

Magnetomotorische Rechner-Speicher

Dieses Material ist herunterladbar von:
aes.cs.tu-berlin.de/voelz/PDF

Einordnung

Speicher für Rechner müssen mit drei Arten von Daten umgehen

1. **Arbeits-Daten**, die be-, verarbeitet werden und aus denen die neuen Daten entstehen
Sie werden in aufeinander folgenden Adressen abgerufen, bearbeitet und auch wieder so abgelegt.
Sie ähneln daher den kontinuierlichen Daten und erfordern kaum spezifische Speicher
2. **Programm-Daten** enthalten viele Adress-Sprünge,
fordern daher angepasste Speicher mit hinreichend schnellen Zugriff auf beliebige Daten, Adressen
3. **Archiv-Daten** von hohem Wert, die sicher und langfristig aufbewahrt werden müssen und
zu unterschiedlichen Zeiten fehlerfrei und zuverlässig zurückgeholt werden können

Vergleich

Arbeits-Daten	Programm-Daten	Archiv-Daten
• werden oft geändert • <i>seriell</i> abruf- und speicherbar • oft als Stream (audio, video) • auf nahezu beliebigen Medien, wie Arbeits-, Bandspeicher, Festplatten, Disketten usw.	• stehen <i>meist unveränderlich fest</i> • <i>in beliebiger Reihenfolge abrufbar</i> • schneller random-Zugriff • Disketten, Festplatten, spezielle Bandspeicher, Trommeln	• haben <i>hohen Wert, Sicherheit</i> • müssen <i>langfristig verfügbar</i> sein • Hierarchisch im Zugriff • Backup-Medien, wie Bänder, Festplatten, optische Medien, Mikrofilm

Folgerungen

Wegen der Programm-Daten müssen Rechner-Speicher *quasi adressierbar* sein, ähnlich wie RAM

Bei magneto-motorischen Speichern *betrifft Adresse einen Ort*,

der erst *durch Bewegung von Kopf oder Medien erreicht* und eindeutig *verifiziert* werden muss

Bei langen **Magnetbändern** und **großen Speicherkapazitäten** führt das zu **sehr großen Zugriffszeiten**

Sie können verkürzt werden $\Rightarrow$ durch **Blockbildung** als Zusammenfassung für relativ viele Daten $\approx$ kByte

Hierzu ist eine **Formatierung** des Mediums notwendig, jeder Block erhält einen **Header** zur Kontrolle

Zwei **Kennzeichnungen**: ob Block **gültige Daten**, die geschützt werden müssen und welche Daten er enthält

Erst nach Formatierung sind derartige digitale Medien nutzbar

Informationsträger bzw. Kopf *mit hoher Geschwindigkeit* kann in Nähe des gewünschten Blocks bewegt werden

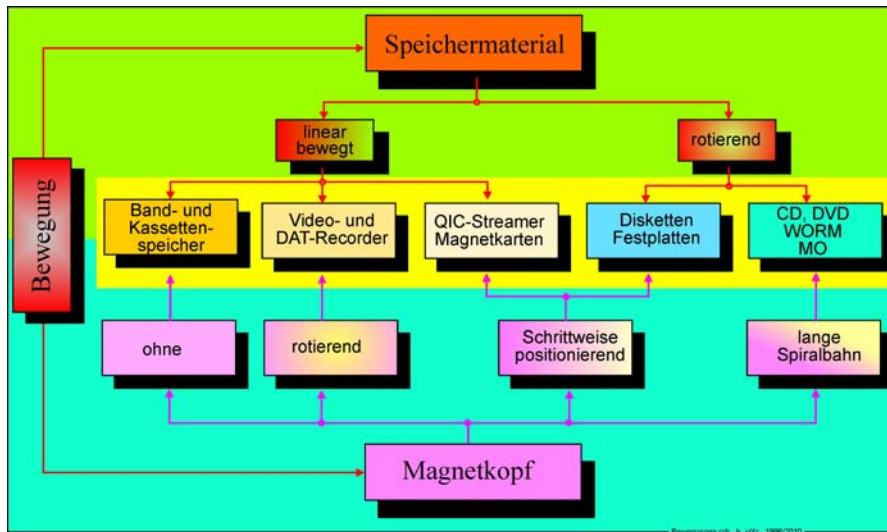
In Blocknähe erfolgt in *normaler Geschwindigkeit* die Aufzeichnung bzw. Wiedergabe

Auf dieser Basis sind *spezielle digital-magnetomotorische Speichertechniken* entstanden

2 Hauptklassen:

linear bewegte Bänder, Karten usw. $\Leftrightarrow$ *rotierende* Trommeln, Disketten, Platten usw.

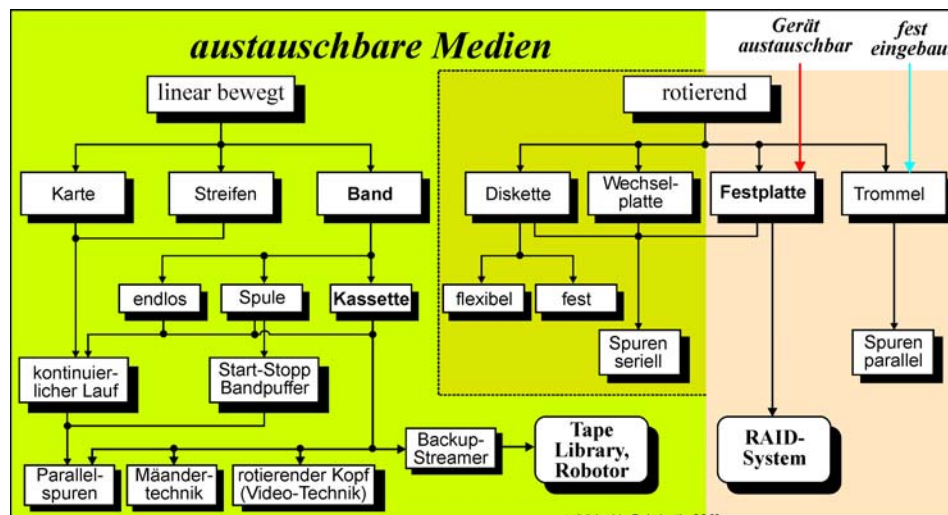
Unterschiede so groß, dass getrennte Behandlung notwendig ist



