



Kapitel 4: Speicher

Speicherorganisation

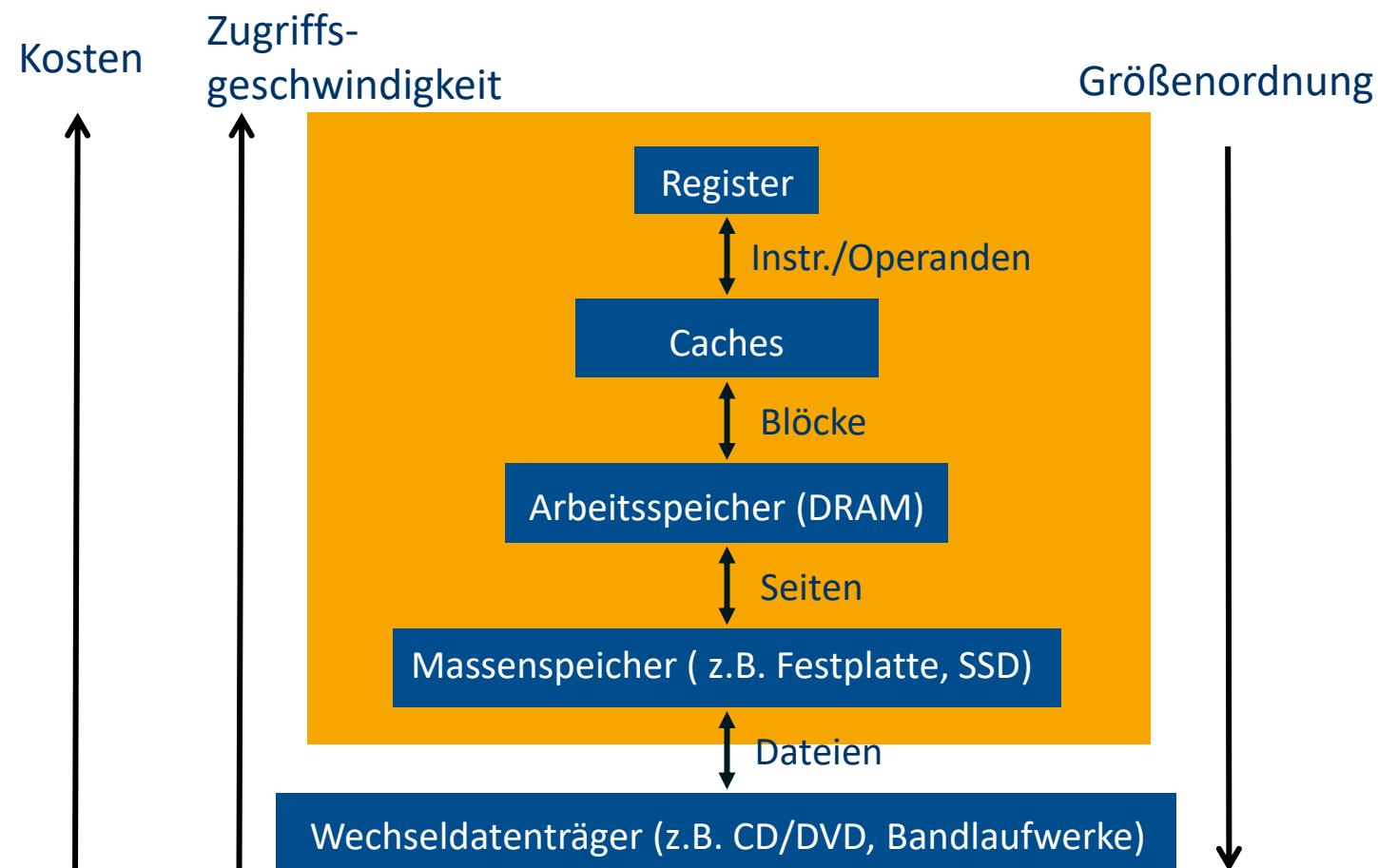
Caches

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

