



# Kapitel 4: Speicher

Speicherorganisation

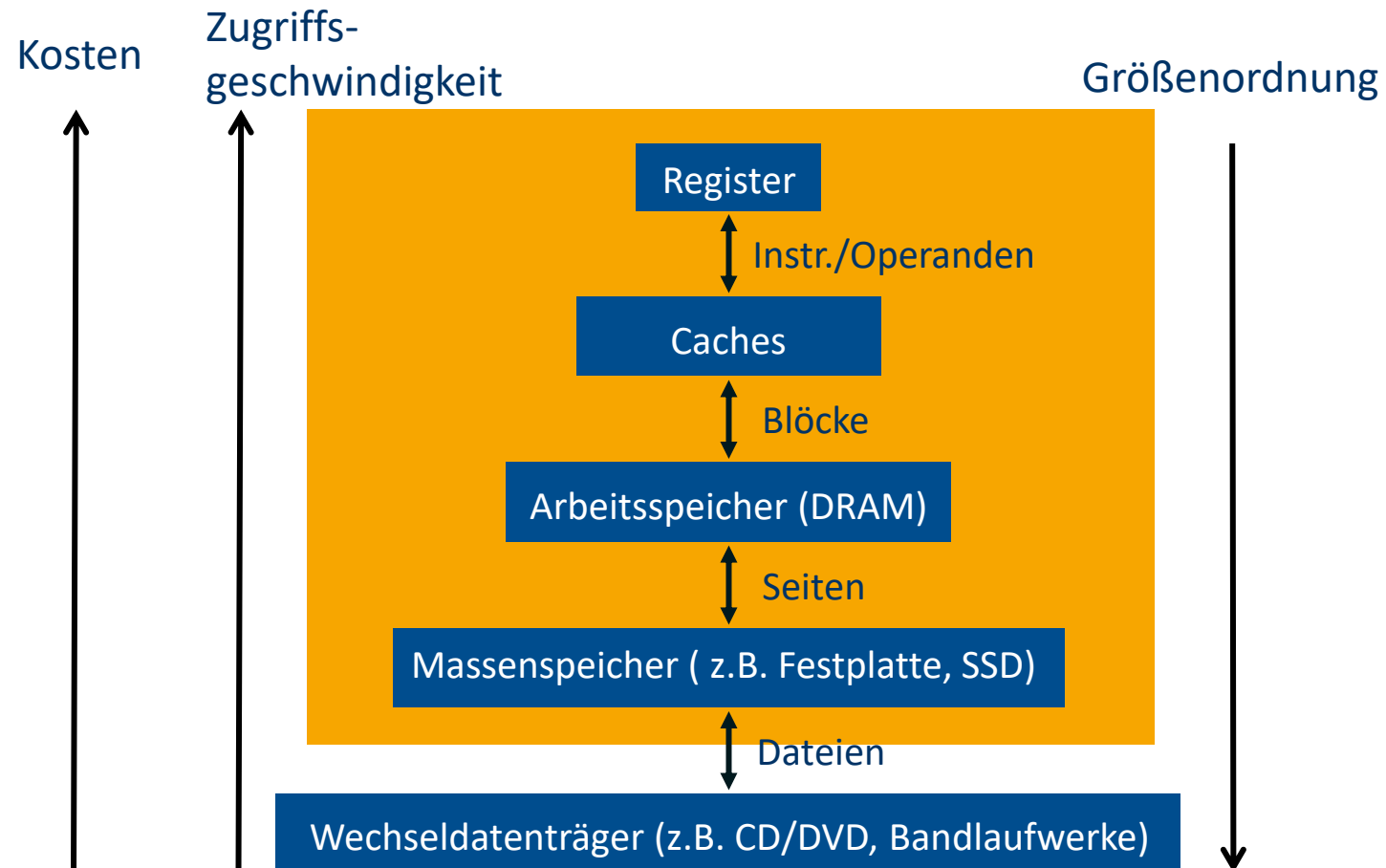
Caches

Hintergrundspeicher

## Lernziele

- Standardformen der Massenspeicher kennen und ihre Unterschiede erläutern können
- Zugriffsprinzip einer HDD verstehen und am Beispiel anwenden können
- Den Begriff des virtuellen Speichers und die Problematik dahinter kennen
- Prinzipien des Paging und der Segmentierung kennen, verstehen und anwenden können
- Unterschiedliche Speichermedien im Bereich der Wechseldatenträger kennen und ihre Unterschiede erläutern können