Zusätzliche Einteilung geht von **Medienart** aus

Informationsträger	Bewegung	Kopf
Band 	Linear, längs evtl. mehrere Spuren	fest evtl. Fahrstuhl schräg oder quer rotierend evtl. mehrere Köpfe
Karte 	Linear, längs evtl. mehrere Spuren evtl. Karte gekrümmt	fest evtl. Fahrstuhl evtl. rotierend evtl. mehrere Köpfe
Platte Folie 	rotierend viele Radialspuren zylindrisch oder spiralförmig evtl. verschiedene Sektorlängen	Kopfzustellung (Aktuator) fliegend oder in Kontakt selten mehrere Köpfe
Trommel 	rotierend viele feste Spuren	fest je Spur ein Kopf
nur Information	Bewegung der magnetischen Strukturen	komplexe Aufzeichnungs- Wiedergabeeinrichtung

Verfeinerung betrifft die (Nicht-) Austauschbarkeit von Medien



Zwei historische Varianten

Trommelspeicher, nur kurzzeitig ⇔

Magnetbandspeicher mit mechanischem Puffer, etwas langlebiger

Geschichte Trommelspeicher

Der Trommelspeicher ist älter als die elektronische Rechentechnik
Es gab mehrere, unabhängige Ansätze

1929 meldet GUSTAV TAUSCHEK (1898 - 1945) Patente + Beschreibungen:

„Elektromagnetischer Speicher für Zahlen für Buchführungseinrichtungen“

angewendet wurde er bei der 1924 gegründeten IBM (International Business Machines)

1943 am 17.6. meldet DIRKS ein Patent für Magnettrommelspeicher an

1947 nutzt H. BILLING ihn in seinem Rechner und wähnt sich als Erfinder

1948 wurde bei der „Mark I“ in Manchester ein Trommelspeicher benutzt

1950 erfolgte ein Einsatz in Washington beim „Atlas“-Rechner

1953 stellte die IBM den „Magnetic Drum Calculator Type 650“ vor

Viele weitere Anwendungen erfolgten bis in die 70er Jahre in unterschiedlichen Ausführungen

1966 erteilte das Deutsche Patentamt das Patent an DIRKS für seine Anmeldung von 1943

Trommelspeicher: Aufbau und Eigenschaften

Rotierende Trommel an Oberfläche mit magnetischem Speichermaterial (Anfangs einfach Stahl) beschichtet

Gegenüber in **geringen Abstand** (anfangs ca. 1 mm) **viele Magnetköpfe**

Wurde schrittweise gesenkt, **Grenzen:** thermische Einflüsse und Vibrationen, schließlich pneumatisch gelagert

Jeder Magnetkopf ist deutlich breiter als die zu ihm gehörende Magnetspur ist, daher **Köpfe radial** angeordnet

Sichtbar als „stachelartige“ Fortsetzungen, jeder Magnetkopf besitzt eigenen Aufzeichnungs-Wiedergabeverstärker

Daher möglich gleichzeitig, **alle Spuren parallel** aufzuzeichnen, wiederzugeben, Trotz Röhrentechnik hohe Datenrate

Geringe Zugriffszeit (halbe Trommeldrehung) durch Warten, bei typischen 3 000 UpM = 10 ms

Speicherkapazität wächst mit Durchmesser und Länge des Zylinders (Anzahl der Spuren), Geräte immer recht groß

Digitalbandspeicher

Für größere Anwendungen reicht nicht die Kapazität des Trommelspeichers

So wurde die Magnetbandtechnik passend weiterentwickelt, zunächst mit dem Stahlband von STILLE

Vermutlich erste Anwendung **1949/50** beim Rechner EDVAC, Nachfolger der ENIAC

1951/52 „UNIVERSO“ der UNIVAC I von PRESER ECKERT (*1919) JOHN MAUCHLY (1907 - 1980)

Stahlband: 1,27 cm breit, 450 m lang, 25 µm dick, **Geschwindigkeit** 2,54 m/s, 7 Daten- und 1 Taktspur, 5 Bit/mm

Erstmals der **Bandpuffer** als neue Antriebstechnik für **Start-Stopp-Betrieb** (s.u.)

An den Rechner konnten bis zu 10 Bandgeräte angeschlossen werden

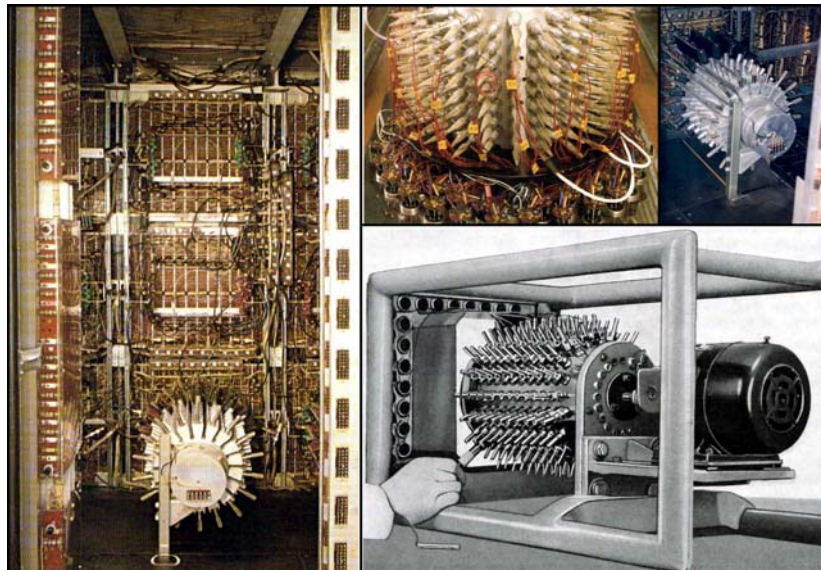
1949 hatten IBM und 3M (heute Imation) ihre **Forschung mit Magnetbändern** begonnen

1951 erstes Muster

1953 erste Geräte „IBM Model 726“, **Bandspeicher Ampex FR-200** (IBM 701)

Band 730 m, ½ Zoll breit, 8-Zoll-Spulen (Ø ≈ 20 cm) **7 Spuren** mit 100 bpi, 1,4 MByte

