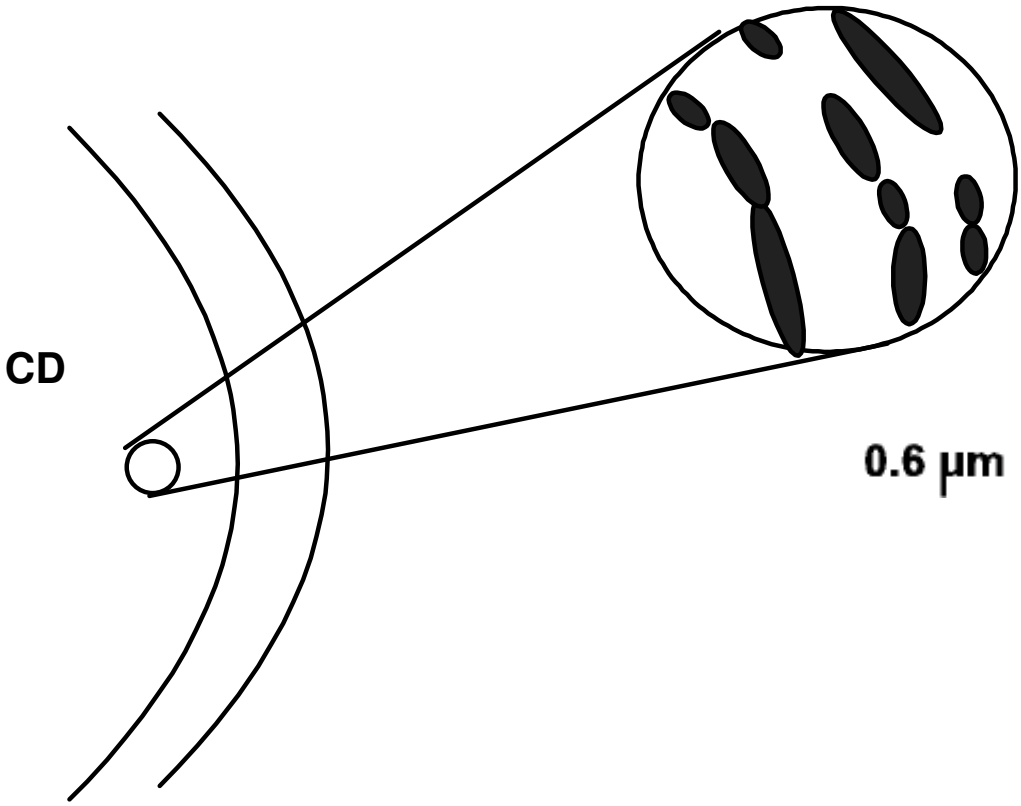
6. Multimedia-Datenspeicher

6.1. Optische Speicher

Technologie und Historie optischer Speichermedien

- 1973: Video Long Play (VLP) publiziert (analoge Laserplatte)
- 1983: Compact Disk Digital Audio am Markt
  Red Book Standard
- 1985: CD-ROM
  Yellow Book: Standard zum physikalischen Format
- 1985: High Sierra: Definition des logischen Formats durch die Hersteller
- ISO 9960: Standard zum logischen Format
- 1986: CD-I angekündigt
- Green Book (aktuelle Version aus 1988)
- 1988: CD-ROM-XA angekündigt (Extended Architecture)
- 1990: beschreibbare CD (CD-WO)
  magneto-optische Platte (CD-MO)
- 1997: DVD (Digital Versatile Disk) erscheint auf dem Markt

6.1.1 Optische Speicher - Allgemeines Prinzip

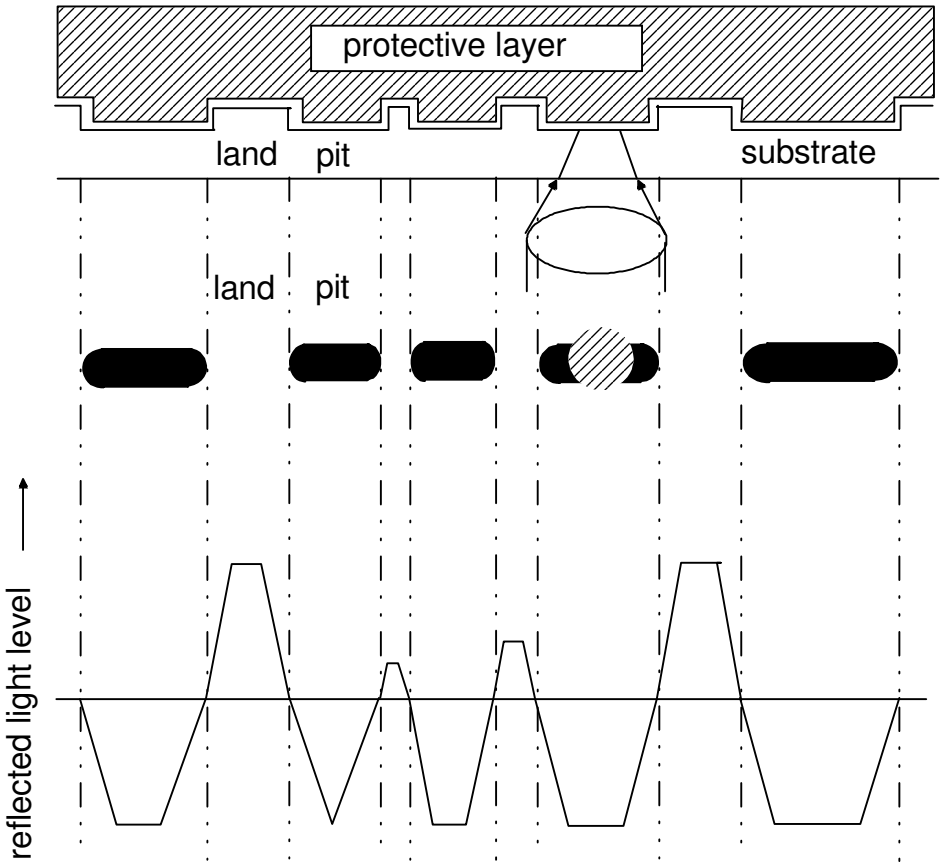


Aufbau

- Informationen liegen auf der Oberfläche als "Pits" und "Lands"
- Datenspur ist spiralförmig angeordnet
- Spurbreite ca. 1,6 Mikrometer
- Pits ca. 0,6 Mikrometer breit

Prinzip des optischen Lesens

- Laserstrahl
  - auf ca. 1 Mikrometer fokussiert
  - Wellenlänge 780 nm
  - wird von Materialien unterschiedlich reflektiert
- Laserlicht wird auf Schichtgrenze fokussiert
  - bei "Lands" reflektiert, d.h. starke Intensität
  - bei "Pits" gestreut, d.h. schwache Intensität



Vorteile gegenüber magnetischen Speichermedien

- Hohe Datendichte
  - 1.66 Datenbits pro Mikrometer
  - 1.000.000 bits/mm^2
- Lichtquelle Laser kann ca. 1mm von der Oberfläche entfernt sein: berührungslos, kein Abrieb
- guter Langzeitspeicher (nicht volatil)

6.1.2 Laser-Bildplatte, Laser Vision (LV)

Allgemein

- Bewegtbild und Audiowiedergabe von der optischen Platte
- **analoge** Kodierung auf der Platte
- hohe Qualität der Datenwiedergabe
- Durchmesser: 30 cm

Historie

- ursprünglich VLP (Video Long Play)
- 1973 in einem Philips Technical Review zuerst beschrieben

