Systemprogrammierung

Dateisystem

3. Februar 2011
9. Februar 2011

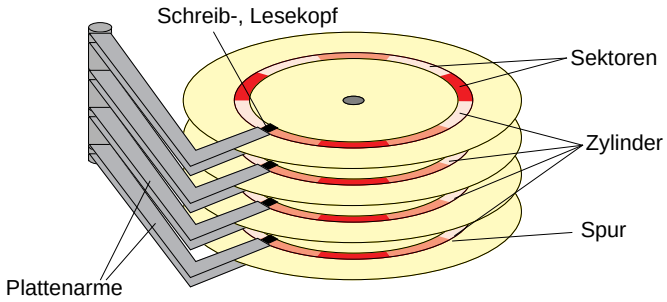
Überblick

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

Medien

2.1 Festplatten

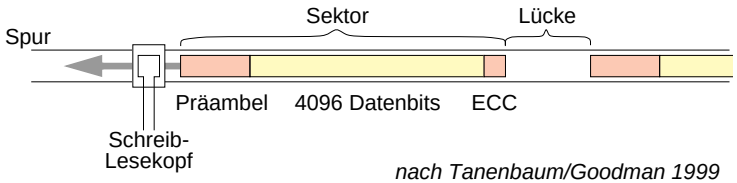
- Häufigstes Medium zum Speichern von Dateien
  - Aufbau einer Festplatte



  - Kopf schwebt auf Luftpolster

2.1 Festplatten (2)

- Sektoraufbau



nach Tanenbaum/Goodman 1999

  - Breite der Spur: 5–10 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)

2.1 Festplatten (3)

- Datenblätter von drei Beispielplatten

Plattentyp		Fujitsu M2344 (1987)	Seagate Cheetah	Seagate Barracuda
Kapazität		690 MB	300 GB	400 GB
Platten/Köpfe		8 / 28	4 / 8	781.422.768 Sektoren
Zylinderzahl		624	90.774	
Cache		-	4 MB	8 MB
Posititionier-zeiten	Spur zu Spur	4 ms	0,5 ms	-
	mittlere	16 ms	5,3 ms	8 ms
	maximale	33 ms	10,3 ms	-
Transferrate		2,4 MB/s	320 MB/s	-150 MB/s
Rotationsgeschw.		3.600 U/min	10.000 U/min	7.200 U/min
eine Plattenumdrehung		16 ms	6 ms	8 ms
Stromaufnahme		?	16-18 W	12,8 W

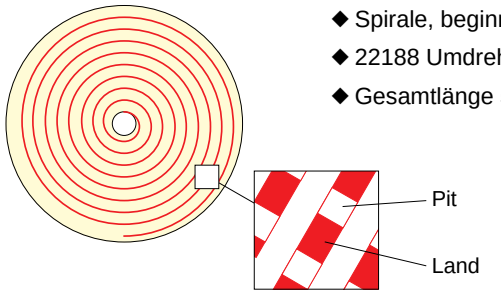
Januar 2011: Kapazität bis 3 TB, bis 15.000 U/min, Transferrate bis 1,6 GB/s

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

- 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

2.2 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)
  - 52-fach-Laufwerk: 7.987.200 Bytes pro Sekunde

2.2 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?

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)

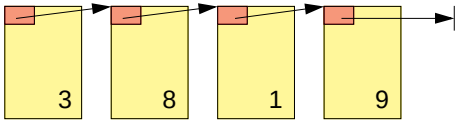
- ▲ Probleme
  - Finden des freien Platzes auf der Festplatte (Menge aufeinanderfolgender und freier Plattenblöcke)
  - Fragmentierungsproblem (Verschnitt: nicht nutzbare Plattenblöcke; siehe auch Speicherverwaltung)
  - Größe bei neuen Dateien oft nicht im Voraus bekannt
  - Erweitern ist problematisch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

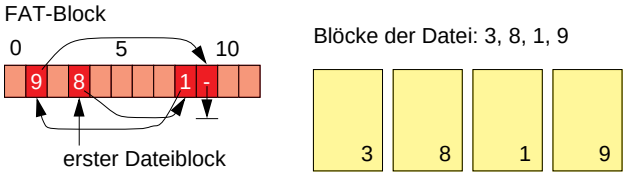
3.2 Verkettete Speicherung (2)