1956 rund **10 000 Dollar!** 1975 genügten für 1 MByte bereits 25 m Band



Neue Antriebstechnik

Trommel- und Bandspeicher wurden infolge des **Arbeitsspeichers** mit **nur wenigen Byte** wie heute Festplatten benutzt
Daher waren die sehr langen **Zugriffszeiten** äußerst störend $\Rightarrow$ **spezieller 3-geteilter Antrieb**

Ein **Pufferbereich** entkoppelte Kopfumgebung von den Wickeln

Schaltete so die **Trägheit der Bandwickel** weitgehend aus, es entstanden mehrere technische Lösungen

Die Bandblöcke werden mit möglichst großer Geschwindigkeit **vorwärts oder rückwärts gesucht**

Halt kurz vor den Blöcken, dann schneller Übergang zu Aufzeichnung/Wiedergabe

Unterscheidung von 3 Bereichen

Schreib-Lese-Bereich enthält Magnetköpfe und zwei Capstan-Antriebe, für Vor- bzw. Rückwärtsantrieb

Beide Capstan rotieren meist ständig bei abgehobener Andruckrolle, nur eine wird zeitweilig angedrückt
Band ruht zwischen den Rollen und liegt an den Köpfen

Kurzes Bandstück zwischen den Bandpuffern besitzt sehr geringe Trägheit

Pufferbereich (Bandpuffer) enthält einen veränderlichen kurzen Bandabschnitt, entkoppelt von den Bandwickeln

Er muss wechselnde Bandlänge aufnehmen können; ursprünglich Hebelsysteme bzw. lose liegendes Band

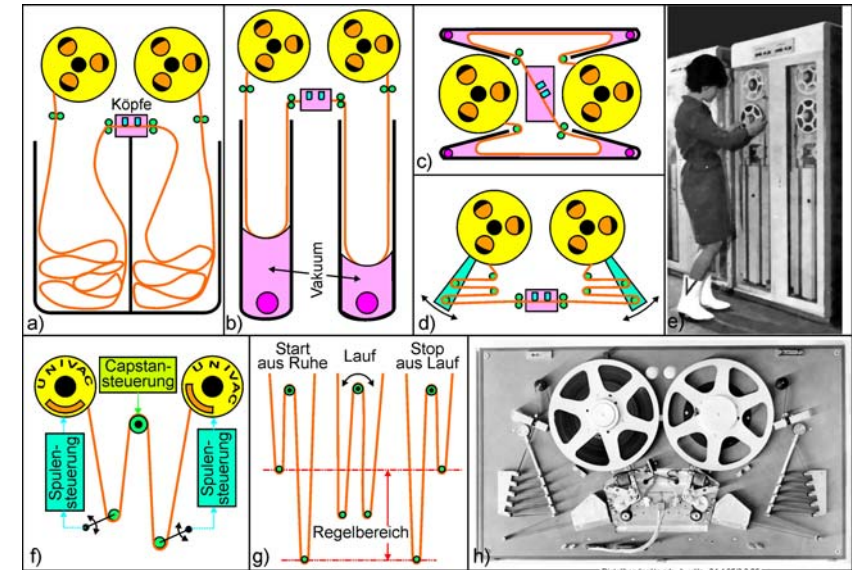
Variante mit **Vakuum** wurde 1962 von J. A. WEIDENHAMMER patentiert

Die aktuelle Bandmenge wird nach verschiedenen Methoden bestimmt

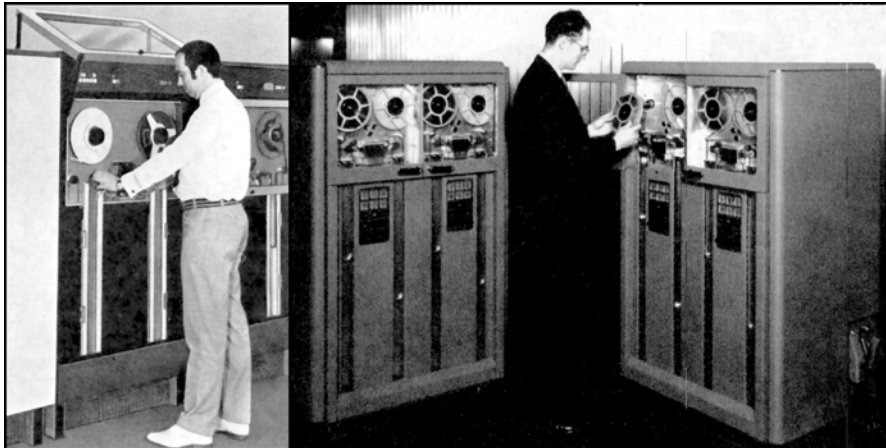
Bei Abweichungen vom Sollwert, wird der Ab- bzw. Aufwickelmotor angetrieben

Wickelantriebe enthalten gut steuerbare Motoren, mit großer Energieaufnahme (kW)

Werden so gesteuert, dass im Bandpuffer möglichst genau die Sollbandlänge vorhanden ist



Rechts unten: Robotron 300 ohne Abdeckungen mit gemischtem Hebel- und Vakuum-Puffern



Problem der ungenutzten Lücke

Beim **schnellen Vor- bzw. Rücklauf** muss der **Header** der Datenblöcke **gelesen** werden (Ortsbestimmung!)

Beim Erreichen muss **schnell zur Schreib-Lese-Geschwindigkeit** übergegangen werden

Stopp-Start verlangt **unbenutzte Bandbereiche**, muss vor Sollstelle halten

Auch am Blockende schießt das Band wegen seiner Trägheit ein wenig über die Sollposition hinaus

Durch Einführung von **Read-after-write** Verstärkung der Probleme, erfolgt **3- bis 5-mal**

Diese **Lücken** wurden mit Verbesserung der Laufwerke kleiner; ca. 3 cm bei der Universo bis hinab zu **wenigen mm**

Die **Speicherdichte** stieg jedoch viel schneller, bald benötigten **Lücken 50 % der Speicherkapazität** eines Bandes

Ab **Mitte 50er Jahre** werden Bandspeicher trotz aller Fortschritte **nur noch als Peripherie** benutzt

Ab **70/80er Jahre** vollständig durch andere Speichertechniken **abgelöst** (s. **Plattenspeicher**)

1985 führte IBM überraschend völlig veränderte Technik: **Cartridge 3480 MTC** (**magnetic tape cartridge**) ein (s.u.)

