

Speichermedien, eine Einführung

Christopher Pommrenke

Seminar Speichermedien

07.10.2008

Betreuer: Olga Mordvinova, Julian M. Kunkel

Gliederung

- **Definition Speichermedium**
- Taxonomie der verwendeten Speichermedien
- Historische Entwicklung der Speichermedien

Taxonomie: Klassifikation aller Gegenstände zur Abgrenzung und Ordnung

Definition Speichermedium

- Ein Speichermedium ist ein Stoff oder Objekt zum Speichern:
 - Energiespeicher, zum Speichern von Energie:
 - Wärmespeicher, für thermische Energie
 - Akkumulator, für elektro-chemische Energie
 - Kondensator, für elektrische Energie
 - Schwungrad, für kinetische Energie
 - Feder, für potentielle Energie
 - Datenspeicher, zum Speichern von Daten

Definition Daten

- **Wikipedia:**
 - Daten sind logisch gruppierte Informationseinheiten, die zwischen Systemen übertragen werden oder auf Systemen gespeichert sind.
- **Alternativ:**
 - Informationen mit beliebigen Inhalten, die verarbeitbar (speichern, sortieren, verknüpfen etc.) sind und dadurch ermöglichen, Zusammenhänge zu erkennen oder Abläufe zu steuern etc...

Die Definition von Wikipedia geht sehr spezifisch auf Computersysteme und die Verwendung von Bits und Bytes als Informationseinheiten ein. Außerdem wird hier nicht auf die Art und Weise eingegangen wie die Daten zu interpretieren sind. Es wird lediglich erwartet, dass sie übertragbar und Speicherbar sein sollen

Die alternative Definition von

http://www.pro-datenrettung.net/datenrettung/lexikon_glossar_d_

dagegen versucht Daten möglichst allgemein zu halten und nicht auf ein System zu spezialisieren. Dadurch wird nicht unterschlagen, dass es z.B. auch Daten (Bilder, Texte, ...) für den Menschen gibt die dieser erfassen und verarbeiten kann

Definition: Datenspeicher

- Viele verschiedene Arten von Datenspeichern:
 - Datenspeicher für elektronische Geräte:
 - Datenträger/Speichermedien die mit elektronischen Geräten gelesen oder beschrieben werden
 - Elektronische Bauteile, die innerhalb elektronischer Geräte Daten speichern
 - Sonstige Datenspeicher:
 - Schriftmedien/ Printmedien
 - Bildmedien

Zu Datenträger/ Speichermedien für elektronische Geräte zählen sowohl Festplatten, Floppydisk, CD/DVD, etc, als auch Videokassetten, Schallplatten, usw.

Datenspeicher elektronischer Geräte sind üblicherweise Halbleiterspeicher wie Flipflops/ Latches oder Register bzw. RAM-Speicher

Schriftmedien/ Printmedien sind Bücher, Zeitungen, Pergamentrollen usw.

Bildmedien sind z.B. Leinwand, Teppich, Mikrofilm, Fotografie, usw.

Gliederung

- Definition Speichermedium
- **Taxonomie der verwendeten Speichermedien**
- Historische Entwicklung der Speichermedien

Taxonomie: Überblick



Christopher Pommrenke

Einführung in die Welt der Speichermedien

Die offensichtlichste Klassifizierung ist wohl bezüglich der ausgenutzten physikalischen Eigenschaften der verwendeten Speichertechnologien. Man unterteilt in:

Elektronische Speicher, hier erfolgt die Speicherung der Informationen mittels elektronischer Bauteile. Man unterscheidet:

Flüchtige Speicher, die ihre Informationen verlieren sobald der Strom weg ist. (z.B. DRAM, SRAM)

Permanente Speicher, die ihre Informationen auch ohne Strom behalten aber nicht neu beschrieben werden können (z.B. ROM, PROM)

Semi-Permanente Speicher, die ihre Informationen behalten wie die Permanenten Speicher, zusätzlich aber noch nahezu beliebig oft wieder beschreibbar sind (z.B. EPROM, FLASH)

Magnetische Speicher

Magneto-Elektronisch, diese Speicher verwenden magnetische und elektrische physikalische Eigenschaften um ihre Daten zu speichern (z.B. Kernspeicher)

