Betriebssysteme (BS)

11. Dateisysteme

https://sys.cs.tu-dortmund.de/de/lehre/ss24/bs

01.07.2024

Peter Ulbrich

peter.ulbrich@tu-dortmund.de
bs-problems@ls12.cs.tu-dortmund.de
https://sys.cs.tu-dortmund.de/de/lehre/kummerkasten

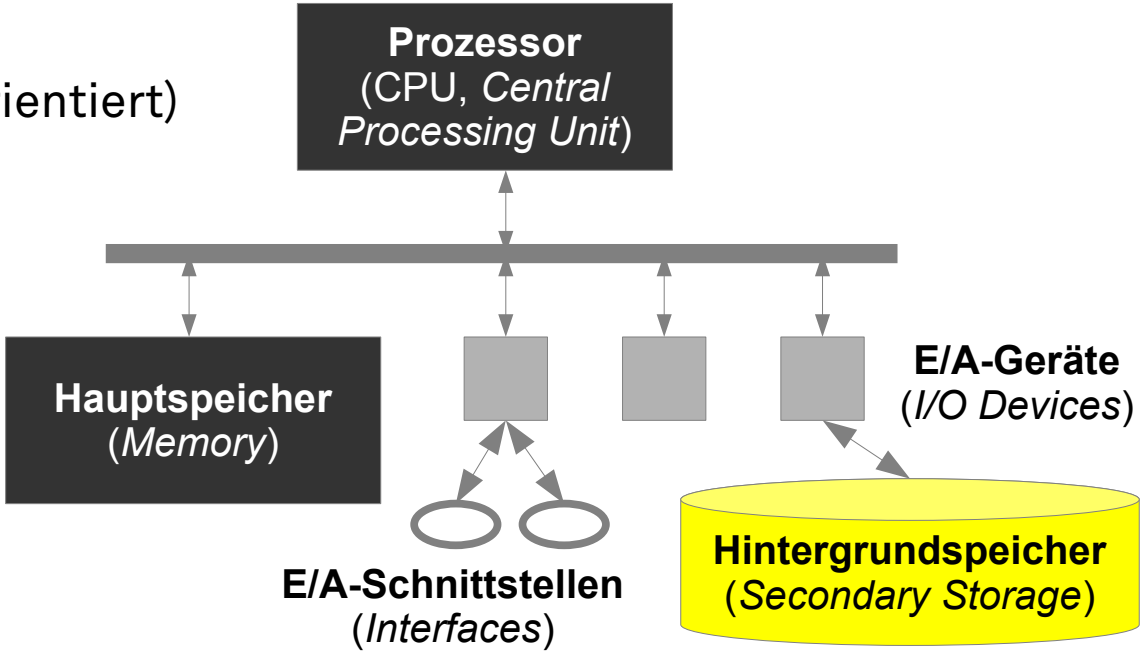
In Teilen basierend auf *Betriebssysteme* von Olaf Spinczyk, Universität Osnabrück

technische universität
dortmund

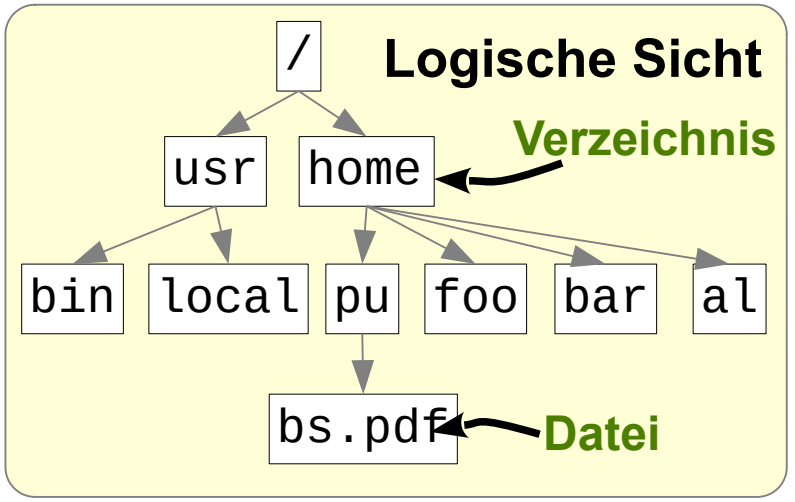
Arbeitsgruppe
Systemsoftware

Wiederholung: Betriebsmittel

- Das Betriebssystem hat folgende Aufgaben:
  - Verwaltung der Betriebsmittel des Rechners
  - Schaffung von Abstraktionen, die Anwendungen einen einfachen und effizienten Umgang mit Betriebsmitteln erlauben
- **Bisher:**
  - **Prozesse**
  - **Arbeitsspeicher**
  - **E/A-Geräte** (insb. blockorientiert)
- **Heute: Dateisysteme**
  - Organisation des Hintergrundspeichers



Hintergrundspeicher

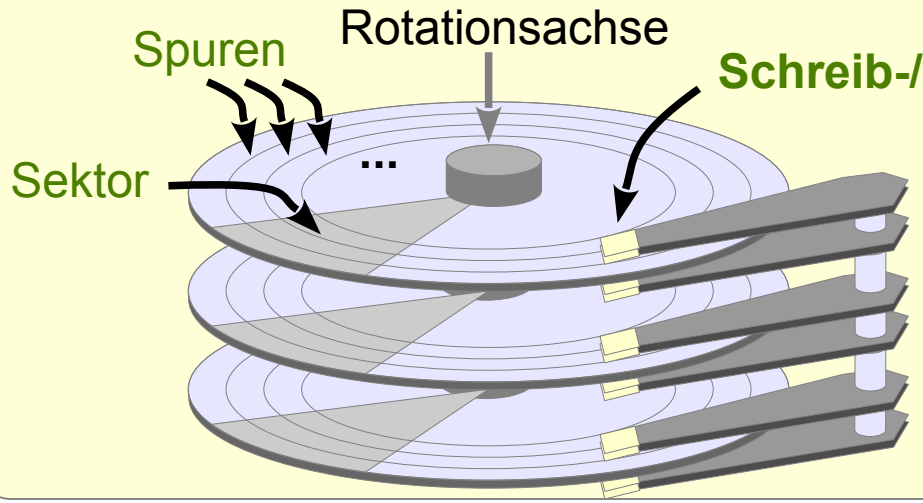


Dateisysteme erlauben die dauerhafte Speicherung großer Datenmengen.

Abbildung

Physikalische Sicht

Festplatte mit 6 Oberflächen



Das Betriebssystem stellt den Anwendungen die logische Sicht zur Verfügung und muss diese effizient realisieren.

Inhalt

- Dateien
- Freispeicherverwaltung
- Verzeichnisse
- Dateisysteme
- Pufferspeicher
- Dateisysteme mit Fehlererholung
- Zusammenfassung

Inhalt

- Dateien
- Freispeicherverwaltung
- Verzeichnisse
- Dateisysteme
- Pufferspeicher
- Dateisysteme mit Fehlererholung
- Zusammenfassung

