

1 Definitionen

Speicherkapazität: maximale Datenmenge, die in einem Datenspeicher gespeichert werden kann.

Datenmenge: Maß für die Menge von Daten; die Grundeinheit ist das Bit („Binary digit“).

Speicherdichte: Maß für die speicherbaren Informationseinheiten pro Flächen- oder Längeneinheit; angegeben in bit/inch oder bit/qinch (Bit pro Quadratzoll). Somit massgeblich für die Größe eines Speichermediums.

Dezimalpräfixe:

Bit (bit)		= 0 oder 1
Byte (B)		= 8 Bit
Kilobyte (kB)	10^3 Byte	= 1.000 Byte
Megabyte (MB)	10^6 Byte	= 1.000.000 Byte
Gigabyte (GB)	10^9 Byte	= 1.000.000.000 Byte
Terabyte (TB)	10^{12} Byte	= 1.000.000.000.000 Byte
Petabyte (PB)	10^{15} Byte	= 1.000.000.000.000.000 Byte
Exabyte (EB)	10^{18} Byte	= 1.000.000.000.000.000.000 Byte
Zettabyte (ZB)	10^{21} Byte	= 1.000.000.000.000.000.000.000 Byte
Yottabyte (YB)	10^{24} Byte	= 1.000.000.000.000.000.000.000.000 Byte

Binärpräfixe:

e.g. Tebibyte (TiB) 2^{40} Byte = 1.099.511.627.776 Byte -> Unterschied: 10,0 %
512 MiB \approx 537 MB

Anschauliche Groessenvergleiche:

Die Library of Congress in Washington D.C. gilt als die größte Bibliothek der Welt mit rund 30.000.000 Büchern. Nun sei angenommen, ein Durchschnittsbuch habe 200 Seiten a 1,200 Zeichen.

Byte (B) = 8 Bit
Ein Buchstabe

Kilobyte
Eine Buchseite Text

Megabyte (MB)
Foto, MP3 file: 3 - 4 MB
Die Bibel als Text: 5 MB

Gigabyte (GB)
Spielfilm in DVD-Qualität: 5 GB

Terabyte (TB)
Library of Congress: 7.5 TB
Datenbank, die alle Menschen mit Datensätzen von je 1 kB Größe erfasst: 7 TB

Was ist mit Petabyte, Exabyte, Zettabyte und Yottabyte?

2 Arten von Datenspeichern

Magnetisch vs Optisch

Magnetischer Datenspeicher: Massenspeicher aus magnetisierbarem Material, welche mittels eines Lese-Schreib-Kopfes gelesen und beschrieben werden.

Beispiel: Festplattenlaufwerk

Optischer Datenspeicher: Massenspeicher, die durch optische Abtastung (meist mittels Laser) gelesen und/oder beschrieben werden können. Die optische Speicherung nutzt dabei die Reflexions- und Beugungseigenschaften des Speichermediums aus.

Beispiel: CD (1982), DVD (1995), BD (Blu-ray Disc, 2007)

Magneto-optischer Speicher: Hybridvariante, welche jedoch heute in der Praxis eine geringere Bedeutung hat.

Beispiel: Magneto Optical Disc (MOD)

Flüchtig vs Nichtflüchtig

Nichtflüchtiger Speicher („non-volatile memory“): Datenspeicher, dessen gespeicherte Informationen selbst ohne Strom auf Dauer erhalten bleiben.

Beispiel: Festplatten, USB-Sticks

Flüchtiger Speicher: Speicher, dessen Daten ohne Strom verloren gehen.

Beispiel: Arbeitsspeicher eines Rechners

Einfach vs Vielfach beschreibbar

Festwertspeicher („read-only memory“, ROM): nicht-flüchtiger Datenspeicher, der nur lesbar ist, nicht aber beschrieben werden kann (e.g. CD-ROM). Vor allem in der Archivierung von digitalen Informationen eingesetzt.

