

Vorlesungsmaterial
von
Prof. Dr. Horst Völz

Historische Speicher

Dieses Material beruht u. a. auf

Völz, H.: Handbuch der Speicherung von Information Bd. 2 Technik und Geschichte vorelektronischer Medien. Shaker Verlag Aachen 2005

Völz, H.: Handbuch der Speicherung von Information Bd. 3 Geschichte und Zukunft elektronischer Medien. Shaker Verlag Aachen 2007

Beide Bücher sind neben anderem auch vollständig auf der CD enthalten:

Völz, H.: Wissen - Erkennen - Information. Datenspeicher von der Steinzeit bis ins 21. Jahrhundert. Digitale Bibliothek Bd. 159, Berlin 2007

Der Inhalt wurde erheblich gekürzt, auf den neuesten Stand gebracht und die Bilder farbig umgesetzt

Bei Angabe der Quelle ist das Material zum privaten Gebrauch voll nutzbar
Bei kommerzieller Nutzung bzw. in Publikationen usw. ist eine Abstimmung mit mir notwendig
Bilder sind in höherer Qualität ca. 2000×3000 Pixel oder *.cdr Version 12 verfügbar

Dieses Material wurde heruntergeladen von
<http://www.aes.cs.tu-berlin.de/voelz> bzw. <http://www.medienwissenschaft.hu-berlin.de/vlz>
Email: [hvoelz \(at\).fpk.tu-berlin.de](mailto:hvoelz(at).fpk.tu-berlin.de)
Prof. Dr. Horst Völz, Koppenstr. 59, 10243 Berlin, (Tel./Fax 030 296 31 07 ändert sich demnächst)

Abgrenzung

Prinzipiell beginnt die Speicherung mit dem Weltbeginn vor ca. $1,5 \cdot 10^{10}$ Jahren

Eine große Vielzahl existiert in so großer Vielfalt, dass besondere Vorlesungen (Dateien) notwendig sind

- **Physikalische**, also **kosmische** und **geologische Speicher**
- **Biologische Speicher**: Immunsystem, Genetik, Neurosysteme
- **Kulturelle, soziologische Speicher**
- **Textgestaltung: Schreiben**: Alphabet, Kuzschrift, Schreibmaschine, Druck, Noten, Formeln, Tanzschrift, Grafiken, Schemata,
- **Kunst und Handwerk**: Gemälde, Zeichnungen, usw.; Plastiken, Architektur usw.; Intarsien, Stoffe, Teppiche usw.
- **Fotochemische Speicher**: Klassische Fotografie, Polaroid, Holografie, Daumenkino, **Kino-Film**, Tonfilm usw.
- **Schall-Speicher**: wie Spieluhren, Musik-Automaten, automatisches Klavier, Schallplatte (Schellack, Vinyl, LP, Folien); Noten, Tefifon, klingende Zeitung

Dagegen werden **behandelt**:

- **Mechanische Speicher**, wie Loch-Karte, -Band und -Scheibe, Relais (kurz)
- **Laufzeit-Speicher**, insbesondere Ultraschall und Quecksilber
- **Vakuum-Röhren**, u.a. als **Flip-Flop** und **Speicherröhre**
- **Magnetische Speicher**, wie Ferritkerne, Bubble, Wandverschiebespeicher usw.
- **Barcode** und Verwandtes in vielen Anwendungen

Für Menschen sichtbare, aber nicht lesbare Speicher

Hierzu zählen u.a. Loch-Karten, -Bänder, -Folien, auch Stift-Walzen sowie Bar-Codes

Sie existieren sehr lange und erzeugen dann vielfach Signale (Schall) oder bewirken Steuerungen (Automaten)

Sie erfordern mechanische Herstellung und mechanisches Auslesen

Neuere Varianten (Barcode usw.) werden auch elektronisch aufgezeichnet und ausgelesen

Diese Speicher gibt es in vielen Varianten

- **Musik-Automaten**: Glockenspiele, Spieldosen. Glockenspiel, Spieldose, Spieluhr, Stiftwalze, Walzenkamm, Lochplatte, Drehleier, Leierkasten, Orgeln, Notenrollen
- Automatische Klaviere, Welte-Mignon
- Lochkarten, Lochbänder, Bar-codes
- Diskrete Bauelemente, Kondensator, Relais, Glühlampe, Tunneliode, Gunn-Effekt, Spezialröhren, Laufzeitspeicher
- Ferritkerne, Transfluxer, Dünnschichtspeicher, Bubble,

Frühe Automaten

Bei den frühesten Automaten ließ **Wasserüberlauf** Luft verdrängen, die dann u.a. Pfeifen ertönen ließ

Der Speicherzustand ist die Füllung des Wassergefäßes. Hierzu sind viele Beispiele bekannt

Bereits um 500 v.Chr. hat es so im Kaiserpalast Chinas künstliche, zwitschernde Singvögel gegeben

PLATON (427 - 347 v.Chr.) besaß eine Weck- und Nachtuhr, die so etwa alle Stunden einen Flötenton erzeugte

Bei ARCHIMEDES (287 - 212 v.Chr.) Uhr fiel aus dem Schnabel eines künstlichen Raben eine kleine Kupferkugel auf ein Zymbal

KTESIBIOS VON ALEXANDRIA (ca. 300 - 250 v.Chr.) baute die hydraulische Wasserorgel „Hydraulis“, mit offenen und gedackten Pfeifen sowie Registerzügen

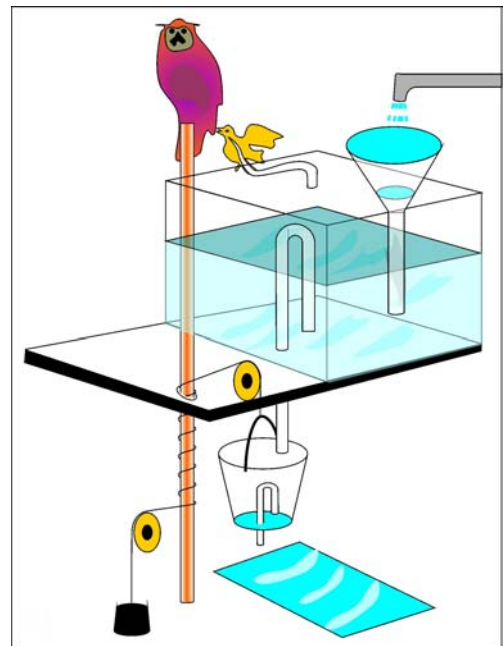
Wasserangetriebene **Stiftwalzen** sind bereits Speicher mit vielen Zuständen. Sie ermöglichen daher komplizierte Abläufe

Beim Kalifen von Bagdad ABDALLAH AL-MAMÜN (regierte 813 – 833) bewegten sich so goldene und silberne **Vögel** auf wiegenden Bäumen und sangen dabei kunstvolle Melodien

U.a. soll auch Kaiser THEOPHILOS IKONOMACHOS um 835 zwei derartige Automaten besessen haben

Eventuell gehörten ähnliche Automaten zur Grundausstattung der Paläste arabischer Kalifen

Es gibt unsichere Berichte, wonach später so sogar die **menschliche Stimme** so erzeugt worden ist; Details in (Völz 2)



Mechanische Musikautomaten

Erste komplexe Musikautomaten entstehen im 13. Jh.

Sie speichern jedoch keine Musik, sondern erzeugen sie mittels eines festgelegten, gespeicherten Schemas

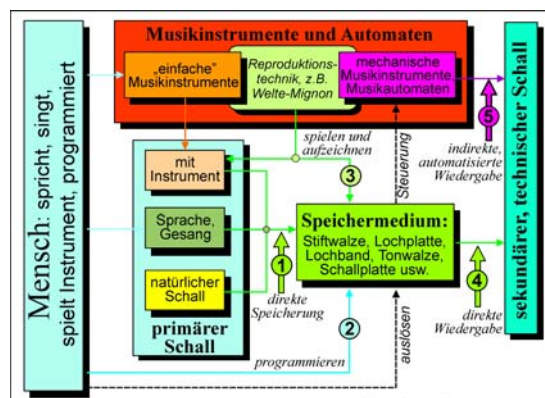
Erste ausführliche Beschreibungen stammen von LEONARDO DA VINCI (1452 - 1519), zwei Bücher mit ca. 700 Seiten
Seine Skizzen betreffen u.a. mechanisierte Trommelwerke und Geigen mit Endlos-Streichbändern

Nächste Beschreibungen von ROBERT FLUDD (1574 - 1637) „Historia utriusque Cosmi“ (1617 Oppenheim)
Verschiedene Stiftwalze und Antriebsarten (Wasserrad, Schwimmer auf Wasser, sinkendes Bleigewicht, rieselndem Sand)
Die exakte Herstellung der Stiftwalzen beschreibt PÉRE MARIE DOMINIQUE JOSEPH ENGRAMELLE (1727 - 1805)

Später große und kleine **Glockenspiele**, **Spieldosen**, **Drehleiern** und **-orgeln**, **Orchestrions** und **automatische Klaviere**

Baugruppen mechanischer Musikautomaten

- **Schallerzeuger** sind vor allem Zungen, Pfeifen, Glocken, Hohlräume, Saiten, Stäbe und massive Körper, **Schallverstärker** nicht immer notwendig, u.a. als Trichter und Gehäuse
- **Speichermedien** als Walzen, Scheiben, Bänder, Karten und Planchetten, **Speicherorte** (≈Bit) Stift (oft Messing oder Stahl), Nocke, Keil, Erhöhung, Loch, Kerbe (Kurvenform). Abtastung erfolgt z.B. mit Tasthebel, elektrischen Kontakte oder Luftdruck
- **Energie** ursprünglich in **Natur vorhandene Kräfte**: Wind = äolisch, Wasser = hydraulisch, u.a. Wasserrad, selten Sand.
Ab 13. Jh. **Gewichte**, **Handkurbel** oder **Pedale**, u.a. Leierkasten, Harmonium
Ab späten 16. Jh. **Federkraft**, später **Druck-** und **Saugluft** (pneumatisch). Ab späten 19. Jh. **Elektrizität**
- **Programmierung** ursprünglich manuell von Spezialisten.
Um 1900 begann automatische Aufzeichnung, WELTE-Reproduktionstechnik



Glockenspiele

Erste Glocken um 3000 v.Chr. in Südostasien, ab etwa 100 n.Chr. im Römischen Reich Türglocken
Nach 800 in Europa Glocken zur Zeitangabe und für religiöse Zwecke (Gottesdienst und Begräbnis)
Um 1250 **Hemmung** der Räderuhren erfunden → Erstes **Glockenspiel** Straßburger Münster kurz nach 1350
u. a. folgten 1405 Lübeck, 1490 Prag und 1509 Nürnberg

Erstes **von Uhr unabhängiges** Glockenspiel mit 38 Glocken 1487 durch Glockengießer KOECKE im Rathausturm der Stadt Aalst

Steuerung meist drehbare, zylindrische **Stiftwalze**, zunächst zusammengeleimte Eichenholzplatten
Für korrekten Musikablauf entstanden viele Methoden zur Bestiftung
Bei kleinen Spielwerken konnten Walzen ausgetauscht werden
Es gab Walzen Ø > 1m. Garnisonskirche in Potsdam Masse = 1 300 kg, Zuggewichte > 2 000 kg, Kraft zum Aufziehen!

Ab späten 15. Jh. **kleine Glockenspieluhren** (Schwarzwald)
1650 erste nachgewiesene Schwarzwälder Glasglockenuhr von SIMON DILGER oder Familie KREUZ
Ursprünglich hölzernen Spieluhren mit 8 - 16 Glocken für kurze Volkslieder
Bau durch 30-jährigen Krieg (1618 - 1648) und mehrere weitere Kriege Herstellung unterbrochen
Erst ab ca. 1720 erneut im Schwarzwald Glockenspieluhren hergestellt

Sind Handymelodien vielleicht die elektronische Fortsetzung der Spieluhr?