Nicht rotierend, hier werden die Speichermedien an einem nicht beweglichen Lese/Schreibkopf vorbei geführt (z.B. Magnetband, Videokassette)

Rotierend, hier sind die Daten auf sich drehenden Platten gespeichert und werden mittels eines beweglichen Kopfes gelesen/geschrieben (z.B. Festplatte, Diskette)

Optische Speicher

hier wird zum Lesen/Schreiben ein Laser verwendet und die optischen Eigenschaften (Reflektion und Beugung) des Speichermediums verwendet. Auch hier unterscheidet man zwischen:

Nicht rotierend (z.B. Tesafilm)

Rotierend (z.B. Laserdisk, CD/DVD, HVD)

Sonstige Speicher:

hier habe ich alle Speichermedien zusammengefasst, die in keine der anderen Gruppen passen.

Magneto-Optisch, hier werden die Daten magnetisch gespeichert und optisch ausgelesen (z.B. MO-Disk, MiniDisc)

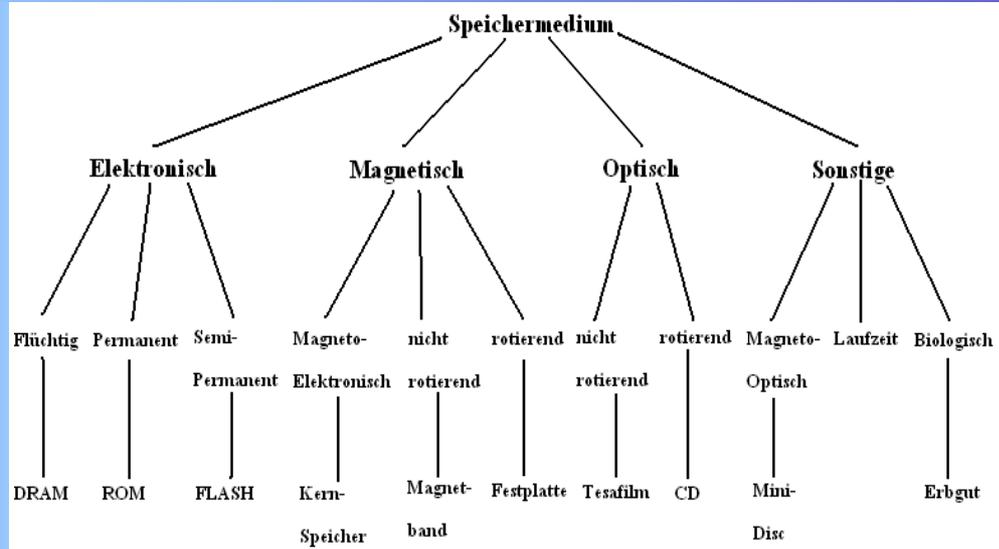
Laufzeitspeicher, hier wird sich zu nutze gemacht, dass Signale die durch ein Medium übertragen werden eine gewisse Zeit unterwegs sind.

Biologische Speicher (z.B. Bakterien, Erbgut)

Die DNA einer einzelnen menschlichen Zelle ist zirka 1,80 m lang. Eine Base auf einem DNA-Strang hat einen Informationsgehalt von 2 bit, da sie $2^2 = 4$ Zustände (A/T/G/C) annehmen kann.

Ausgehend von 3×10^9 Basenpaaren hat das Genom des Menschen einen Informationsgehalt von etwa 750 MB.

Taxonomie: Überblick



weitere Unterscheidungen

- Datenmenge
 - Maß für die Menge der Daten
 - Grundeinheit: 1 Bit (binary digit)
- Speicherkapazität
 - Maximale Datenmenge eines Speichermediums
- Speicherplatz
 - Datenmenge eines einzelnen Datenobjekts
 - Abhängig von Komplexität der gespeicherten Information und verwendeter Kodierung

Eine weitere gebräuchliche Maßeinheit für Datenmenge ist das Byte = 8 Bit. Dies kommt historisch bedingt daher, dass früher viele Geräte darauf ausgelegt waren 8 Bit gleichzeitig bearbeiten zu können, heute sind es meist 32 oder 64 Bit

Vielfache von Bit bzw. Byte werden häufig auf zwei verschiedene Weisen angegeben:

Zum einen können sie mit den gängigen Vorsätzen für Maßeinheiten des SI-Systems verwendet werden, also kilo (kbit/kB) = 10^3 , mega (Mbit/MB) = 10^6 , ...

