

Literatur zur Vorlesung:

- R. Waser „Nanoelectronics and Information technology“ (Kap. V)
- S. Esener „The future of data storage technologies“
- G. Bouhis „Principles of Optical Disc Systems“
- E. Williams „CD-Rom and Optical Disc recording systems“
- AWW „Sicherheit, Haltbarkeit und Beschaffenheit optischer Medien“

Übersicht der Vorlesung

1. Grundlagen

- 1.1. Historie
- 1.2. Massenspeicher
- 1.3. Optische Speicher

2. Optische Speichertechnologien: heute

- 2.1. CD/DVD
- 2.2. MOD/MD
- 2.3. DVD-R

3. Optische Speichertechnologien: zukünftige Systeme

- 3.1. Multi-Layer-Speicher
- 3.2. Sonden-Speicher: Scanning tunnel microscope STM, field emission probe FEP, near field scanning optical microscope NSOM, atomic force microscope AFM („Millipede“-Konzept)
- 3.3. Holographische Datenspeicherung

Optische Datenspeicherung

1. Grundlagen

1.1. Historie der Speicherung

1.1.1. Schriftzeichen

- Keilschriften
Die Abbildungen zeigen eine Tafel der Sumerischen Keilschrift (links) und ihre Symbole (rechts). Die Sumerische Keilschrift ist ca. 5000 Jahre alt und stellt das erste bekannte Verfahren zur Speicherung von Informationen in Form von Schriftzeichen dar.

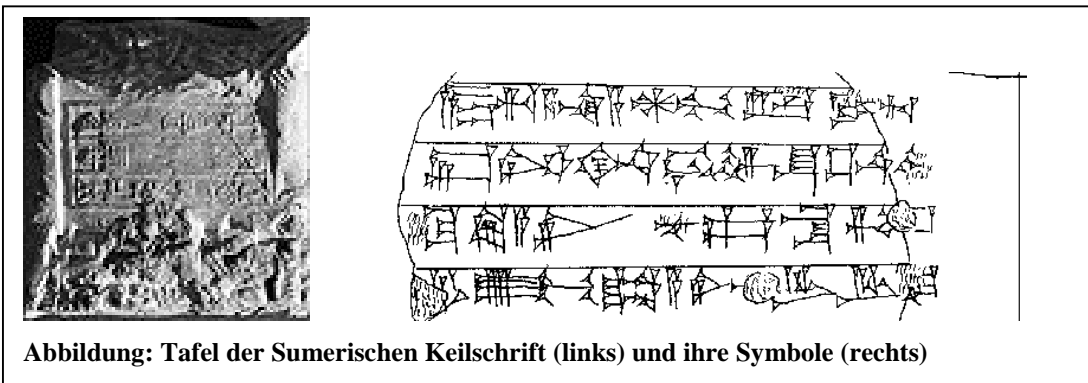


Abbildung: Tafel der Sumerischen Keilschrift (links) und ihre Symbole (rechts)

- Schreiben auf Pergament und Papier
- Druckverfahren (Ende des 15.ten Jahrhunderts) führt zu einer Revolution in der Vervielfältigung von Büchern
- Offset-Druckverfahren: Mitte des 20.ten Jahrhunderts

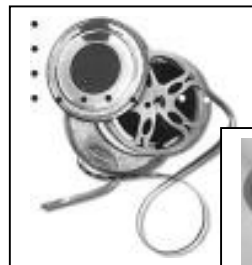
1.1.2. Bilder

- prähistorische Höhlenmalerei
- realistische Malerei
- Photographie (chemisch)
- Photographie (elektronisch/digital)



1.1.3. Musik

- Uhrwerke mit Musik (14.-16. Jahrhundert)
- „Phonograph“ (Schallplattenspieler)
- Tonband
- CD