Spieldosen, Spieluhren

Beide Häufig synonym benutzt. **Spieluhr**, mit Uhr, die zu bestimmten Zeiten, z.B. zur vollen Stunde, eine Melodie spielt
Spieldose ohne Uhr, kann neben Musik auch zusätzliche Figuren usw. bewegen
Für beide sind der klingende **Spielkamm** und die Stiftwalze, später die Lochplatte entscheidend

Früheste nachgewiesene „Spieluhr“: DANTE ALIGHIERI (1265 - 1321) „La divina Commedia“ (göttliche Komödie; 1307 - 1321)
Erfinder der (schweizerischen) **Spieldose** gilt ANTOINE FAVRE-SALOMON (1734 - 1820)
Er verband den neuen **Stahlzungenkamm** mit der Stiftwalze und schuf so erstmalig ein automatisches „Musikinstrument“
Glocken ersetzt durch vibrierende Stahllamellen, klingen weniger nach, daher besser für Melodien
1796 hat sie FAVRE mit 2 Melodien in eine Tabakdose eingebaut: „carillon sans timbres ni marteaux“ (Glockenspiel ohne Glocken und Hammer)
1802 JEAN-FRÉDÉRIC LESCHOT und ISAAC-DANIEL PIGUET (1775 - 1841) verbessert und mit fünf Tönen in Fingerring
1815 wurde von FRANCOIS NICOLE ein Dämpfer (Spiraux) eingeführt, weniger Nachklingen
1822 wurde für die tiefen Töne von LECOULTRE auf der Unterseite der Lamellen Blei aufgelötet (kurze Lamellen)

1850 erste, für heute typische Spieluhr gefertigt, sie verdrängte dann weitgehend die Glockenspieluhren
 Prinzip ist gut an der kleinen, per **Handkurbel manuell** bedienbaren Spieldose (Drehspieldose, Manivelle) zu erkennen
 In vielen Fällen besitzen Spieluhren ein **aufziehbares Federwerk** mit Windflügelwerk für konstante Drehzahl
 Selten sind Schnurzug- oder elektrischer Antrieb

Speichermedien = Walzenkamm und Stiftwalze

Walzenkamm zunächst sehr aufwendig Anfertigung: Jede Zunge einzeln angefertigt, gestimmt und aufgeschraubt
 1810 gelang es FRANCOIS LECOULTRE 4 bis 5 Tonzungen aus einem Stück zu fertigen = kräftigerer Klang
 1814 ganzer Tonkamm aus einem einzigen Stück herzustellen, Zungen nur noch fein abstimmen und mit Dämpfern versehen
 1825 derartige Kämmen mit bis zu 250 Zungen (ca. 6 Oktaven) möglich

Stiftwalze bestimmt zeitliche Genauigkeit der Melodie

Ursprünglich genau gebohrte Messingzylinder, darin wurden die Stahlstifte gesteckt

Später Walze mit Harz ausgegossen und Stiftlänge auf $< 1/10$ mm legalisiert

1815 Harz durch Zement ersetzt → größere Masse = besserer Klang, später Mischung aus Harz, Teer und Steinstaub

Walzenlänge 5,4 bis 50 cm, Ø bestimmt Spieldauer. üblich sind 17, 24, 36 oder 50 Sekunden

Kennzeichnung n Melodien und **m Noten** = $n.m$

Kleinste Dose (Schlüsselanhänger, Musikuhren) 1.17; gebräuchlich sind 1.18, selten 1.22 und 1.28

Hochwertigen Schmuckdosen 1.36, bei großen Musikspielen 1.50

Wechselwalzen z. B. 2.36, 3.36 und 3.50, hochwertiger Standard 3.72, mit 2 Kämmen 3.144

Je Melodie wird Zylinder um 0,4 mm seitlich verschoben, 1650 von ATHANASIOS KIRCHER (1602 - 1680) Prinzip beschrieben

1738 Walzen schraubenförmig in 4 Umdrehungen von JACQUES DE VAUCANSON (1709 - 1782) für Androiden angewendet

1870 Revolver-Spieldose: AMÉDÉE PAILLARD u. HENRI JOSEPH LECOULTRE. 3 - 6 auswechselbare Stiftwalzen in drehbarer Trommel

Es gibt noch viele weitere Varianten, z. B.

1840 von NICOLE FRÈRES die Piano-Forte-Spieldose mit lauter und leiser Walze

Gehäuse sehr vielfältig von einfachsten bis zum edlen und prachtvollen

Spieldosen mit Lochplatte

Leistungsfähigkeit = Speicherkapazität der Stiftwalze ($n.m$) recht begrenzt

So entstanden nacheinander und weitgehend unabhängig: Stiftwalze → Lochplatte → Notenrolle

Aufbau-Komplexität + Volumen ↔ nutzbare Oberfläche, daher ähnlich bei fast allen Speichermedien, z. B.:

Schallaufzeichnung: EDISON-Walze → BERLINER-Platte → (Magnetband-) Band

Daten: Trommelspeicher → Plattenspeicher, Diskette → Digitalband

Für die **Archivierung** zählt jedoch das Volumen: **flache Scheibe** stapelbar, **Band** aufwickelbar, jedoch rückspeulen

Jedoch für kleine Spieluhren besitzt Stiftwalze deutlich Vorteile

1842 runde perforierte Kartonscheibe in Patentschrift für Orgelinstrumente von CLAUDE FELIX SEYTRE

1882 Ideen zu **austauschbaren** Lochplatten von MIGUEL BOOM und 1885 von ELLIS PFARR

1882 Nutzung als Organette beim „Ariston“ von PAUL EHRLICH.

1883 Orgelbaumeister MAMERT HOCK (1836 - 1907) gewendelte Lochplatte

1886 OSCAR PAUL LOCHMANN (1848 - ?) Durchbruch mit Spieldosen der Symphonion-Musikwerken Leipzig-Gohlis

1888 Platte aus Zink, ab 1895 aus Stahl, durch Perforation am Außenrand angetrieben

1889 PAUL WENDLAND (in Fa. Lochmann tätig) Anreißrad, das Spielkamm indirekt Spielkamm betätigt

1889 GUSTAV BRACHHAUSEN und PAUL RIESSNER selbstständig und gründen die **Polyphon Musikwerke**

1892 ging GUSTAV BRACHHAUSEN in die USA und baute dort 1894 die **Regina Music Box Company** auf

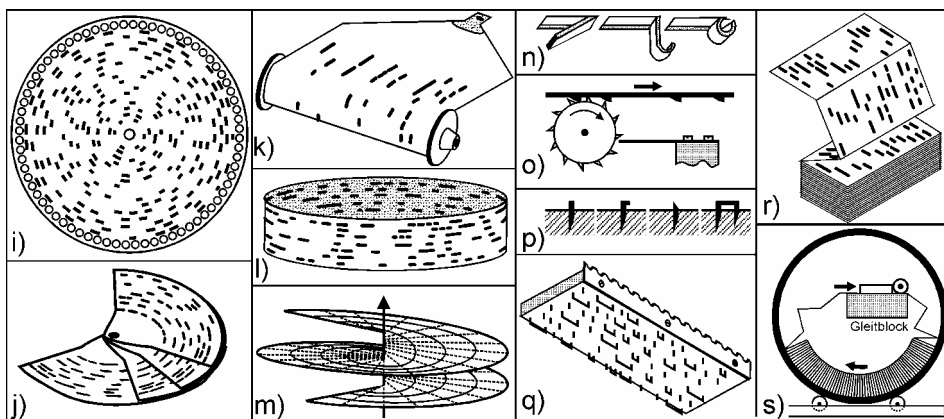
1910 Polyphon-Plattenwechsler mit 6 (später 10) Wahlmöglichkeiten, Münzeinwurf, Doppelspielkamm + Glockenspiel 16 Töne

1920 und später Probleme durch Plattenspieler

Deutsche Grammophon: Kombinationsinstrument, das sowohl Lochplatten als auch Schallplatten abspielen konnten.

Lochplatten gibt es in vielen Formen und Größen: z.B. viereckig oder ringförmig, typisch Ø 10 bis 85 cm

1998 Chemnitzer Weihnachtsmarktspieldose Eintrag im Guinnessbuch der Rekorde Ø 4,60 m



i) Lochscheibe mit Randantrieb

j) Teillochscheiben, nacheinander = Spielzeit-Verlängerung

k) Lochbandbeginn für Selbstspielklaviere

l) endloses Lochband

m) spiralförmige Lochplatte

n) Ausstanzungen bei Lochplatten

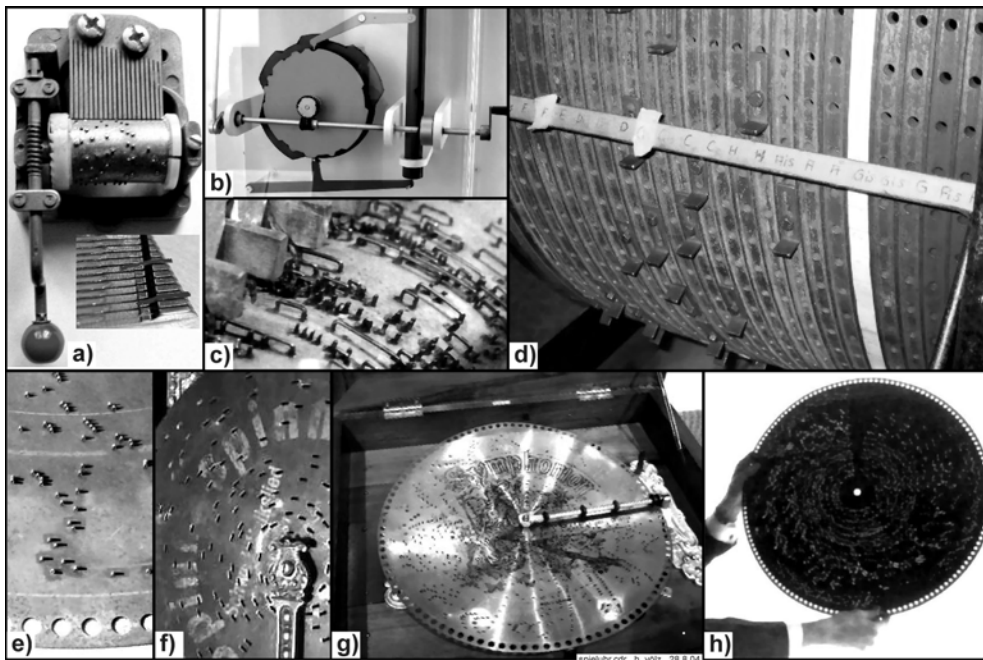
o) Prinzip des Sternrades

p) Bestiftungs-Varianten

q) Planchette

r) gefaltete Karten „keyframe and music book“

s) Endlossteuerung für gefaltete Karten.

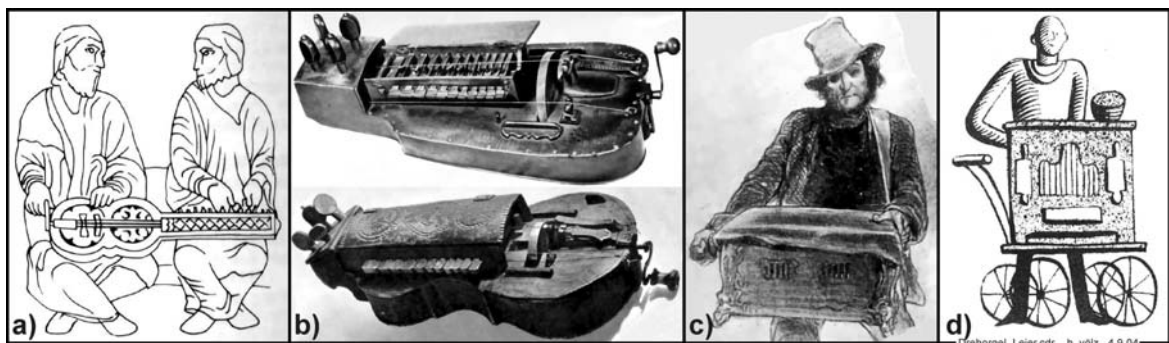


- a) Kleine manuelle Spieldose mit herausgestelltem, vergrößerten Spielkamm, von der Unterseite gezeigt
- b) Kurvenscheiben eines Flötenwerkes: vordere schließt/öffnet Ventil, hintere ändert Tonhöhe verschiebt Kolben der Pfeife
- c) Orgelwalze mit Brücken für längere Töne,
- d) Trommel große Spieluhr
- e) Scheibe mit Erhöhungen
- f) Lochscheibe
- g) Lochscheibe auf Symphonium
- h) große Lochscheibe

Drehleier ≠ Leierkasten

Glocken und Zungen besonders einfach, lediglich anschlagen oder zupfen → kurze Töne
Musikautomaten verlangen auch lang anhaltende Töne, leiten sich teilweise von der **Drehleier** ab
Wurde auch Rad-, Bauern-, Bettlerleier, englisch Hurdy-gurdy genannt, hat fiedel-, lauten- oder gitarrenartigen Körper
Von Hand gedrehtes Rad mit Harz bestrichen berührt Saiten und erzeugt so eine in Tonhöhe veränderbare Klang
Gilt als Vorläufer für 1. Drehorgel (Leierkasten) und 2. mechanische Streichinstrumente u.a. im Orchestrion