6.1.3 Compact Disk Digital Audio (CD-DA)

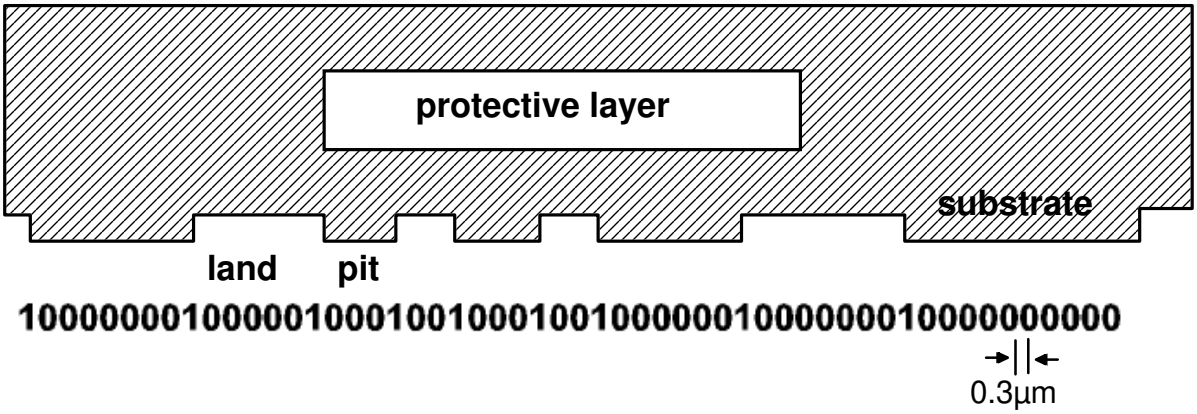
Historie

- ursprünglich Philips
- dann Philips und Sony
- Produktreife 1983

Allgemeine Daten

- Durchmesser 12 cm
- constant linear velocity CLV
- spiralförmige Spur, keine konzentrischen Kreise
- => die Drehzahl hängt von der Position des lesenden Strahls ab!
- die Spirale hat ca. 20.000 Windungen

Bit-Kodierung



- Länge der Pits ist Vielfaches von 0.3 Mikrometer
- Übergang von Pit zu Land oder Land zu Pit bedeutet "1" (Differenz-Kodierung), kein Übergang bedeutet "0"

Digitale Audio-Kodierung

- PCM (pulse code modulation)
- Lineare Quantisierung: 16 bits/sample pro Kanal
  32 bits/sample bei Stereo
- 44,1 kHz Abtastrate für einen Audiofrequenzbereich von 22 kHz (HiFi). Das ergibt 1.411.200 bit/s = 1,41 Mbit/s

Kapazität

- 74 Minuten Spieldauer * 1.411.200 bit/s = 6.265.728.000 bit = ca. 783 MByte pro CD

Eight-to-Fourteen-Modulation

- Pits und Lands müssen einen minimalen Abstand einhalten, Transitionen dürfen nicht zu dicht beieinander liegen, sonst reicht die Auflösung des Lasers nicht aus
  => minimal immer 2 "Nullen" in Folge
- Pits und Lands müssen einen maximalen Abstand einhalten, sonst kann kein Taktsignal aus dem Bildsignal wiedergewonnen werden
  => maximal 10 "Nullen" in Folge
- Idee: man wählt eine Bitkodierung, die dies stets gewährleistet. Ein 8-bit Datenbyte wird als 14 bit-Kodewort dargestellt

- Beispiel:

Datenbyte	Kodewort
00000000	01001000100000
00000001	10000100000000
...	...

Frames

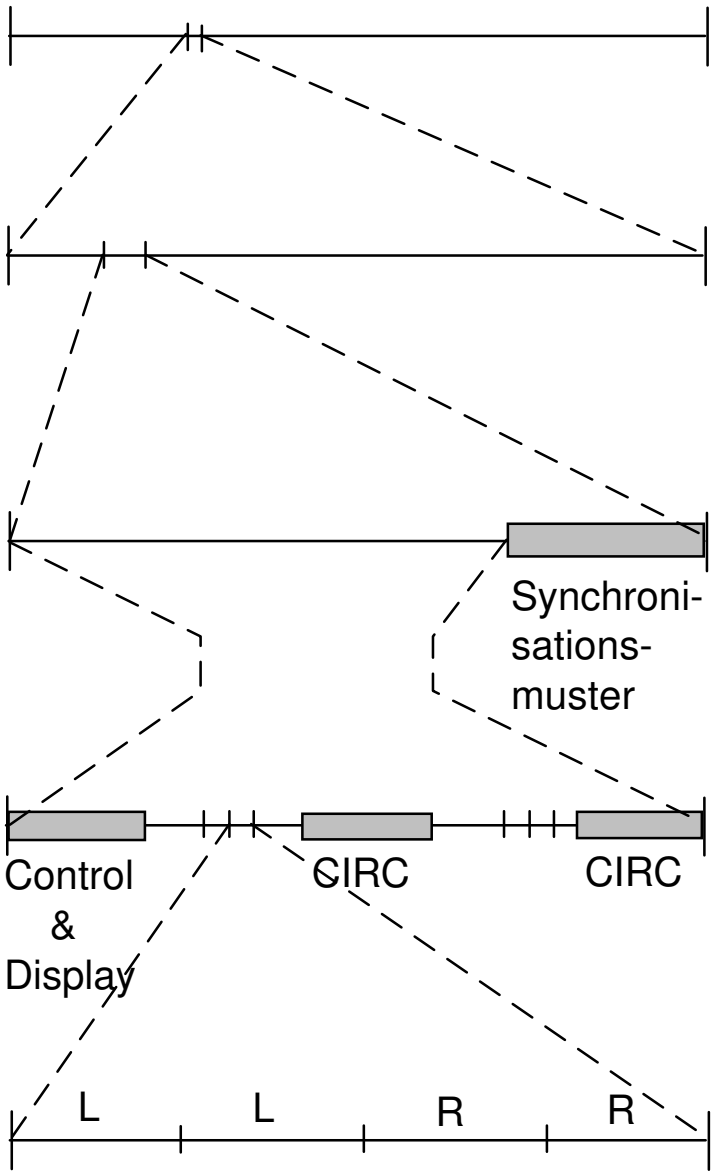
Die Daten werden in einer Folge von Frames angeordnet. Jeder Frame besteht aus:

- Synchronisationsmuster
  - bestimmt Beginn eines Frames
  - 12 mal "1" + 12 mal "0" als Kanalbits + 3 Füllbits
- control & display
  - Bytes verschiedener Frames werden zusammengezogen
  - identifizieren z.B. Trackanfang (CD hat 99 tracks)
- Daten
  - 2 Gruppen, je 12 Datenbytes (eigentl. Information)
- error correcting code
  - 2 Gruppen mit je 4 Korrektur-Datenbytes nach Reed-Solomon
  - erste Gruppe korrigiert Einzelbytefehler, zweite Gruppe korrigiert Doppelbytefehler

Fehlerkorrektur

- Besonderes Problem: Erkennung und Behebung von „Burst“-Fehlern
- Lösung: Interleaving
  zeitlich hintereinander liegende Datenbytes werden auf mehrere Frames verteilt
  Burstfehler verteilen sich
  => bis zu 7 Frames in Folge können korrigiert werden
- 7 Frames * 588 bit/frame = 4116 bit
  d.h. 4116 Datenbits * 0.3 Mikrometer/bit = ca. 1,2 mm auf der Oberfläche
- über ca. 1,2 mm kann ein Burstfehler auftreten (auf einer Spur), der behoben werden kann
- insgesamt: Cross Interleaved Reed Solomon Code (CIRC)
- resultierende Fehlerrate (Erfahrungswert): 10^{-8},
  d.h. ca. 1 bit auf 100 Millionen Bits bleibt unerkannt fehlerhaft

Struktur einer Audio-CD



CD
330 000 Blöcke

Block
2352 Audiobytes
7203 Kanalbytes

Frame, Kanalbits
588 bit, davon
24 Audiobytes
$\approx 4{,}32 * 10^6$ bit/s

Datenbits
$\approx 1{,}94 * 10^6$ bit/s

Audiobits
1,411200 bit/s

6.1.4 CD-ROM (Compact Disc Read Only Memory)

Ziel:

- Speicherung von **Daten** und **komprimiertem** Audio und Video
- preisgünstige Hardware durch weitgehende Kompatibilität mit der Audio-CD

Wichtigster Schritt:

- Information wird zu "Blöcken" zusammengefasst
- Jeder Block bekommt zusätzliche Informationen
- Jeder Block bekommt zusätzliche Fehlerkorrektur
- Damit kann ein wahlfreier Zugriff (Direktzugriff) erfolgen (die Tracks der Audio-CD wären eine zu grobe Einheit)
- standardisiert im Yellow Book

Mode 1 für Daten

- 16 Byte Anfangskennung + Header,
  288 Bytes zur Fehlererkennung und -behebung
- Fehlerrate 10^{-12}
- damit 2048 Bytes Anwendungsdaten pro Block verfügbar

Synch	12	Bytes
Minuten	1	Byte
Sekunden	1	Byte
Block	1	Byte
Mode	1	Byte
Anwendungsdaten	2048	Bytes
Fehlerbehebung	288	Bytes
Zusammen	**2352**	**Bytes**

- max. 333000 Blöcke pro CD
  * 2048 Bytes = 681984000 Byte auf CD
  /1024 / 1024 = ca. 650 Mbyte für Daten

Wird von den meisten CD-Rom-Anwendungen verwendet.