Tanenbaum
6: Dateisysteme

Silberschatz
10: File System
11: Implementing File Systems

Inhalt

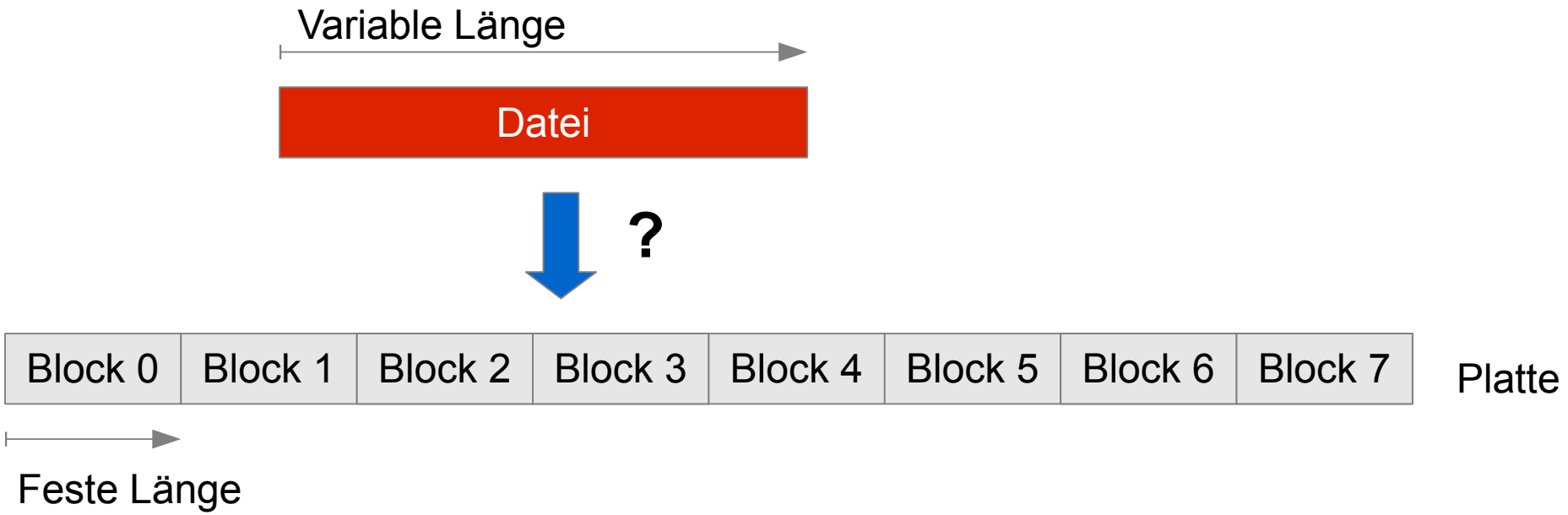
- Dateien
- Freispeicherverwaltung
- Verzeichnisse
- Dateisysteme
- Pufferspeicher
- Dateisysteme mit Fehlererholung
- Zusammenfassung

Tanenbaum
6: Dateisysteme

Silberschatz
10: File System
11: Implementing File Systems

Speicherung von Dateien

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



Kontinuierliche Speicherung

- Datei wird in Blöcken mit aufsteigenden Blocknummern gespeichert
  - Nummer des ersten Blocks und Anzahl der Folgeblöcke muss gespeichert werden, z.B. **Start: Block 4; Länge: 3**.

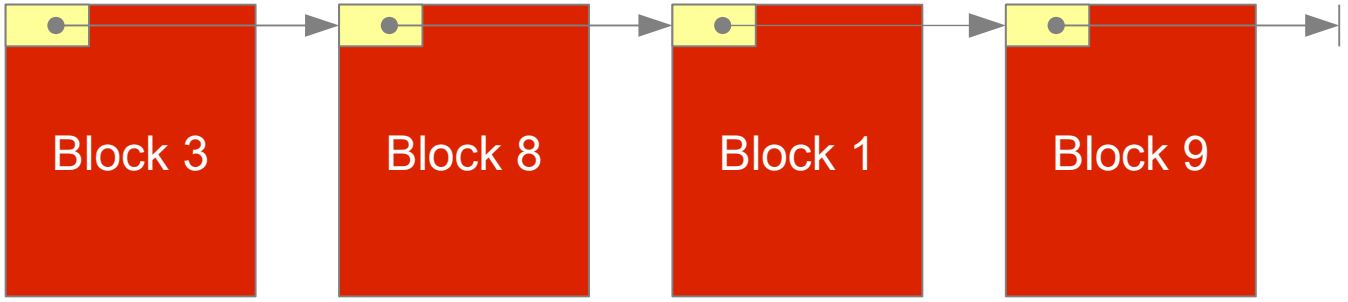
- **Vorteile**:
  - Zugriff auf alle Blöcke mit **minimaler Positionierzeit** des Schwenkarms
  - schneller direkter Zugriff auf **bestimmte Dateiposition**
  - Einsatz z.B. bei nicht modifizierbaren Dateisystemen wie auf CDs/DVDs

Kontinuierliche Speicherung: Probleme

- **Finden des freien Platzes auf der Festplatte**
  - Menge aufeinanderfolgender und freier Plattenblöcke
- **Fragmentierungsproblem**
  - Verschnitt: nicht nutzbare Plattenblöcke; analog zur Speicherverwaltung
- **Größe bei neuen Dateien oft nicht im Voraus bekannt**
- **Erweitern ist problematisch**
- **Umkopieren, falls kein freier angrenzender Block mehr verfügbar**

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**

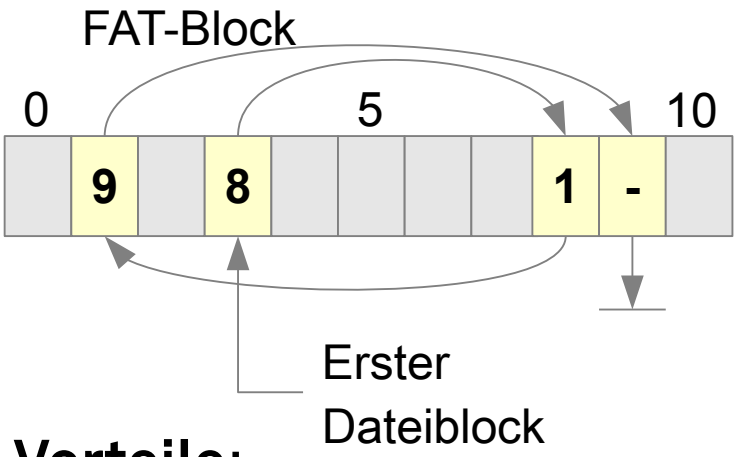
→ Datei kann **vergrößert und verkleinert** werden

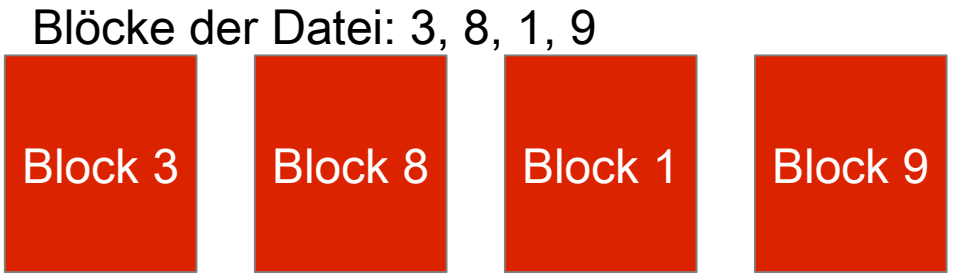
Verkettete Speicherung: Probleme

- **Speicher für Verzeigerung geht von 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**

Verkettete Speicherung: FAT

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





- **Vorteile:**
  - kompletter Inhalt des Datenblocks ist nutzbar
  - mehrfache Speicherung der FAT möglich: Einschränkung der Fehleranfälligkeit

Verkettete Speicherung: Probleme (2)