▲ 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



★ Vorteile

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

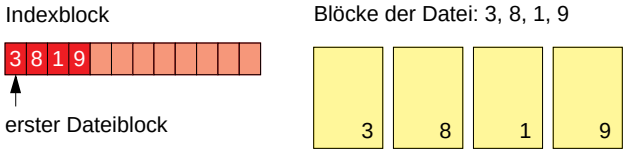
3.2 Verkettete Speicherung (4)

▲ 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

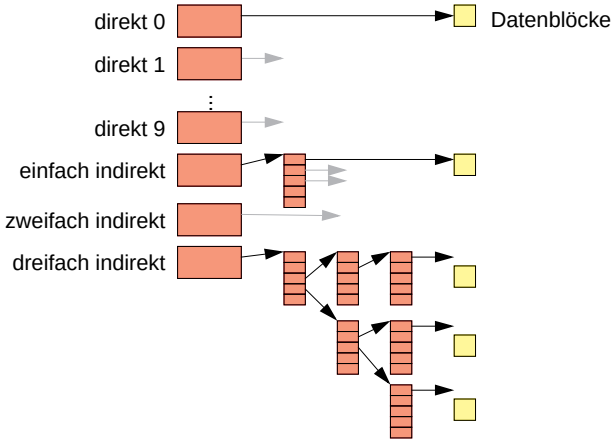
- Spezieller Plattenblock enthält Blocknummern der Datenblocks einer Datei



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

3.3 Indiziertes Speichern (2)

- Beispiel UNIX Inode

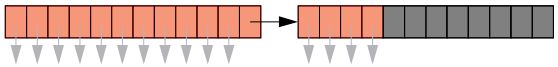


3.3 Indiziertes Speichern (3)

- 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

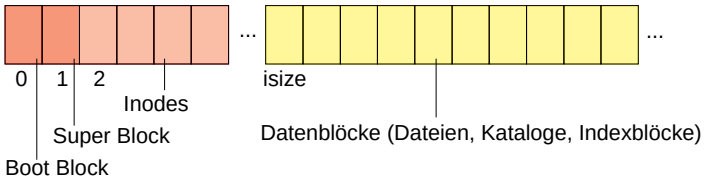
- Prinzipiell ähnlich wie Verwaltung von freiem Hauptspeicher
  - Bitvektoren zeigen für jeden Block Belegung an
  - verkettete Listen repräsentieren freie Blöcke
    - Verkettung kann in den freien Blöcken vorgenommen werden
    - Optimierung: aufeinanderfolgende Blöcke werden nicht einzeln aufgenommen,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

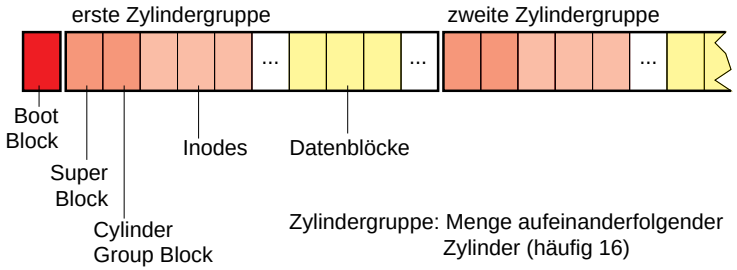
- Blockorganisation



  - ◆ 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

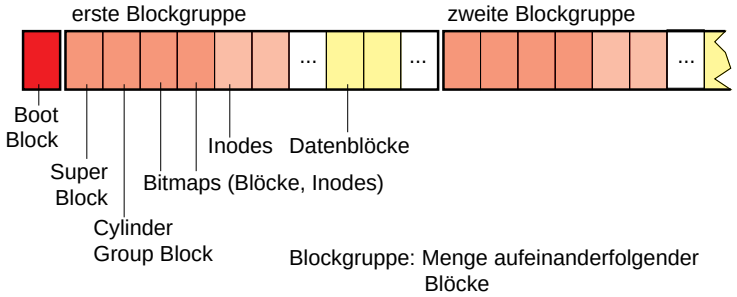


  - ◆ Kopie des Super Blocks in jeder Zylindergruppe
  - ◆ freie Inodes u. freie Datenblöcke werden im *Cylinder Group Block* gehalten
  - ◆ eine Datei wird möglichst innerhalb einer Zylindergruppe gespeichert