# Speicherorganisation

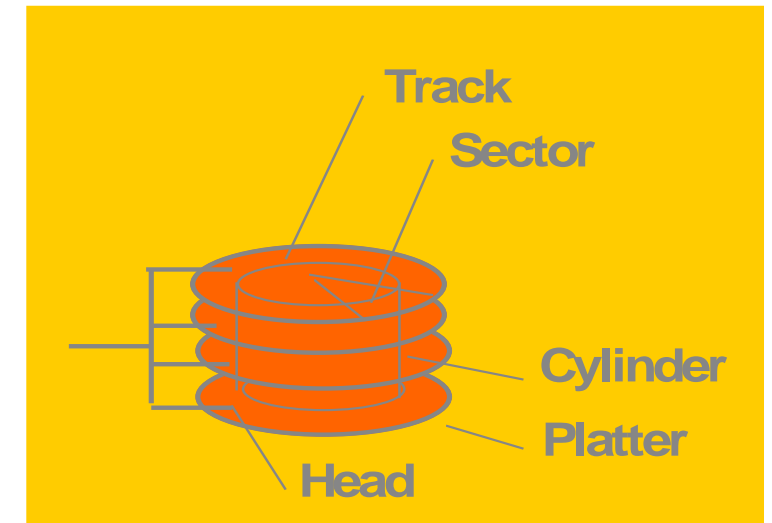


# Festplatte



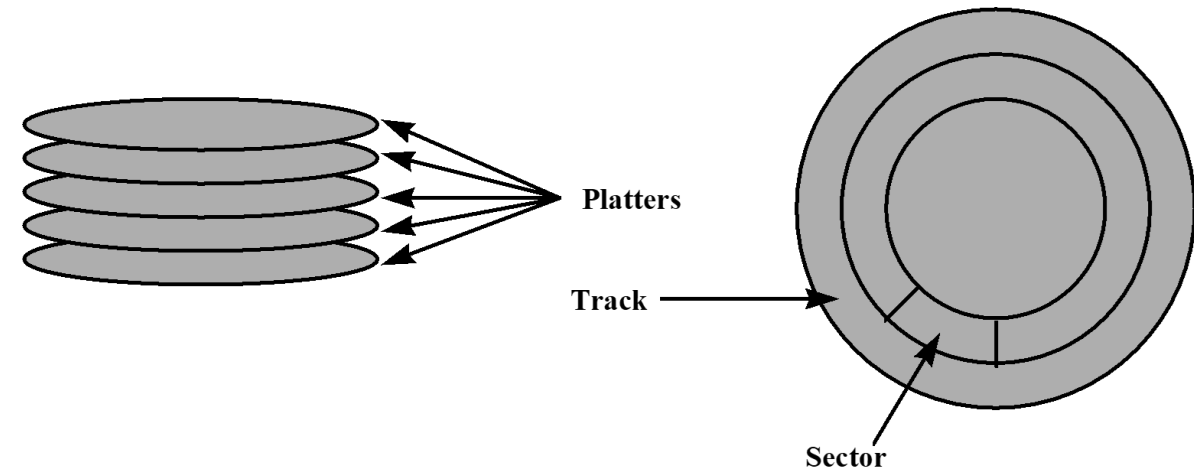
# Festplatte (HDD)

- Eine **Festplatte** besteht aus
  - mehreren Platten (4-8)
  - mehreren Lese-/Schreibköpfen (4-16)
- Eine **Platte** besteht aus konzentrischen Spuren
- Eine **Spur** besteht aus Sektoren
- Ein **Sektor** ist die kleinste beschreibbare Einheit
- Ein **Zylinder** besteht aus übereinanderliegenden Spuren



## Festplatte (HDD) – klassische Werte

- Rotationsgeschwindigkeit: 3.600 rpm bis 10.800 rpm (revolutions per minute)
- Sektorgröße: 128 Byte bis 1 KiB
- Schreibdichte: 50.000 bis 270.000 Bits/cm
- Spurendichte: 800 bis 10.000 Spuren/cm