Zum anderen gibt es auch spezielle Binärpräfixe bei denen die Vielfachen in Zweierpotenzen angegeben werden, etwa kibi (Ki) = $2^{10}=1024$, mebi (Mi) = $2^{20}=1.048.576$, ...

So kommt es auch zu dem „Verlust“ an Speicherkapazität wenn man die auf der Verpackung angegebene Größe einer Festplatte mit der im Computer angezeigten Größe vergleicht, da die Angaben auf der Verpackung in GB sind, der Computer aber mit GiB arbeitet. Z.B. gilt:
300GB = ca 279,4 GiB

weitere Unterscheidungen

- Datenrate:
 - Datenmenge die innerhalb einer Zeiteinheit übertragen wird
 - Maßeinheit: Bit/Sec
- Zugriffszeit:
 - Zeitspanne zwischen Anforderung und Bereitstellung von Daten
 - Unterscheidung von minimaler, mittlerer und maximaler Zugriffszeit
 - Dominierender Faktor bei kurzen Anfragen

Da die Zugriffszeit insbesondere bei rotierenden Speichermedien abhängig von der angeforderten Speicheradresse ist unterscheidet man minimale, mittlere und maximale Zugriffszeit. Bei einer Festplatte z.B. setzt sich die Zugriffszeit aus der Verarbeitung der Leseanfrage (welche Speicheradresse soll gelesen werden), der seek time (Zeit die Benötigt wird um den Lesekopf auf der richtigen Spur zu positionieren) und der Latenzzeit (Zeit die vergeht bis der benötigte Sektor unter dem Lesekopf erscheint) zusammen. Wenn der Lesekopf sich zum Zeitpunkt der Anfrage bereits auf der richtigen Spur und über dem richtigen Sektor, so entfallen seek time und Latenzzeit dieser Fall entspricht der minimalen Zugriffszeit. Wenn der Lesekopf sich z.B. von der innersten zur äußersten Spur bewegen (maximale seek time) muss und er noch zusätzlich den zu lesenden Sektor gerade verpasst hat (maximale Latenzzeit) so hat man die maximale Zugriffszeit. Geht man von einer zufälligen Verteilung der Zugriffe aus, ist nur die Angabe einer mittleren Zugriffszeit sinnvoll, bei der vorherige Kopf und Sektorposition gleich verteilt sind.

Betrachtet man Anfragen auf kurze bzw. zufällig verteilte Daten, so ist die Zugriffszeit der dominierende Zeitfaktor. Bei langen Dateien hingegen gibt die Datenrate den dominierenden Zeitfaktor vor.

weitere Unterscheidungen

- Zugriffsart:
 - Wahlfreier Zugriff:
 - Zugriff auf jedes beliebige Element in fast gleicher Zeit
 - Beispiele: Festplatte, Arbeitsspeicher, Buch
 - Sequentieller Zugriff:
 - Zugriff auf bestimmtes Datenelement erfordert ablaufen aller Datenelemente zwischen Ausgangs und Zielposition
 - Zugriffszeit abhängig von Entfernung der Datenelemente
 - Beispiele: Magnetband, Turingband, Pergamentrolle

Wahlfreier Zugriff entspricht dem Lesen eines Buches, da hier jede Seite beliebig aufgeschlagen werden kann. Sequentieller Zugriff dagegen entspricht dem Lesen einer Pergamentrolle, da die Rolle erst komplett aufgerollt werden muss wenn man das Ende lesen möchte.

weitere Unterscheidungen

- Lebensdauer:
 - Folgt typischerweise einer „Badewannenkurve“
 - Ausfallraten sind zu Beginn und am Ende der Lebensdauer besonders hoch
- Speicherform:
 - Digital:
 - Information mathematisch beschrieben durch Zahlenfolge
 - Analog:
 - Information beschrieben durch kontinuierliche Signaländerung

Digitale Informationen haben den Vorteil, dass durch Verwendung von Prüfzeichen fehlerhafte Informationen zu einem gewissen Grad leicht erkannt und repariert werden können.