Daten typischer Bandspeicher

Jahr	Geschwindigkeit	Bandbeschleunigung	Speicherdichte	Datenrate
1953	1,8 m/s	25 g	4 Bit/mm	7,5 kBit/s
1955	2 m/s	55 g	8 Bit/mm	15 kBit/s
1958	2,8 m/s	62 g	20 Bit/mm	62 kBit/s
1962	5 m/s	200 g	31 Bit/mm	90 kBit/s
1965	5 m/s	400 g	69 Bit/mm	180 kBit/s
1973	5 m/s	520 g	250 Bit/mm	1,25 MBit/s

Ergänzungen

Erstaunlich sind die **hohen Beschleunigungen**, denen die kurze Magnetbandstrecke ausgesetzt wird

Start-Stop-Zeiten wurden dadurch von 10 **auf 1 ms** gesenkt

Typisches **Computerband auf Spulen** mit bevorzugt 10,5-Zoll ($\varnothing \approx 27$ cm)

Besitzen **Schreibschutzring**, der entfernt werden kann

Bandlänge ist von **Banddicke** abhängig: $36 \mu\text{m} \rightarrow 730 \text{ m}$, bei $24 \mu\text{m} \rightarrow 1050 \text{ m}$

Bis **1600 bpi** (≈ 60 Bit/mm); $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ mit $\approx 240 \text{ A/cm}$ in **Phase-Encoding**, maximale Speicherkapazität 46 MByte
1973 letzte Variante der Entwicklung, **9-Spur-Matrix-Parity (GCR)**, damals legendäre 6250 Bit/Inch (250 Bit/mm)
cobaltdotiertes ½-Zoll-Magnetband, 731 m lang, $36 + 10 \mu\text{m}$ dick, 180 MByte je Spule



Bügel um Spule zum (Staub-) Schutz, rot = entfernenbarer Schreibschutz-Ring

Exotische Speicher

Um Zugriffszeiten zu verkürzen, entstanden in den 60/70er Jahren vorübergehend **exotische Speichervarianten**

Ab **1964** erlangte z.B. der **Karussellspeicher** der schwedischen Firma Fazit einige Verbreitung

Auf einem großen „Karussell“ befinden sich **64 kleine Bandspulen mit je 9 m Band, Σ 27·MBit**

Ein Steuergerät wählt die gewünschte Bandspule durch Drehen des großen Karussells, **Suchzeit ≈ 2 s**

Dann wird Start- und Pufferhebel zurückgezogen, Ladevorgang = Bandende an Magnetkopf und Capstan vorbei

Danach Andruckrolle betätigt, Pufferhebel eingeschwenkt

Band mit **5 m/s** am Magnetkopf zum Schreiben oder Lesen vorbeigezogen, Danach Band wieder zurückgespult

Ab **1966** war ein **Magnetkarten-Speicher** für Siemag-Rechner verfügbar

Enthielt **256** relativ großen **Magnetkarten**, mit an der Oberkante individuellen, **binär codierten Aussparungen**

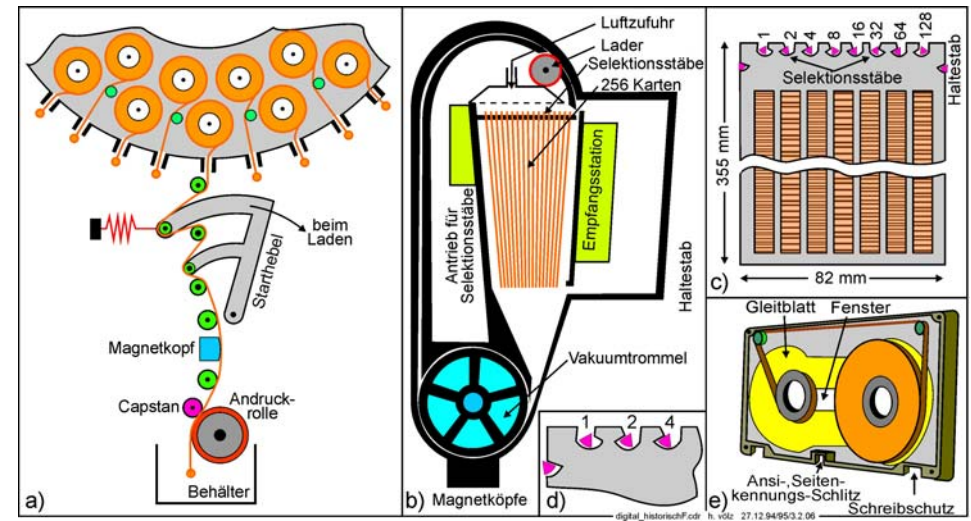
Auswahl einer Karte erfolgt durch Verstellen (Drehen) der **Selektionsstäbe**

fällt herab, gelangt zur **Vakuumtrommel** und wird an den unten befindlichen **Magnetköpfen** vorbei bewegt

Abschließend wird sie links zurück bewegt, gelangt zur Empfangsstation und wird wieder dem Stapel hinzugefügt.