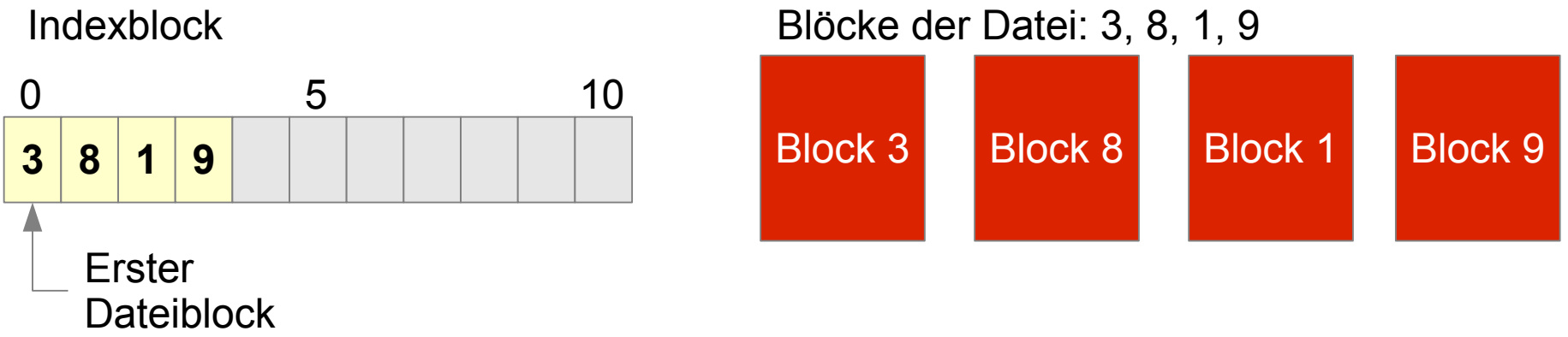
- **Zusätzliches Laden mindestens eines Blocks**
  - Caching der FAT zur Effizienzsteigerung nötig
- **Laden unbenötigter Informationen**
  - FAT enthält Verkettungen für alle Dateien
- **Aufwändige Suche nach dem zugehörigen Datenblock bei bekannter Position in der Datei**
- **Häufiges Positionieren des Schreib-, Lesekopfs bei verstreuten Datenblöcken**

Diskussion: *Chunks/Extents/Clusters*

- **Variation**:
  - Unterteilen einer Datei in kontinuierlich **gespeicherte Folgen von Blöcken** (*Chunk*, *Extent* oder *Cluster* genannt)
  - Reduziert die Zahl der Positionierungsvorgänge
  - Blocksuche wird linear in Abhängigkeit von der Chunk-Größe beschleunigt
- **Probleme**:
  - zusätzliche Verwaltungsinformationen
  - Verschnitt
    - feste Größe: **innerhalb** einer Folge (interner Verschnitt)
    - variable Größe: **außerhalb** der Folgen (externer Verschnitt)
- Wird eingesetzt, bringt aber keinen fundamentalen Fortschritt.

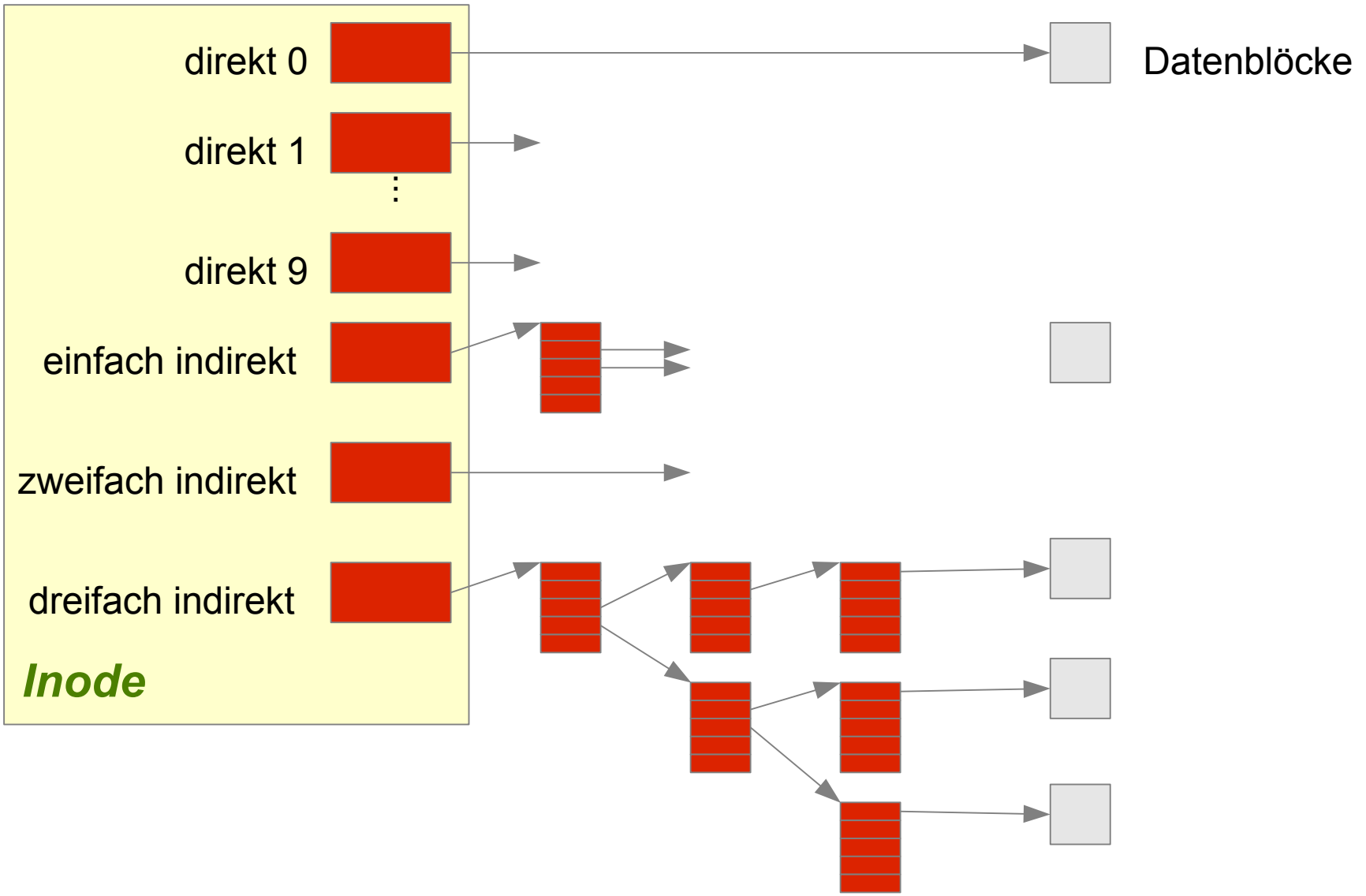
Indiziertes Speichern

- **Spezieller Plattenblock** (*Indexblock*) enthält Blocknummern der Datenblöcke einer Datei:



- **Problem:** Feste Anzahl von Blöcken im Indexblock
  - Verschnitt bei kleinen Dateien
  - Erweiterung nötig für große Dateien