Bei analogen Signalen ist dies im allgemeinen nicht möglich, da Signalverluste durch Rauschen und Verzerrungen unumkehrbar sind

Deshalb ist das Kopieren einer analog gespeicherten Information nicht fehlerfrei möglich, da beim Kopieren zusätzliches Rauschen addiert wird. Bei digitalen Informationen dagegen ist ein verlustfreies Kopieren möglich.

Um aus analogen Informationen digitale zu gewinnen, wird ein Analog-Digital (AD) -Umsetzer verwendet, der den kontinuierlichen Signalstrom in diskrete Zahlenwerte übersetzt. Da hierbei nur ein endlicher Zahlenraum zur Verfügung steht hat eine Umwandlung immer eine reduzierte Auflösung und Quantisierungsfehler zur Folge. Das Gegenstück hierzu ist der DA-Umsetzer

weitere Unterscheidungen

- Beschreibbarkeit:
 - Nur-Lese-Speicher (Festwertspeicher, ROM):
 - Im normalen Betrieb nur lesbar, nicht beschreibbar
 - Nicht flüchtig
 - Unterscheidung von reversibel und irreversibel
 - Beispiele: CD-ROM, PROM, EPROM, EEPROM
 - Schreib-Lese-Speicher:
 - Im normalen Betrieb lesbar und leicht und häufig beschreibbar
 - Beispiele: Arbeitsspeicher, Festplatte

PROM = Programmable Read Only Memory (einmalig beschreibbar)

EPROM = Erasable Programmable Read Only Memory (mit UV-Licht löchbar)

EEPROM = Electrically Erasable Programmable Read Only Memory

weitere Unterscheidungen

- Zeichenkodierung:
 - Definition: Darstellung eines Schriftzeichens mittels eines im Aufbau einfacheren oder für die betreffende Anwendung einfacheren Codes
- Bsp.: Kodierung der Daten auf einer Festplatte
 - Frequenzmodulation (FM)
 - Modifizierte Frequenzmodulation (MFM)
 - Run Length Limited (RLL-Verfahren)

Bei einer Festplatte werden die Bits durch positive bzw. negative Polarität gespeichert. Werden viele Einsen bzw. Nullen hintereinander gespeichert so erfolgt kein Polaritätswechsel und es wird schwierig die genaue Anzahl der Einsen bzw. Nullen zu messen. Deshalb wurden spezielle Kodierungsverfahren entwickelt um zu verhindern, dass zu viele Bits hintereinander mit dem selben Wert gespeichert werden müssen.

Das FM Verfahren war in den 70ern weit verbreitet. Hier wird vor jedem Datenbit ein Taktbit gespeichert

Beim MFM Verfahren wird das Taktbit nur noch geschrieben wenn das vorherige und das aktuelle Bit gleich 0 sind. Dadurch werden wesentlich weniger Bits benötigt um die Informationen zu kodieren.

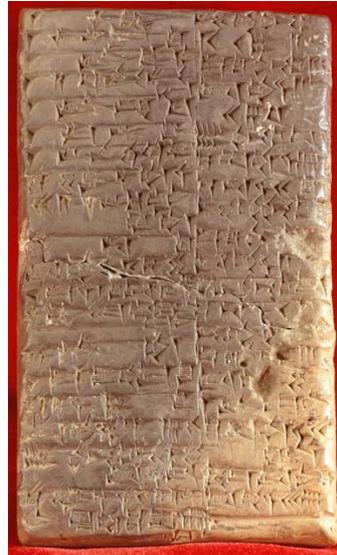
Beim RLL-Verfahren kommt kein Taktbit mehr vor. Stattdessen werden die Informationen mit komplexen Bitketten verschlüsselt, sodass zwischen zwei Einsen mindestens eine bestimmte Anzahl an Nullen kommt aber auch nicht mehr als eine bestimmte andere Anzahl.

