des belegten Plattenbereichs und geben vorne die Blöcke wieder frei

- Gute Schreibeffizienz

- Annahme: Lesen kann primär aus dem Cache erfolgen

#### ◆ Beispiele:      Log-Structured: LinLogFS, BSD LFS                          Copy-on-Write: Btrfs (Oracle)

# 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

## 9.1 Sichern der Daten auf Tertiärspeicher

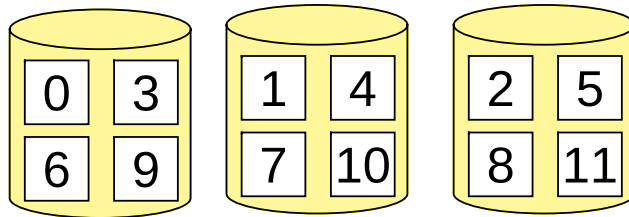
---

- 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

## 9.2 Einsatz mehrerer (redundanter) Platten

### ■ Gestreifte Platten (*Striping*; RAID 0)

◆ Daten werden über mehrere Platten gespeichert



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

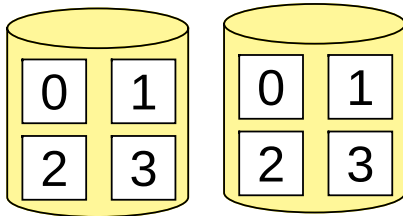
### ▲ Nachteil

◆ keinerlei Datensicherung: Ausfall einer Platte lässt Gesamtsystem ausfallen

## 9.2 Einsatz mehrerer redundanter Platten (2)

### ■ Gespiegelte Platten (*Mirroring*; RAID 1)

- ◆ Daten werden auf zwei Platten gleichzeitig gespeichert



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

### ▲ Nachteil

- ◆ doppelter Speicherbedarf

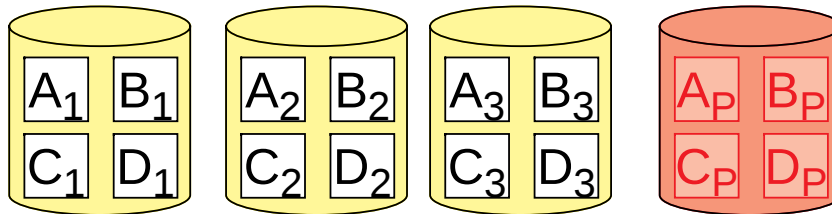
■ wenig langsames Schreiben durch Warten auf zwei Plattentransfers

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

## 9.2 Einsatz mehrerer 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)

## 9.2 Einsatz mehrerer redundanter Platten (4)

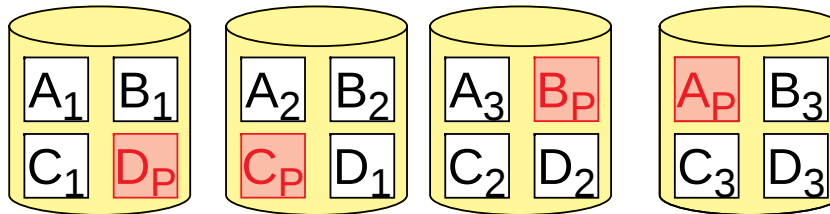
### ▲ Nachteil von RAID 4

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

## 9.2 Einsatz mehrerer 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