# Ausführung eines Festplattenzugriffs

- Bewege die Köpfe zu dem richtigen Zylinder (Ø Dauer: ca. 10 ms)
- Warte, bis der gesuchte Sektor zum Kopf rotiert (Ø Dauer:  $0.5 \cdot \text{Rotation}$ )
- Übertrage den Inhalt des Sektors (Transferrate: 20-100 MB/s)

# Ausführung eines Festplattenzugriffs

Beispielszenario: Sektorgröße 512 Byte

- Positionierung:  $\emptyset$  Dauer: ca. 10 ms
- Latenzzeit:  $\emptyset$  Dauer:  $0.5 \cdot \text{Rotation}$
- Transferzeit: 20-100 MB/s

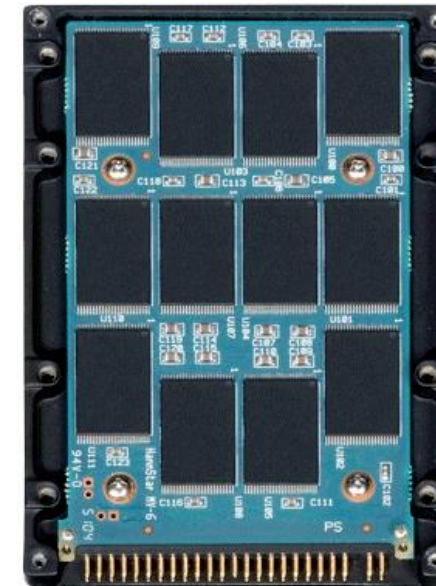
	Positionierungszeit	Latenzzeit	Transferzeit	Gesamtzugriffszeit
3600 rpm, 100 MB/s	10 ms	8,3 ms	4,9 $\mu$ s	18,3 ms
5400 rpm, 100 MB/s	10 ms	5,6 ms	4,9 $\mu$ s	15,6 ms
7200 rpm, 100 MB/s	10 ms	4,2 ms	4,9 $\mu$ s	14,2 ms
10.800 rpm, 100 MB/s	10 ms	2,8 ms	4,9 $\mu$ s	12,8 ms
3600 rpm, 20 MB/s	10 ms	8,3 ms	24,4 $\mu$ s	18,3 ms
5400 rpm, 20 MB/s	10 ms	5,6 ms	24,4 $\mu$ s	15,6 ms
7200 rpm, 20 MB/s	10 ms	4,2 ms	24,4 $\mu$ s	14,2 ms
10800 rpm/ 20 MB/s	10 ms	2,8 ms	24,4 $\mu$ s	12,8 ms

vernachlässigbar



## Alternative: Solid State Disk (SSD)

- Zur Speicherung der Daten werden Halbleiterbausteine verwendet statt rotierender Scheiben
- Zwei Verfahren:
  - **Flash-Speicher**: nicht-flüchtiger Speicher, sehr energieeffizient
  - **SDRAM**: flüchtiger Speicher, mehr Energie notwendig im Vergleich zur Festplatte, aber sehr schnell



## Solid State Disk (SSD) (2)

### Vorteile

- Kein Verschleiß, da keine mechanischen Teile
- Besser geeignet für Umgebungen mit Schmutz, Erschütterungen, Druckschwankungen, Temperaturschwankungen, Magnetfeldern (z.B. Raumfahrt)
- Anwendungen mit niedrigem Energieverbrauch (Flash-basiert): Notebooks, MP3-Player, ...

### Nachteile

- Teurer als Festplatten
- Nicht beliebig oft wiederbeschreibbar (Flash: 100.000 bis 5 Millionen Schreibzyklen)