Mode 2 für komprimierte Audio- und Videoströme

- CD-DA kompatibel
- Es gibt innerhalb eines Blocks nur Anwendungs-daten
- damit bleiben 2352 Bytes verfügbar
- Fehlerrate: 10^{-8}
- Kapazität:
  max. 74 Minuten * 60 sec/ min * 75 Block/ sec = 333000 Blöcke
  2352 Bytes/ Block = 783216000 Bytes = ca. 747 Mbyte

High Sierra

Zur Behebung der Unklarheiten beim Mode 1:

- Herstellerzusammenschluss "**High Sierra Group**"
- Festlegung eines **logischen** Formats inkl. Inhalts-verzeichnis (directory)
- wurde dann ISO 9660 Standard, genannt "file standard"
- genormter Verzeichnis-Baum wird aufgebaut, dort steht Information über Dateien
- als Tabelle "path table" gehalten, so dass direkter Zugriff auf Datei beliebiger Ebene möglich ist
- Tabelle wird beim "Mount" in den Speicher des Rechners geladen

Grenzen von CD-DA und CD-ROM

Mittlere Zugriffszeit

Dauer bis zur Positionierung auf den gesuchten Block besteht aus

- "Seek"-Zeit: Laser auf den korrekten Radius einstellen und richtige Umdrehungsgeschwindigkeit einstellen
- **Dauer bis ca. 1s**
- Synchronisationszeit
- internen Takt auf den Takt der Platte einstellen
- **kurz, im Millisekunden-Bereich**
- Rotationsverzögerung
- innerhalb max. 1 Umdrehung den Sektor finden
- Umdrehungszahl innen ca. 200 U/s
- Umdrehungszahl außen ca. 530 U/s
- **maximale Dauer ca. 300 ms**
- damit können sich insgesamt Zeiten über 1 Sekunde bis zum Beginn des Lesens ergeben
- Zeiten sind sehr unterschiedlich

6.1.5 CD-Interactive (CD-I)

Historie

- von Philips und Sony entwickelt
- ursprünglich für den Heim-Markt als Zusatz zum Fernseher gedacht
- 1986: CD-I angekündigt
- 1988: Green Book: standardisiert die CD-I Erweiterungen (basierend auf Red Book und Yellow Book)

ist

- CD-ROM-basiertes Format mit Interleaving verschiedener Medien
- System-Software unter dem speziellen CD-RTOS-Betriebssystem
- komplette Hardware/Software als Set-Top-Box realisiert

CD-I Hardware

- genannt "Decoder"
- bestehend aus
  - Systemboard mit 680xx Prozessor, RAM, ROM, Video-, Audio-Chips
  - CD-Spieler mit CD-DA-Komponenten
  - Mouse- oder Joystick-Interface
  - Anschluss an RGB- oder TV-Monitor
- ersetzt CD-DA zu Hause

6.1.6 CD-ROM Extended Architecture (CD-ROM XA)

Historie

- Philips, Sony, Microsoft

Allgemein

- basiert auf CD-ROM + ISO 9660 + Teile von CD-I
- simultaner Transfer verschiedener Ströme
- als Ströme werden unterstützt
  - diverse Audio-Qualitäten, bis zu 19 Stunden Spielzeit
  - Standbilder
  - Texte, Daten oder Programme

Audio auf CD-ROM/XA

- CD-Audio
  - Kompressionsfaktor: 1
  - Kodierung: PCM
  - Kapazität: ca. 74 min wie CD-DA
  - Transferrate: ca. 176 kByte/s, wie CD-ROM/Mode 2, wie CD-DA
- Level B Stereo
  - Kompressionsfaktor: 4:1
  - Kodierung: ADPCM
  - Kapazität: 4 h 48 min
  - Transferrate: ca. 43 kByte/s
    Rest für andere Daten verwendbar
- Level B Mono
  - Kompressionsfaktor: 8:1
  - Kodierung: ADPCM
  - Kapazität: 9 h 36 min
  - Transferrate: ca. 22 kByte/s

Audio auf CD-Rom/XA (2)

- Level A Stereo
  - Kompressionsfaktor: 8:1
  - Kodierung: ADPCM
  - Kapazität: 9 h 36 min
  - Transferrate: ca. 22 kByte/s
- Level A Mono
  - Kompressionsfaktor: 16:1
  - Kodierung: ADPCM
  - Kapazität: 19 h 12 min
  - Transferrate: ca. 11 kByte/s

Standbild und Bewegtbild sind ebenfalls definiert.

Mehrere Medien verschiedene Datentypen können **interleaved** miteinander gespeichert werden

- d.h. ermöglicht gleichzeitiges Auslesen
- d.h. ermöglicht Synchronisation
- erfordert bestimmtes Platten-Layout

6.1.7 Write Once Read Multiple (WORM)

- Einmal beschreibbares digitales Speichermedium
- 3,5 - 14 inch Durchmesser
- 600 Mbyte bis zu ca. 7,8 GigaByte Kapazität
- Jukeboxen bis ca. 20 Gigabyte

Probleme

- zu viele verschiedene Formate
- fehlende Softwareunterstützung

=> hat sich nie durchgesetzt

6.1.8 CD-WO (Compact Disk-Write Once)

- Zwischen Schutzschicht (protective layer) und Substrat wird eine Absorptionsschicht (absorption layer) eingefügt.
- Durch punktuelles Erhitzen der Absorptionsschicht ändern sich deren Reflektionseigenschaften
- Der Schreibvorgang ist irreversibel
- Abspielbar auf jedem CD-ROM-Laufwerk
- "Multi-Session"-fähig: Das Datei-Verzeichnis auf der Platte kann nachträglich ergänzt werden.

6.1.9 Foto-CD

- Ziel: Archiv für Fotos mit hoher Auflösung
- Angekündigt: 1990
- Entwickler: Kodak und Philips
- "Multi-Session"-fähig
- Schreibvorgang wie bei der CD-WO (Write Once)
- Lesbar von
  - Foto-CD-Laufwerken
  - CD-ROM/XA-Laufwerken
  - CD-I-Laufwerken
- Standardisierung des Speicherfomats für die Fotos: ImagePac

Image Pac für Foto-CD

- Digitalisierung des Fotos mit 24 Bits/pixel
  - 8 Bits für Helligkeitswert (luminance)
  - je 8 Bits für die Farbkomponenten (chro-minance)
- Hierarchische Kodierung in fünf verschiedenen Auflösungen

3 bis 6 Mbyte pro Image Pac (= pro Foto)

Auflösungen

Bildtyp	Komprimiert/ unkompr.	Anzahl Seiten	Anzahl Spalten
base/16	Unkomprimiert	128	192
base/14	Unkomprimiert	256	384
base	Unkomprimiert	512	768
4base	Komprimiert	1024	1536
16base	Komprimiert	2048	3072

6.1.10 Magneto-optischer Speicher

Allgemein

- mehrmals beschreibbar
- Kapazität doppelseitig ca. 650 Mbyte
- Datentransferrate ca. 1,2 Mbyte/s

Verfahren

- Magnetisieren unter Hitze
- Bei ca. über 150 °C reicht kleines Magnetfeld zur Magnetisierung
- Schreiben
  - ca. 10 x Erdmagnetfeld
  - gleichzeitig Erhitzen des Sektors
  - Polarisieren einzelner Elemente
    1 = magnetischer Nordpol unten
    0 = magnetischer Nordpol oben
- Löschen
  - konstantes Magnetfeld anlegen
  - gleichzeitig Erhitzen des Sektors

Lesen von magneto-optischen Speichern

- Polarisierung des Lichts ändert sich durch das bestrahlte Element
- kann **nicht** auf Standard-CD-Spielern abgespielt werden
- hat sich nicht durchgesetzt