Gliederung

- Definition Speichermedium
- Taxonomie der verwendeten Speichermedien
- **Historische Entwicklung der Speichermedien**

Keilschrift

- Erste Verwendung:
 - ca. 3000 v. Chr.
- Lebensdauer:
 - Sehr hoch
- Problem:
 - Portabilität
 - Entschlüsselung aufwändig



Die Keilschrift ist die älteste Schriftform, sie wurde von vielen Völkern des alten Orients verwendet.

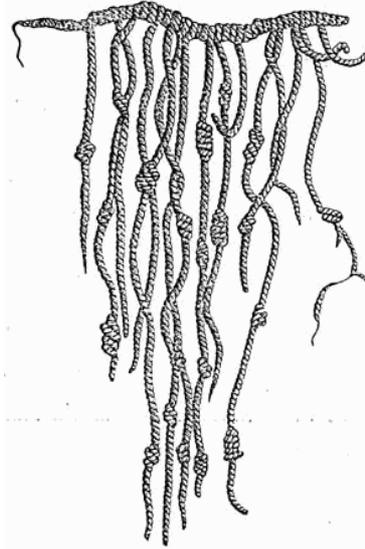
Sie war ursprünglich eine Bilderschrift, die ihren Namen von ihren keilartigen Schriftzeichen hat.

Die Keilschrift wurde meistens mit einem Schreibgriffel in ein weiches Stück Ton gedrückt welches dann gebrannt wurde. Da der Schreibaufwand für eine Tafel also sehr hoch war dürfte die Schreibgeschwindigkeit entsprechend niedrig gewesen sein.

Sie wurde bis ca 400 v. Chr. verwendet, weswegen sie heute nur noch Experten entschlüsseln können. Die Lesegeschwindigkeit ist also entsprechend gering.

Quipu

- Erste Verwendung:
 - ca. 1400
- Lebensdauer:
 - Hoch
- Problem:
 - Darstellung nicht eindeutig
 - Entschlüsselung heute nicht mehr möglich



Quipu bedeutet Knoten und ist der Name der einzigartigen Knotenschrift der Inka. Mit ihr wurden chronologische oder statistische Daten festgehalten. Zahlen wurden durch Anzahl und Position der Knoten an einer einzelnen Schnur dargestellt. Durch die Wahl der Farbe einer Schnur wies man darauf hin auf welchen Gegenstand sie sich bezog. Da diese Darstellung leider nicht einheitlich war, musste für das entschlüsseln immer der Zweck und Bezug des Quipus mündlich mit überliefert werden. Nur Speziell ausgebildete Leute konnten die Schrift lesen und entschlüsseln.

Lochstreifen

- Erste Verwendung:
 - 18. Jahrhundert in Webstühlen
- Lebensdauer:
 - Hoch
- Verwendung:
 - Fernschreiber
 - Steuerstreifen für Maschinen



Lochstreifen bieten den Vorteil, dass sie Notfalls ohne technische Hilfsmittel gelesen werden können, weswegen sie heute noch vereinzelt in der militärischen Nachrichtentechnik verwendet werden.

Außerdem bieten Lochstreifen den Vorteil, dass man sie in Grenzen von Hand korrigieren kann. Das hierfür nötige „Programmierwerkzeug“ besteht aus einer Handstanze, einem Klebeband, einer Papierschere und Ersatzstreifen.

Lochstreifen: Technisches

- Lochstreifenformat:
 - Zwei Streifenformate:
 - 5 parallele Datenlochpositionen (17,4 mm Breite)
 - 8 parallele Datenlochpositionen (25,4 mm Breite)
 - Führungsloch zwischen Datenloch 3 und 4
 - Deckungsgleich auf Breite des schmaleren Streifen
- Lochstreifenstanzer:
 - Schreibgeschwindigkeit:
 - 6 2/3 Zeichen/Sekunde (Fernschreiber)
 - Moderne Geräte bis 150 Zeichen/Sekunde

Lochstreifen: Technisches

- Lochstreifenleser:
 - Mechanisch:
 - Mechanische Fühler
 - Lesegeschwindigkeit: $6 \frac{2}{3}$ Zeichen/Sekunde
 - Elektrisch:
 - Mechanische Fühler durch Kontaktstifte ersetzt
 - Lesegeschwindigkeit: höher als bei Mechanisch
 - Optisch:
 - Lichtschranken
 - Lesegeschwindigkeit: bis zu 1000 Zeichen/Sekunde

Für die Elektrischen Lesegeräte habe ich leider keine konkrete Zahlenangabe für die Lesegeschwindigkeit gefunden. Bei optischen Lesegeräten wird das Führungsloch nicht mehr zum Transport des Bandes verwendet, sondern nur noch zur Datensynchronisation.