# Das Problem mit dem Hauptspeicher

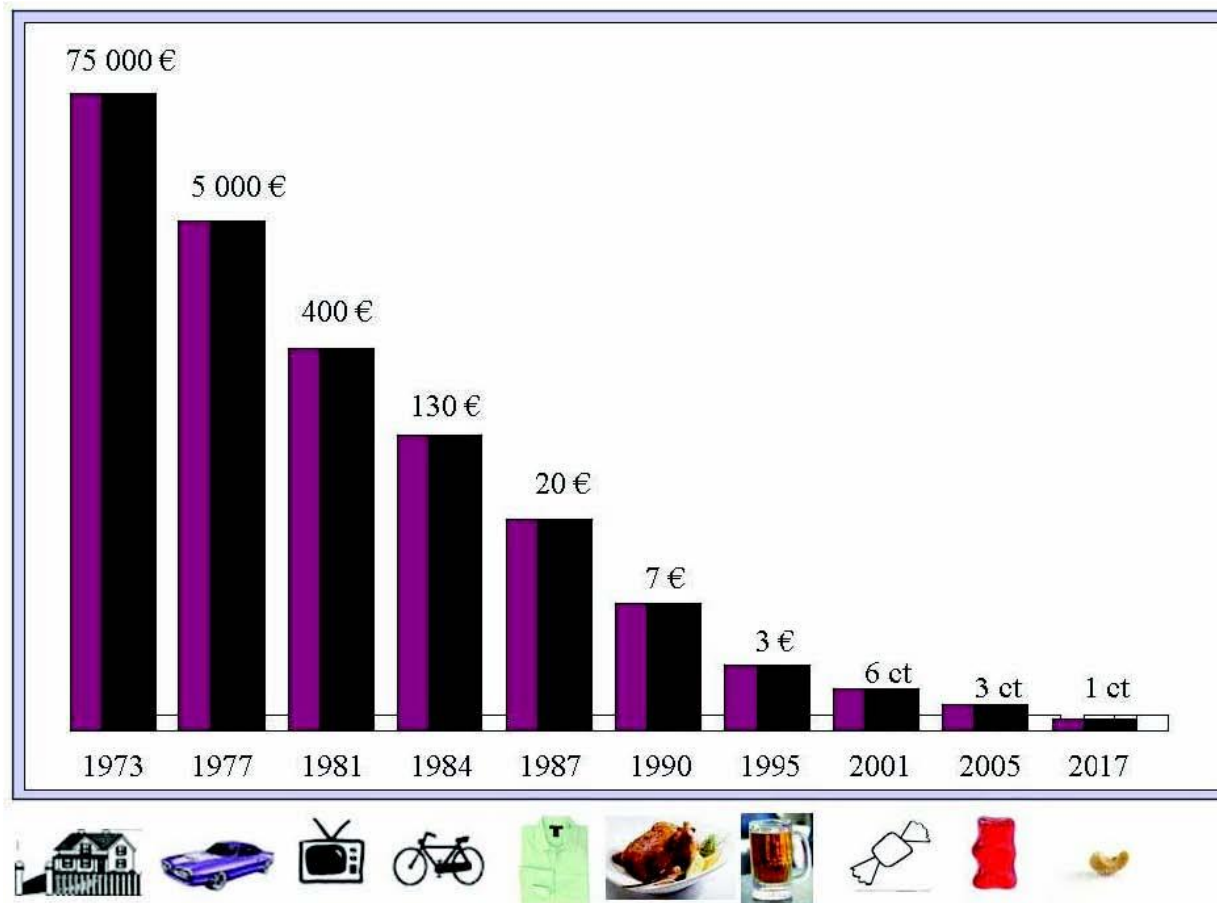
- Adressraum von heutigen Rechnern ist sehr groß!
- Bei Busbreite  $n$  sind  $2^n$  Speicherzellen adressierbar!

Busbreite	Adressierbare Speicherzellen	Kosten 100 €/32 GB
16	$2^{16} = 6,5 \cdot 10^4$ (64 KiB)	
32	$2^{32} = 4,3 \cdot 10^9$ (4 GiB)	ca. 12,5 €
64	$2^{64} = 1,8 \cdot 10^{19}$ (16 EiB)	ca. 53 Mrd €



soviel Hauptspeicher kann man nicht bereitstellen!

## Kosten für 1 MByte DRAM



# Benutze Festplatte als virtuellen Speicher

- Benutzersicht
  - Programm und alle Daten befinden sich im Hauptspeicher, sofern der Adressraum nicht ausgeschöpft ist
- Die Wirklichkeit
  - multi-user System, d.h. nicht jedem Benutzer kann der ganze Hauptspeicher zur Verfügung stehen.
  - Programme werden nicht für einen spezifischen 32-Bit/ 64-Bit-Rechner mit maximaler Hauptspeichergröße geschrieben. Sie sollen auch auf 32-Bit/64-Bit-Rechnern mit kleinerem Hauptspeicher lauffähig sein.
- Ausweg
  - Benutze die Festplatte, um die „Hauptspeicherdaten“ eines Prozesses zu speichern, die aufgrund von Kapazitätsgründen nicht im vorhandenen Hauptspeicher liegen können.