Indiziertes Speichern: UNIX-Inode

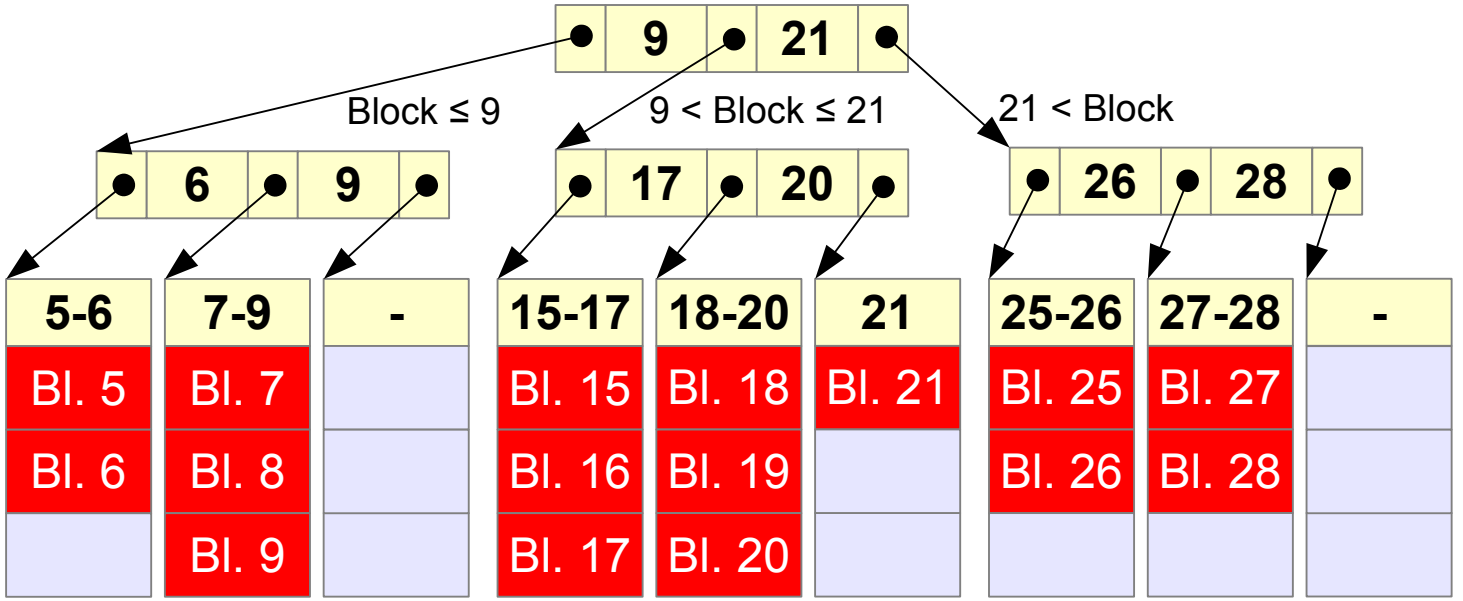


Indiziertes Speichern: Diskussion

- 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)

Baumsequentielle Speicherung

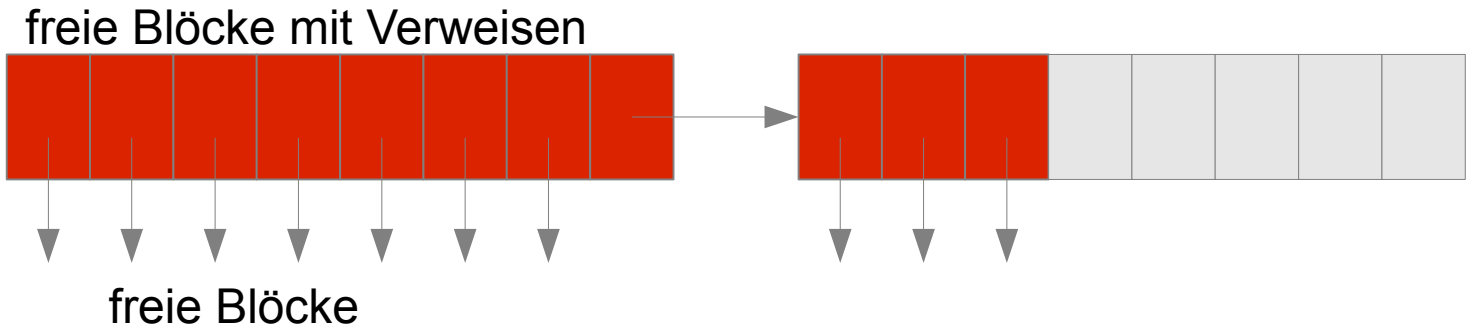
- Wird bei Datenbanken zum effizienten Auffinden eines Datensatzes mit Hilfe eines Schlüssels eingesetzt.
  - Schlüsselraum darf dünn besetzt sein.
- Kann auch verwendet werden, um Datei-*Chunks* mit bestimmtem Datei-*Offset* aufzufinden
  - z.B. NTFS, ReiserFS, Btrfs, IBMs JFS2-Dateisystem (B⁺-Baum)



Inhalt

- Dateien
- Freispeicherverwaltung
- Verzeichnisse
- Dateisysteme
- Pufferspeicher
- Dateisysteme mit Fehlererholung
- Zusammenfassung

Freispeicherverwaltung



Ähnlich wie Verwaltung von freiem Hauptspeicher

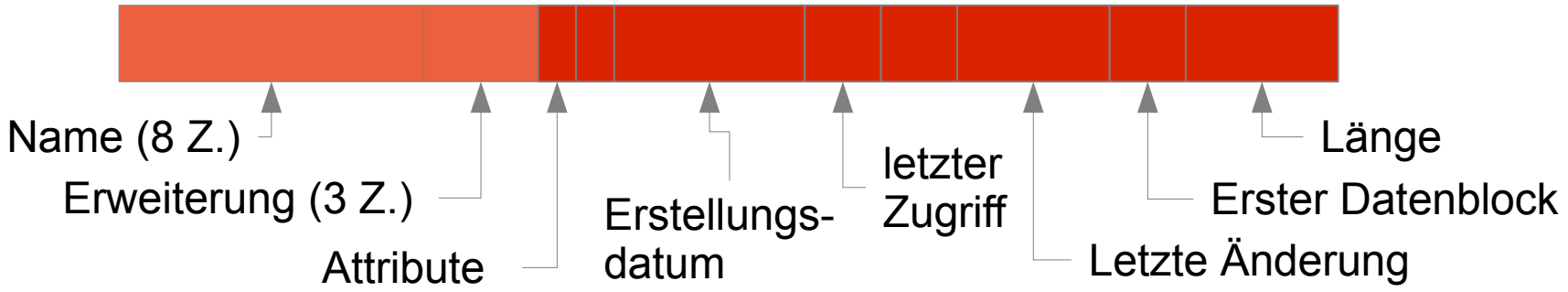
- **Bitvektoren** zeigen für jeden Block Belegung an
- oder **verkettete Listen** repräsentieren freie Blöcke
  - Verkettung kann in den freien Blöcken vorgenommen werden.
  - Optimierung: Aufeinanderfolgende Blöcke werden nicht einzeln aufgenommen, sondern am Stück verwaltet.
  - Optimierung: Ein freier Block enthält viele Blocknummern weiterer freier Blöcke, und evtl. die Blocknummer eines weiteren Blocks mit den Nummern freier Blöcke.
- **Baumsequentielle Speicherung** freier Blockfolgen
  - Erlaubt schnelle Suche nach freier Blockfolge bestimmter Größe
  - Anwendung z.B. im SGI XFS

Inhalt

- Dateien
- Freispeicherverwaltung
- Verzeichnisse
- Dateisysteme
- Pufferspeicher
- Dateisysteme mit Fehlererholung
- Zusammenfassung

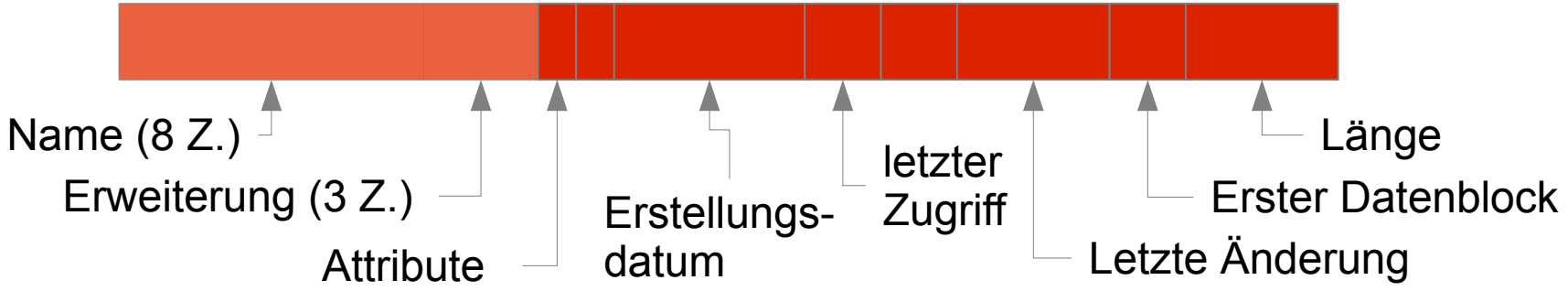
Verzeichnis als Liste

- Einträge gleicher Länge hintereinander in einer Liste, z.B.
  - *FAT File systems* (VFAT nutzt mehrere Einträge für lange Dateinamen)