Lochstreifen: Zeichenkodierung

- 5 Datenlöcher:
 - Baudot-Code:
 - $2^5 = 32$ Codezeichen
 - 26 Buchstaben + 10 Ziffern nicht darstellbar
 - Deshalb: Codezeichen doppelt verwendet
 - Zwei verschiedene Leerzeichen zum umschalten

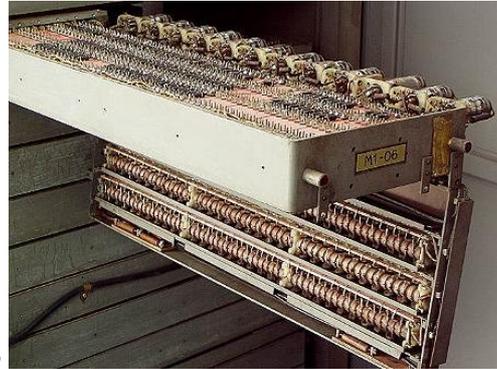
Baudot-Code

Steuerzeichen				
o . . .	Leerzeichen, Buchstabentabelle benutzen			
. o . . .	Leerzeichen, Zahlentabelle benutzen			
oo . . .	Letztes Zeichen löschen			
Buchstabentabelle		Zahlentabelle		
. A	oo . . . K	. . . . . 1	o . . . .	.
. É	oo . . . L	. . . . . 2	o	9/
. E	oo . . . M	. . . . . 3	o	7/
. I	oo . . . N	. . . . . 4	o	2/
. O	oo . . . P	. . . . . 5	o	'
. U	oo . . . Q	. . . . . 1/	o	:
. Y	oo . . . R	. . . . . 3/	o	?
. B	o S	. . . . . 6	oo . . .	(
. C	o T	. . . . . 7	oo . . .)
. D	o V	. . . . . 8	oo . . .	-
. F	o W	. . . . . 9	oo . . .	/
. G	o X	. . . . . 0	oo . . .	+
. H	o Z	. . . . . 4/	oo . . .	=
. J	o . . . . -	. . . . . 5/	oo . . .	£

Ich habe leider keine genaue Information gefunden wie die Zeichenkodierung bei einem Lochstreifen mit 8 Datenlöchern aussah. Ich habe nur gelesen, dass in der Fernmeldetechnik der ASCII-Code verwendet wurde. Dieser basiert jedoch auf 7 Bit und ich weiß nicht wie das 8te Bit verwendet wurde.

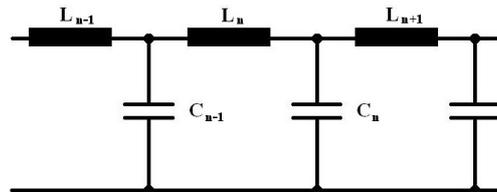
Laufzeitspeicher

- Baujahr 1953
- Kapazität:
 - Eine 12 stellige Dezimalzahl
- Besteht aus Kette von LC-Gliedern
- Röhrenverstärker zum Auffrischen des Signals



Funktionsweise Laufzeitspeicher

- Signallaufzeit pro Kettenglied:
 - $\tau = \frac{2}{\omega} \arcsin\left(\frac{\omega\sqrt{LC}}{2}\right)$
- Frequenzabhängig



Nach der Maschenregel gilt:

$$U_{n-1} - L \frac{dI_n}{dt} - U_n = 0 \quad (1)$$

$$U_n - L \frac{dI_{n+1}}{dt} - U_{n+1} = 0 \quad (2)$$

Nach der Knotenregel gilt:

$$I_n = I_{n+1} + I_C = I_{n+1} + \frac{dQ_n}{dt} = I_{n+1} + C \frac{dU_n}{dt} \quad (3)$$

Bildet man die Zeitliche Ableitung von (3), ersetzt dI_{n+1}/dt aus (2) und setzt das Ergebnis in (1) ein, so erhält man:

$$\frac{d^2 U_n}{dt^2} = \frac{1}{LC} (U_{n-1} - 2U_n + U_{n+1})$$

Eine Differentialgleichung für den Spannungsverlauf in der LC-Kette.