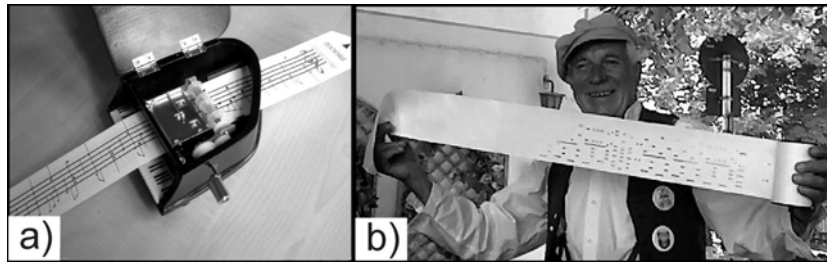
Erste Beschreibung stammt aus 9./10. Jh. „*odonis quomodo organistrum construator*“
Ursprünglich in der **Kirche** von zwei Personen gespielt, genoss bis zum 12. Jh. hohes Ansehen, Ende hier 15. Jh.
Im 13. Jh. für Vor- und Zwischenspiele sowie für die **Begleitung weltlicher Lieder**
So erfolgte der Übergang zum Instrument der **Wandermusiker, Pilger, Blinden und Bettler**
Im 18. Jh. gewann sie infolge **Schäfermode** und **Empfindsamkeit** als vielle organisée oder Lira organizzata wieder höheres Ansehen
Mit bis zu zwei Oktaven chromatischen Tonumfang wurde sie an den **Adelshöfen** gespielt
Schließlich gelangte sie in die **Kunstmusik**, z. B. „Die Bauernhochzeit“ (1755) von LEOPOLD MOZART (1719 - 1787);
W. A. MOZART (1756 - 1791): Menuett KV 601, Vier Deutsche Tänze KV 602, F. SCHUBERT (1797 - 1828) „Der Leiermann“



Drehorgel = Leierkasten ≠ Drehleier

englisch **barrel organ**, holländisch **Pierement** ähnlich großer Orgel (Herkunft ungeklärt, viele Namen)
Sie Pfeifen-, Wind- und Registerwerk, keine Tasten und wird vom **Lochband** (s. u.) gesteuert
Kriege des 18. und 19. Jh. leerten Staatskassen. **Kriegsinvaliden anstatt Rente**: Drehorgel-Gewerbeschein → große Verbreitung
1806 Schwarzwald Drehorgelbau IGNAZ BRUDER (1780 - 1845) begründet
International höchste Drehorgelqualität in Berlin: drei Generationen **BACIGALUPO**, letzter G. BACIGALUPO (1889 - 1978)
Spieler sind jetzt keine Bettler mehr, sondern **Attraktion**

Kunstwerke für Leierkasten: Ballett „**Petruschka**“ (1911) von IGOR FJODOROWITSCH STRAWINSKY (1882 - 1971)
KURT WEILL (1900 - 1950), BERT BRECHT (1898 - 1956) Moritat von **Mackie Messer**:
„Und der Haifisch, der hat Zähne . . .“ in der „Dreigroschenoper“ (Uraufführung 1928)
G. BACIGALUPO (1889 - 1978) fertigte Leierkastenwalze an
Gegenwärtigen Musik Werke für die Drehorgel, z.B. von PIERRE CHARIAL (*1943) und M. CONSTANT



Pneumatische Instrumente ⇒ Orgeln

Ab 16. Jh. mehrere, mit Federwerk angetriebene **Flötenuhren**, sehr teuer, besaßen daher nur Könige und Fürsten
Hatten sehr guten Ruf, deshalb u.a. Kompositionen von JOSEPH HAYDN (1732 - 1809), CARL PHILIPP EMANUEL BACH (1714 - 1788)
WOLFGANG AMADEUS MOZART (1756 - 1791) KV 608 „Für eine Uhr“

1730 Kuckucksuhr (mit 2 Pfeifen) von ANTON KETTERER

1737 JACQUES DE VAUCANSON (1709 - 1782) drei Automaten:

U.a. 1,78 m große Flötenspieler (provenzalischer Hirte) spielt mit einer Hand zwölf Musikstücke auf einer Schäferpfeife

Mit der anderen Hand schlägt er dazu den Takt auf einer Trommel

Ab 1800 Schwarzwald Flötenuhren für das reiche Bürgertum

Spezielle **pneumatische Instrumente** ab 1810 u.a. Akkordeon, Harmonium, Mund- und Ziehharmonika

Luftstrom regt „**durchschlagende Zungen**“ zum freien Schwingen an

Speichermedien von Stichtwalzen (z. T. mit Brücken) und Lochscheiben

Ausnahme Kurvenscheiben bei der Flötenuhr, erstmalig 1752 PIERRE JAQUET-DROZ (1721 - 1790)

Orgeln und Pneumatik

Griechisch **organon** Werkzeug, Instrument, Sinn

Erste **Orgeln** auch „Hydraulis“ → Wasser stieg im geschlossenen Behälter und erzeugte Luftdruck = **pneumatisch**

Im antiken Rom und Byzanz manuell über Tasten gespielt, kamen im 8. Jh. über Konstantinopel nach Europa

Ab Ende 13. Jh. von italienischen Schlossgärten über ganz Europa. U.a. **Flöten** für Vogelgezwitscher

Berühmte Wasserorgel **im Garten der Villa d'Este in Tivoli** (Italien), 1550 gebaut, vom 6 m hohen Wasserfall angetrieben

Register der Pfeifenwerke entstanden im 15. Jh. klangliche Erweiterung führte zur **Barockorgel** im 17. und 18. Jh.

Berühmter **Orgelbaumeister** GOTTFRIED SILBERMANN (1683 - 1753)

Abart der Drehorgeln sind größere **Kirchen- und Salondrehorgeln** (Church Barrel Organ), ab ca. 1760 in England

Ende 18. Jh. entstehen auch kommodengroße Drehorgeln für kleinere Zimmer (chamber barrel organ)

1842 schuf CLAUDE FELIX SEYTRE aus Lyon eine zu Hause auf den Tisch stellbare Abart die **Organette**

Ab 1882 wird die „**Tisch-Drehorgel**“ **Ariston** serienmäßig produziert: $40 \times 40 \times 25 \text{ cm}^3$, runde Lochscheibe $33 \text{ cm } \varnothing$

Bis 1910 ≈ halbe Million verkauft; Plattenkatalog 4 000 Titel

1925 Ende durch die Wirtschaftskrise, Grammophon und Radio

20. Jh. entstanden **Kinoorgeln** und Übergang zu den elektronischen Orgeln

Wurlitzer Orgel von FRANZ RUDOLF WURLITZER (1831 - 1914) berühmt u.a. wegen der sehr vielen Register

U. a. zusätzliche Manuale und Pedale für Schlaginstrumente wie Gong, Vibraphon oder kleine Trommel,

aber auch Motoren-, Eisenbahn-, Regen-, Wind-, Donnergeräusche, Pistolenschüsse, Hupen, Tierschreie, Pferdegetrappel

Hammond-Organ ab 1935 von LAURENS HAMMOND (1895 - 1973) benutzt nur rotierende, optoelektrisch abgetastete Zahnräder

Automatische Orgeln, Orchestrion

Um 1460 erste **automatische** Orgel (Holzwalze) für burgundischen Herzogs PHILIP 1558 LE BON von JAN VAN STEENKEN gebaut

Erstes Geigenwerk LEONARDO DA VINCI (1452 - 1519) „viola organista“ mit endlosen Geigenband

Immer mehr Instrumente einbezogen, Glocken, Zungen, Orgelpfeifen, Flöten, Blas-, Schlag-, Zupf-, Tasten-Instrumente usw.

Auch bewegliche Figuren → komplexere Automaten. Viele Details in **[Reuter]**

1557 Mechaniker GIOVANNI TURRIANO (= Juancllo) baut Kloster San Jerónimo de Yuste (Spanien) für Kaiser KARL V. (1500 - 1558)

bewaffnete Puppen zu Pferde, die Trompeten blasen und Pauken schlagen

Ab 1802 JOHANN NEPOMUK MÄLZEL (1772 - 1838) **Panharmonicon** 276 Instrumente, bekannt Metronom

Dafür 1813 LUDWIG VAN BEETHOVEN (1770 - 1827) „Wellingtons Sieg oder die Schlacht bei Vittoria“ op. 91

Ab 1828 übliche Begriffe: **Symphonium** und **Orchestrion**

Ab 1870 **Jahrmarkt-Organ**, auch Karussellorgel oder fairground organ, meist fahrbar, Ab 1880 für Festsäle **Tanz-Organ**

Auch **Münzeinwurf** in Gasthäusern ⇒ Vorläufer der Musikplatten- und Juke-Boxen der 50/60-iger Jahre

Speichermedium Übergang zu **Lochbänder** (s.u.)

Antrieb kaum noch per Hand, **Schwungrad** hilft bei kleineren Ausführungen

Starke Federwerke, Hängengewichte, ab 1880 **Dampfmaschine**, ab 1900 **Elektromotor**

Ermöglichen immer größeren **Lautstärken** bis zu 110 dB_A , z. B. Calliope oder **Dampfdrehorgel**

1845 JOSHUA C. STODDART (1814 - 1902) für Leuchttürme Küste Neuschottlands 20 km weit hörbar

1840 **Karikatur** „Dampf-Musik“ von GRANDVILLE (1803 - 1847)

Androiden

Es entstanden relativ selten musizierende **Androiden**

ARCHIMEDES (287 - 212 v.Chr.) und APPOLONIUS VON PERGA (257 - 205 v.Chr.) beschreiben bereits künstliche Flötenspieler
PIERRE JAQUET-DROZ (1721 - 1790) einen auf einer Uhr sitzenden, Flöte blasenden Schäfer

Sohn HENRI-LOUIS JAQUET-DROZ (1752 - 1791) + Uhrmacher JEAN-FREDERIC LESCHOT (1747 - 1824) Orgelspielerin, 5 Stücke
1784 PETER (Pierre) KINTZING (1746 - 1816) + Kunstschler DAVID RÖNTGEN (1743 - 1804) mechanische Hackbrettspielerin

Fam. KAUFMANNs mehrere Trompeten-Spieler

1. „Belloneon“ = Musikwerk mit Trompeten und Pauken 1806 König von Preußen gekauft, Schloss Charlottenburg aufgestellt
12 freischwingende Zungen erzeugten die elf Töne der Naturtrompete in C täuschend echt

NAPOLEON I. (1769 - 1821) in Jena-Auerstedt Oktober 1806 besiegt. nahm im Schloss Charlottenburg Quartier
Nachts schmetterte eine preußische Kavallerie-Attacke → Fehl-Alarm

2. 1810/12 lebensgroßer, automatischer Trompetenspieler in mittelalterlicher Kleidung. CARL MARIA VON WEBER (1786 - 1826):

„Die höchst einfache compendiöse Maschine blies auf einer ihr angesetzten Trompete mit vollkommen schönem, gleichem Tone und fertigem Zungenstoß. Aber noch interessanter und an das Unbegreifliche grenzend ist das Hervorbringen von Doppeltönen in der gleichen Stärke und Reinheit. ... (ich war) sehr überrascht, als ich nach einigen einstimmigen Sätzen auf einmal ein paar muntere Aufzüge in Octaven, Terzen und Quinten sowie einen sehr schönen Doppeltriller f/d zu hören bekam“.

Jahrmarkt lebensgroße Alleinunterhalter „Tino Rossi“, spielt Akkordeon, schnitt Grimassen, blinzelte mit Augen + Instrumente

Lochband

Stiftwalze und größte Lochplatten reichen nicht für längere Musikstücke oder gar komplizierte Musikautomaten

1617 ROBERT FLUDD (1574 - 1637) beschreibt Planchette, seitliche Federkiele eines Lattenrostes reißen Saiten einer Harfe an

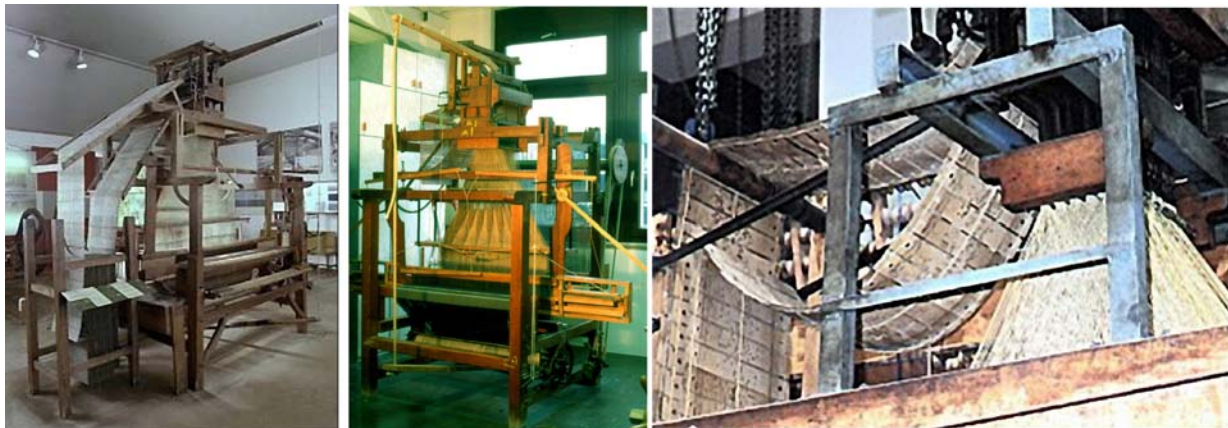
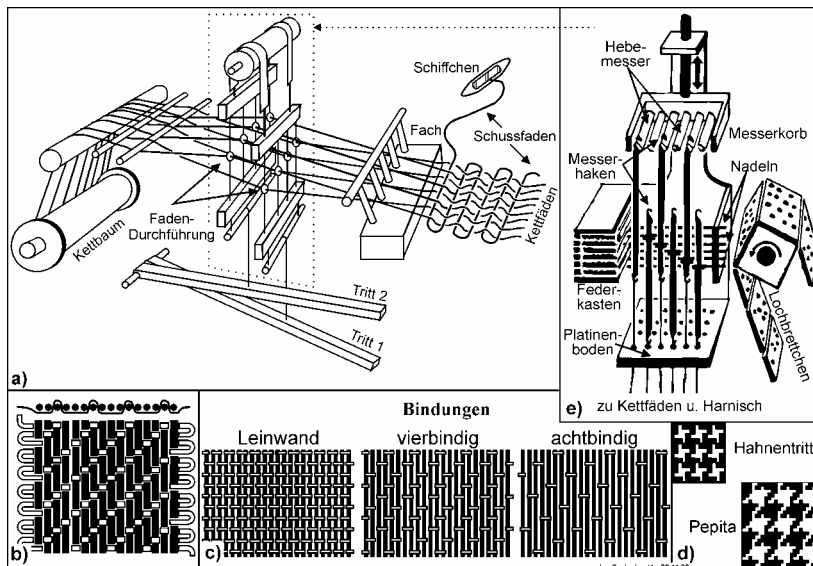
1731 JUSTINIAN MORSE (nicht der Morse-Code!) Orgel patentieren mit gelochter Planchette