6.1.11 DVD (Digital Versatile Disk)

- 1996 Einigung der Kontrahenten auf ein einheitliches Format
- Kapazität: 2 x 5 Gigabyte (doppelseitig, insgesamt 10 Gigabyte pro Platte)
- Dicke:1,2 mm (zweimal 0,6 mm, Rücken an Rükken geklebt)
- Fehlerkorrektur: Reed-Solomon-Code
- CD-kompatible Abspieler brauchen zwei Leseköpfe
- Ton: unkomprimiert mit 16 Bits/sample (wie bei der Audio-CD) oder komprimiert mit Dolby AC3
- Laufzeit: bis 284 min Video (auf beiden Seiten)

breite Markteinführung 1997

6.2 Video-Dateisysteme und Video-Server

Anforderungen an ein Video-Dateisystem

Realzeit-Anforderungen

- Daten zeitgerecht ausgeben, z.B. mit 25 Frames/s
- (Daten, die zu spät eintreffen sind nutzlos)

Sehr große Datenmengen

- Video: CCIR 601: 216 Mbit/s
- komprimiert mit MPEG-2: 4-100 Mbit/s

Synchronisation von Datenströmen

- z.B. Audio und Video lippensynchron

6.2.1 Anordnung auf dem Speichermedium

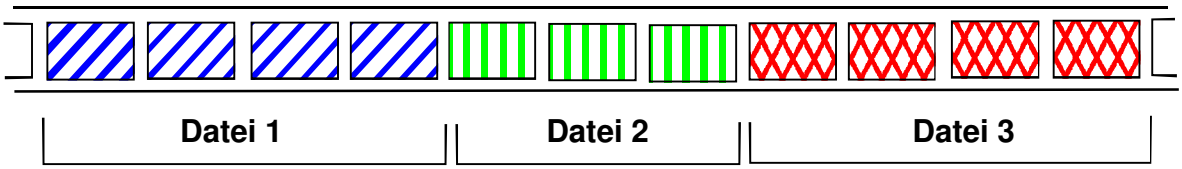
Ziel: Reduzierung der Lese- und Schreibzeiten

- Minimierung der Armbewegungen
- Minimierung der Rotationswartezeiten
- Optimierung der Blockgröße

Methode: geschickte Platzierung der Datenblöcke auf der magnetischen Oberfläche

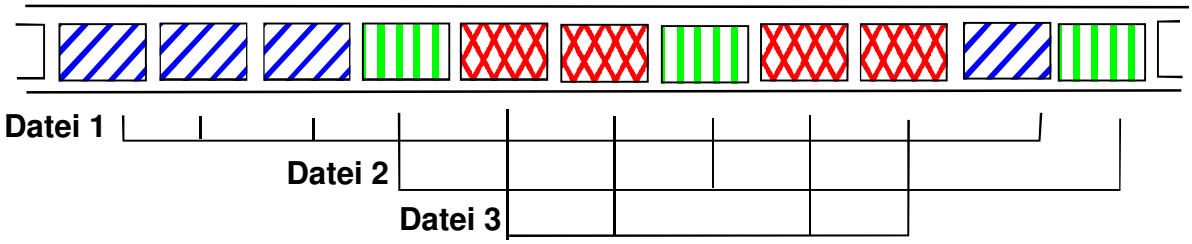
- auf mehreren Laufwerken
- verschränkt auf einem Laufwerk

Zusammenhängende Anordnung



Nur möglich, wenn die Dateigröße vorab bekannt ist und nachträglich keine Änderungen stattfinden.

Wachstum von normalen Dateien auf der Platte



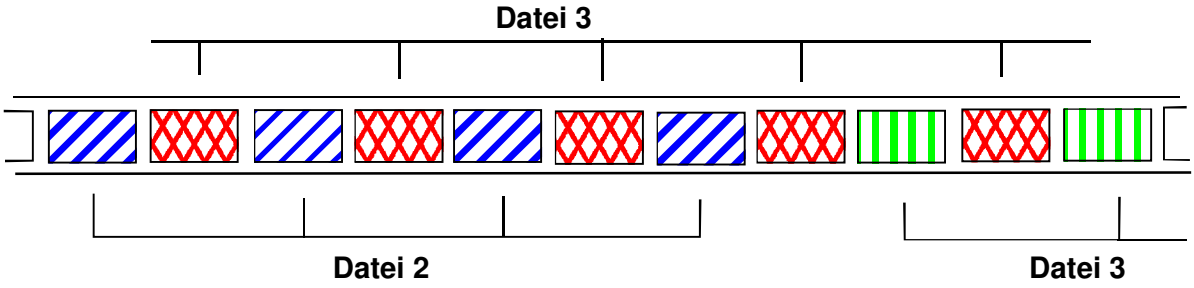
Vorteile der zusammenhängenden Anordnung

- minimiert Positionierzeiten

Nachteil der zusammenhängenden Anordnung

- nachträgliche Änderung ist schwierig

Verschränkte Anordnung



Vorteile der verschränkten Anordnung:

- synchrones Abspielen mehrerer Ströme wird erleichtert

Nachteile der verschränkten Anordnung

- nachträgliche Änderung ist schwierig, sehr starr
- optimales Verschränken erfordert sehr genaue Kenntnisse der Anwendung und des Gesamtsystems

Mehrere Plattenarme

Bei vielen Anwendungen (z.B. Video-on-demand) muss derselbe Datenstrom mehrfach zeitversetzt gelesen werden (je einmal pro Klient). Hierfür baut man Magnetplatten mit mehreren, unabhängig positionierbaren Plattenarmen.

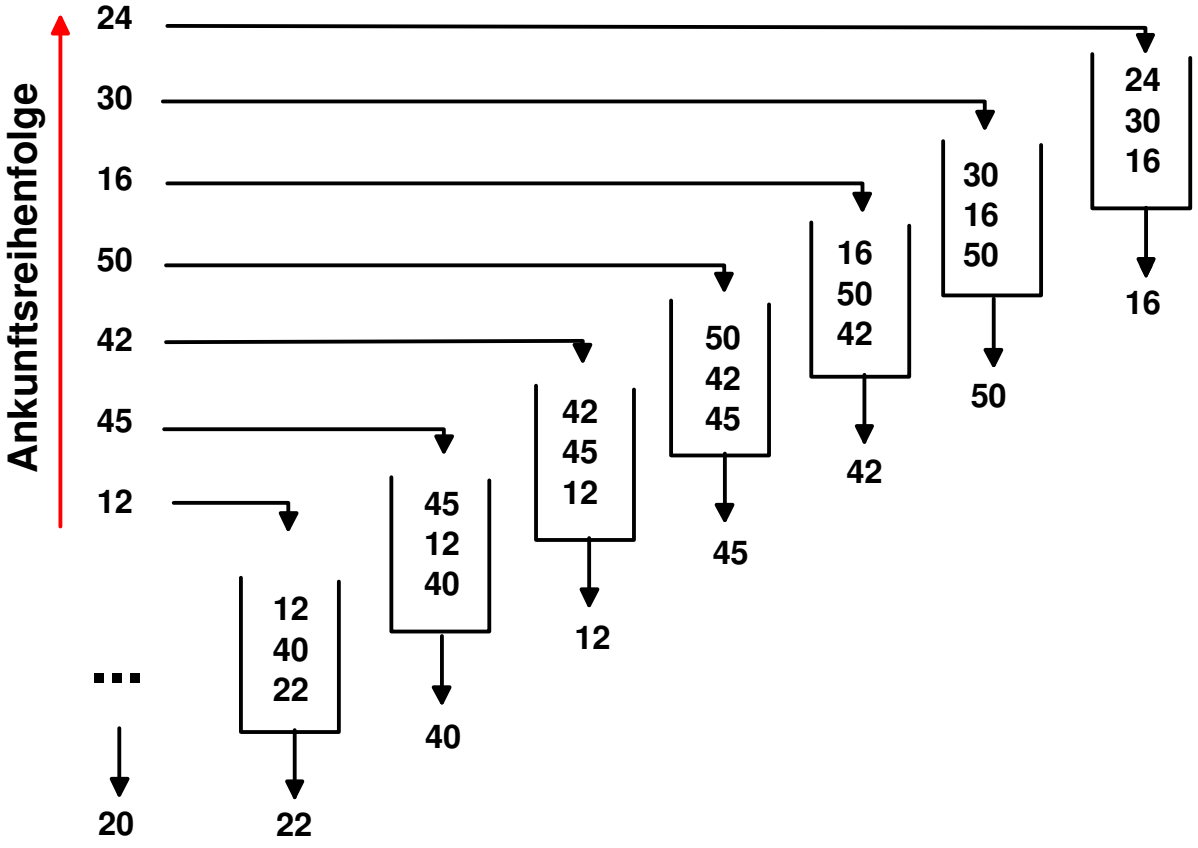
6.2.2 Disk Scheduling - klassische Methoden

Definition Disk scheduling:
Festlegung der Reihenfolge, in der anstehende Platten-anforderungen befriedigt werden.