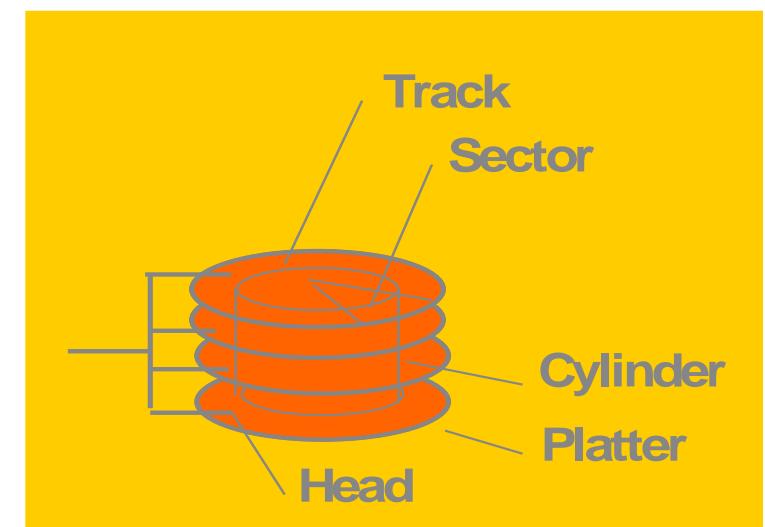


Festplatte



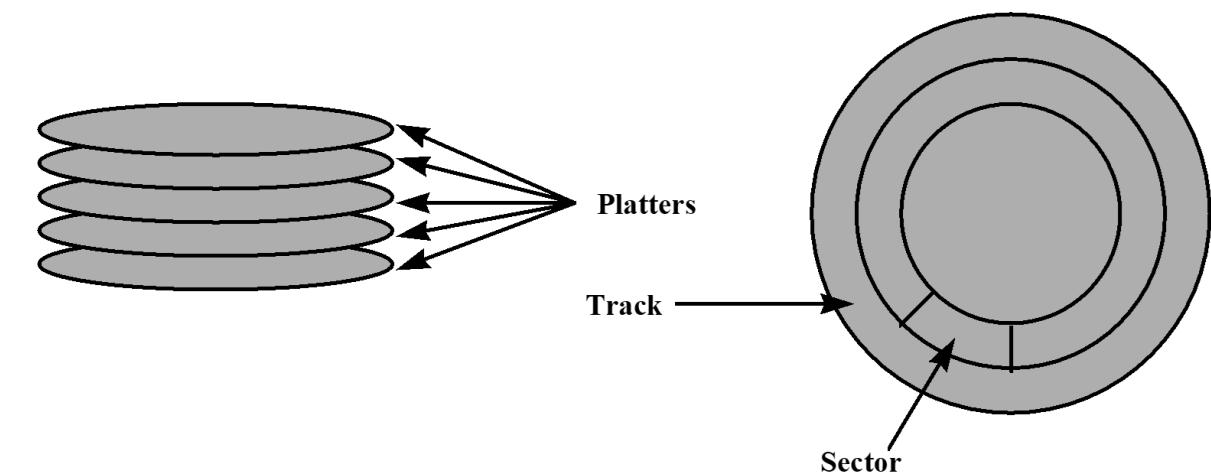
Festplatte (HDD)