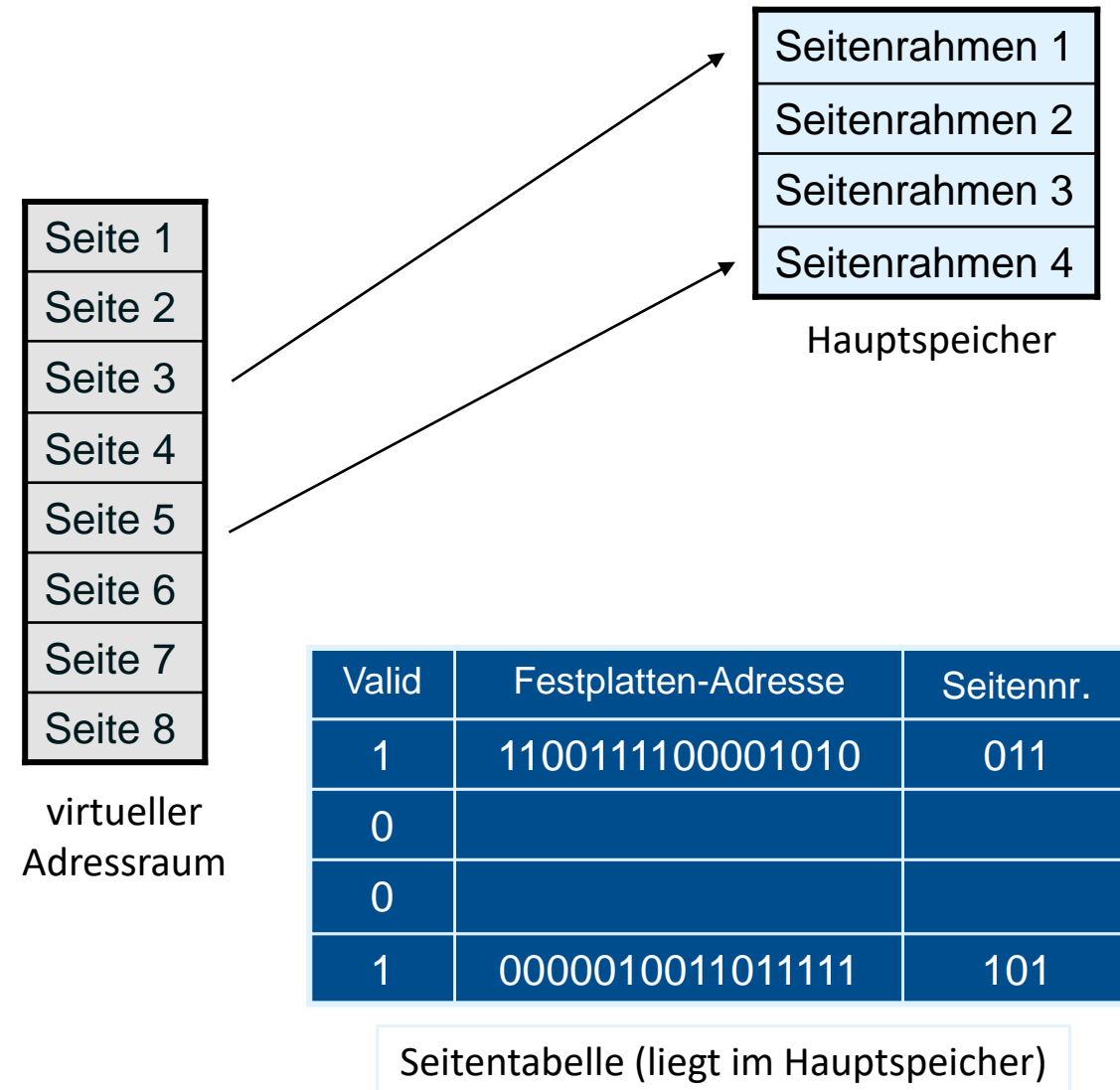
# Verwaltung des virtuellen Adressraumes

- Virtueller Adressraum für jeden Prozess
- Verwaltung der virtuellen Adressräume durch das Betriebssystem
  - Welche Daten bzw. Programmteile werden tatsächlich im Hauptspeicher gehalten?
  - Welche Daten werden ausgelagert, wenn neue Daten benötigt werden?
- Anwendung der Konzepte
  - Paging
  - Segmentierung

# Paging (1)

## Grundidee

- Der virtuelle Speicher wird auf dem Sekundärspeicher abgelegt...
- ... und in **Seiten** (**pages**) fester Größe unterteilt.
- Der Hauptspeicher besteht aus **Seitenrahmen** (**page frames**), die jeweils eine Seite aufnehmen können.
- Eine **Seitentabelle** (**page table**) gibt an, welche Seitenrahmen durch welche Seiten belegt sind.