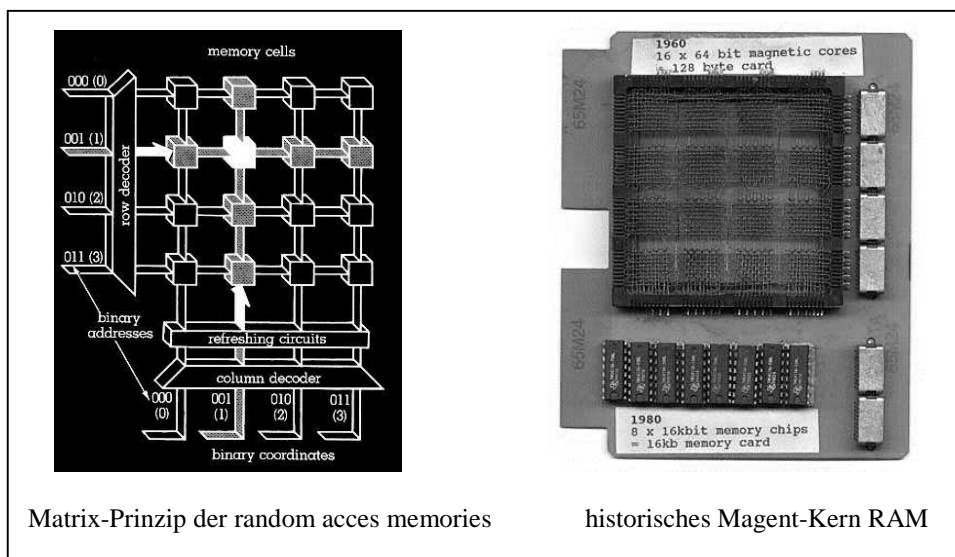
1.1.4. Bewegte Bilder: Filme

- Celluloid
- Magnetband
- CD

1.2. Massenspeicher

1.2.1. Definition

Bei allen unter 1.1. aufgelisteten Datenspeichern handelt es sich um Speichersysteme, auf deren Information direkt zugegriffen werden kann. Man spricht von **Massenspeichern**, wenn **Speichermedium** und **Zugriffseinheit** getrennt sind. Im Unterschied hierzu gelten „random-access“-Speichersysteme (flüchtige Speicher), bei denen Speichereinheit und Zugriffseinheit miteinander verbunden sind.



Matrix-Prinzip der random access memories

historisches Magnet-Kern RAM

- In RAMs sind die Speichermedien an den Knotenpunkten einer Matrix angeordnet. Die Information kann durch Adressierung von Spalte und Zeile in zufälliger Weise geschrieben und gelesen werden. Der Datenaustausch erfolgt elektronisch
- In Massenspeichern gibt es eine oder mehrere Zugriffseinheiten und die Information befindet sich auf einem oder mehreren Speichermedien. Der Zugriff auf die Daten erfolgt durch Positionierung des Schreib/Lesekopfes bzw. des Speichermediums. Der Datenaustausch in Massenspeichersystemen

kann über verschiedene physikalische Wechselwirkungen erfolgen: mechanisch, optisch, magnetische Felder, elektrische Felder

1.2.2. Speicherdichte

ist definiert als Zahl der gespeicherten Bits pro Fläche bei 2D-Speichern (Flächenspeicherdichte) bzw. als Zahl der gespeicherten Bits pro Volumen bei 3D-Speichern (Volumenspeicherdichte). Wird angegeben in bits/cm² (bits/inch² -bzw. in in bits/cm³ (bits/inch³).

$$D_{1D} = \frac{bits}{l}$$

$$D_{2D} = \frac{bits}{b \times h}$$

$$D_{3D} = \frac{bits}{b \times h \times d}$$

Besonderheit bei Disk-basierten Speichersystemen, bei denen Bits auf Spuren gespeichert werden. Hier wird die Speicherdichte in Bits pro Längeneinheit der Spur [bits/inch=bpi] angegeben.

$$D_{bits} = \frac{bits}{l}$$

Um eine Flächendichte zu erhalten wird die Dichte der Spuren pro Längeneinheit (Radius) angegeben [tracks/inch=tpi]

$$D_{Spur} = \frac{Spuren}{l}$$

und die Flächendichte aus dem Produkt bestimmt:

$$D_{2D} = D_{bits} \times D_{Spur}$$

typische Größen:

$D(\text{CD})$	=	100Mbit/cm ²	[=0.63 Gbits/inch ²]
$D(\text{DVD-5})$	=	500Mbit/cm ²	[=3.2 Gbits/inch ²]
$D(\text{HDD})$	=	5Gbit/cm ²	[=33 Gbits/inch ²] (Seagate Ende 2002)

theoretische Volumenspeicherdichte:

Speicherung eines bits in einem Volumen mit der Wellenlänge als Seitenlänge

$$D_{3D}^{th} = \frac{1bit}{\lambda \times \lambda \times \lambda}$$

$$D_{3D}^{th} = \frac{1bit}{(500 \times 10^{-7} \text{ cm})^3} = 8 \cdot 10^{12} \text{ bit/cm}^3$$

Grenzen:

- Beugungsbegrenzung bei optischen Speichern, bei denen einzelne bits geschrieben werden. Hier ist die minimale Pixelgröße von Wellenlänge λ und der numerischen Apertur NA abhängig:

$$d \propto \frac{\lambda}{NA}$$

- superparamagnetischer Effekt bei magnetische Speichern: 100-200 Gbits/inch²
Dieser Effekt resultiert aus der Verkleinerung der bit-Größe, die zu einer Abnahme der anisotropen magnetischen Energie führt, die für die Stabilität der Bits verantwortlich ist. Wenn

diese Energie in die Größenordnung der thermischen Energie eines Bits gelangt, wird das Bit instabil und die Information kann verloren gehen (mehr z.B. bei Waser et al., Kap. 24, S. 624).

1.2.3. Speicherkapazität

ist definiert als Gesamtzahl der gespeicherten Bits, das **pro Medium** gespeichert werden kann. Steht mit der Speicherdichte über das Volumen in Verbindung:

$$C = D * V$$

typische Größen:

C(CD)	=	700MByte
C(MOD)	=	5.2 GByte
C(DVD-5)	=	4.7GByte (einseitig)
C(HDD)	=	50GByte

1.2.4. Übertragungsgeschwindigkeit

ist definiert als Zahl der gespeicherten Bits pro Zeiteinheit und wird getrennt für das Schreiben und Lesen angegeben:

$$v_s = \frac{\text{bits}}{s} \qquad v_l = \frac{\text{bits}}{s}$$

typische Größen:

v_s (DVD-5)	=	11MByte/s [1x]
v_s (HDD)	=	30MByte/s (neu: Sony mit 70Mbyte/s; März 2003)

1.2.5. Haltbarkeit/gesetzliche Vorschriften

Die Haltbarkeit von Speichermedien oder Speichersystemen ergibt sich aus dem Zeitraum seit dem Zeitpunkt der Speicherung, innerhalb dem die Informationen fehlerfrei zurückgelesen werden können.

Beim Einsatz von optischen Speichermedien sind die gesetzlichen Aufbewahrungsfristen gemäß Handelsgesetzbuch (HGB), Abgabenordnung (AO) und Grundsätze ordnungsgemäßer DV-gestützter Buchführungssysteme (GoBS) zu beachten. Für aufbewahrungspflichtige Unterlagen und Belege gilt ab 1999 generell eine **Aufbewahrungsfrist von 10 Jahren**.

Hierbei ist zu beachten:

- Durch die Abschreibungsfrist von 5 Jahren bei Großanschaffungen startet die Aufbewahrungsfrist erst im 5. Jahr (=laufendes Jahr nach AO, HGB und GoBS), so dass Unterlagen und Belege für 15 Jahre aufbewahrt werden müssen.
- Optische Speichermedien mit einer Lebensdauer >10 Jahre sind auf dem Markt erhältlich. „Lebensdauer“ bedeutet aber nicht „Verfügbarkeit“: das optische Speichersystem zum Auslesen der optischen Speichermedien muss nach Ablauf der 10 Jahre noch vorhanden sein. Das betrifft nicht nur die Hardware, sondern auch die Betriebssysteme und Anwendungssoftware

• Aus diesen Gründen ist der **Mikrofilm das zur Zeit garantiert einzige Langzeitspeichermedium** mit einer Lebenserwartung von 500 Jahren und mehr und bietet die Möglichkeit auch nach einem sehr großem Zeitraum noch ausgelesen werden zu können. Der Mikrofilm ist aber kein Ersatz, sondern stellt eine vernünftige Ergänzung zu digitalen optischen Speichersystemen dar.