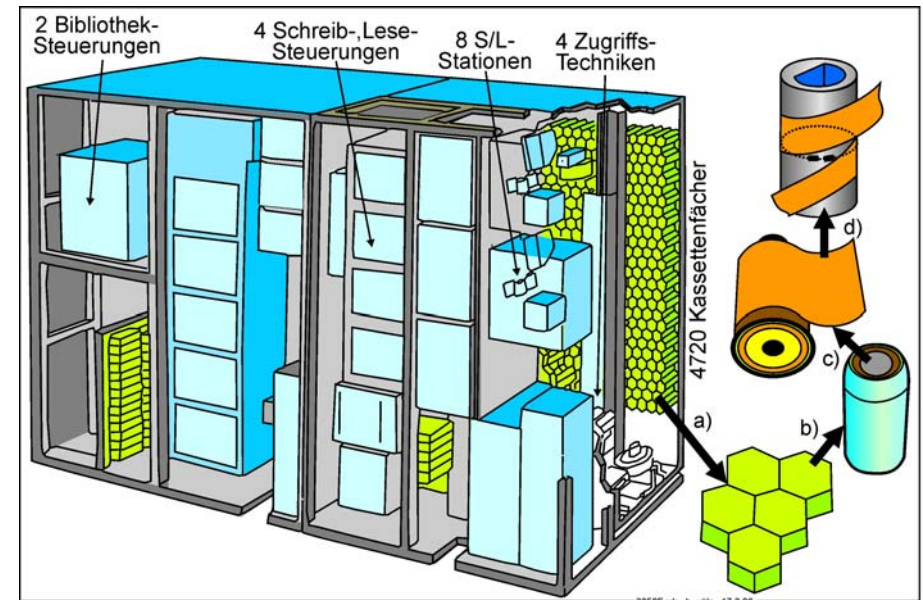
Einfache Bandspeicher

Um 1980 entstanden **Kleinstrechner** und **Heimcomputer**, forderten kleine, einfachere und preiswertere Lösungen. Bei Heimcomputern setzte sich die **1963** für Audio eingeführte **Compact Cassette** durch. Für Kleinrechner wurde sie ab etwa **1970** eingesetzt, erfuhr aber eine kleine Änderung. Damit automatisch die Seite erkannt wurde, bekam sie den **ANSI-Schlitz** (American National Standards Institute). Zusätzlich erhielt sie ein stabileres Gehäuse und Computerband von 24 µm Dicke. Es wurden **32 Bit/mm**, Datenblöcke von 256 Byte benutzt, Kapazität = **250 KByte/Spur**, später **9-Spurbetrieb**. Der **Präambel** 10101010 folgte ein **CRC-Zeichen** gemäß $x^{16}+x^{15}+x^2+1$. Abschluss bildete eine **Postambel**, die auch zum Einsynchronisieren bei Rückwärtslauf diente.



Historische IBM Band-Bibliothek

Die Entwicklung der Rechentechnik führte Anfang der 70er Jahre zu beachtlichen **Bandbeständen**. Einzelne Bänder mussten manuell ausgewählt und zum Laufwerk gebracht werden. Ab Mitte der **60er Jahre** entstanden daher **automatische Geräte**. **1974** schuf IBM die erste, mehrere m³ große automatisierte **Bandbibliothek 3850**. An der großen Rückwand befinden sich bis zu **4720** sechseckförmige Vertiefungen. Hierin sind spezielle **Hülsen mit Spulen** gelagert, **Band 6,9 cm** breit, **19,5 m** lang. Bis zu **4 Zugriffsstationen** holen eine gewünschte Spule heraus bzw. fördern sie wieder hinein. Gemäß dem Ablauf **a → b → c → d** wird der Bandwickel aus der Hülse (Kassette) herausgenommen. Einer der 8 möglichen Schreib-Lese-Stationen zugeführt. Aufzeichnung bzw. Wiedergabe mit rotierenden Köpfen, wie bei Videospeichern. Winkel von 17,5°, Kopfgeschwindigkeit 25,4 m/s, 2,6 Spuren/mm, 0,38 mm breite Spuren, max. 478 GByte. Technik konnte **ferngewartet** werden.



Weiterentwicklung der Magnetbandspeicher

Ursprünglich waren **Bandspeicher** direkt in die **Datenverarbeitung einzogen**, etwa so wie heute Festplatten

Heute Bandspeicher eigentlich nur noch der **Archivierung**

Trotz mehrfache „Totsagung“ immer noch wichtigste Speichergeräte und **dürften es noch lange bleiben**

Wahrscheinlich verschwinden vorher sogar die zeitweilig dominierenden optischen Speicher (CD, DVD usw.)

Wichtige Fakten sind **hohe Speicherdichte/Volumen**, **Datenrate** und **Betriebsicherheit** (nicht R-DAT -Varianten!)

Etwa **3 Arten** (≠ Etappen) unterscheiden

Start-Stopp-Technik ⇒ Linear-Streamer ⇒ Streamer mit rotierenden Köpfen

Zu beachten ist auch die sehr breite Anwendung von Magnetstreifen, -karten

Start-Stop-Technik

Existiert ab 1950 und bleibt bis um 1985 für Großrechner im Einsatz

Eigentlich wäre Ende sehr viel früher sinnvoll gewesen

Wechselplatte 1956, 8-Zoll-Floppy 1971, Festplatte 1982

Dennoch selbst mit den verbesserten Techniken war es bis 1985 möglich, die alten Bänder zu lesen

Die unnötige Verzögerung hängt auch mit der **falschen Prognose** von HERB GROSCH 1950 zusammen

Er hatte bei IBM die Leitung des ersten Computer-Vertriebsbüros übernommen, musste Regeln für Preise finden

Aus den wenigen, damals existierenden Rechnertypen leitet er ab, Rechnerleistung $L^2 \sim K$ Kosten

Publiziert J. Opt. Soc. America 53 (1953), S. 306 – 310; selbst Rechner-Lochkarten werden bis 1977 hergestellt!

Gegen dieses Gesetz verstieß die rasante Entwicklung der **Heimcomputer**, **Umdenken begann 1982** ⇒ IBM-PC

Entwicklung der Streamer-Technik

Englisch **to stream** strömen, im Sinne eines Wasserlaufs oder Flusses

Also kontinuierlicher Datenstrom, der sequentiell auf das Band übertragen wird

Bandtechnik ist wegen **langer Zugriffszeiten** eigentlich nur als **entfernte Peripherie** geeignet (Archivierung)

Hier sind **Kassetten** vorteilhaft, bewirken Schutz für Magnetband, sind automatisch in Robotern usw. handhabbar

Zunächst Einsatz üblicher **CC bei Heimcomputern**

Wenig später bei Kleinrechnern mit **digitaler CC**, es werden 9 Datenspuren parallel benutzt

Erste auf Rechentechnik ausgerichtete **Streamer-Kassette** ist **QIC**-Format ab 1982

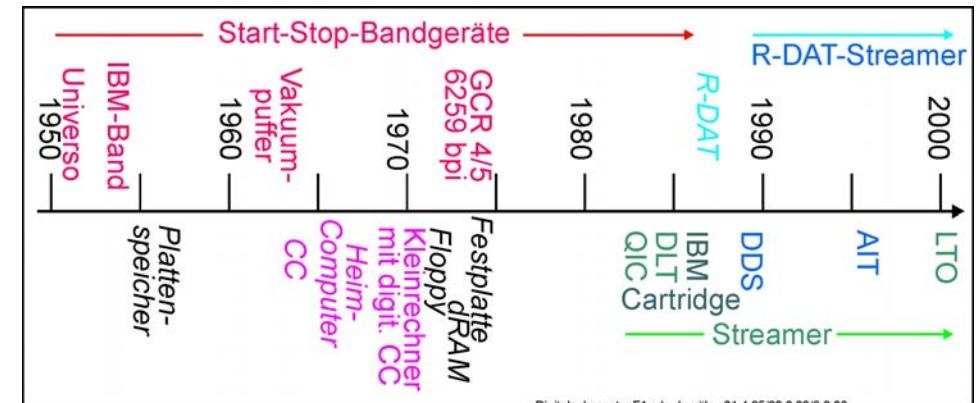
Hieraus gehen **Linear-Streamer** u. a. DLT und LTO hervor