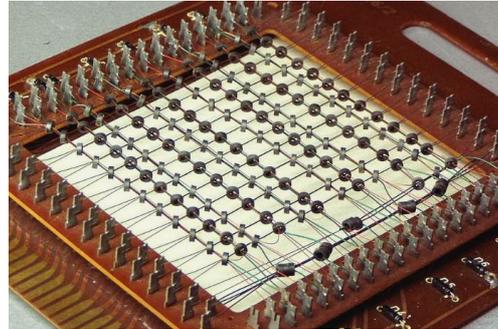
Löst man diese DGL so erhält man die Signallaufzeit je Kettenglied:

$$\tau = \frac{2}{\omega} \arcsin\left(\frac{\omega\sqrt{LC}}{2}\right)$$

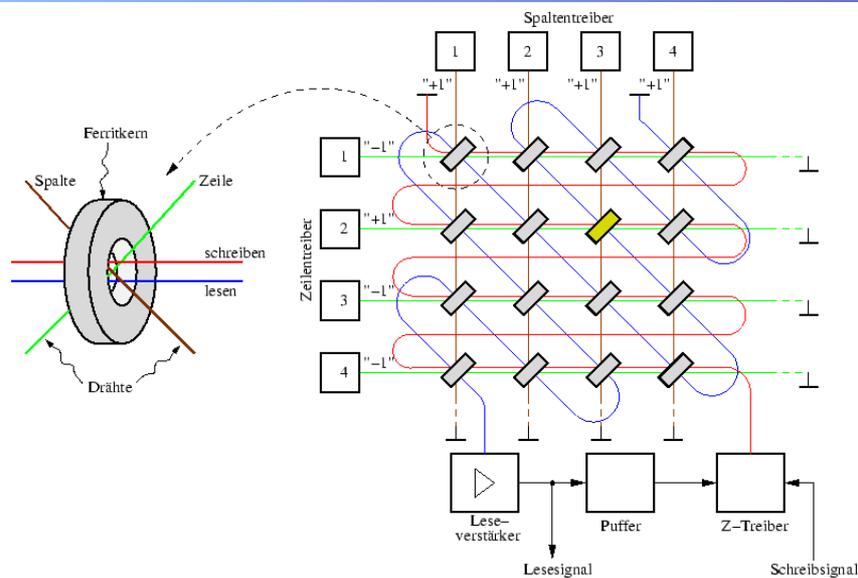
Ich habe leider keine Informationen gefunden wie die gespeicherte Zahl kodiert wurde. Dabei wäre dies sicherlich sehr interessant, da z.B. durch die Frequenzabhängigkeit der Laufzeit eine Kodierung der Zahlen durch unterschiedliche Frequenzen recht unpraktikabel gewesen sein dürfte.

Kernspeicher

- Baujahr 1961
- Kapazität:
 - 144 Bit = 144 Kerne
 - 12 Wörter à 12 Bit
- Abmessung:
 - 16 cm x 20 cm
 - 26 cm² je Wort
- Zugriffszeit:
 - Mikrosekundenbereich



Funktionsweise Kernspeicher



Christopher Pommrenke

Einführung in die Welt der Speichermedien

25

Der Speicherzustand entspricht einer positiven bzw. negativen Magnetisierung des Kerns.

Die Magnetisierung eines Kerns folgt einer Hysteresekurve.

Durch ein äußeres Magnetfeld (erzeugt durch stromdurchflossenen Draht) lässt sich die Magnetisierung ändern.

Die Adressierung der einzelnen Kerne erfolgt wie bei einer Matrix.

Soll der im Bild gelbe Kern beschrieben werden, so muss an der entsprechenden Spalte (3) und Zeile (2) ein positiver Strom für eine 1 (negativ für 0) angelegt werden.

Dadurch fließt durch beide den Kern durchlaufenden Drähte ein Strom gleicher Richtung. Bei allen anderen Kernen muss entsprechend darauf geachtet werden dass jeweils einer der Drähte einen positiven, der andere einen negativen Strom führt.