Mehrfach beschreibbare Medien: etwa CD-RW („rewritable“)

Sequenzielles Lesen vs Random Access Memory

Direktzugriffsspeicher (Random-Access-Memory, RAM): Speicher, bei dem Daten in konstanter Zeit wiedergegeben werden können, unabhängig von physischer Position im Speichermedium (e.g. Arbeitsspeicher).

Sequentieller Speicher: Speicherart, bei der die Zugriffsgeschwindigkeit abhängt von der Position des Schreibkopfes bzw. des Mediums selbst und der Position der Daten auf dem Medium (e.g. CD).

Eckdaten gängiger Speichermedien

Speicherkapazität, Lesegeschwindigkeit:

- CD: 700 MB, 1,22 Mbit/s
- DVD: 4.7 GB, 10,8 Mbit/s
- Blu-ray Disc 25 GB/ Layer (Labor bis 20 Layers), 54 Mbit/s
- SIM-Karte: bis 16 GB (Größe: 25 mm × 15 mm)
- SD Card: 32 GB, bis 30 MB/s beim Schreiben
- USB-Stick: bis 256 GB, bis 30 MB/s beim Schreiben (min. 20 x 16 x 7 mm)
- Festplatte: bis 5 TB (in PCs)
- Forschung (Nachfolger der Blu-rays) HVD (= Holographic Versatile Disc): 3,9 TB, 1 Gbit/s

Speicherdichte:

- DVD: 1 GB/qinch.
- Blu-Ray-Disc: 30 GB/qinch (optischer Speicher mit höchster Dichte)
- Magnetplatten: bis zu 20 Gbit/qinch (in der Spitze über 300 Gbit/qinch)
- Forschung an Patterned Media: 10 Tbit/qinch

3 Trade-off bei der Speicherwahl

Frage: Was ist bei der Wahl des Speichers zu beachten?

Beispielvergleich von DVDs und MODs (Stand Mai 2007)

- **Formaler Unterschied:**
DVD ist rein optisches Medium, MOD wird magnetisch beschrieben und optisch ausgelesen
- **Lebensdauer, Robustheit:**
Lebensdauer DVD: etwa 10 Jahre, begrenzte Zahl an Schreibzyklen bei RWs
Bei unsachgemäßer Lagerung sehr fehleranfällig, kratzempfindlich
MO-Medien vollkommen lichtunempfindlich, bis ca. 100°C temperaturunempfindlich, von einer schützenden Kunststoffhülle (Cartridge) umgeben
- **Speicherkapazität**
3,5"-MOD: max. 2,3 GB
DVD-RAM: 4,7 GB
- **Preis**
DVD billig in Herstellung, massentauglich
MOD ca. 8x so teuer wie DVD
- **Abrufgeschwindigkeit**
Bei DVD-Laufwerken etwas besser als bei MO-Laufwerken

Weitere Kriterien:

- Ausfallsicherheit
- Wartungsaufwand
- Ressourcenverbrauch
- Energieverbrauch
- Mobilität
- Grösse, Gewicht
- Physische Stabilität

Beispiele weiterer Speichermedien:

- Bandlaufwerke: großer Datenspeicher, billig, sehr langsam (sequentielles Lesen)
- Arbeitsspeicher mit ECC (Error Correction Code): hohe Sicherheit, deutlich teurer
- L1-Cache: schneller Speicher, nicht in grossen Mengen herzustellen (4 bis 256 KB)
- Chipkarten: kleiner Speicher (Dicke: 0,76 mm), geringe Speicherkapazität
- Solid State Drive („SSD“): sehr robuster Speicher (Betrieb: 0°C - 60°C; Lagerung: -40°C - 85°C), kurze Zugriffszeiten, niedriger Energieverbrauch, Geräuschlosigkeit
Nachteil gegenüber Festplatten: sehr teuer, deutlich weniger Kapazität (bis 64 GB)

Fazit: Den perfekten Speicher gibt es nicht, die Auswahl hängt stark von der Anwendung ab!