1985 entsteht bei **IBM** die Ein-Spulen-Variante: **Cartridge** 3480 MTC (Magnetic Tape Cartridge)

1987 kommen abgeleitet aus **R-DAT-Streamer** mit rotierenden Köpfen hinzu (4 mm helical, DDS, AIT)

2010 bei **LTO Version 5**, Roadmap existiert bis Version 8

Zusätzlich entstehen **Bandbibliotheken** (Libraries)



Varianten der Technik

Bei den Streamern sind je 3 Varianten von Kassetten, Kopf- und Spuranordnungen zu unterscheiden. Sie kommen in unterschiedlichen Kombinationen vor.

Kassetten

1. **Zwei Spulen:** **Band bleibt** auch während des Betriebes **in der Kassette**
2. **Zwei Spulen**, Band wird für die **rotierenden Köpfe** abschnittsweise aus der Kassette herausgezogen
3. **Eine Spule**, Band wird am Ende aus der Kassette herausgezogen und im Laufwerk aufgewickelt

Nur bei 1. kann die Kassette in jeder „Stellung“ aus dem Laufwerk heraus genommen werden

Bei den anderen muss es zuvor **rückgespult werden**

Kopfanordnungen

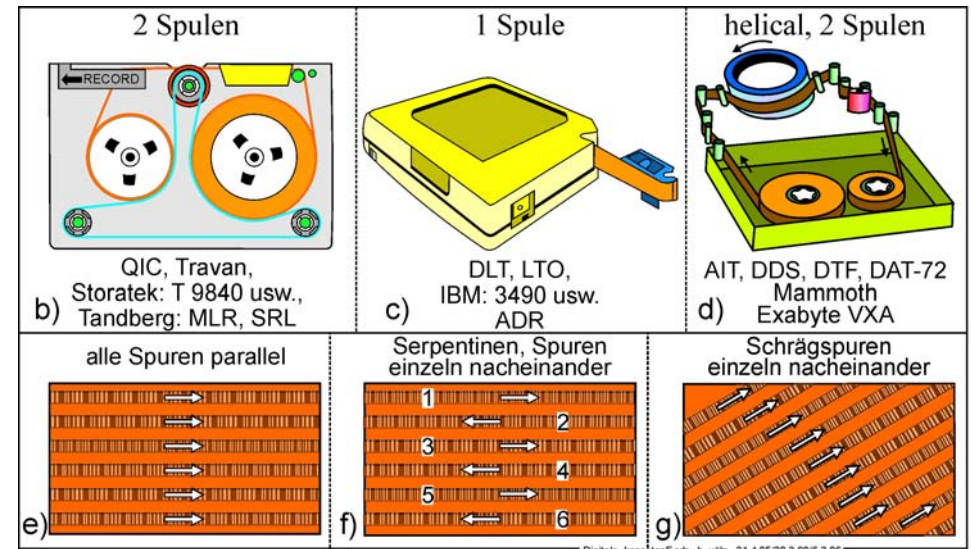
1. Kopf ist im Laufwerk **fixiert**, besitzt mehrere Spuren und **beschreibt Band parallel**
2. Kopf wird mit „**Fahrstuhl**“ auf verschiedene Höhen eingestellt und beschreibt Band **in Etappen**
3. Köpfe befinden sich in **rotierender Trommel** (Video), beschreiben Band in **Schrägspuren**

Bei 1. und 2. kann das Band evtl. **vor- und rückwärts** benutzt werden

Spuranordnungen

1. **Parallel in einer Richtung** verlaufende Spuren
2. **Parallel vor und zurück** laufende Spuren, teilweise in Form von Serpentinaen
3. **Schrägspuren** in einer Richtung

Eine **Kombination** von 1. und 2. ist üblich



IBM Cartridge 3480 MTC

Alle Varianten der **klassischen Datenbänder** waren auch mit den **stetig verbesserten Techniken zu lesen**

1985 brachte gegen diesen Trend IBM eine Einspulen-Kassette Cartridge 3480 MTC (Magnetic Tape Cartridge)

Technisch wäre sie infolge Plattenspeicher **viel früher möglich gewesen**: Bandtechnik „Großrechner“ $\Rightarrow$ Peripherie

Bei Kleinrechnern war **QIC etabliert** und **DLT gerade erschienen**

Dennoch wurde die die Cartridge $109 \times 125 \times 25 \text{ mm}^3$ ($\approx$ DLT) zunächst **sehr verhalten aufgenommen**

Gilt später teilweise als Revolution: **Archivierungsvolumen** sank auf $< \frac{1}{4}$

Voll geschützt (verschweißt) enthält sie $\frac{1}{2}$ -Zoll breite, 170 m lange und 27 - 34 μm dicke **CrO₂-Band**
Magnetschicht 7 μm , Koerzitivfeldstärke 420 A/cm

Die Abdichtung der einzigen Öffnung erfolgt durch den Bandführungsklotz

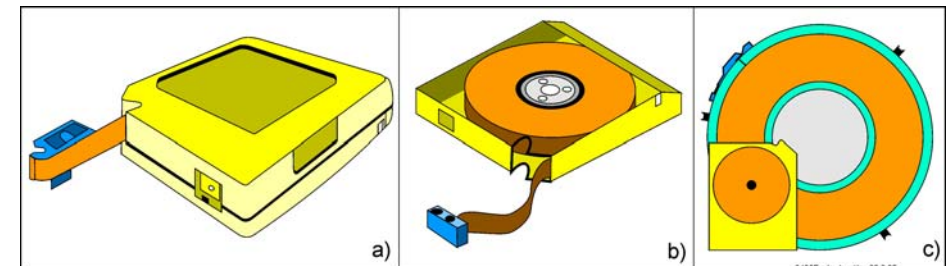
Aufzeichnung auf **18 Spuren**, Speicherdichte von 38000 fcpi (flux changes per inch) $\approx$ **1500 FW/mm**