Entwurfsziele:

- kurze Antwortzeiten
- hoher Durchsatz
- Fairness (Anforderungen dürfen nicht "verhungern“)

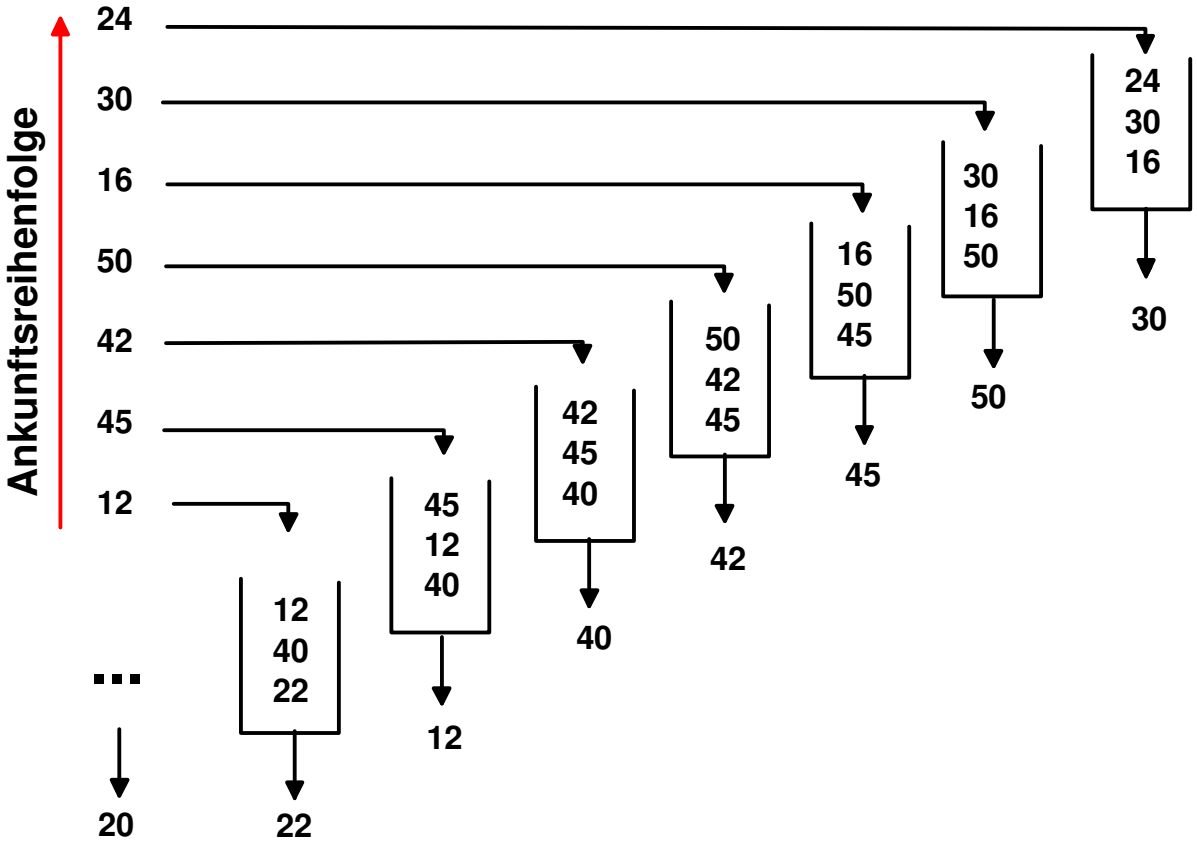
First Come First Serve (FCFS)