1789 JOSEPH-MARIE JACQUARD (1752 - 1834) Lochkarten gesteuerte **Webstuhltechnik** = Vorbild für Musikautomaten?

1842 CLAUDE FELIX SEYTRE aus Lyon zickzackförmig gefalteten Lochkarten

1892 ANSELMO GAVOILI mechanische Abtastung von Kartonbändern „keyframe and musik book“ = „Leporello Notenbuch-System“

Ein Abtasthebel (Clavis) mit Federn von unten gegen Kartonnoten gedrückt. öffnet Ventil zur Orgelpfeife



Notenrolle

Es überlebte aber nur **Lochband**, das auch **Notenrolle** genannt wurde

1725 BOUCHON und 1728 FALCON erste Versuche

ab 1847 Versuche von SEYTRE, ALEXANDER DEBAIN, CHARLES DAWSON UND J. A. TESTE

1833 hat sich MICHAEL WELTE (1807 - 1880) für Firma „Welte & Soehne“ Notenrollensteuerung patentiert

1877 Patent „Einrichtung an mechanischen Musikwerken“ von PAUL EHRLICH endloses und leinenverstärktes Papierband

1887 WELTE verbesserte Variante mit Unterdruck (Saugwind)

1895 Firma Imhof & Muckle Notenrollenpatent, Ablösung von „keyframe and music book“

1900 GIOVANNI BACIGALUPO (s.o. Leierkasten) entwickelt mit LINO GATORNA die Lochbandorgel, 40 m Papierstreifen

Um 1880 Breiten von 15 bis 20 cm, 15 oder 20 Noten eingerichtet, später maximal 37 cm, bis zu 123 Lochreihen

Ab 1900 Lochbänder auch bei größeren Kirchenorgeln

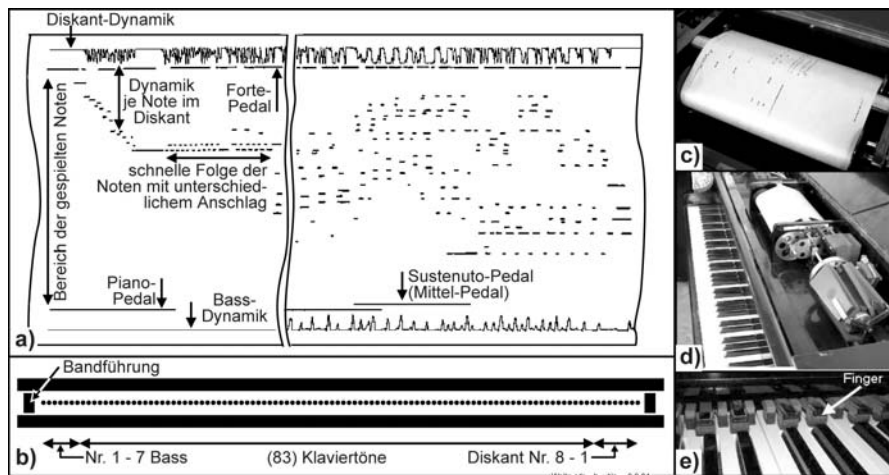
1908 Vielzahl der Formate, daher amerikanischen Hersteller in Buffalo Normung: 28,5 cm, 88 Lochreihen + Pedal usw.

Spieldauer 15 Minuten

1924 international: ENFEK-Notenrolle (Einheits-Notenrolle Für Elektrische Klaviere)

Um 1900 begann elektrische Abtastung, um 1978 einige Firmen Magnetband, später Diskette (Disklavier) Yamaha

1982 durch PC →MIDI-Format



Automatisches Klavier

Für das Selbstspielen besitzen Klaviere auch Clavicord, Cembalo, Spinett, Virginal usw. großen Vorteil

Tasten und Pedale sehr einfach mechanisch zu automatisieren

Musikgeschichte Klavier = das Instrument der „ernsten“ (klassischen) Musik, + Jazz usw.

Notwendig im gut bürgerlichen Haus, nicht jeder lernt gut Klavierspielen

→ Selbstspielklaviere, wie Pianola, Phonola oder englisch Player Piano große Verbreitung + „Vorsetzer“ oder „Aufsetzer“

Um 1600 SAMUEL BIDERMAN (1540 - 1624) **walzenbestiftetes Spinett**, je Walze für 6 Musikstücke und 45 Tasten

In Augsburg schuf ACHILLES LANGBUCHER (ca. 1587 bis 1631/9) mechanische Orgeln

19. Jh. entstand das typische Walzenklavier, hölzerne Stiftwalze betätigt Hämmer direkt auf die Tasten

1842 CHARLES FELIX SEYTRE „Autophon“ mit Kartonstreifen, Anschlag der Klavierhämmer über Druckimpulse

1843 Aufsetzer „dump organist“ der englischen Firma Forster & Andrews

kurbelbetrieben, für jede manuell spielbare Orgel einsetzbar, Stiftwalze mit bis zu zehn geistliche Stücken

1846 Vorsetzer „Antiphonel“ von ALEXANDRE FRANCOIS DEBAIN (1809 - 1877) hölzernen Planchetten (erfand auch Harmonium)

1860 Pneumatischen Lochstreifen in USA, Frankreich erhielt 1863 J. B. NAPOLEON FOURNEAUX

Stiftwalze öffnet Ventile, Hebelsystem ließ Clavis (lateinisch **clavis** Schlüssel, Schloss auf Taste fallen

1887 Firma Welte universell einsetzbares pneumatisches Notenrollensystem patentiert

1891 Leipziger Herbstmesse ALEXANDER PETERSON (1862 - 1893) pneumatisch mit Saugluft

Bis 1930 weltweit über 2 Millionen Pianolas verkauft, Ende brachte Grammophon

4 Arten der Lochbandsteuerung

- **Elektromechanische** bzw. **elektrische** Klaviere, Selbstspielmechanismus mit endloses Lochband, Zuweilen zusätzlich Orgelpfeifen oder Glocken. Häufig als Münzautomat, vor allem „Unterhaltung“ oder „Beschallung“
- „Normale“ **Pianolas** (Selbstspiel) jedoch endliche, auswechselbare Notenrollen
höhere Klangqualität für „ernste“ Musik eingesetzt. Auch Pedale und Hebel um Dynamik zu beeinflussen
Auf den Notenrollen häufig hierzu Empfehlungen der Hersteller gedruckt: von kompetenten Musiker = „Künstlerrolle“
Auch eine Frühform des heutigen Karaoke: Notenrollen mit Liedtext
- **Vor-** bzw. **Aufsetzer** nur Selbstspielmechanismus für Lochband und filzbezogenen Finger,
Erste moderne Vorsetzer von KARL BOCKISCH (1874 - 1957) bei der Firma WELTE für den Großherzog von Baden
- **Reproduktionsklavier** (z.B. Welte-Mignon): nicht nur Wiedergabe, sondern auch Aufzeichnung, ab 1904
v ≈ 9 cm/s

Herstellung der Notenrolle

Selbstspielendes Klavier = Hardware. Software = Notenrollen, Zu Beginn rein manuell hergestellt:

musikkompetenter Arrangeur (Programmierer) zeichnet Markierungen für die Löcher auf den Papierstreifen
technische Kraft perforiert das Band mit speziellen Lochgeräten

Abschließend editiert der Arrangeur das Lochband durch analytisches Betrachten und Abhören

Löcher sowohl überkleben als auch zusätzlich stanzen

Insgesamt wurden für ein Musikstück mehrere Wochen benötigt, dann Vervielfältigung mit Kopiermaschinen

Eventuell für Pianolas noch der Aufdruck für Dynamik und Agogik an

Erste Fabrik wurde 1912 in la Garriga in Katalonien gegründet

1904 neue Qualität durch EDWIN WELTE (1876 - 1958), Sohn von BERTHOLD WELTE: Reproduktionsklavier Welte-Mignon
evtl. von *französisch mignon* allerliebst, niedlich, reizend)

Ab 1895 wesentlich der Teilhaber KARL BOKISCH (1874 - 1952) an Entwicklung beteiligt, Teilideen von HUGO POPPER

Fehlerhaft gespielte Noten wurden nachträglich vom Notenrolleneditor – Anfangs von WELTE selbst – korrigiert

Katalog mit über 100 prominenten Künstlern – Pianisten, Komponisten und Dirigenten

u.a. GUSTAV MAHLER, MAX REGER, EUGEN D'ALBERT, CLAUDE DEBUSSY, FERRUCCIO BUSONI, RICHARD STRAUSS, EDVARD GRIEG, IGNAZ PADEREWski und MAURICE RAVEL

Bald Firmen für ähnliche Geräte, z.B. 1905 „DEA“-Instrument, 1908 Philipps „Duca“, 1913 Aeolian Company „Duo-Art“ usw.

Synthetische Notenrollen, die mehr als ein Pianist leisten, direkt „programmiert“ (komponiert)

GEORGE ANTHEIL (1900 - 1959) „Ballet Mécanique“. IGOR FJODOROWITSCH STRAWINSKY (1882 - 1971) „Étude pour Pianola“ Op. 7

CONLON NANCARROW (1912 - 1997) wird von HOCKER mit mehreren interessanten Werken besonders hervorgehoben

Tod durch Grammophon und Konkurrenz. Übergang zu **Kinoorgeln**. 1932/33 letzten Welte-Mignon verkauft

1944 Firma vollständig zerstört.

Für Computer usw.

Betrifft alle Varianten der Lochkarten und -bänder, der Strich-, Bar-, 2D- und Matrix-Codes, elektrisch leitend auf Film-Patronen

Alle benutzen ein festes, vorwiegend kleines Medium aus Papier, Kunststoff oder Metall mit typischen Eigenschaften:

- Es trägt Information, die für den Menschen unmittelbar sichtbar, jedoch nicht interpretierbar ist.
- Sie wird mit technisch einfachen Mitteln – u.a. durch Bedrucken oder Lochen – aufgezeichnet und mit elektronischen, vorwiegend optoelektronischen Techniken gelesen
- Automatische Auswertung, z. T. Steuerung auch recht komplexe Vorgänge
- Ermöglichen äußerst preiswerte und technisch einfache Lösungen

Trotz geringer Speicherdichte und nichtelektronischen Speicherzustand $\Rightarrow$ elektronische Speichertechnik

RFID-Label konnten sich gegen Barcodes (bisher) nicht durchsetzen

Bis etwa 1960 (z.T. bis 1980) **Lochkarten für Rechner** bewährt, Vorteil gegenüber Band: Austausch von Teilen des Codes

Anwendungen bis heute in **Hotels** usw. Im gewissen Sinn auch **IBM-Milliped**

IBM-Lochkarte

Bereits CHARLES BABBAGE (1792 – 1871) sah für seine Analytical Engine eine Lochkartensteuerung vor

Erste Großanwendung 1890 bei 11. Volkszählung in den USA, sie erfolgen alle 10 Jahre

Bei Zählung 1880 hatten HERMAN HOLLERITH (1860 – 1929) und JOHN SHAW BILLING bei der Auswertung zusammengearbeitet

Für etwa 50 Millionen Menschen benötigten 500 Helfer nahezu 7 Jahre $\rightarrow$ Idee Lochkarte

Neue Technik stand ab 1887 zur Verfügung $\rightarrow$ erstmalig maschinenlesbare Informationen, Lochkarte 240 Lochpositionen

Linke Ecke zur Positionierung abgeschrägt, bleibt bei allen Folgemodellen erhalten, Eingabe manuell mit speziellem Gerät