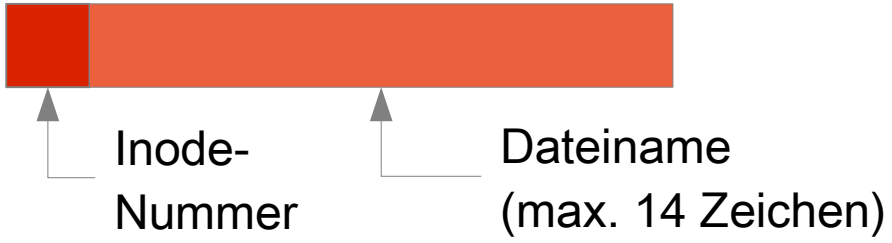


Verzeichnis als Liste

- Einträge gleicher Länge hintereinander in einer Liste, z.B.
  - *FAT File systems* (VFAT nutzt mehrere Einträge für lange Dateinamen)

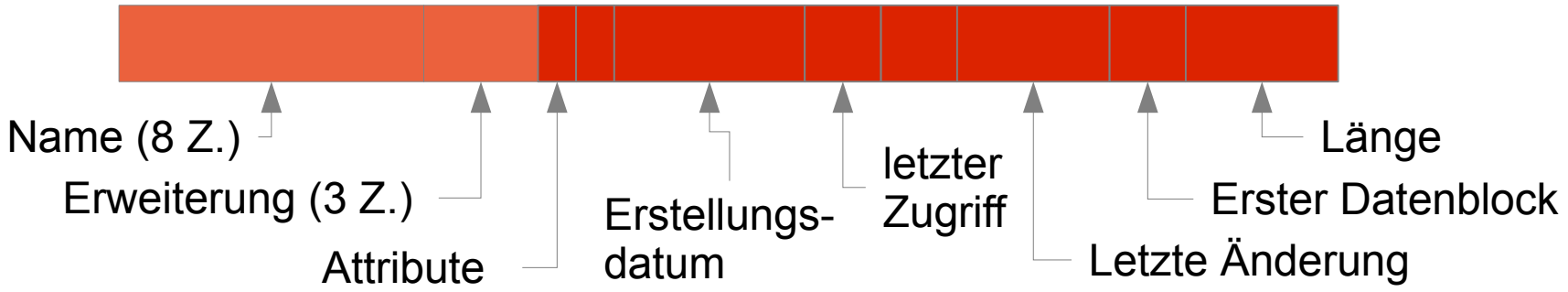


  - *UNIX System V.3*

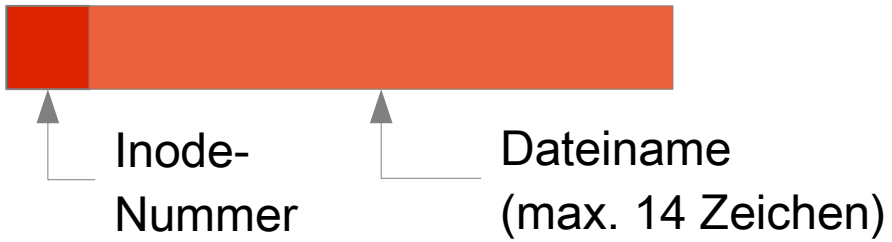


Verzeichnis als Liste

- Einträge gleicher Länge hintereinander in einer Liste, z.B.
  - *FAT File systems* (VFAT nutzt mehrere Einträge für lange Dateinamen)



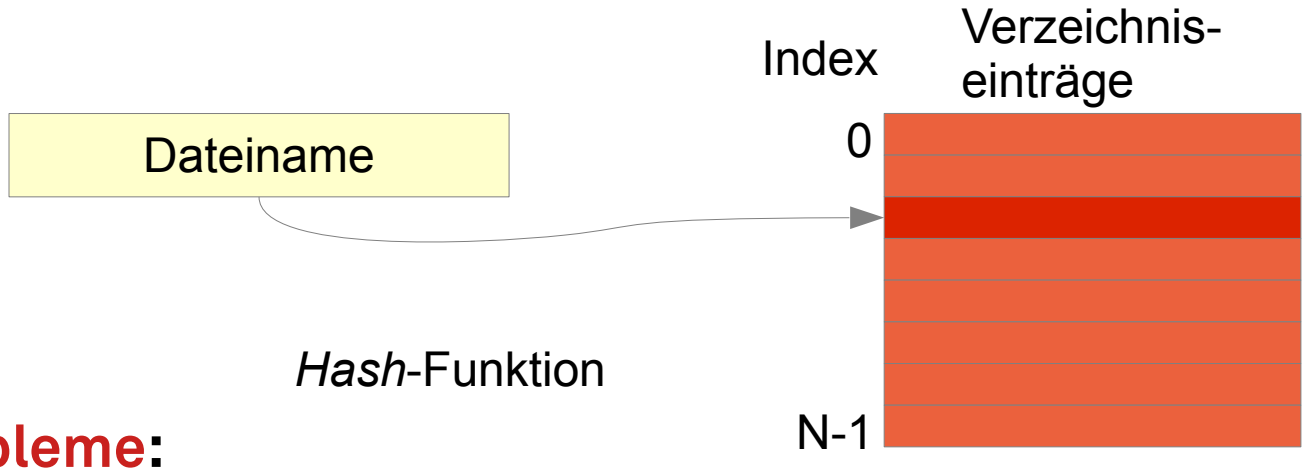
  - *UNIX System V.3*



- **Probleme:**
  - Suche nach bestimmtem Eintrag muss linear erfolgen
  - Bei Sortierung der Liste: Schnelles Suchen, Aufwand beim Einfügen

Einsatz von *Hash*-Funktionen

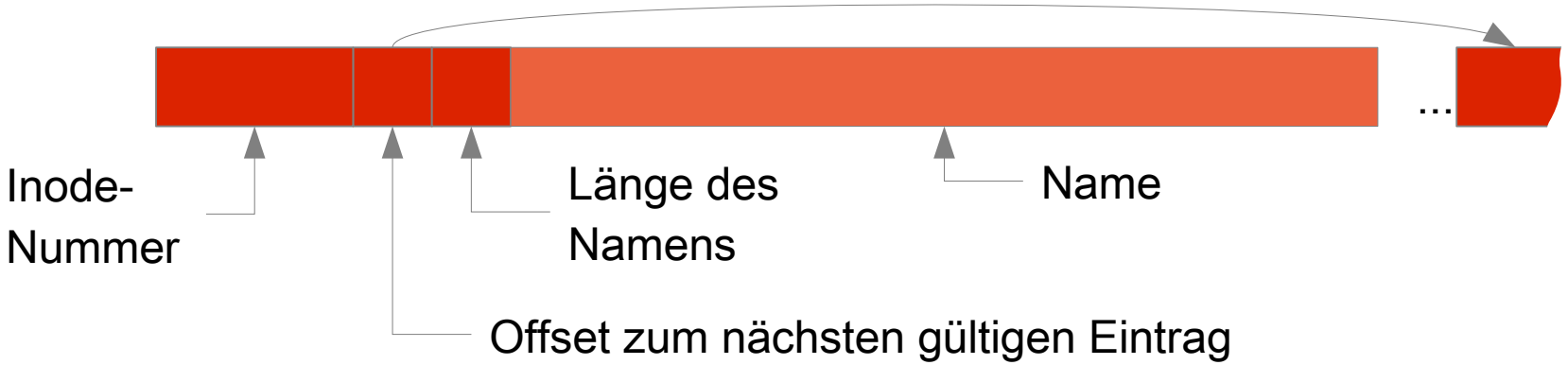
- Funktion bildet Dateinamen auf einen Index in die Katalogliste ab
  - schnellerer Zugriff auf den Eintrag möglich (kein lineares Suchen)
- Einfaches (aber schlechtes) Beispiel: (∑ Zeichen) mod N