Infolge **8/9 GRC** etwa 972 Bit/mm bzw. 1491 Zeichen/mm. 210 MByte

Erstmals **Servo-Spuren** über gesamte Bandlänge, deutlich bessere Bandführung und Kopfpositionierung

Der mechanische Antrieb des Bandes erfolgt nur über den Spulenkern

Infolge der Schutzmechanismen sind mehr als 80000 Bandpassagen möglich



Weiterentwicklungen

Später folgten Weiterentwicklungen **3490**, und 1995 **3590**

Kassette wurde beibehalten, auch wegen der schon eingeführten Band-Roboter und -Libraries

Spuranzahl wurde auf $8 \times 16 = 128$ erhöht

SARS (statistic analyze and report system) wertet Laufwerks-, Kassettenverhalten während gesamtem Betrieb aus

Zeitweilig gab es **Magstar 3570**, auch **NTP (new tape product)** oder MP 3570 (**multi purpose**)

schneller Datentransfer und weitgehende **Automation**.

Es entstanden „Silos“, die >1000 MTC im **automatisierten Zugriff** bereithielten

Andere Firmen entwickelten abgemagerte Geräteversionen mit Zweispurmagnetkopf und Serpentinbetrieb

QIC, Entwicklungsetappen

Quarter Inch Cartridge = Quarter Inch Compatibility

1960 ca. **brainstorming** der Firma **Kinelogic Corporation**

1977 **QIC-Cardidge** als Lösung für neue Speicher

1982 **Working Group** for Quarter Inch Cartridge Drive Compatibilty gegründet

1983 Arbeitsgruppe innerhalb **ANSI (American National Standards Institute)** ⇒ QIC sollte Normungen festlegen, bestätigte später aber nur großzügig eingereichte Varianten
Folge Anhäufung sich widersprechender Standards

1984 **Erstes QIC-Laufwerk** QUIC-02 mit 60 MByte

1987 QIC mit **40 MByte** Streamer eingeführt

1989 QIC-80 mit 80 MByte-Streamer auf $\frac{1}{8}$ -Zoll-Band-Catridge

1995 **Travan** wird als Erweiterung von QIC-Streamern eingeführt

2000 QIC-Streamer verlieren an Bedeutung

QIC-Cartridge

Grundlegend für QIC-Technik = kreative Diskussion (brainstorming) der 60er der Firma **Kinelogic Corporation**
Hierbei wurde der übliche 3-Motoren-Antrieb durch einen neuen ersetzt

Magnetband wird über mehrere Rollen geführt und vom einen umfassenden elastischen Endlosriemen angetrieben

Auf dieser Grundlage entstand Ende der 70er Jahre die QIC-Cartridge

Die Schichtseite des Bandes wird **reibend nur vom Magnetkopf** und nichtreibend vom Antriebsriemen berührt

Die sehr stabile, 1 mm dicke, metallische **Grundplatte ist Höhenbezug** für Magnetband, Kopf und Spurlagen

Es eine **Schutzklappe** aus durchsichtigem Kunststoff, die sich nur bei Einschub ins Laufwerk öffnet

Die **Band-Enden** sind nur **lose auf Wickelkörper** gelegt, vermeidet Eindringen von Befestigungselementen

Bei Laufwerkfehlern kann Band vollkommen vom Wickelkörper entfernt werden ⇒ manuelle Reparatur

Ansonsten völliges Abwickeln durch 2 **Lichtschranken und ausgestanzte Löcher** an Band-Enden verhindert

Werden **BOT (begin of tape)** bzw. **EOT (end of tape)** bezeichnet; Datenbeginn ist **LP (load point)**

Ferner gibt es Vorwarnpunkt **PSEW (pseudo early warning)**, gefolgt vom **EW (early warning)**

Schließlich existiert eine ein-aus-schaltbare **Aufzeichnungssperre**

Nach **Temperaturwechseln** und längerem Betrieb bewirkt der elastische Riemen Unregelmäßigkeiten in den Wickeln

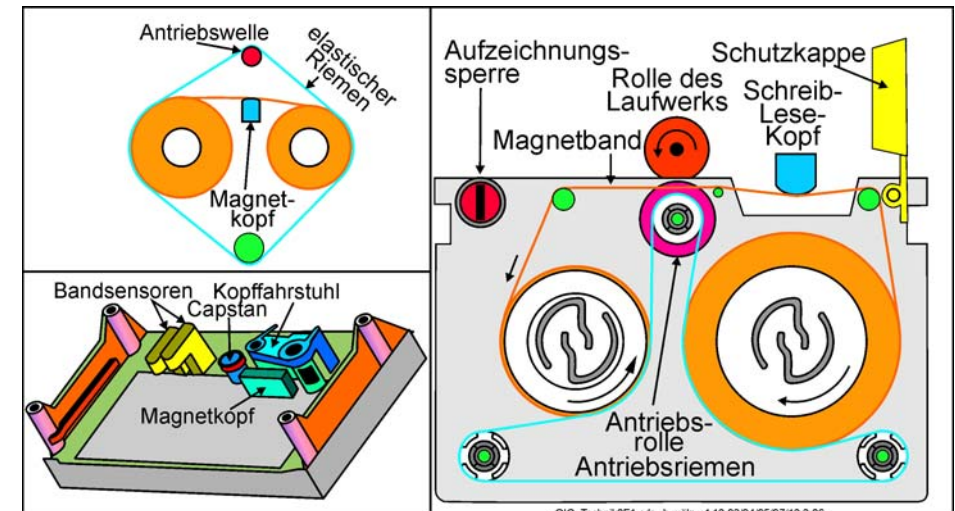
Deshalb ist zuweilen **Nachspannen** erforderlich: Band wird im Laufwerk einmal vor und zurück gespult