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

Ausführung eines Festplattenzugriffs

Beispielszenario: Sektorgröße 512 Byte

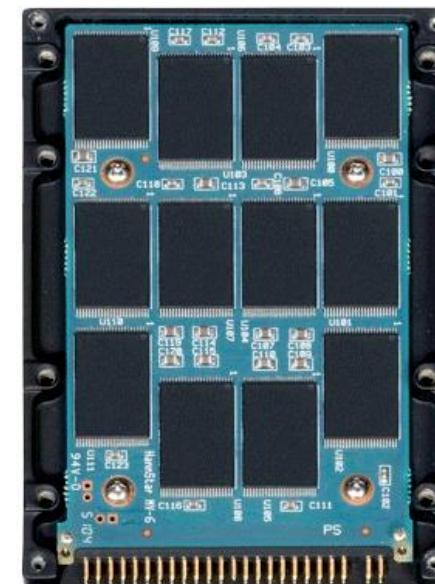
- Positionierung: Ø Dauer: ca. 10 ms
- Latenzzeit: Ø Dauer: $0.5 \cdot \text{Rotation}$
- Transferzeit: 20-100 MB/s

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

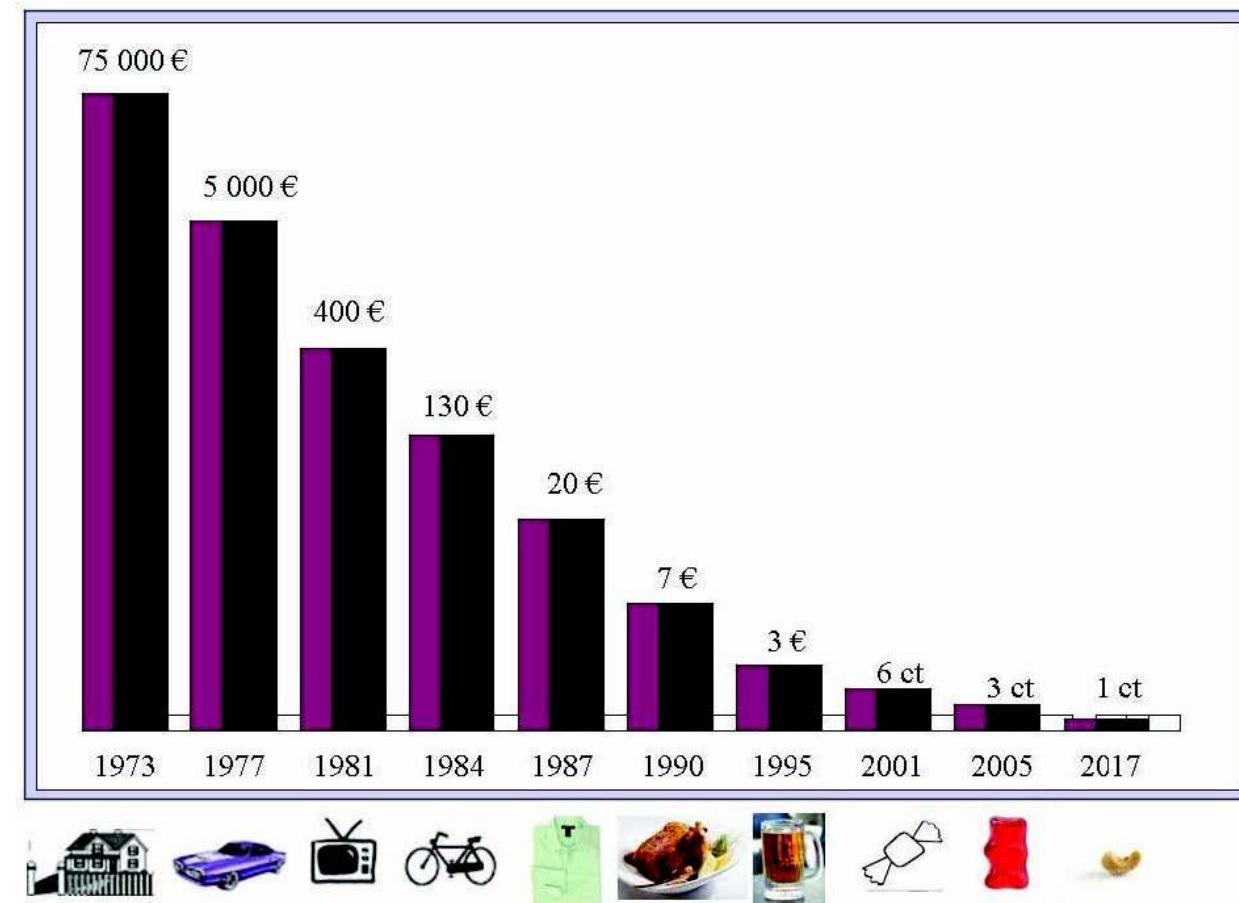
- Adressraum von heutigen Rechnern ist sehr groß!
- Bei Busbreite n sind 2^n Speicherzellen adressierbar!