- **Probleme:**
  - Kollisionen
    (mehrere Dateinamen werden auf denselben Eintrag abgebildet)
  - Anpassung der Listengröße, wenn Liste voll

Variabel lange Listenelemente

- Beispiel: *4.2 BSD, System V Rel. 4, u.a.*



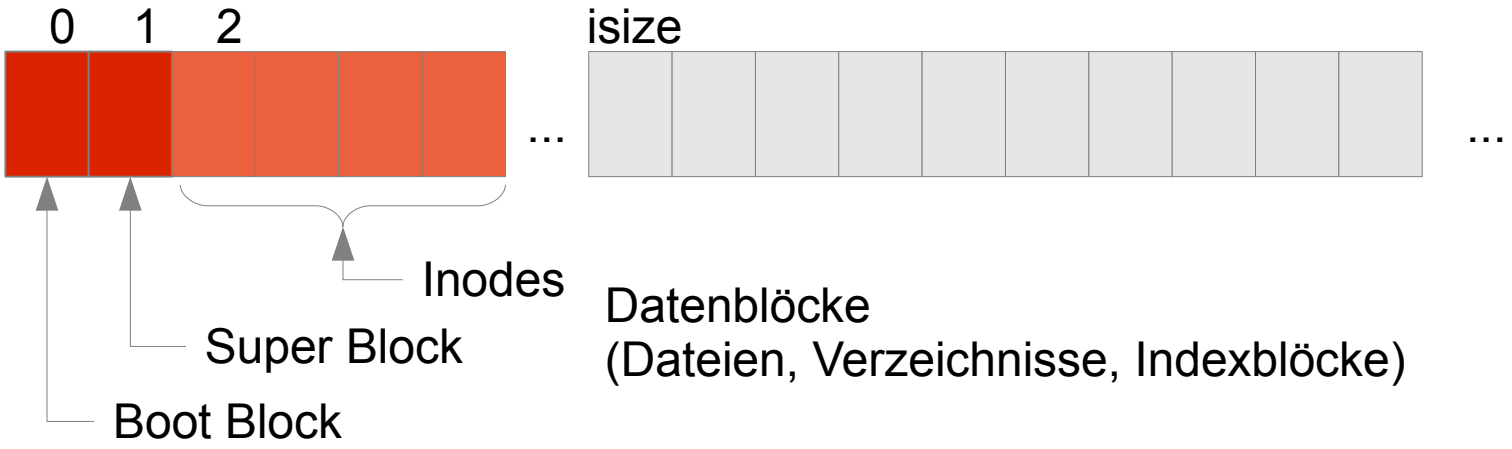
- **Probleme**:
  - Verwaltung von freien Einträgen in der Liste
  - Speicherverschnitt (Kompaktifizieren, etc.)

Inhalt

- Dateien
- Freispeicherverwaltung
- Verzeichnisse
- Dateisysteme
- Pufferspeicher
- Dateisysteme mit Fehlererholung
- Zusammenfassung

UNIX System V File System

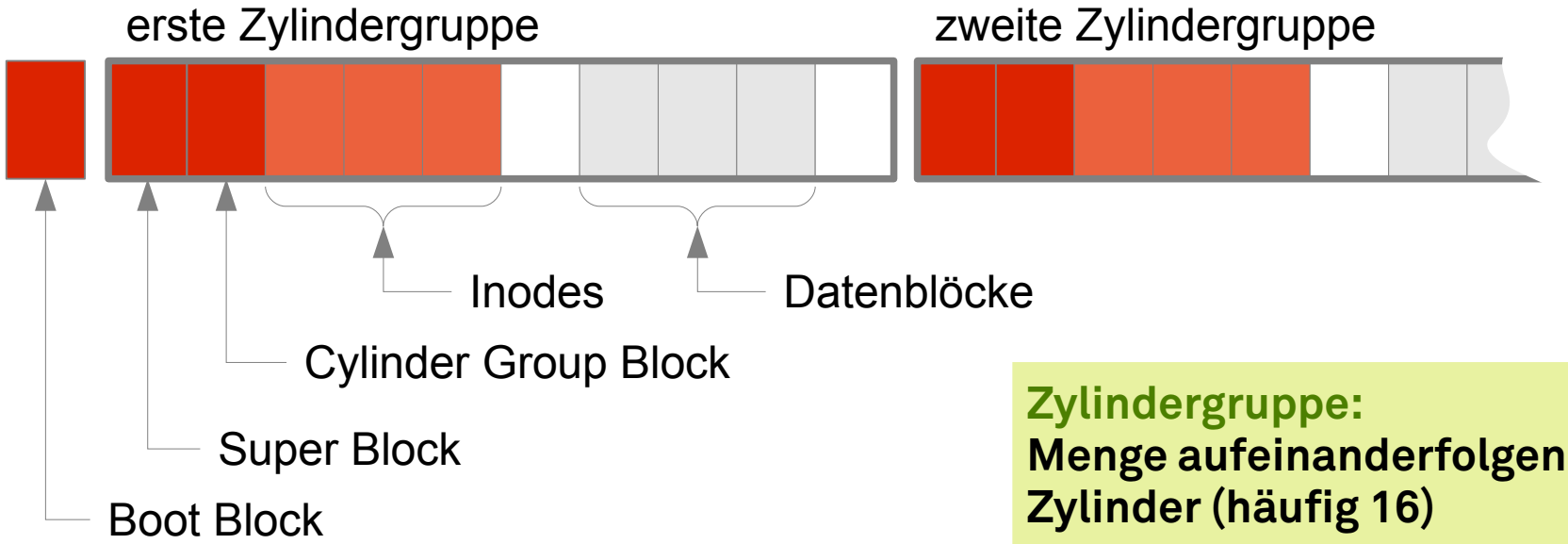
- Blockorganisation



  - **Boot Block** enthält Informationen zum Laden des Betriebssystems
  - **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)

BSD 4.2 (*Berkeley Fast File System*)