Löcher mittels Drähten gegenüber Quecksilberbad abgetastet, Viel später Lichtschranken, z.T. pneumatisch oder elektromechanisch

1890 für 65 Millionen Menschen mit 43 Lochkartenmaschinen in 4 Wochen vollständig, ersparte den USA etwa 5 Millionen \$

1896 HOLLERITH Tabulating Machine Company $\rightarrow$ 1924 IBM (International Business Machines Corporation)

$\Rightarrow$ Spätere Vormachtstellung in der Computer-Branche

Volkszählung 1910 mehrere Mitbewerber, HOLLERITH unterlag EDWARD DURAND

1928 führt IBM die 45-spaltige Lochkarte ein, 0,17 mm dünnen Spezialkarton von $18,7 \times 8,3 \text{ cm}^2$, 80 Byte

rechteckförmige Löcher $1,35 \times 3,17 \text{ mm}^2$, Spaltenabstand 2,23 mm, Zeilen 6,35 mm, Zeichendichte 7,1 Zeichen/Zoll

1931 alphanumerischer 6-Bit Code 90 Zeichen, Zahlreiche Verbesserungen entwickelte später GUSTAV TAUSCHEK (1899 - 1945)

Manuelle Aufzeichnungsgeschwindigkeit 15 000 Zeichen/h, maschinell 10 000 Lochkarten/h

Später Beschriftungslocher, die oben für Menschen lesbaren Text drucken



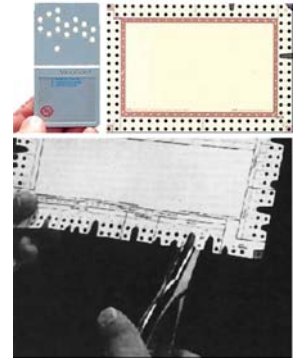
Weitere Lochkarten

Neben der Hollerith-Lochkarte gab es lange Zeit viele andere Varianten

Bis in 90er Jahre z. B. die **Randlochkarten** u. a. in Bibliotheken für den Bestand
Im Mittelteil bibliographische Daten und kurze Inhaltsangabe, Klassifikation durch Schlitz und
Löcher in Randzone
Mittels Nadeln konnten hierüber aus großem Stapel schnell relevanten Quellen gefunden werden

1976 sehr späte, aber erfolgreiche Form die **VingCards** Schlüsselkarte, billig, leicht austauschbar,
4·10⁶ Kombinationen

Sehr schnell die Kodierung der Hotelzimmer änderbar, Hotelkriminalität sank erheblich
Existiert noch in vielen Hotels, aber wird weitgehend durch Magnetkarten ersetzt.



Lochbänder

Lochband = Lochstreifen entstand für **Musikautomaten**, Speicherkapazität der Lochkarten, -platten, Stiftwalzen viel zu klein
1725 verwendete BOUCHON und 1728 FALCON Lochbänder, die aber Notenrollen hießen
Um 1880 gab es sie bis zu 37 cm Breite und 123 Lochreihen, 1908 Standardisierung 28,5 cm, 88 Lochreihen
1904 bei Reproduktionsklavieren, z. B. WELTE-Mignon-Flügel ca. 100 Lochreihen
Später vereinfachter und bis heute bei den Drehorgeln = Leierkästen

Ab 1846 für elektronische **Datenübertragung** von ALEXANDER BAIN (1810 – 1877) benutzt
Erfinder des Fernschreibers meist EDWARD KLEINSCHMIDT (1875 – 1977) genannt, entwickelte 1914 Lochstreifen-Fernschreiber

Große Bedeutung auch bei der **Drucktechnik**

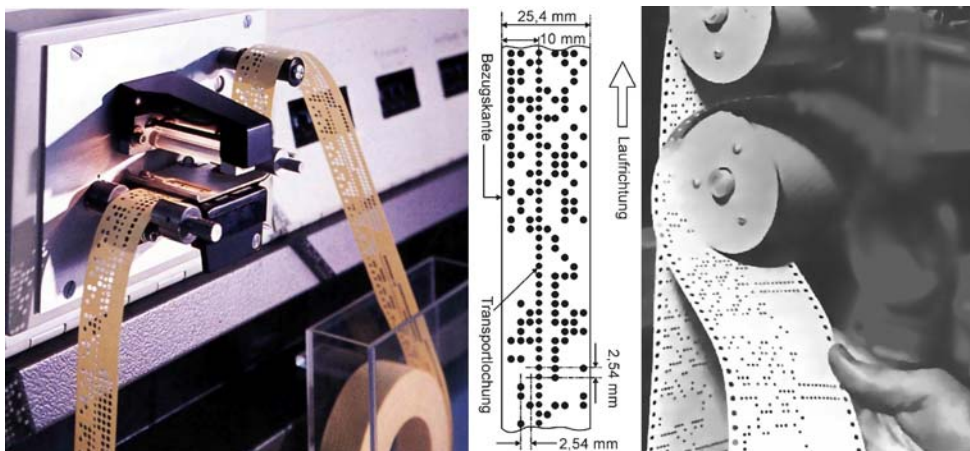
Ab 1883 TOLBERT LANSTON (1844 – 1913) Druckmaschinen (Monotype), vom vorher erstellten Lochband gesteuert
Es entwickelte sich daraus ein universeller ITT-Code (teletypesetter) mit 5 Lochreihen und einer Transportspur, vom Fernschreiber
Später nahm auch hier die Zahl der Lochreihen beträchtlich zu

In der **Rechentechnik** nicht immer Lochkarten üblich, sie beherrschten (zunächst) nur positive Zahlen

KONRAD ZUSE (1910 – 1995) benutzte bereits um 1940 gelochten 35-mm-Film

Beim Colossus von 1943 wurden die Zeichen fotoelektrisch vom Lochstreifen mit Taktspur eingelesen

HOWARD HATHAWAY AIKEN (1900 – 1973) Automatic Sequence Controlled Calculators (ASCC 1939 - 1944) Lochband 24 Reihen
Vorwiegend entstanden Lochstreifen mit 5 bis 8 Lochreihen.



Barcodes – Geschichte zum EAN

1916 erster Selbstbedienungsladen „Piggly Wiggly Store“ von Clarence Sanders in Memphis (Tennessee) eröffnet

In der Weiterentwicklung wurden dadurch maschinenlesbares Label zur Produktkennzeichnung notwendig

1932 WALLACE FLINT (Sohn eines Lebensmittelgroßhändlers in Massachusetts) Magisterarbeit an der Harvard Universität

1949 Patentanmeldung NORMAN JOSEPH WOODLAND und BERNARD SILVER: mehrere, symmetrisch ineinander geschachtelte Kreise

1958 Anwendung im „food chain store“ in Philadelphia

1960 Etwa heutiger Strich-Code zur Identifizierung von Eisenbahnwaggons

1963 inhaltliche Beschreibung von Strich-Code-Techniken in Zeitschrift „Control Engineering“

1970 heute z.T. noch wichtiger Plessey-Code als UGPIC (**u**niversal **g**rocery **p**roducts **i**dentification **c**ode)

1971 UGPIC u.a. in vielen europäischen Bibliotheken eingeführt

1972 waren Codabar durch Monarch Marketing Systems und Code 2/5 interleaved

1973 Ad Hoc Ausschuss unter Leitung von GEORGE J. LAURE **UPC** (**u**niversal **p**roduct **c**ode) fertig gestellt, 1974 eingesetzt

1977 für Europa **EAN** (**E**uropean **a**rticle **n**umber), kompatibel zu USA (EAN-13, UPC-12)

EAN/UCC-System nutzen heute eine Million Mitgliedsfirmen in nahezu hundert Staaten, Jeder Artikel individuelle Kennung

Inzwischen viele Varianten EAN-2, -5, -8, -13 und -128

In Japan wird der EAN13 als **JAN** bezeichnet, besitzt das Präfix 49

1984 spezieller Strich-Code-Standard für den **Medizin**-Bereich

Deutsche Post Code 2/5 interleaved, **Ident-Code** dient der eindeutigen, individuellen Kennzeichnung eines Postpakets

ISBN-Code (international standard book number) = EAN-13 mit Präfix 978, ISSN Zeitschriften

Flächige Codes

Speicherkapazität der Strichcodes ab 80er Jahre zu gering → 2D-Codes mit Rasterung:

Gestapelter Code (englisch stacked code) mehrere Strich-Codes übereinander

1987 **Code 49**, 1988 **Code 16 K** (Bild 9d) und 1992 **PDF417**, Übergangsvarianten zum **Matrix-Codes** ≈ 15fache Speicherdichte

1987 **MaxiCode** von UPS (United Parcel Service), 1989 Data Matrix, 1991 **Code One** Laserlight, 1995 **Aztec Code** Welch Allyn

1994 der **QR-Code**, der auch japanische Schriftzeichen berücksichtigt

1990 Zeitschrift mc (Micro-Computer) eine **mc-Paperdisk** für Rechner-Listings ein [mc Juni 1991, S. 140 – 150]

Auf A4-Druckseite bis zu 3 × 7 Blocks zu je 1,7 KByte untergebracht mit CRC 16 abgeschlossen, Dateien ARJ komprimiert

Druckseite 70 KByte stückweises Einlesen mit üblichen Hand-Scannern, Programm MCREADER zur Decodierung

1999 rechnergestützten Druck von **Briefmarken**-, „Ersatz“ bei **US-Postage**, stacked-Codes PDF417

UPS verwendet Label neben typischen Maxi Code zwei klassische Strich-Codes

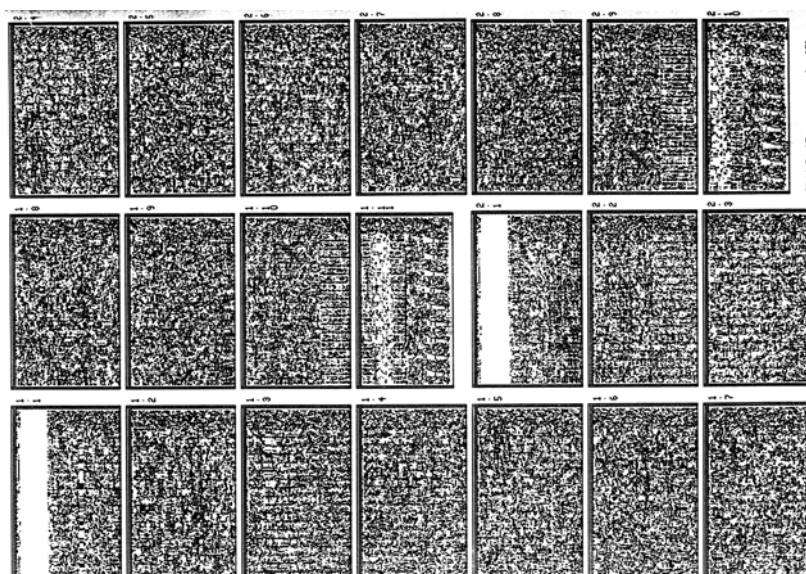
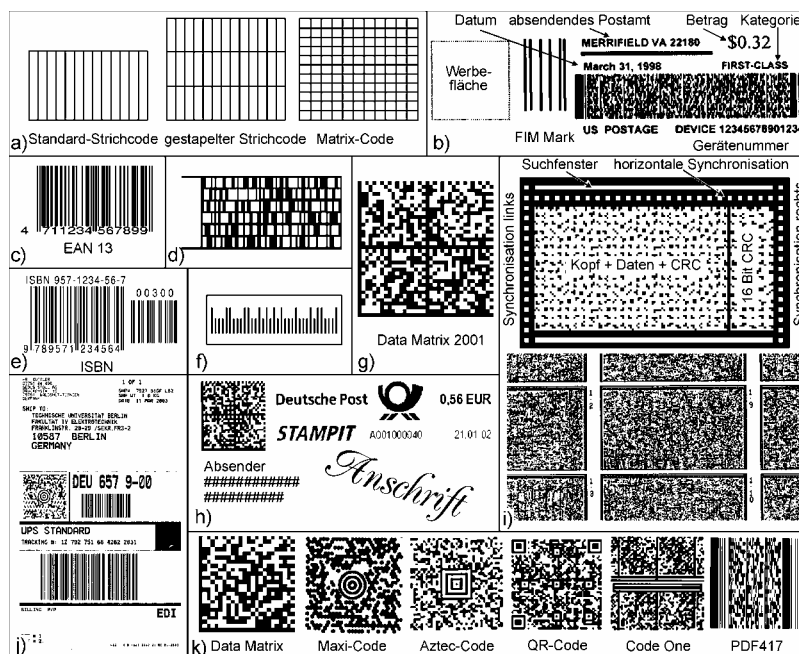
2002 führte Deutsche Post das **Stampit** ein

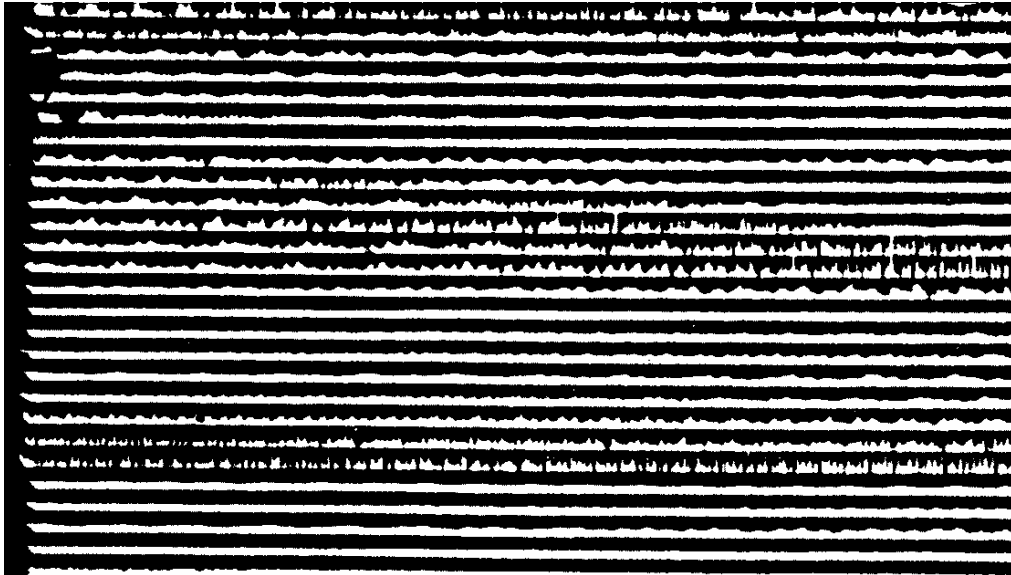
Schließlich immer mehr Variante für Handy, Eintritt zu Veranstaltungen usw., Semapedia von 2005 der WIKI-Gemeinde

RFID-Label (radio frequency identification) als Nachfolger ungewiss (Hype-Kurve!)