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.

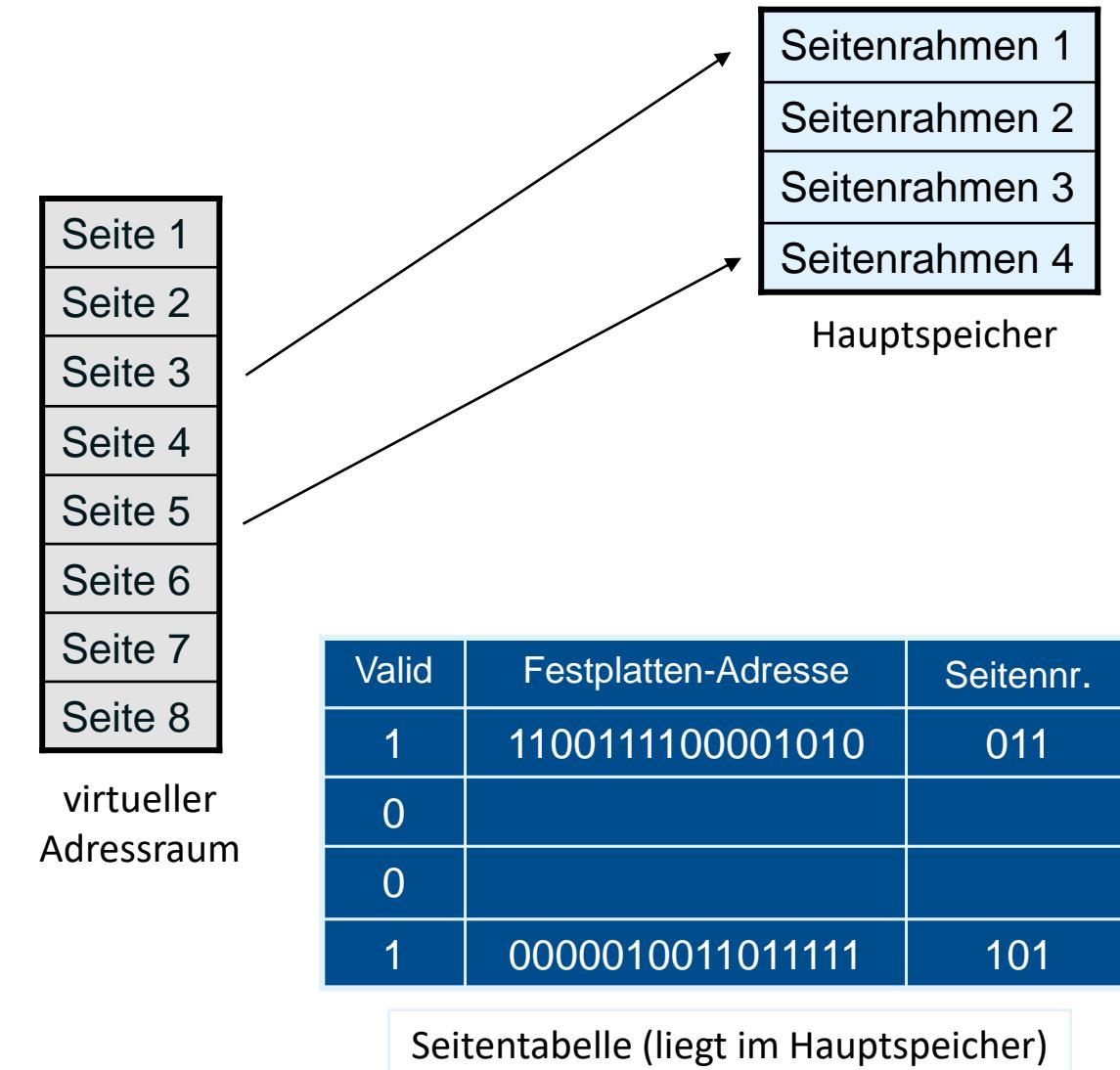
Verwaltung des virtuellen Adressraumes

- 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

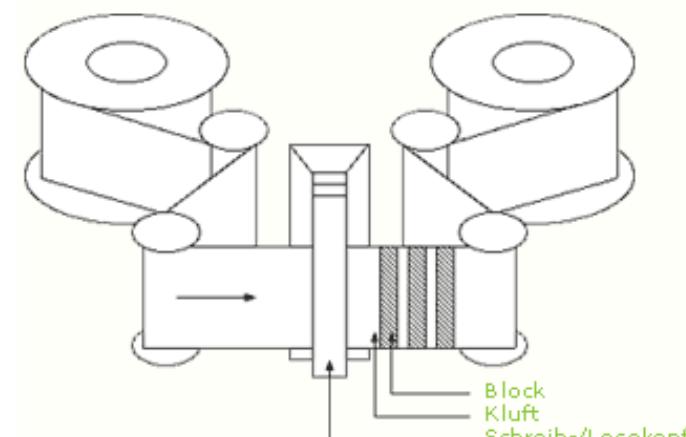