- Blockorganisation



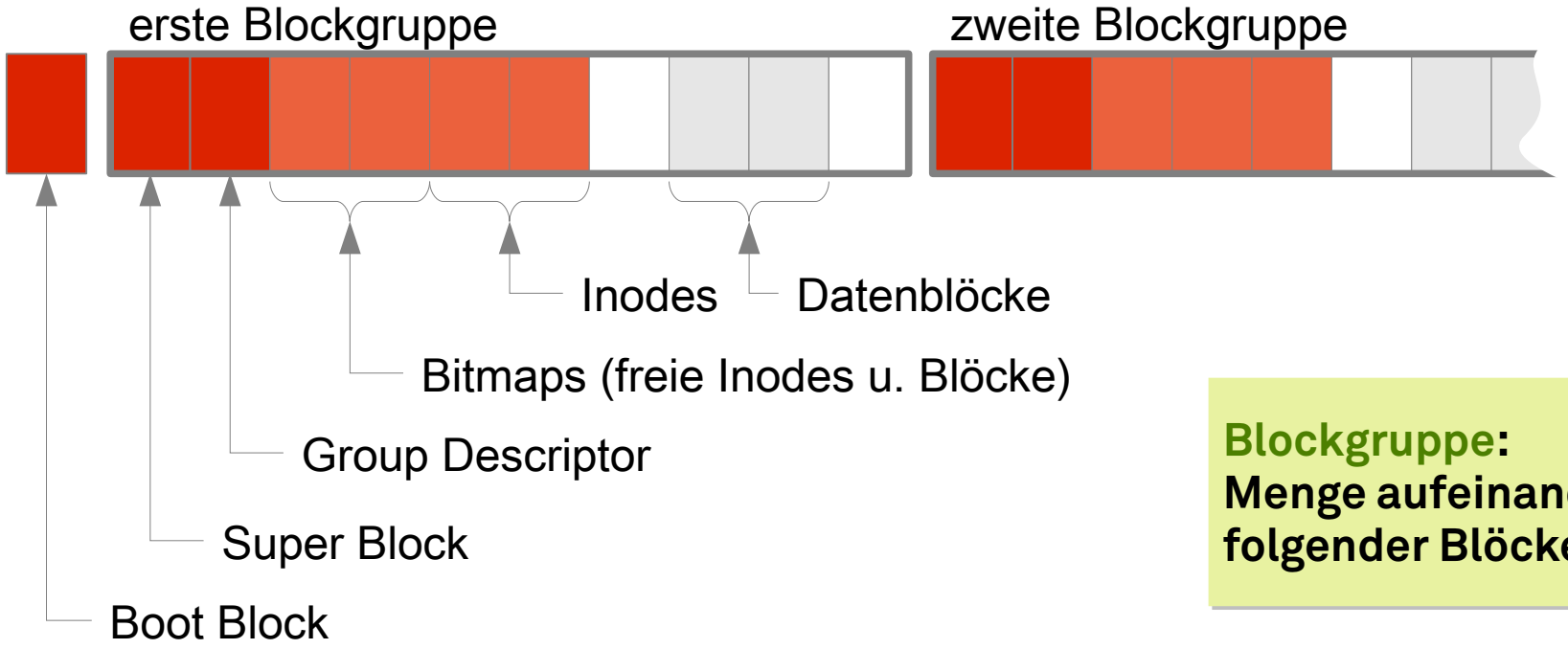
Zylindergruppe:
Menge aufeinanderfolgender Zylinder (häufig 16)

  - **Kopie des Super Blocks** in jeder Zylindergruppe
  - Eine Datei wird möglichst innerhalb einer Zylindergruppe gespeichert.
  - Verzeichnisse werden verteilt, Dateien eines V. bleiben zusammen

- **Vorteil**: kürzere Positionierungszeiten

Linux ext2/3/4 File System

- Blockorganisation



Blockgruppe:
Menge aufeinander folgender Blöcke

  - Ähnliches Layout wie BSD Fast File System
  - Blockgruppen unabhängig von Zylindern

Inhalt

- Dateien
- Freispeicherverwaltung
- Verzeichnisse
- Dateisysteme
- Pufferspeicher
- Dateisysteme mit Fehlererholung
- Zusammenfassung

UNIX Block Buffer Cache

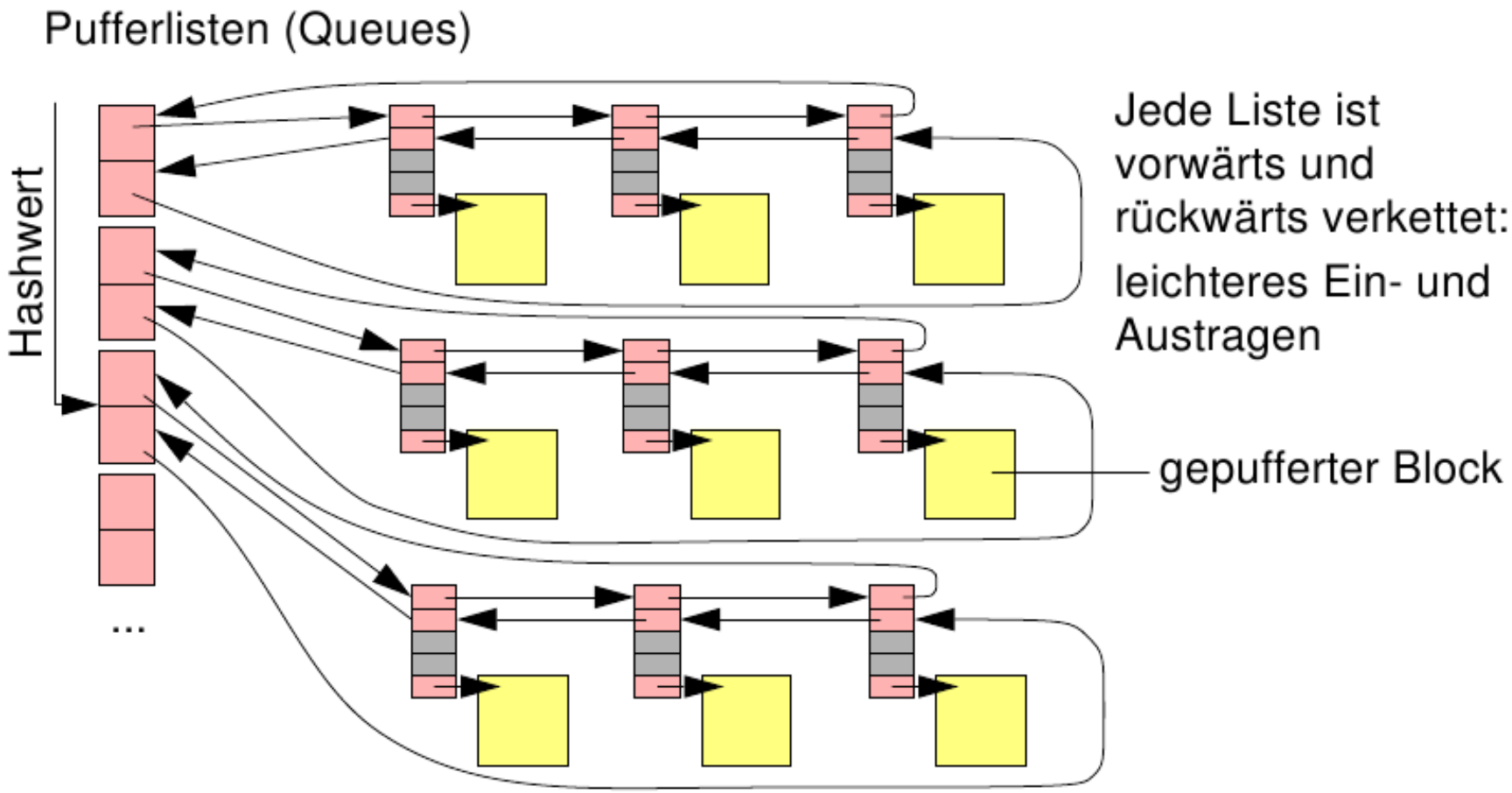
- Pufferspeicher für Plattenblöcke im Hauptspeicher
  - Verwaltung mit Algorithmen ähnlich wie bei Seitenverwaltung (Speicher)
  - **Read ahead**: beim sequentiellen Lesen wird auch der Transfer von Folgeblöcken angestoßen
  - **Lazy write**: Block wird nicht sofort auf Platte geschrieben (erlaubt Optimierung der Schreibzugriffe und blockiert den Schreiber nicht)
  - Verwaltung freier Blöcke in einer **Freiliste**:
    - Kandidaten für Freiliste werden nach LRU-Verfahren bestimmt
    - Bereits freie, aber noch nicht anderweitig benutzte Blöcke können reaktiviert werden (Reclaim)