Es entstehen Codes mit **kleinsten Abmessungen**, nicht mehr für Auge sichtbar, zur Sicherheit auch verdeckt → tesa-Holospot

Englische Firma versieht Druckertinte, Toner mit magnetischen **Nano-Teilchen** aus Eisen und Nickel





Abwandlung für Schall aus den 30er Jahren

Diskrete Bauelemente

Anfangszeit der Rechentechnik benutzte Kondensatoren, Röhren-Flipflops, Relais, Glimmröhren und Ferritkerne usw.

1835 J. HENRY erfindet das Relais (*altfranzösisch relai* zurücklassen), 1850 polarisiertes von Siemens

1953 WILHELM KÄMMERER (1905 – 1994) + HERBERT KORTUM Zeiß Jena Relaisrechner OPREMA (**optische Rechen-Maschine**)

Polarisiertes Relais Vorteil, Schreiben, Löschen nur kurzer positiver/negativer Stromstoß

Speicherzustand bleibt unabhängig von Energiezufuhr bestehen, Lesen zerstörungsfrei über die Kontakte = 1 Bit

Heb-Dreh-Wähler 1879 ALMON BROWN STROWGER (1839 – 1902), 100 Kontakte → Speicherkapazität $1d(100) = 7$ Bit

Jedoch hinter jeden Kontakt einen Kondensator = 100 Bit

Mehrere Bauelemente besitzen Kennlinienteil mit **differentiellen negativen Widerstand**

Spannung und Strom gegenläufig (Strom einspeisen); geeignet zur Speicherung (sonst durch Rückkopplung erzeugt)

Glimmlampe mit Gas (z.B. Ne oder Ar) gefüllt, um 10^{-4} und 1 A Ast mit fallender Kennlinie

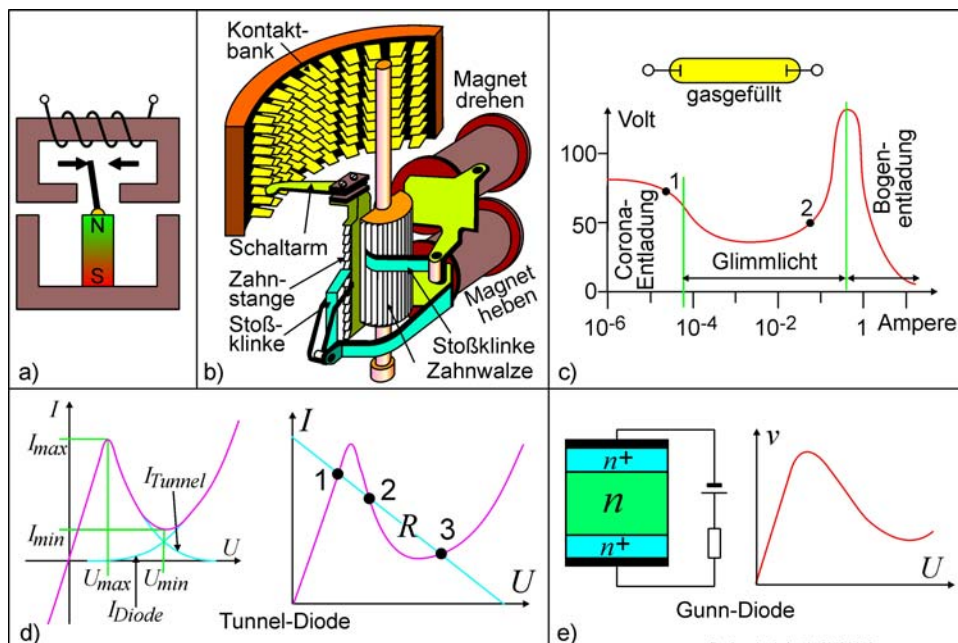
1943 H. SCHREYER eine Glimmröhrenschaltung zur Speicherung, Arbeitspunkte 1 und 2 benutzt

Tunnel diode von LEO ESAKI (*1925) = ESAKI-Diode = pn -Übergang extrem abrupt ≤ 10 nm, hohe Dotierung $> 10^{19}$ Störstellen/cm³

Tunneln bei kleinen Spannungen bewirkt den steilen, linearen Stromanstieg um den Nullpunkt

Stabilen Punkte 1 und 3 können zur Speicherung eines Bits benutzt werden, Schalten im ns-Bereich

GUNN-Effekt 1963 von J. B. GUNN (*1928) entdeckt: weitgehend homogenes GaAs- oder InP-Material ohne pn -Übergang
Eigentlich ein Elektronentransfer- oder Mikrowellenzweipol-Element. Bei > 2 kV/cm treten Mikrowellen-Schwingungen auf
Der differenziell negative Ast kein Widerstand, sondern betrifft die Geschwindigkeit, Schwieriger für Speicher nutzbar



Spezialröhren

1897 **Kathodenstrahl- = Braunsche Röhre** von KARL FERDINAND BRAUN (1850 – 1918) → Oszillographen-, Bild-, Fernsehrohre
 1947 TOM KILBURN (*1921) und FREDERIC CALLAND WILLIAMS (1911 – 1977) eine Speichervariante mit 3-Zoll-Schirm
 1953 bei IBM 701 mit 1024 bzw. 1280 Bit als IBM 6571 kommerzieller Einsatz kam (WILLIAMS-Tube)

Aufladungen auf speziellen Schirm, die ständig zyklisch regeneriert werden

Je Bildzeile ein Wort → Zugriffszeit $\approx 20 \mu\text{s}$, Datenrate $\approx 100 \text{ KBit/s}$

70er Jahre ⇒ BEAMOS (**beam addressed metal oxide semiconductor**), $3,2 \cdot 10^7$ Bit, Zugriffszeit $\approx 10 \mu\text{s}$, Datenrate $\approx 10 \text{ MBit/s}$
 Speichermedium = Schicht aus Al, SiO_2 und n-Si; Ladungen deutlich länger beständig ($\approx \text{CCD-Speicher}$)

Bit-Zelle $\varnothing \approx 1 \mu\text{m}$. Speicherfläche = $1,4 \times 1,4 \text{ mm}^2$, 0 und 1 = positiven bzw. negative Ladung, gelöscht keine Ladungen:

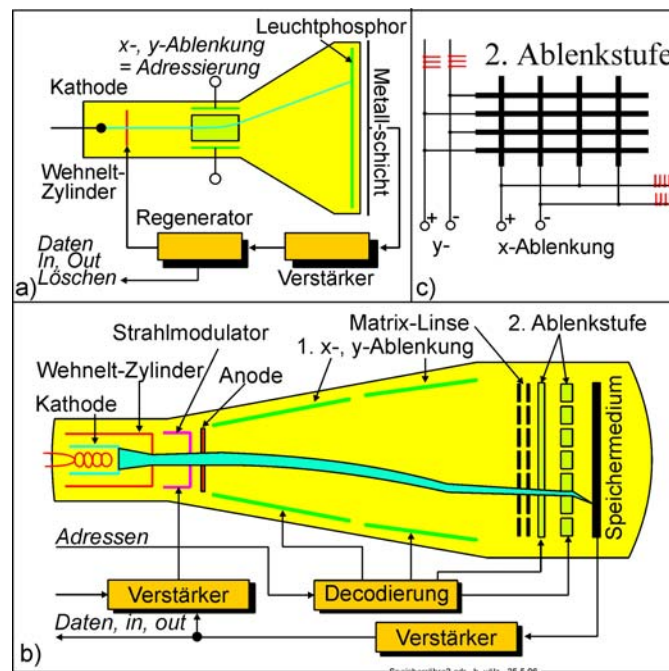
Zweistufige Stahlablenkung mit spezieller Fokussierung, 1. spiralförmige Zylinder-Elektroden → Elektronenstrahl $\varnothing \approx 50 \mu\text{m}$
 2. Feinablenkung elektronischen 17×17 Fliegenaugen-Optik

Später noch Spezialröhren für messtechnische Speicher-Oszillographen

NTG-Fachbericht: Digitale Speicher, Bd. 58. VDE - Verlag, Berlin 1977

Siakkou, M.: Physik der Informationsspeicher. Akademie Verlag, Berlin 1979

Voltz, H.-P.: Menschen und Computer. Markt & Technik, Haar b. München 1993

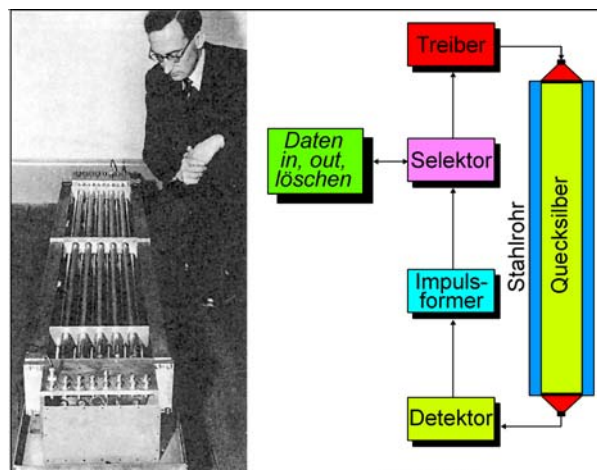


Wellenfortpflanzung in Flüssigkeiten

1945 erster Speicher MAURICE V. WILKES (*1913) und JOHN PROSPER ECKERT jr. (*1919) benutzt Stahlrohre u.a. mit Hg gefüllt. Von einer Seite werden sie mit Ultraschall angeregt
 Entsprechend der Laufzeitverzögerung können die Signale an der anderen Seite empfangen werden
 Ankommende Schwingung wird regeneriert und dann wieder dem Eingang zugeleitet

In jeder der zehn Röhren konnten 576 Bit gespeichert werden

Später bis zu 32 Röhren genutzt. 1 Bit $\approx 1,9 \mu\text{s}$, Datenrate $\approx 500 \text{ KBit/s}$, Zugriffszeit $\approx 0,6 \text{ ms}$



Magnetische Speicherbausteine

Von 60er bis in die 80er Jahre sind die Ferrit-Kern-Speicher die einzigen effektiven Arbeitsspeicher
 In den 70er Jahren entstanden noch andere magnetische Varianten, die aber kaum praktischen Einsatz erreichten
 U.a. Bubble, Dünnschicht- und Wandverschiebespeicher, bei Nanotechnik jetzt IBM-Racetrack (s. künftige Speicher)
 In den 80er Jahren wurden sie vollständig durch Halbleiter abgelöst
 Alle haben keine Lücke für andersartige Lösungen gefunden
 So etwas geschieht in der Technik ganz selten. Sonst wohl nur Dampfmaschine, Luftschiff, Glühstrumpf, Lochkarte und Lochband