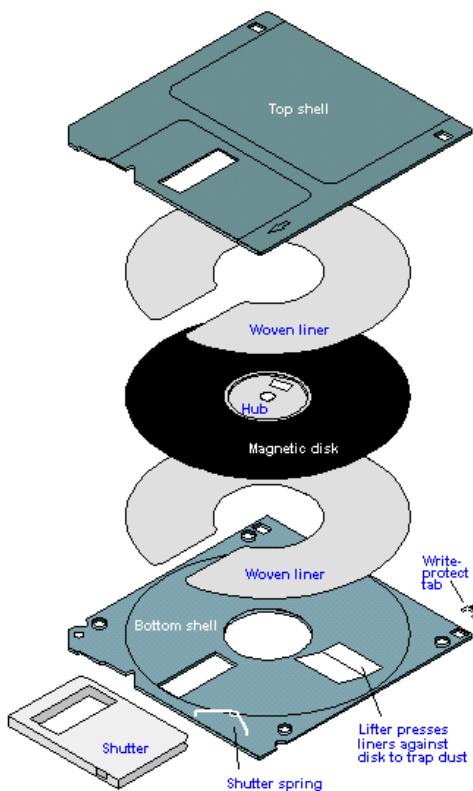
- Benutze Segmentierung
- Jedes Segment wird für sich mit Paging realisiert

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



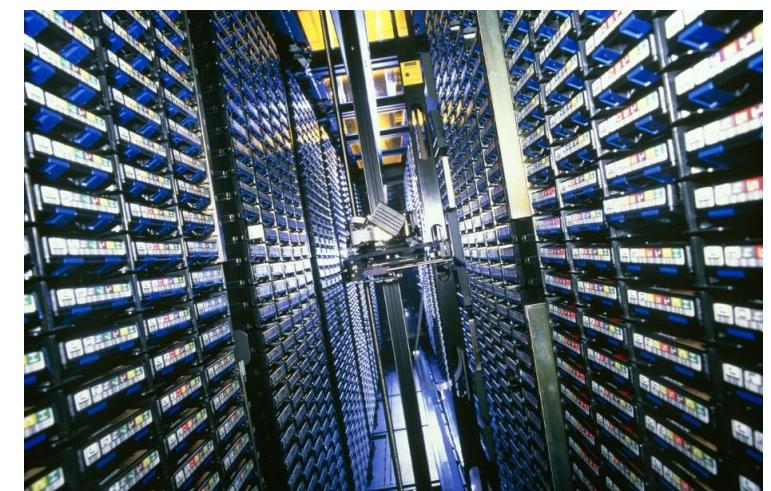
Photo: Victor Prado

“Seriously? Tape?”