UNIX Block Buffer Cache (2)

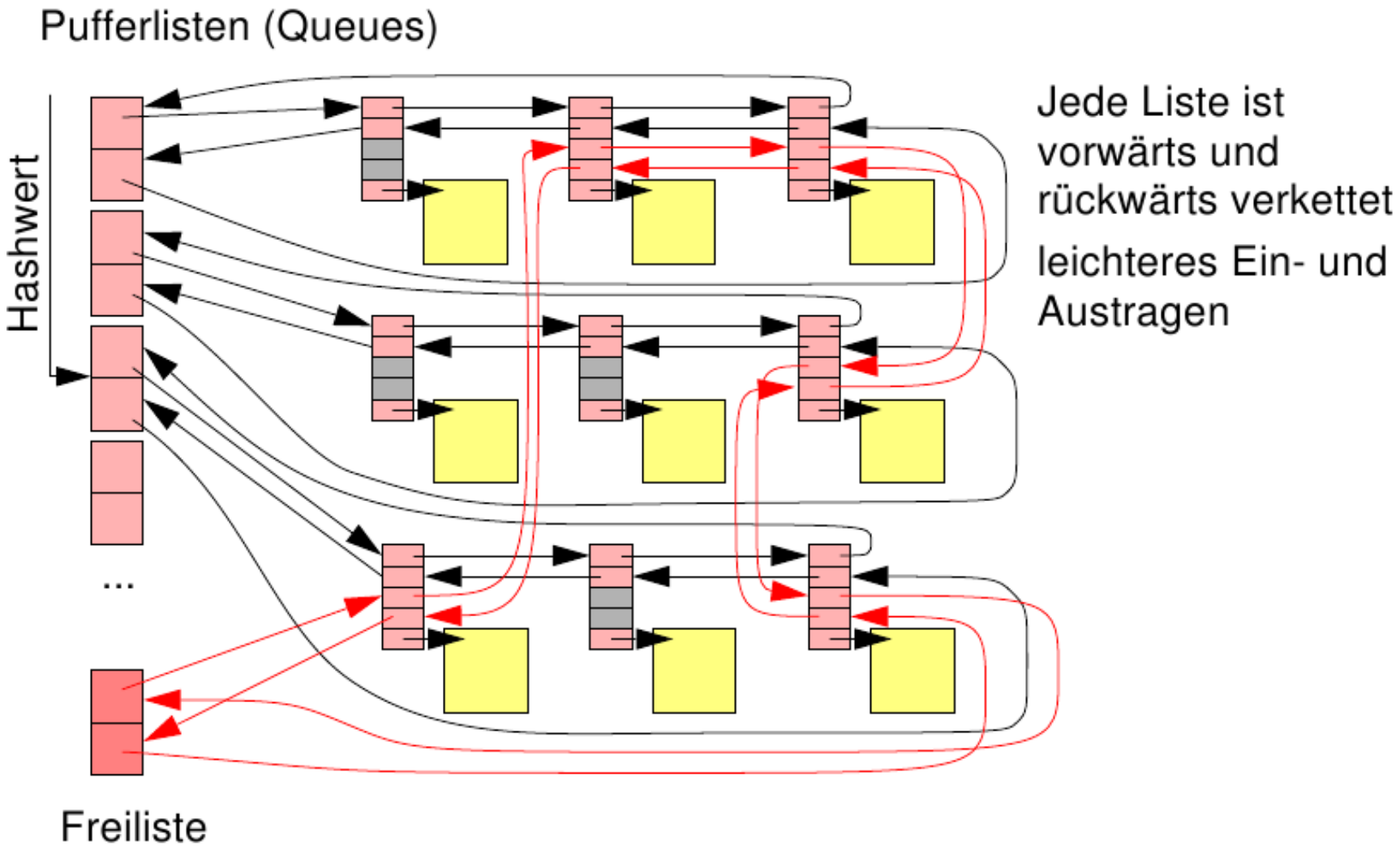
- Schreiben erfolgt, wenn ...
  - keine freien Puffer mehr vorhanden sind,
  - regelmäßig vom System (**`fsflush`**-Prozess, **`update`**-Prozess),
  - beim Systemaufruf **`sync()`**,
  - und nach jedem Schreibaufruf im Modus **`O_SYNC`** (siehe **`open(2)`**).

- Adressierung:
  - Adressierung eines Blocks erfolgt über ein Tupel:
    (*Gerätenummer*, *Blocknummer*)
  - Über die Adresse wird ein Hash-Wert gebildet, der eine der möglichen Pufferlisten auswählt.

UNIX Block Buffer Cache: Aufbau



UNIX Block Buffer Cache: Aufbau (2)



Inhalt

- Dateien
- Freispeicherverwaltung
- Verzeichnisse
- Dateisysteme
- Pufferspeicher
- Dateisysteme mit Fehlererholung
- Zusammenfassung

Dateisysteme mit Fehlererholung

- Mögliche Fehler:
  - Stromausfall (ahnungsloser 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
- **Probleme**:
  - Datenverluste bei Reparatur möglich
  - lange Laufzeiten der Reparaturprogramme bei großen Platten

Journaled 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
  - Verändern von Dateiattributen
  - Umbenennen einer Datei
  - Protokollieren aller Änderungen am Dateisystem zusätzlich in einer Protokolldatei (**Log File**)
- Bootvorgang
  - Abgleich der Protokolldatei mit den aktuellen Änderungen
    → Vermeidung von Inkonsistenzen

Journaled File Systems: Protokoll

- Für jeden Einzelvorgang einer Transaktion wird zunächst ein Protokolleintrag erzeugt und ...
- danach die Änderung am Dateisystem vorgenommen.
- Dabei gilt:
  - Der Protokolleintrag wird immer **vor** der eigentlichen Änderung auf Platte geschrieben.
  - Wurde etwas auf Platte geändert, steht auch der Protokolleintrag dazu auf der Platte.

Journaled File Systems: Erholung

- **Beim Bootvorgang wird überprüft**, ob die protokollierten Änderungen vorhanden sind:
  - Transaktion kann wiederholt bzw. abgeschlossen werden, falls alle Protokolleinträge vorhanden → **Redo**
  - Angefangene, aber nicht beendete Transaktionen werden rückgängig gemacht → **Undo**

Journaled File Systems: Ergebnis

- **Vorteile:**
  - 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
    - Die Alternative **chkdsk** benötigt viel Zeit bei großen Platten.
- **Nachteile:**
  - ineffizienter, da zusätzliches Log-File geschrieben wird
    - daher meist nur *Metadata Journaling*, kein *Full Journaling*
- **Beispiele:** NTFS, ext3/ext4, ReiserFS

Inhalt

- Dateien
- Freispeicherverwaltung
- Verzeichnisse
- Dateisysteme
- Pufferspeicher
- Dateisysteme mit Fehlererholung
- Zusammenfassung

Zusammenfassung: Dateisysteme

- ... sind eine **Betriebssystemabstraktion**
  - Speicherung logisch zusammenhängender Informationen als Datei
  - Meist hierarchische Verzeichnisstruktur, um Dateien zu ordnen
- ... werden durch die **Hardware beeinflusst**
  - Minimierung der Positionierungszeiten bei Platten
  - Gleichmäßige „Abnutzung“ bei FLASH-Speicher
  - Kein *Buffer*-Cache bei RAM-Disks
- ... werden durch das **Anwendungsprofil beeinflusst**
  - Blockgröße
    - zu klein → Verwaltungsstrukturen können zu *Performance*-Verlust führen
    - zu groß → Verschnitt führt zu Plattenplatzverschwendung
  - Aufbau von Verzeichnissen
    - keine *Hash*-Funktion → langwierige Suche
    - mit *Hash*-Funktion → mehr Aufwand bei der Verwaltung