Eigenschaften

- kurze Antwortzeiten
- lange Positionierzeiten
- schlechter Durchsatz

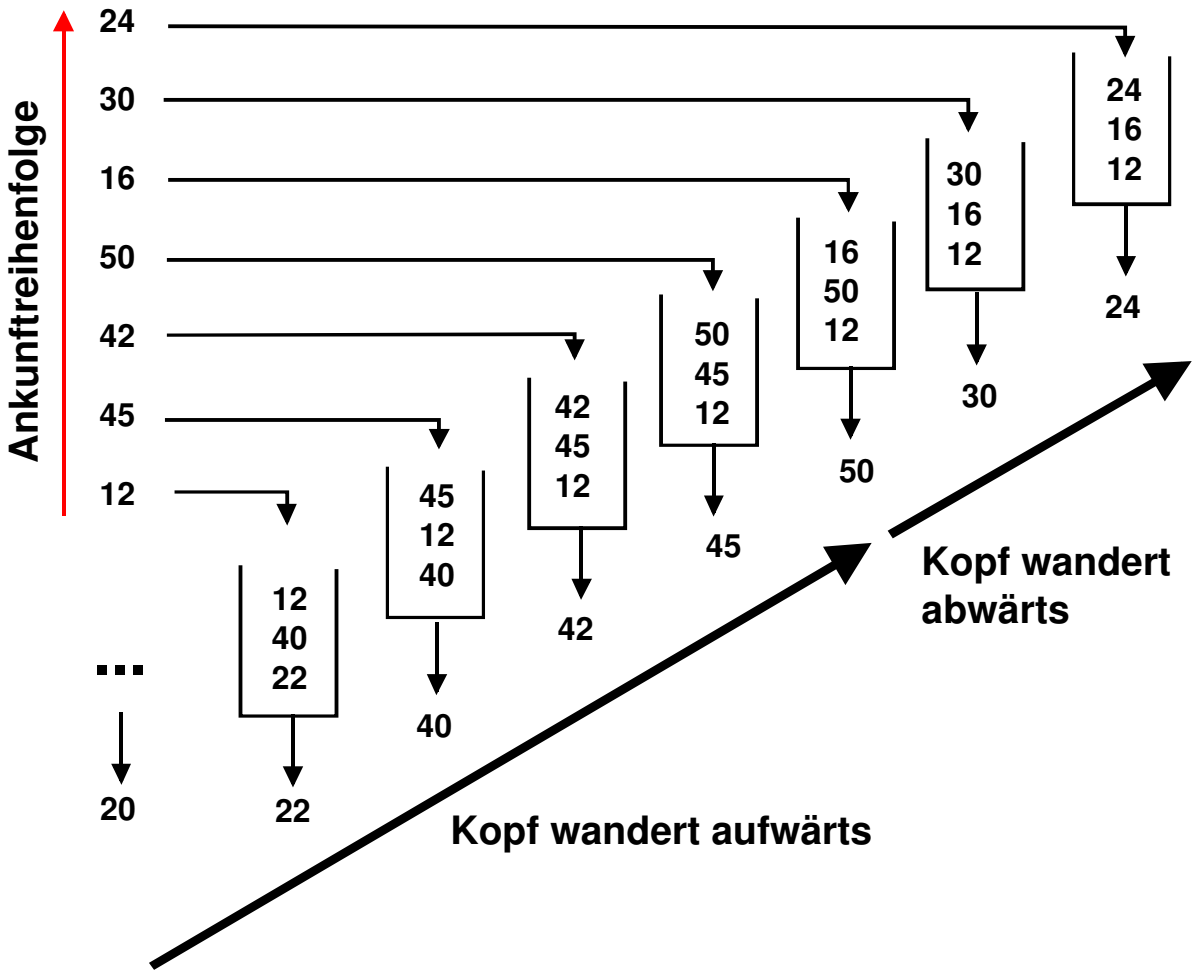
Shortest Seek Time First



Eigenschaften

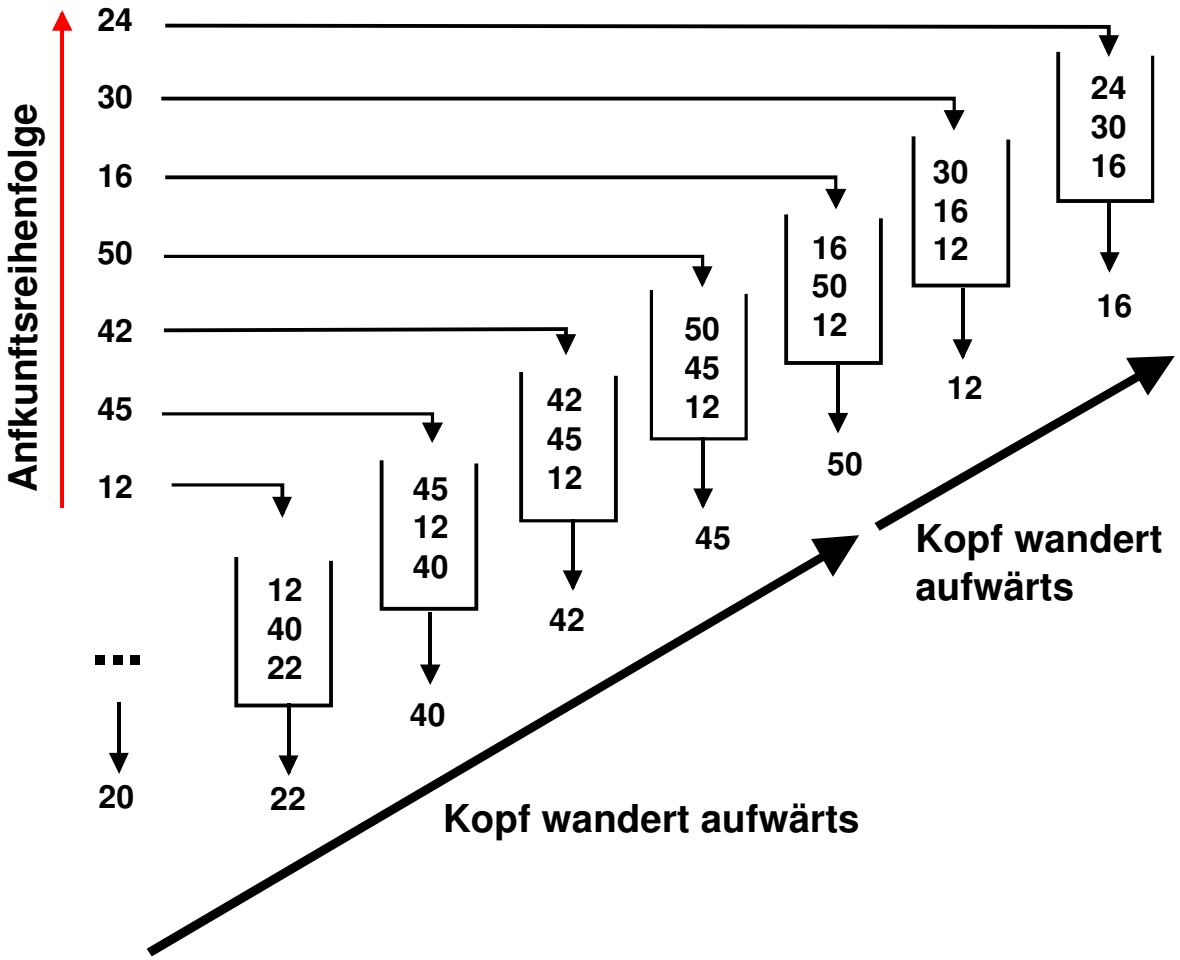
- kurze Postionierzeiten, hoher Durchsatz
- längere Antwortzeiten
- nicht fair, "Verhungern" ist möglich

Scan Disk Scheduling



- Bewegung zunächst nur in eine Richtung, bis es dort keine ausstehenden Anforderungen mehr gibt, dann in die andere Richtung (bidirektional)
- Ein guter Kompromiss zwischen Durchsatz und Antwortzeiten
- aber: ziemlich unfair

C-Scan Disk Scheduling



- Bewegung immer nur in eine Richtung, z.B. von innen nach außen (unidirektional)
- fairer als Scan
- aber: lange Totzeit beim Rücklauf des Plattenarms

6.2.3 Disk Scheduling für kontinuierliche Datenströme

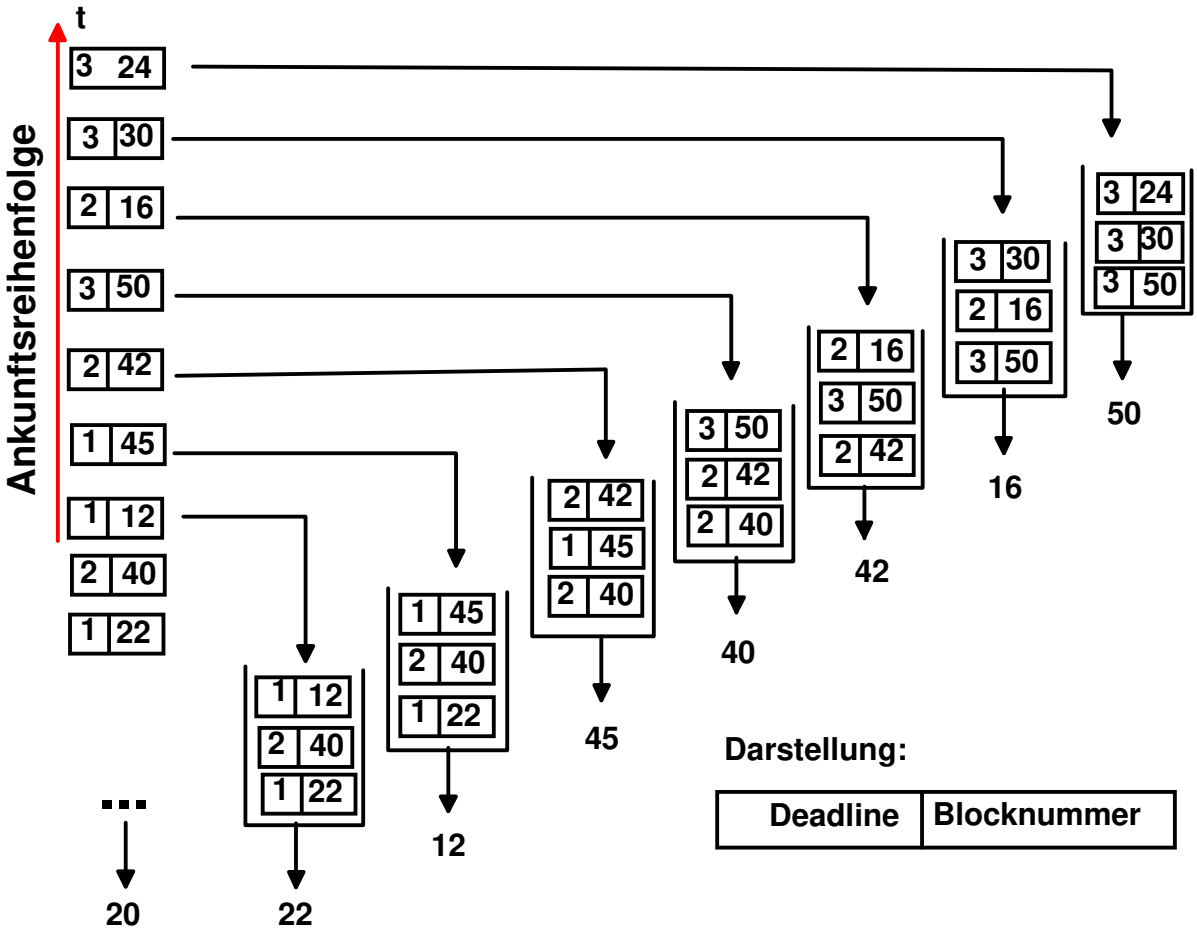
Bedienung von **periodischen** Anforderungen für kontinuierliche Ströme und **aperiodischen** Anforderungen für normale Dateizugriffe

- Deadlines von periodischen Anforderungen dürfen nicht verpasst werden
- Neben-Ziel: Minimierung des Overheads für den Scheduling-Algorithmus selbst

Vorausberechnung?