- Magnetband (Tape):
 - Zugriffszeit: \varnothing 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)

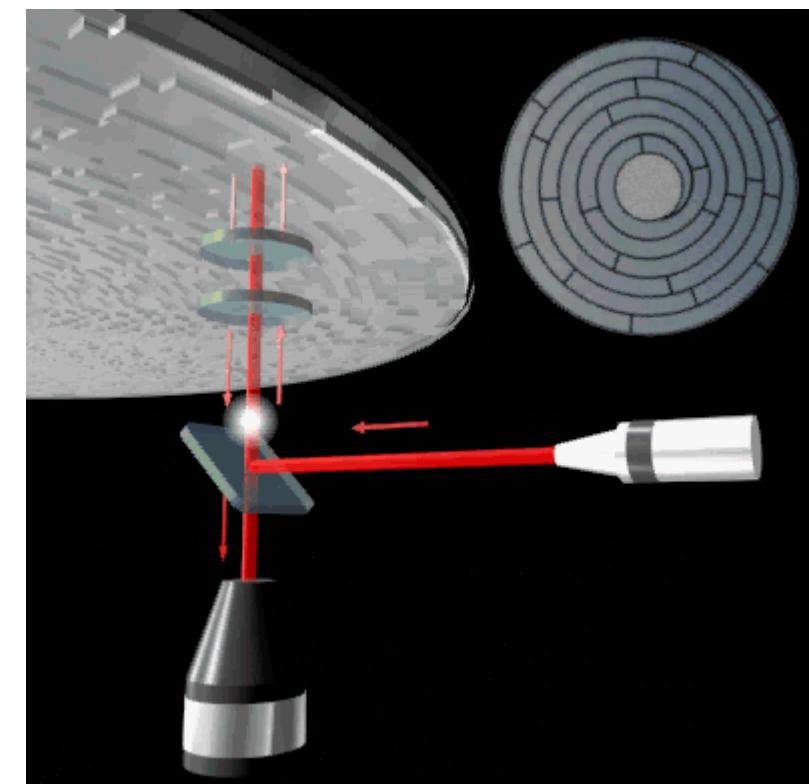


“Much of the world’s data is still kept on tape”
(z.B. Microsoft, Google)



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

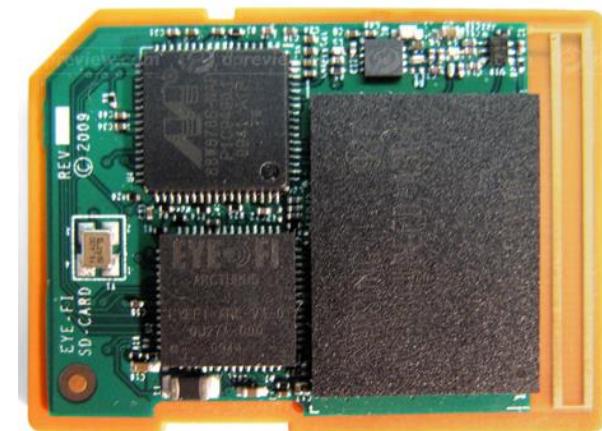


CD-ROM / DVD / Blu-ray

	CD-ROM	DVD	Blu-ray	Festplatte
Scheiben-Durchmesser	120 mm	120 mm	120 mm	
Größen der Gruben	0,8 µm	0,4 µm	0,15 µm	
Spur-Abstand	1,60 µm	0,74 µm	0,32 µm	
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 Übertragungs- geschwindigkeit	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!