## Paging: Zugriff auf Datenseite $i$

Überprüfe, ob die Datenseite  $i$  im Hauptspeicher liegt;

**if** Seitenfehler

**then** Überprüfe, ob ein Seitenrahmen im Hauptspeicher leer ist;

**if** kein Seitenrahmen leer

**then** Verdränge eine Seite aus dem Hauptspeicher und  
        aktualisiere die Seitentabelle;

**fi**;

    Schreibe die Datenseite  $i$  in einen freien Seitenrahmen;

    Aktualisiere die Seitentabelle;

**fi**;

Greife auf Seite  $i$  im Hauptspeicher zu;



## Verdrängungsstrategien

- **LFU-Strategie** (Least Frequently Used) : Verdränge die Seite aus dem Hauptspeicher, auf die seit ihrer Einlagerungszeit am seltensten zugegriffen wurde.
- **LRU-Strategie** (Least Recently Used): Verdränge die Seite, auf die am längsten nicht zugegriffen wurde.
- **FIFO-Strategie** (First In, First Out): Verdränge die Seite, die am längsten im Hauptspeicher liegt.

Geringerer Verwaltungsaufwand, da nur bei einem Seitenfehler etwas getan werden muss.

# Segmentierung

- Unterteilung des virtuellen Speichers in Segmente unterschiedlicher Größen
- Zum Beispiel ein Segment für
  - den Programmcode
  - den Stack
  - die statischen Variablen
- Falls ein angefordertes Segment nicht im Hauptspeicher ist: [segmentation fault](#)
- Das Betriebssystem kann dafür Sorge tragen, dass bestimmte Segmente dauernd im Hauptspeicher liegen und nicht verdrängt werden können

## Kombination von Paging und Segmentierung

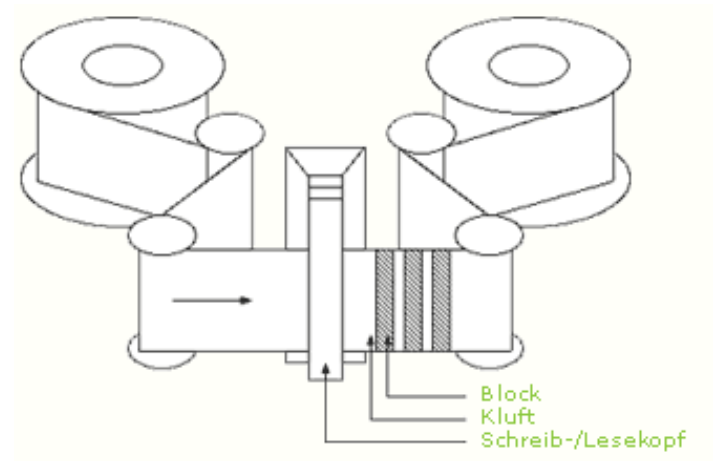
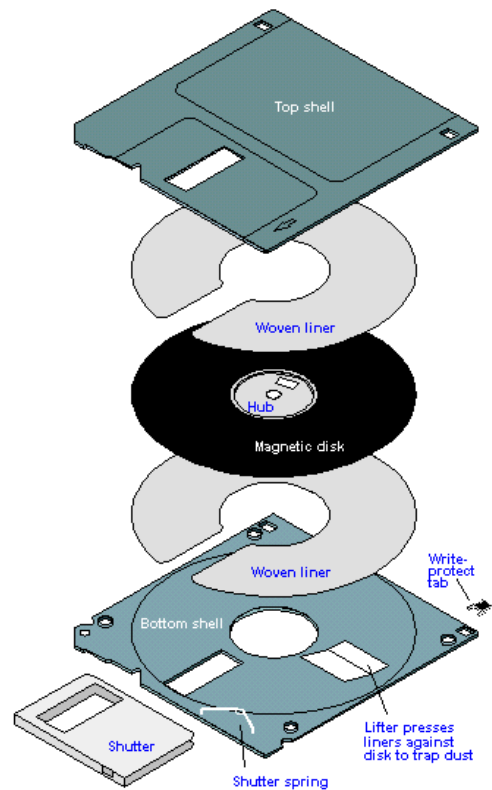
- Benutze Segmentierung
- Jedes Segment wird für sich mit Paging realisiert