Wenn nur sehr lang andauernde und vorab bekannte Ströme zu bearbeiten sind, lässt sich im Prinzip eine optimale Abarbeitungsreihenfolge im Voraus berechnen. Aber die Ströme ändern sich dynamisch; deshalb kann Scheduling in der Praxis nur kurzfristig "on-the-fly" erfolgen.

Earliest Deadline First (EDF)



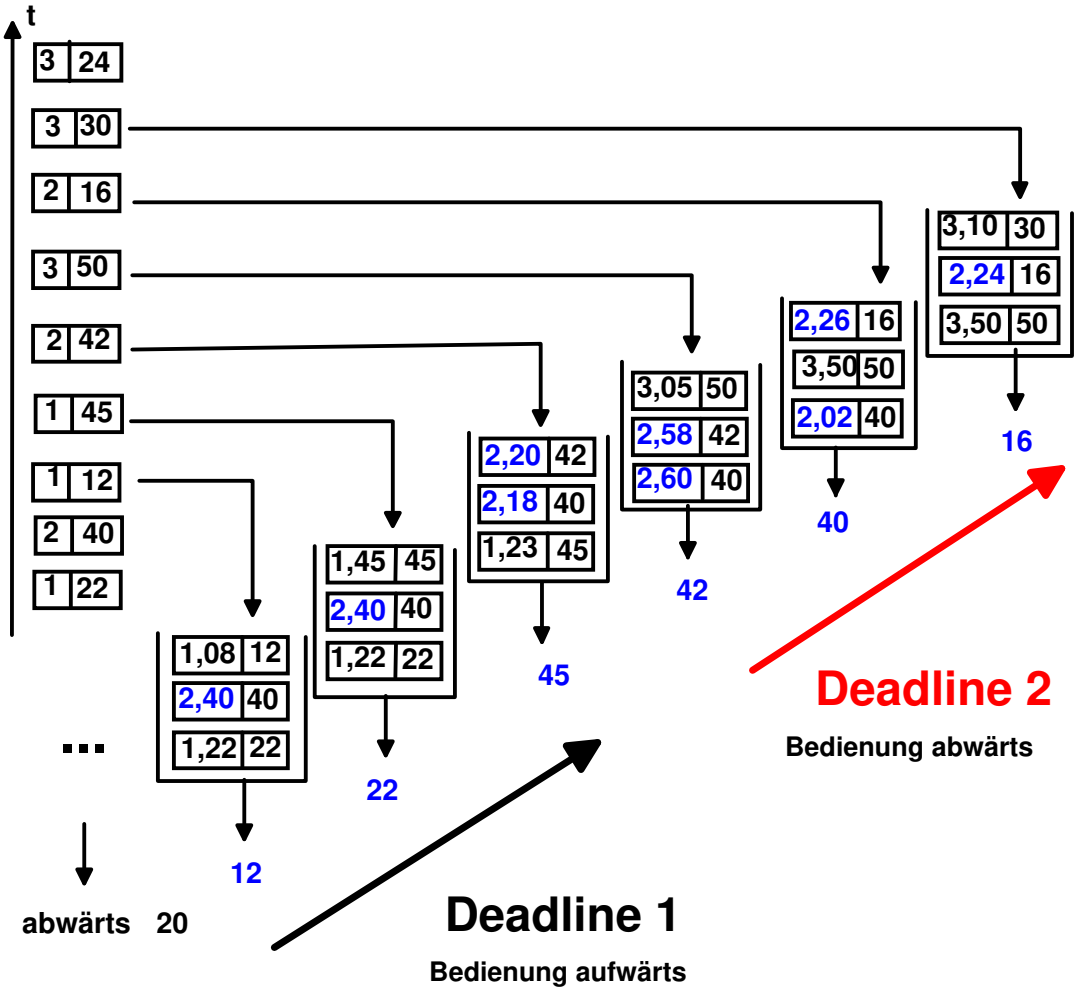
Vorteil

- Alle Deadlines werden eingehalten, soweit dies überhaupt möglich ist.

Nachteil

- sehr lange Positionierzeiten
  -> schlechter Durchsatz
  -> schlechte Antwortzeiten

Scan-EDF Disk Scheduling

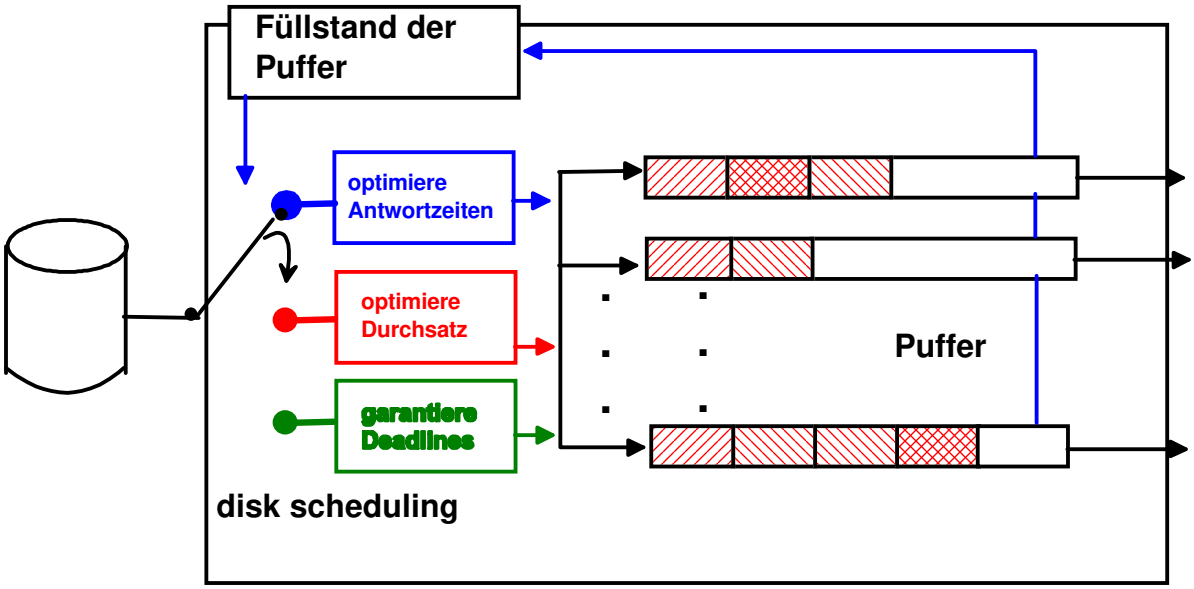


Algorithmus

- Man teile die Deadlines in Gruppen ein
- Alle Anforderungen einer Deadline-Gruppe werden in Scan-Reihenfolge bedient

Ein guter Kompromiss zwischen der Einhaltung der Deadlines und der Maximierung des Durchsatzes