Ferritkernspeicher

1950 Kernspeicher bei Entwicklung von „Whirlwind computer project“ von WILLIAM NATHANIEL PAPIAN (*1916) erfunden
 Projekt unter Leitung von JAY WRIGHT FORRESTER (*1918), wurde ihm Patent am 28.2.1956 Nr. 2 736 880 erteilt
 1951 Weiterentwicklung zum 3-D-Matrix Kernspeicher durch JAN A. RAJCHMAN (*1911)
 1953 erstes funktionierendes Modell beim Whirlwind am MIT (Massachusetts Institute of Technology)
 konnte durch die sehr kurzen Schaltzeiten der Kerne zwei fünfstellige Zahlen in 60 μ s multiplizieren, bis 1955 schnellster Rechner
 1952 HOWARD HATHAWAY AIKEN (1900 – 1973) Computer MARK IV ebenfalls Magnetkernspeicher
 Ferritkern-Speicher sehr preiswert, blieben daher bis in die 70er Jahre im Einsatz, ganze Schränke einige MByte

Wichtig sind magnetische Materialien mit **gut rechteckförmiger Hysterese**

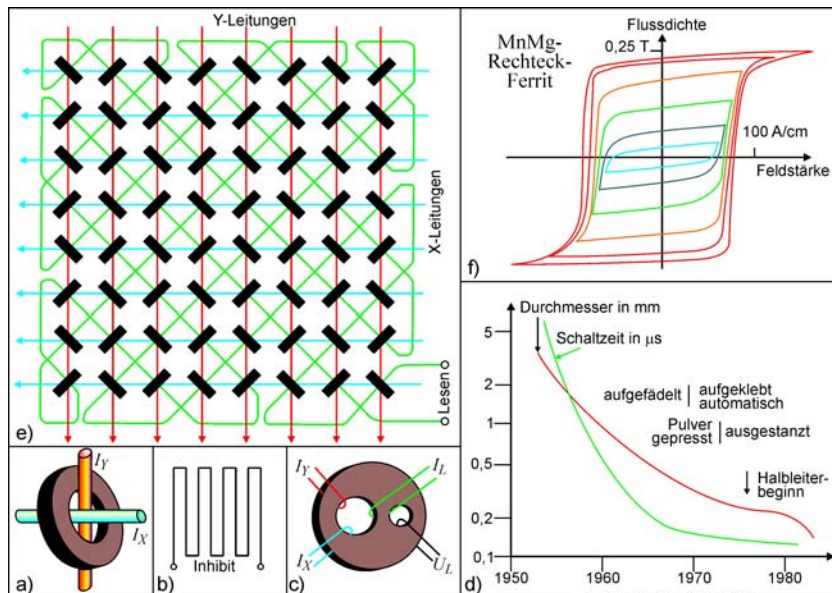
Speichern kann mittels Stromimpulse I_S in ns bis μ s erfolgen. Schaltzeit-Feldstärke-Produkt ≈ 5 ps·A/m.

Adressierung erfolgt in einer Matrix mit $I_X = I_S/2$ und $I_Y = I_S/2$. Am Kreuzungspunkt für Speichern I_S für $H_C \rightarrow 2$ Drähte

Wiedergabe nur zerstörend möglich $\rightarrow$ Stromimpuls nach 0 und beobachten ob eine Ummagnetisierung erfolgt 3. Draht

Notwendig anschließend wieder einschreiben $\approx$ dRAM, jedoch sonst kein Refresh

Löschen vierter Draht alle Kerne Inhibit-Leitung (lateinisch **inhibitio** Verhinderung, gerichtliches Verbot, einstweilige Verfügung).



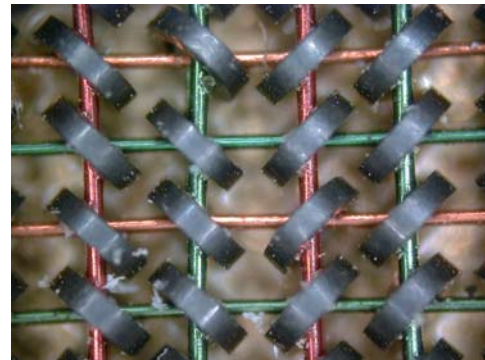
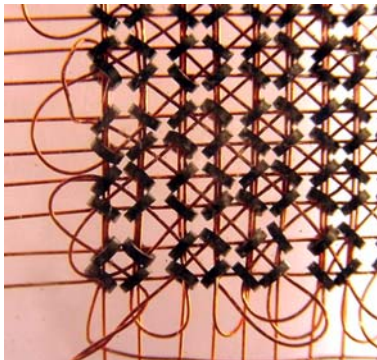
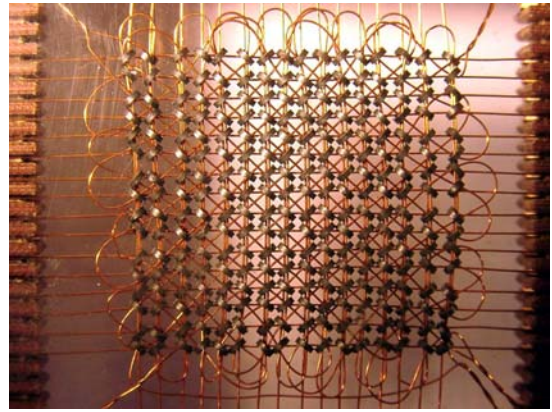
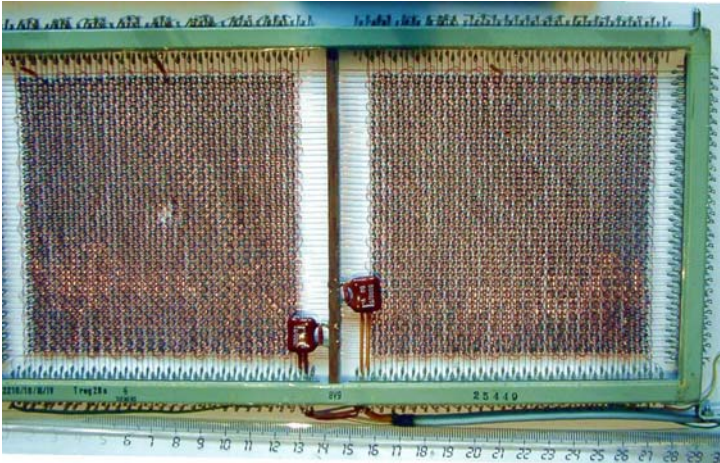
Entwicklung und Technologie

Ersten Kerne aus Metallband von 3 bis 30 μ m Dicke gewickelt
 Später aus Mischung von Fe_2O_3 mit zweiwertigen Metalloxyden
 Endgültig spezielle Rechteck-Ferrite; Gemisch aus $MgFe_2O_4 + Mn_3O_4$, Zusätze von Mn_3O_4 oder $ZnFe_2O_4$
 Typisch $Mg_{0,45}Mn^{2+}_{0,55}Mn^{3+}_{0,23}Fe_{1,77}O_4$ $H_C = 72$ A/m, $B_R = 0,22$ Wb/m², $B_S = 0,36$ Wb/m² und $T_C = 300$ °C
 Bis $\varnothing$ 0,5 mm Kerne zunächst manuell, später teilautomatisiert gefädelt
 Kleineren Kerne automatisch auf Unterlage geklebt und dann automatisch gefädelt
 Ursprünglich gepresste Kerne, die sehr kleinen gestantzt
 Schließlich in großflächige Ferritplatten nur noch Löcher in recht großem Abstand gestantzt
 1972 wurde 1 Pfennig je Bit erreicht

Beim Ringkern verläuft das Magnetfeld praktisch vollständig im magnetischen Kern und ist nicht nach Außen wirksam
 Dadurch ist seine Magnetisierung fast vollständig von der Umwelt entkoppelt
 Dennoch: damit sich Kerne nicht beeinflussen gegeneinander benachbarte um 90° gedreht
 Die Richtung der Magnetisierung im Kern kann rechts oder links herum laufen und so einem Bit entsprechen
 Theoretisch wäre auch einer Multilevel-Technik möglich, sie wurde aber nie benutzt

Es gab Varianten als 2½-, 3- und 4-D-Systeme (D = Drahtanzahl), Details in

Rhein, D.: Grundlagen der digitalen Speichertechnik. Akademische Verlagsgesellschaft Geest und Portig KG, Leipzig 1974
 Sokolowsky, P.: Aufbau und Arbeitsweise von Arbeitsspeichern. UTB Hüthig, Heidelberg 1977



Transfluxer

Zerstörende Wiedergabe hat Nachteile, zusätzliche Möglichkeit aber logische Funktionen

→ Ferrit-Bauelemente mit mehreren Löchern, die MAD (**m**ulti **a**perture **d**evice), Anwendungen nicht realisiert

Aber JAN A. RAJCHMAN (*1911) entwickelte **Transfluxor** → The Transfluxor. Proc. IEE **44**(1956) 321 – 332

Von „transfer of flux“: Hauptfluss wird über I_x und I_y aufgezeichnet, kleines Loch für Wiedergabe

Auch er erlangte keine praktische Anwendung: Verdrahtung zu kompliziert

Sonderform ist **Biax-Speicher** als Ferrit-Quader mit zwei senkrecht zueinander stehenden, sich nicht berührenden Löchern.

Seitzer, D.: Arbeitsspeicher für Digitalrechner. Springer-Verlag; New York, Berlin, Heidelberg 1975

Magnetische Dünnschicht-Speicher

= DMS = Dünne Magentschicht-Speicher doppelt benutzt:

1. Historische Variante, genauer „schaltender“ Dünnschicht-Speicher = FeNi-Schichten von 10 bis 100 nm Dicke
1956 von A. V. POHM und S. M. RUBENS vorgeschlagen, Grundlagen schuf 1955 M. S. BLOIS
in kleinen Stückzahlen gefertigten
2. Oberbegriff für alle Speicher, die dünne Schichten als Speichermedium benutzen:

- Schaltende Dünnschicht-Speicher (DMS)
- Magnetdraht-Speicher (Twistor)
- Stachelwand-Speicher (cross-tie-memory), auch BLOCH-Linien-Speicher genannt.
- Wandverschiebe-Speicher (DOT-memory)
- Bubble-Speicher (als einzige Variante beachtlich technisch genutzt)

Außer bei Bubbles stimmt magnetisch leichte der Achse mit Form-Anisotropie überein

Sonst auch meist FeNi-Legierungen benutzt, durch Vakuum-Bedampfung, Sputtern und chemische Abscheidung hergestellt

Bei schaltenden Dünnschicht-Speichern und Magnetdraht-Speichern sind Speicherorte fest vorgegeben, Adressierung erforderlich

Stachelwand- und Wandschiebespeicher entsprechen Schieberegister, es BLOCH- und/oder NÉEL-Wände bewegt, ns-Schalten

Details u.a. in [Rhein], [Siakkou79], [Sokolowsky]

Schaltende Dünnschicht-Speicher

Die kleinen Speicherzellen an Kreuzungspunkten der Wort- und Bit-Leitungen, durch Abstand magnetisch voneinander isoliert

Kantenlänge wenige μm ; Verhältnis Länge/Breite zur Dicke $> 10\,000 : 1$

Material: Permalloy, Fe, Co, Ni, Fe-Ni-Mo-Legierungen oder Ferrit

Schichtherstellung galvanisch, elektrolytisch, thermische Zersetzung, reaktives Zerstäuben, Kathodenzerstäubung oder Aufdampfen

Meist mit überlagertem Magnetfeld für einachsige Anisotropie in der Schichtebene, leichte senkrecht schwere Achse

Speicherzellen nahezu magnetische Einbereichsteilchen

Ohne äußeres Feld Magnetisierung nur in leichte Achse, zwei entgegengesetzte Richtungen $\Rightarrow 1 / 0$