## Weitere Sekundärspeicher

- Magnetband
- Diskette (Floppy)
- CD-ROM
- DVD
- Blu-ray
- USB-Stick
- Speicherkarte

# Magnetband / Diskette

From Computer Desktop Encyclopedia  
© 1998 The Computer Language Co. Inc.



# The Future of Data Storage

- Speicherbedarf wächst global um 30% bis 40% pro Jahr
  - doppelt so schnell wie Festplattenkapazität (**superparamagnetic limit**)
  - häufig nur: mehr Platten oder mehr Lese-/Schreibköpfe
- oft keine niedrige Zugriffszeit nötig

➡ Lösung: Magnetband (Tape)

28 Aug 2018 | 15:00 GMT

## Why the Future of Data Storage is (Still) Magnetic Tape

Disk drives are reaching their limits, but magnetic tape just gets better and better

By Mark Lantz

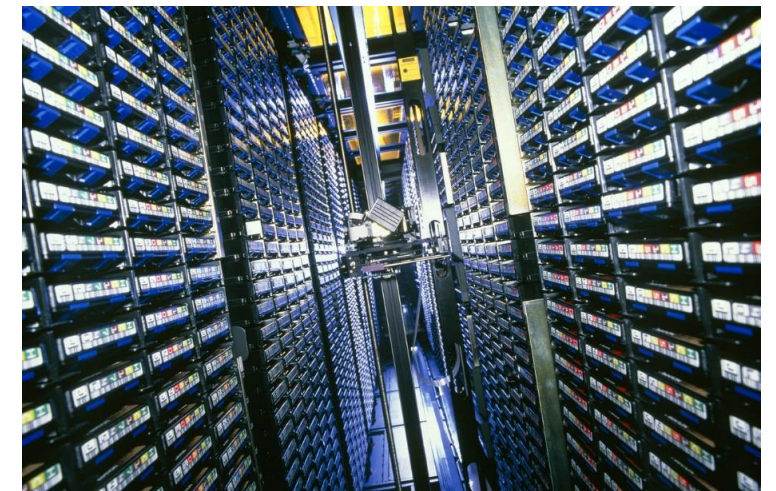


Photo: Victor Prado

## “Seriously? Tape?”

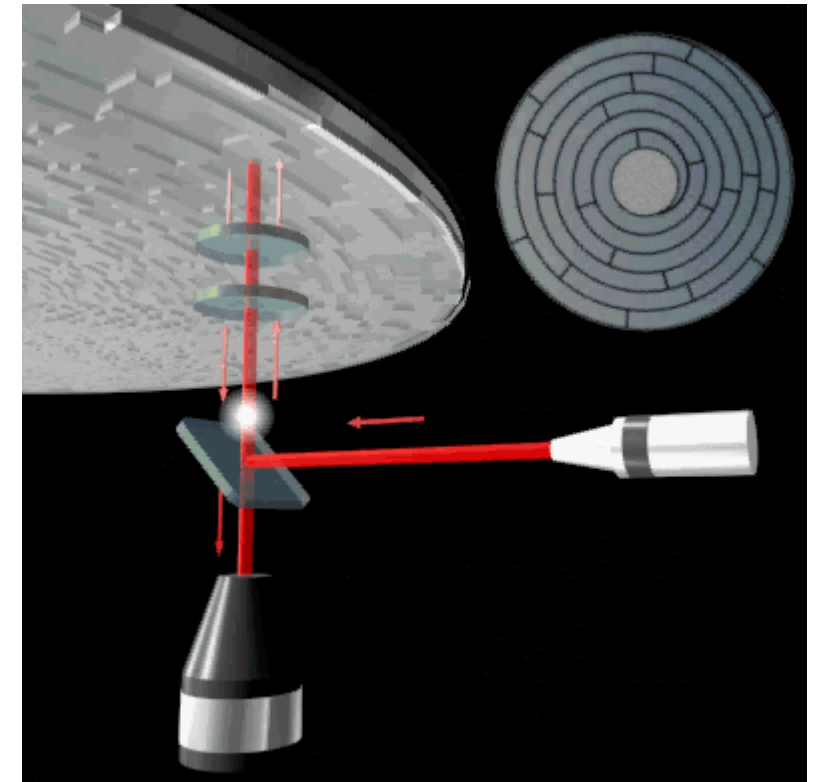
- Magnetband (Tape):
  - Zugriffszeit: Ø 50-60 Sekunden
  - Schreibdurchsatz: 2x so hoch wie bei einer Festplatte
  - Kartusche: ca. 1 km Band, 15 TB Kapazität
  - kein Standby-Verbrauch, sehr niedrige Fehlerraten, 16% der Kosten von Festplatten
- Kapazität wächst stetig mit 33% pro Jahr (kein Ende in Sicht)