Misch-Strategien



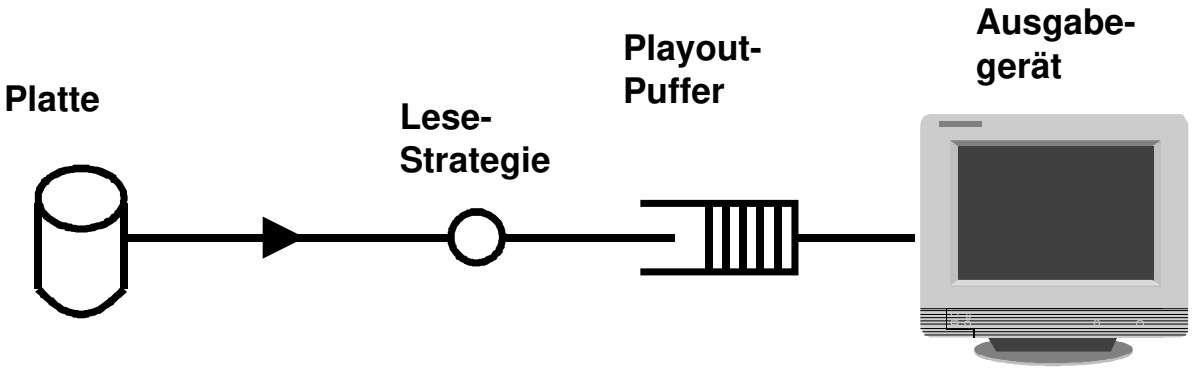
Beispiel für eine Misch-Strategie: CMFS

Continuous Media File System

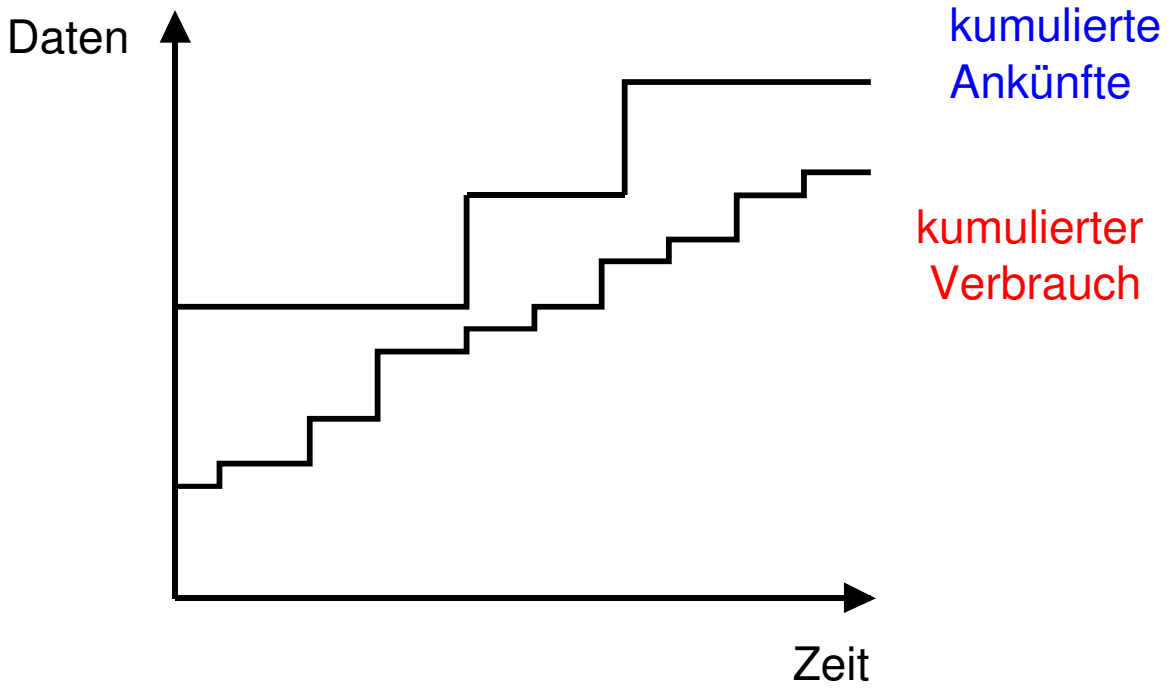
- Entwickelt an der UC Berkeley, 1991
- Ordnet die Anforderungen nach folgenden Kriterien um:
  - Minimierung der Bearbeitungszeit insgesamt
  - Vermeidung von Pufferüberläufen
- Methode: Berechnung der Zeitreserve ("slack time"). Die Zeitreserve wird verwendet
  - zur Bearbeitung von normalen Dateizugriffen
  - zur Vorausbearbeitung von periodischen Anforderungen

6.2.4 Ströme mit variablen Datenraten

Oft haben multimediale Datenströme variable Datenraten, z.B. MPEG-komprimierte Video-Ströme. Um beispielsweise 25 Bilder pro Sekunde anzeigen zu können, muss 25-mal ein Block variabler Größe bereitgestellt werden. Da die Platte mit konstanter Geschwindigkeit Daten liest, muss ein Puffer bereitgestellt und eine Lesestrategie definiert werden.

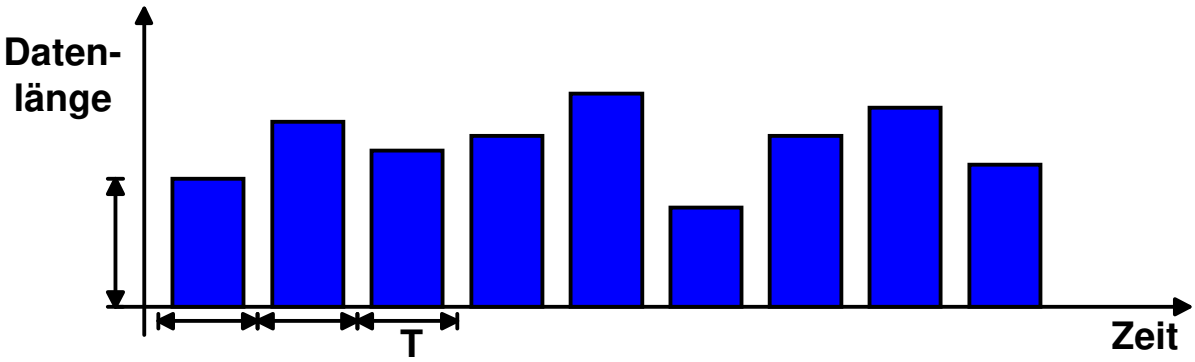


Beispiel



Lese-Strategie 1: Konstante Zeitintervalle

Constant Time Length (CTL)

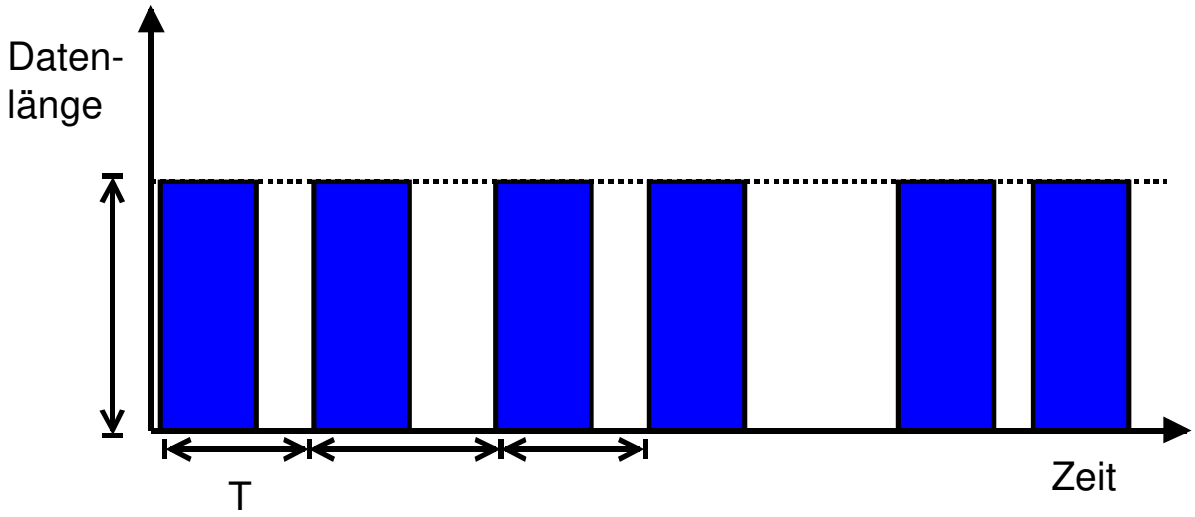


T = feste Abspielzeit für einen Block variabler Größe

Zu festen, periodischen Zeitpunkten wird eine **variable Datenmenge** gelesen, also eine variable Anzahl von Plattenzugriffen ausgelöst.

Lese-Strategie 2: Konstante Datenmenge

Constant Data Length (CDL)



T= variable Abspielzeit für einen Block fester Größe

Zu variablen Zeitpunkten wird ein **Block fester Größe** von der Platte gelesen, also genau ein Plattenzugriff ausgelöst.

Offene Fragen

- Beste Kombination der Lese-Strategie mit einer Disk-Scheduling-Strategie?
- Beste Ausnutzung der vorhandenen Pufferkapazität?
- Maximale Anzahl der parallel bedienbaren Ströme?
- Ausnutzung der Vorhersagemöglichkeit für bekannte Multimedia-Ströme (z.B. MPEG-Videos auf einem VoD-Server)?

Zusammenfassung

- Anordnung auf dem Medium, Scheduling-Strategie und Lese-Strategie hängen voneinander ab.
- Klassische Algorithmen sind nicht verwendbar, da nicht echtzeitfähig.
- Ein globales Optimum ist sehr schwer zu erreichen, da die Ströme sich dynamisch ändern.
- Heutige Lösung: viel Reserve in jede Komponente des Multimedia-Dateisystems einplanen!