- ★ Vorteil: kürzere Positionierungszeiten

5.3 Linux EXT2 File System

- Blockorganisation



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

Beispiel: Windows NT (NTFS)

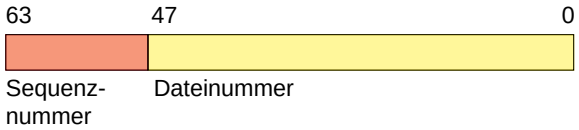
- Dateisystem für Windows NT
- Datei
  - ◆ beliebiger Inhalt; für das Betriebssystem ist der Inhalt transparent
  - ◆ Rechte verknüpft mit NT-Benutzern und -Gruppen
  - ◆ Datei kann automatisch komprimiert oder verschlüsselt gespeichert werden
  - ◆ große Dateien bis zu 2^{64} Bytes lang
  - ◆ Hard links: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

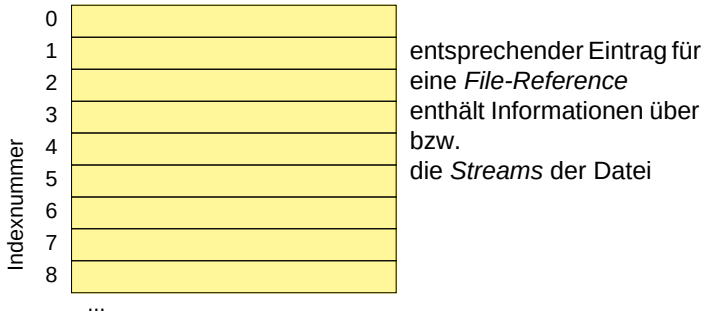
- *File-Reference*
  - Bezeichnet eindeutig eine Datei oder einen Katalog



  - 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

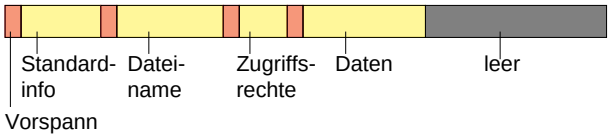


entsprechender Eintrag für eine *File-Reference* enthält Informationen über bzw. die *Streams* der Datei

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

6.2 Master-File-Table (2)

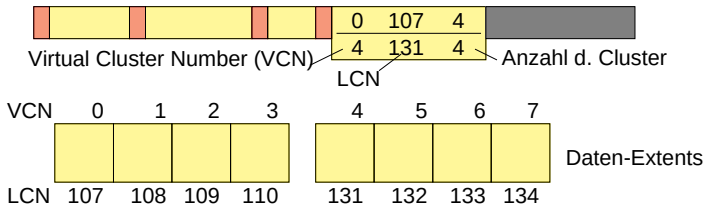
- Eintrag für eine kurze Datei



- 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



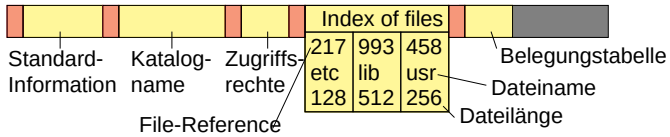
- ***Extents*** werden außerhalb der MFT in aufeinanderfolgenden Clustern gespeichert
- Lokalisierungsinformationen werden in einem eigenen Stream gespeichert

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)

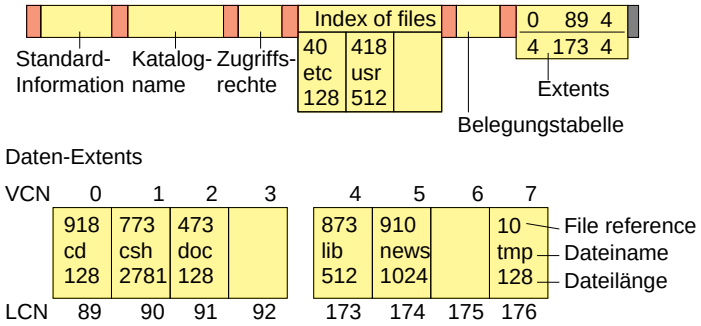
- Eintrag für einen kurzen Katalog



- 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^+-Baum (sortiert, schneller Zugriff)
- in einen Cluster passen zwischen 3 und 15 Dateien (im Bild nur eine)