“Much of the world’s data is still kept on tape”  
(z.B. Microsoft, Google)



## CD-ROM / DVD / Blu-ray

- Daten werden auf einer spiralförmigen Spur abgelegt
- Beschriebene Oberfläche besteht aus **Gruben** (pit) und **Böden** (land), über welche die Information codiert ist:
  - Übergang Grube-Grube: 0
  - Übergang Boden-Boden: 0
  - Übergang Grube-Boden: 1
  - Übergang Boden-Grube: 1
- Das Laufwerk besteht aus einem roten Laser und einem Sensor, der das empfangene Licht auswertet.
  - Gruben reflektieren schwach
  - Böden reflektieren stark



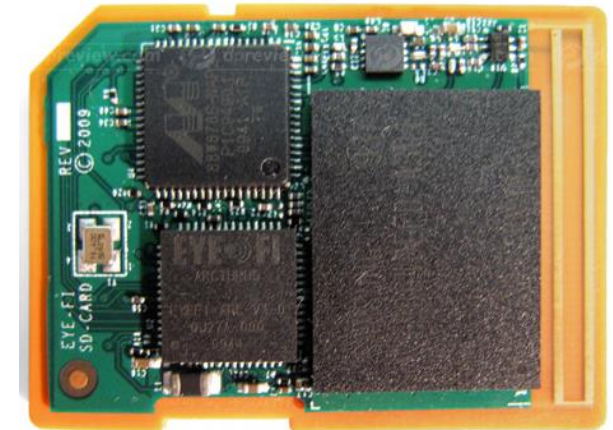


## CD-ROM / DVD / Blu-ray

	CD-ROM	DVD	Blu-ray	Festplatte
Scheiben-Durchmesser	120 mm	120 mm	120 mm	
Größen der Gruben	0,8 $\mu\text{m}$	0,4 $\mu\text{m}$	0,15 $\mu\text{m}$	
Spur-Abstand	1,60 $\mu\text{m}$	0,74 $\mu\text{m}$	0,32 $\mu\text{m}$	
Wellenlänge des Lasers	780 nm	650 nm	405 nm	
Kapazität: einl./doppellagig	700 MB / -	4,7 GB / 8,5 GB	25 GB / 50 GB	
Einfache Übertragungsgeschwindigkeit	150 KB/sec	1,4 MB/sec	4,5 MB/sec	10 MB/sec

# USB-Stick / Speicherkarte

- Daten werden elektronisch auf einem **Flash-Speicher** gespeichert
  - weniger Energieverbrauch und Wärmeentwicklung
  - klein, leicht, geräuschlos
  - hohe Übertragungsgeschwindigkeiten
  - Nachteile: relativ teuer, fehleranfällig
- USB-Stick
  - bis zu 1 TB Kapazität
  - 245 MB/s Lesegeschwindigkeit
  - 190 MB/s Schreibgeschwindigkeit
- Speicherkarte
  - CompactFlash, Memory Stick, SD(HC), xD, ...
  - bis zu 512 GB Kapazität
  - 280 MB/s Lesegeschwindigkeit
  - 250 MB/s Schreibgeschwindigkeit



## Alternative: Cloud Computing

- Das Internet als virtuelle Festplatte
- Zugriff auf die Daten von jedem Gerät (PC, Laptop, Smartphone)
- Problem: Datensicherheit und Datenschutz!