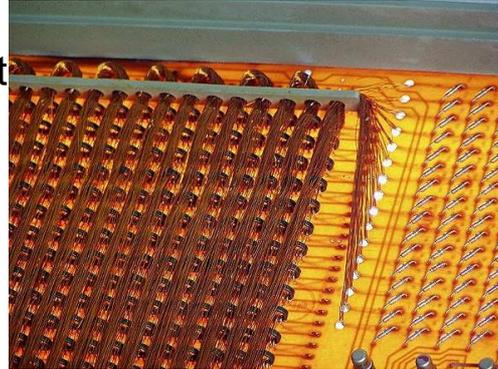
Dadurch entstehen Magnetfelder, die sich bei dem gelben Kern aufaddieren und bei allen anderen Kernen gegenseitig Auslöschen. Das hierdurch entstandene

Magnetfeld am gelben Kern reicht allerdings noch nicht aus um die Magnetisierung zu verändern. Deshalb muss zum Schreiben ein zusätzlicher Impuls vom Z-Treiber erfolgen, dessen Draht durch sämtliche Kerne verläuft. Mit diesem zusätzlichen dritten Magnetfeld reicht die Feldstärke aus um die Magnetisierung zu verändern.

Das Auslesen eines Kerns geschieht, indem an dem zu lesenden Kern eine 1 geschrieben wird. War in dem Kern vorher eine 0 gespeichert, wird er nun Ummagnetisiert, hierbei wird im Lesedraht ein Strom induziert. War in dem Kern bereits eine 1 gespeichert, so passiert nichts. Demzufolge bedeutet Strom am Leseverstärker eine 0 und kein Strom eine 1. Da der Kern nun allerdings in jedem Fall auf 1 steht, muss anschließend gegebenenfalls wieder eine 0 geschrieben werden, damit die Information nicht verloren geht.

Gefädelt ROM

- Baujahr ca. 1966
- Kapazität:
 - 2048 Wörter à 18 Bit
- Kerne als Trafos



Läuft ein Draht durch einen Kern, so bildet dieser die Primärwicklung eines Transformators. Die Sekundärwicklung befindet sich an der Unterseite der Kerne. Läuft nun durch einen Draht ein Strom, so wird eine Spannung an der Sekundärwicklung induziert, was einer logischen 1 entspricht. Wird der Draht außen am Kern vorbei geführt, so gibt es keine Primärwicklung und es wird kein Strom induziert, was einer logischen 0 entspricht.

Wenn man eine Speicherinformation ändern wollte, so konnte man einfach den entsprechenden Draht abtrennen und stattdessen einen neuen Draht durch die Kerne fädeln.

Diese Art der Speicher wurde auch in den Bordrechnern der Apollo-Raumkapseln verwendet.

Zusammenfassung

- Datenspeicherung schon lange ein Bedürfnis der Menschheit.
- Klassifizierung der Speichermedien auf viele verschiedene Weisen möglich
- Viel Kreativität bei der Entwicklung neuer Speichermedien erforderlich

Quellen

- <http://de.wikipedia.org/wiki/Speichermedium>
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Datenspeicher>
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Bin%C3%A4rpr%C3%A4fix>
- http://www.pro-datenrettung.net/datenrettung/lexikon_glossar_d_data-recovery_bis_dvd.html
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Daten%C3%BCbertragungsrate>
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Zugriffszeit>
- http://de.wikipedia.org/wiki/Wahlfreier_Zugriff
- http://de.wikipedia.org/wiki/Sequentieller_Zugriff
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Nur-Lese-Speicher>
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Ger%C3%A4telebensdauer>
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Digitalsignal>
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Analogsignal>

Quellen

- <http://de.wikipedia.org/wiki/Analog-Digital-Umsetzer>
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Zeichenkodierung>
- <http://www.indianer-welt.de/sued/inka/inka-quipu.htm>
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Baudot-Code>
- <http://rechentechnik.foerderverein-tds.de/speicher/node2.html>
- http://www.tu-chemnitz.de/informatik/RA/news/stack/kompendium/vortraege_98/festplatte/section