Feld mit Winkel $\varphi \rightarrow$ Zerlegung in zwei Vektor-Komponenten: parallel ($H_{\parallel}$) bzw. senkrecht ($H_{\perp}$) zur leichten Achse stehen
Mit Koerzitivfeldstärke H_C normiert:

$$h_{\parallel} = H_{\parallel}/H_C \text{ und } h_{\perp} = H_{\perp}/H_C.$$

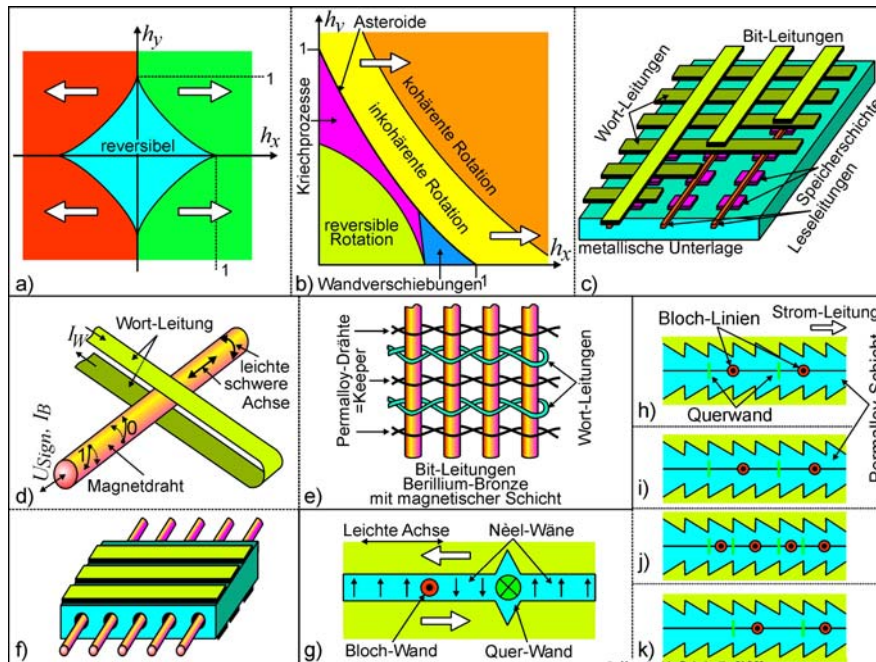
Für Umschalten muss gelten:

$$h_{\parallel} = -\cos^3(\varphi) \text{ und } h_{\perp} = \sin^3(\varphi).$$

Wegen Additions-Theorem $\cos^2(\varphi) + \sin^2(\varphi) = 1$ folgt

$$h_{\parallel}^{2/3} + h_{\perp}^{2/3} = 1.$$

Ergibt Asteroide (griechisch **aster** Stern, **-oideis** ähnlich), im Innern nur eine reversible Änderung der Magnetschicht
Außerhalb erfolgt Schalten in eine der beiden möglichen Richtungen, bleiben nach Feld-Abschalten erhalten
Stromstärke der Bit- und Wort-Leitung ist für **Aufzeichnung** passend zu wählen, **Wiedergabe** innerhalb der Asteroide
Vor- und Zurückklappen erzeugt dabei den Leseimpuls
Störungen weil magnetische Bereich nicht genau Einbereichsteilchen
Technologie aufwändig, bis zu zehn Schichten, Masken erforderlich



Magnetdraht-Speicher

Prinzip ist technologische Vereinfachung gegenüber DMS, Bit-Leitung = dünner Draht = Bit-Leitung mit Strom I_B
1967 von ANDREW H. BOBECK bei den Bell Labs entwickelt (ging den Bubbles voraus)
Um sie herum werden weitere Schichten galvanisch abgeschieden, kontinuierlich als Durchlauf für große Drahtlängen möglich
Draht meist Kupferberyllium auf $\approx 0,1$ mm gezogen $\rightarrow$ Längs-Anisotropie, galvanisch mit $5 \mu\text{m}$ Cu-Schicht überzogen
Es folgt Fe-Ni-Speicherschicht, die mit Strom achsial orientiert wird.
Drehrichtung durch späteres Magnetfeld mittels Strom I_W auf 0 oder 1 einstellbar
Lesen nur mit I_W , innerhalb der Asteroide
Der klassische Aufbau (f) wurde später durch Webtechnik (e) ersetzt
Permalloy-Drähte = Keeper (englisch **to keep** halten, schützen) dienen der Abgrenzung der einzelnen Bit-Zellen
Sondervariante der Magnetdraht-Speicher ist der **Twistor**. Bei ihm wird zusätzlich die Magnetostriktion genutzt [Winkel]

Stachelwand- und Wandverschiebe-Speicher

Ein Bit wird hierbei durch die Lage einer magnetischen Wand definiert
So entstehen Laufzeitspeicher, die sehr kleine Bit-Zellen ermöglichen (perfekt später Bubbles)
Eine Variante ist Stachelwand-Speicher = **cross tie memory** (englisch **to cross** quer, durchkreuzen; **to tie** verknüpfen, binden, knoten)
= gezackte Permalloy-Bahn in Richtung der leichten Achse, Dicke ≈ 10 bis 25 nm
Dicke kritisch: in Permalloy unterhalb 25 bis 60 nm bevorzugt NÉEL- und darüber BLOCH-Wände
Es müssen aber ohne äußeres Magnetfeld gruppenweise BLOCH- und NÉEL-Wände entstehen, die senkrecht aufeinander stehen
NÉEL-Wänden und zeigen nach vorn $\bullet$ bzw. nach hinten $\otimes$, außerdem vergrößerte Querwände |
1 = BLOCH-Linien-Paar mit Querwand, Fehlen = 0
Speichern = Erzeugung von Bloch-Linien-Paar + vernichten oder verschieben mittels Stromimpulse von einigen ns
Daher auch Name **Bloch-Linienspeicher** = VBLM (vertical bloch line memory) gesprochen, 10^7 Bit/cm², 20 MBit/s
Einfacher ist **Wandverschiebe-Speicher** (DOT): Auf Glasplatte 30 nm Al-Schicht aufgedampft
Dann mäanderförmige Struktur weggeätzt. Darauf 100 nm NiFeCo-Legierung flächendeckend, einachsige Anisotropie
Mit darüber liegendem Leitersystem werden die Wände bewegt

Bubble

Englisch Blase, Luftblase → Magnetblasen-Speicher

1966 ANDREW H. BOBECK beginnt bei Bell Labs Arbeiten zu Ortho-Ferriten, Publikation 1969

Darin auftretende Bubbles = Möglichkeit magnetisch integrierter Schaltkreise, besser als Kern-, Trommel- und Plattenspeicher

Zu erwartende Daten füllten die damals behauptete Zugriffslücke der Speicher-Hierarchie <100 ms

Datenbestand >30 Jahre, $\varnothing < 0,4 \mu\text{m} \rightarrow \approx 1 \text{ MBit/cm}^2$, Datenrate 0,1 - 10 MBit/s, 10^7 -Bit nur 10 W, Arbeitstemperatur 30 – 40 °C

Sehr hohe Strahlungsfestigkeit → längere Zeit für Sonderanwendungen, u.a. Weltraum und Militärtechnik

Bubble ermöglichen auch logische Operationen

1975 erste Musterspeicher Hitachi, 1978 Rockwell 256 KBit-Chip in Produktionsstückzahlen

1984 Anwendung für Video-Spiele der Firma Konami

Heute gilt damalige Entwicklung als Euphorie des Hype-Zyklus

Nachteilig u.a. umfangreiche und teure Randlelektronik, komplizierter Aufbau, anfällig gegen elektromagnetische Störfelder

Voraussetzung für Bubbles = dünne magnetische (einkristalline) Schicht, stark anisotropen Eigenschaften und hohes B_s

Leichte Achse muss senkrecht zur Oberfläche orientiert sein: vier **Materialklassen** geeignet:

- Ortho-Ferrite, z.B. $\text{Sm}_{0,6}\text{Tb}_{0,4}\text{FeO}_3$, TmFe_2O_3 , TbFe_2O_3 , YFeO_3 ,
- Substituierte Granate, z.B. $\text{SE}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$, mit SE = Seltene Erden, leicht mittels Flüssigphasen-Epitaxie abscheiden
- Hexa-Ferrite, z.B. $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$,
- Amorphe Materialien, z.B. GdCo , GdCoMo .

Für die Erzeugung der einkristallinen Schichten ist Material zum epitaktischen Abscheiden notwendig

Bubble-Physik

Wissenschaftliche Beiträge neben BOBECK u. a. von H. E. D. SCOVIL, U. F. GIANOLA, WILLIAM BRADFORD SHOCKLEY (1910 – 1989), P. C. MICHAELIS und R. C. SHERWOOD: Literatur, u. a.: [Bobeck], [Michalowsky], [Rhein74], [Siakkou79], [Völz, Elektronik]

In magnetischer Schicht entstehen ohne äußeres Magnetfeld zunächst Streifen-Domänen

Bereiche mit entgegengesetzter Magnetisierung ordnen sich dabei so, dass keine pauschale Magnetisierung vorliegt

Durch äußeres Feld vergrößern sich bevorzugte Bereiche zu Ungunsten der anderen

Es gibt untere Grenze für Ausbildung magnetischer Keime (Bereichsgrenzen)

Ab H_{Bub} existieren nur noch getrennte zylinderförmige Domänen, BOBECK nannte sie Bubbles, im begrenzten Feldbereich

Untere Grenze für Bubbles Gerade für $\varnothing D_B \approx d_s$ gebildet, sind mit polarisiertem Licht zu beobachten (FARADAY- bzw. KERR-Effekt)

Die Summe von Energien muss Minimum besitzen: Äußeres Feld, Domänenwand, Entmagnetisierung

Schichtdicke d_s , Sättigungsmagnetisierung M_s , Domänenradius $R_{\text{min}} = D_B/2$

Bubbles sind durch Gradientenfeld in der Fläche zu bewegen, Feld > Koerzitivfeldstärke H_C , Geschwindigkeit:

$$|v_w| = \mu(|H_0| - H_C).$$

In Granatmaterial ≈ 20 , Bariumferrit bei $\approx 6 \text{ m/s}$. Feldstärken $\approx 1 \text{ A/cm}$; Wandgeschwindigkeiten $\approx 500 \text{ m/s}$ deutlich höher

Zum **Speichern** zusätzliche Strukturen zum Aufzeichnen, Wiedergeben und Löschen einzelner Blasen notwendig

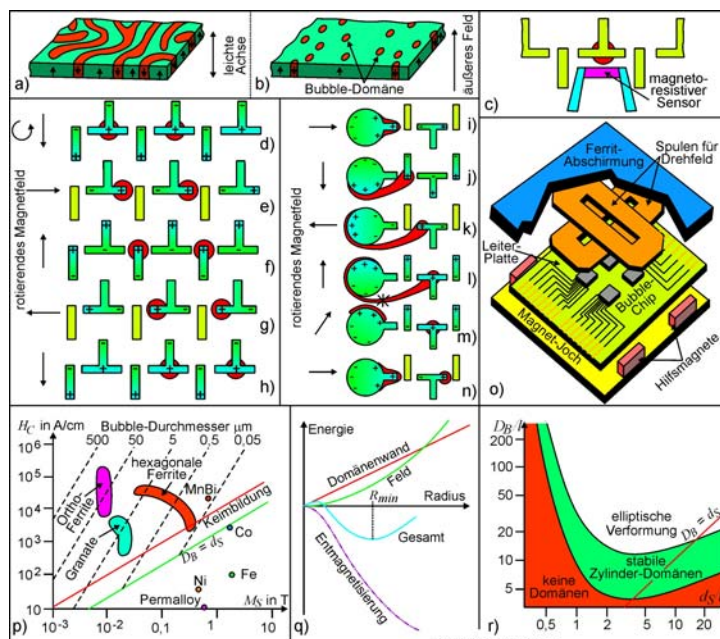
Festlegen auf bestimmte Orte → Bubble = 1 sonst = 0, Löschen $H_{\text{col}} > H_{\text{Bub}}$ = Material gesättigt

= spezielle, aufgedampfte Permalloy-Strukturen, bremsen durch Wirbelstromdämpfung, typisch I- und T-Elemente

Stützfeld zum Erzeugen der Blasen + Rotierendes Magnetfeld zum Bewegen

Wiedergabe mittels magnetoresistiven Sensor, gegenüber T-Element angeordnet

Löschen global oder selektiv durch hohe magnetische Feldstärken



Literatur

- Bobeck, A. H., u.a.: Application of orthoferrites to domain-wall devices. IEEE Trans. Mag. 5 (1969) 3, 1139 – 1145.
- Michalowsky, L, u. a.: Magnettechnik - Grundlagen und Anwendungen. Fachbuchverlag Leipzig - Köln, 1993
- N.N.: Der Strichcode - Katalog. Firmenmitteilung der Datalogic GmbH. Berlin - Hamburg usw. 1991
- N.N.: ITG-Fachbericht: Digitale Speicher, Bd. 102. VDE - Verlag, Berlin 1988
- N.N.: NTG-Fachbericht: Digitale Speicher, Bd. 58. VDE - Verlag, Berlin 1977
- Reuter, C., Enders, B., Jacobi, R.: Lexikon Musikautomaten/Encyclopedia of Mechanical Musical Instruments. CD, Schott, Mainz 2000
- Rhein, D.: Grundlagen der digitalen Speichertechnik. Akademische Verlagsgesellschaft Geest und Portig KG, Leipzig 1974
- Rhein, D.; Freitag, H.: Mikroelektronische Speicher. Springer - Verlag, Wien - New York 1992
- Rosenbaum, O.: Das Barcode-Lexikon. bhv, Kaarst 1977
- Siakkou, M.: Physik der Informationsspeicher. Akademie Verlag, Berlin 1979
- Sokolowsky, P.: Aufbau und Arbeitsweise von Arbeitsspeichern. UTB Hüthig, Heidelberg 1977
- Völz, H.: Elektronik - Grundlagen - Prinzipien - Zusammenhänge. 5. Aufl. Akademie Verlag, Berlin 1989 (erste Auflage 1974)
- Völz, H.: Handbuch der Speicherung von Information Bd. 3 Geschichte und Zukunft elektronischer Medien. Shaker Verlag Aachen 2007
- Winkel, F.: Technik der Magnetspeicher. Springer-Verlag, New York, Berlin, Heidelberg 1. Aufl. 1960, 2. Aufl. 1977
- www.barcodedirect.com