4 Anwendungen

Frage: *Wie wichtig ist die Wahl eines geeigneten Speichers?*

- 1995: Hamburger Stellwerk
Massive Verzögerungen im bundesweiten Zugverkehr.
Grund: um wenige Bytes zu klein bemessener Stapelspeicher
- 1996: Erstflug der Ariane 5 Rakete
Selbsterstörung nach 40 Sekunden.
Grund: zu „kleine“ Bauteile der Vorgängerin Ariane 4 übernommen, was zu einem Variablenüberlauf im Lenksystem führte.
Schaden: 370 Millionen US\$, Verzögerung des nächsten Starts um über ein Jahr.
- 2009: Simulationen am Forschungszentrum Jülich via Supercomputer Jugene
Jugene ist fünftschnellster Rechner der Welt mit rund 1 Petaflop (1 Billiarde Rechenoperationen pro Sekunde), 72 Schränke, 72.000 Prozessoren, 144 TB Arbeitsspeicher), Kapazität von 150.000 PC (mehr Rechenleistung als Intel zur Verfügung steht).
Anwendung: Berechnung der Position und Bewegung von 460 Atomen während eines 0.3 Nanosekunden dauernden Experimentes. Die Berechnung nahm vier Monate in Anspruch.



- 2010: Large Hadron Collider (LHC), Cern, Schweiz. Größtes Experiment der Welt.
Während des Betriebs werden im LHC circa 600.000.000 Kollisionen von Teilchen pro Sekunde aufgezeichnet. Pro Jahr werden etwa 15 PB Daten produziert. Dies übersteigt die Aufnahmefähigkeit der Systeme, weshalb etwa 90% rausgefiltert werden. Die Daten werden auf zehntausende Computer über der Welt verteilt und ausgewertet, im sogenannten „Worldwide LHC Computing Grid“.
- **RFID** („radio-frequency identification“): zur automatischen Identifizierung und Lokalisierung von Gegenständen und Lebewesen, ersetzt bereits teilweise Barcodes.
RFID-System = Transponder + Lesegerät
Transponder: Reiskorn- bis Büchergröße, implantierbar, billig, ca. 1 bit – 1 kB, nichtflüchtiger Speicher
2007: Hitachi gibt Entwicklung staubkorngroßer Chips (0,05 mm × 0,05 mm) bekannt.
Passive Transponder: entnehmen Betriebsspannung dem (elektromagnetischen) Feld.
Aktive Transponder: nutzen Batterien für Datentransfer

5 Aktuelle Forschung

- **Quantencomputer:** Speicherung auf Basis von quantenmechanischen Zuständen
Qubits: Zweizustands-Quantensystem, kleinstmögliche Speichereinheit eines Quantencomputers
2001: IBM erzeugt Quantencomputer mit 7 Qubits, welcher die Zahl 15 erfolgreich in ihre Primfaktoren 3 und 5 zerlegt.
2005: Universität Innsbruck erzeugt ein Quantenregister mit 8 verschränkten Qubits.
- **DNA-Computer:** Computer, der auf Verwendung von DNA als Speicher- und Verarbeitungsmedium beruht.
Theoretische Leistung: 1l Flüssigkeit, darin enthalten 6g DNA: 3,072 EB, 1,000 Petaflops
Anwendungsfeld: Kryptoanalyse
- **Sensornetz:** Rechnernetz von **Sensorknoten**, kleine per Funk kommunizierende Computer, die ihre Umgebung mittels Sensoren zu überwachen. Knoten kommunizieren untereinander.
Kleinster existierender Sensorknoten: 1 mm (Stand: 2007).
Größtes Sensornetz: 1000 Sensorknoten
Ziel: Staubkorngröße (daher auch die Bezeichnung „Smart Dust“)



Beispiel eines „Specks“: 2 x 2.5mm, 3 kB