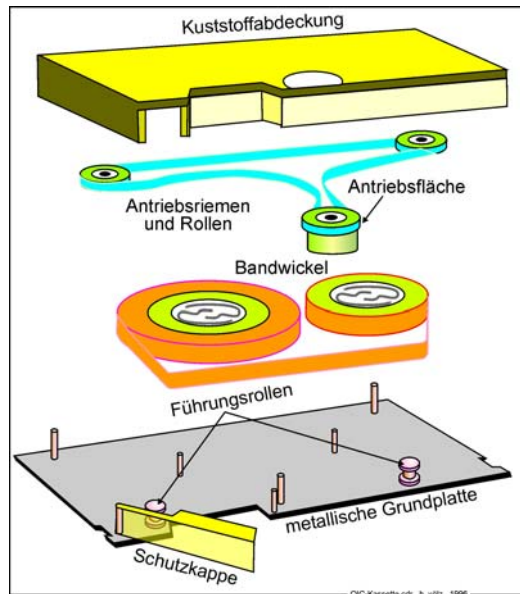
Die teure Cartridge einschließlich **Lizenzgebühren** wird durch ein **extrem einfaches Laufwerk** ausgeglichen

Nur einen Motor zum Antrieb des Capstan

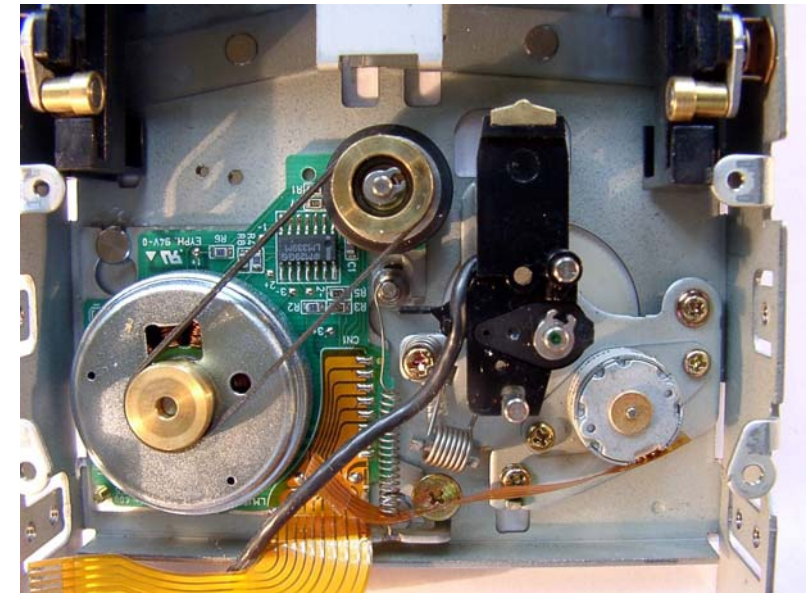
Später **Schrittschaltwerk für den Kopffahrstuhl**

2 optische Lichtschranken dienen der Erkennung von Band-Anfang- und -Ende





Folien Rechnerspeicher Horst Völz Seite 37 von 166



Folien Rechnerspeicher Horst Völz Seite 38 von 166

Aufzeichnungsformate

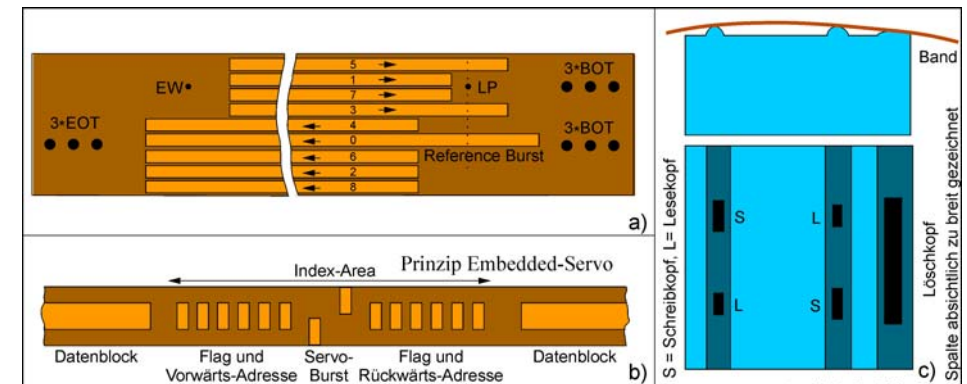
Anfangs existieren nur **9 Spuren**, die vor- und rückwärts in **Serpentinen** betrieben werden. Hierzu diente ein entsprechender Aufzeichnungs-Wiedergabekopf mit beachtlichem Spurabstand. Löschung erfolgte über die volle Breite des Bandes, wegen Fahrstuhl zuweilen über 4fache Bandbreite. Spätere Magnetköpfe besitzen je einen Wiedergabekopf rechts und links vom Aufzeichnungskopf. Der Kopf wird mit einem speziellen **Fahrstuhl in der Höhe verschoben**, zunächst einfach diskret eingestellt. Zur Spurführung wurden **2 Servo-Bursts**, je einer halb oberhalb und halb unterhalb der eigentlichen Spur benutzt. Später kam Regelung und **piezoelektrische oder Tauchspulenantriebe** (voice coil) zur schnellen **Feinjustage** hinzu. Dies erforderte eine sehr **zeitaufwendige Formatierung** vor der Benutzung der Kassette. Später wurden **optische Markierungen** auf dem Band, z.T. auf seiner Rückseite üblich. Ferner gab es mehrere **firmenspezifische Modifikationen** mit oft **werbewirksame Namen**, wie seek tape edge, reference burst, floating head system und precision tracking.

Die **Anzahl der Spuren** wurde im Laufe der Entwicklung auf ca. 1000 erhöht.

Dadurch wurden Mehrspurköpfe mit bis zu 8 Spuren erforderlich.

Zuweilen kamen auf **144 Datenspuren 24 Servospuren**.

Folien Rechnerspeicher Horst Völz Seite 39 von 166



Folien Rechnerspeicher Horst Völz Seite 40 von 166

Die Kassetten

Zu Beginn nur 2 Varianten:

- **Standard- Cartridge:** 152×102×16 mm³ (= 6×4×0,7 Inch³) mit ½-Zoll-Band von 122 m Länge
- **Mini-Cartridge** = 3,5-Zoll- Cartridge: 76,2×63,5×14 mm³ mit ¼-Zoll-Band von 90 m Länge

Neben der Größe unterscheiden sie sich in der Aufzeichnungssperre: Drehknopf ⇔ Schieber
Für sie entstanden außerdem keine Bandbibliotheken und Bandwechselgeräte

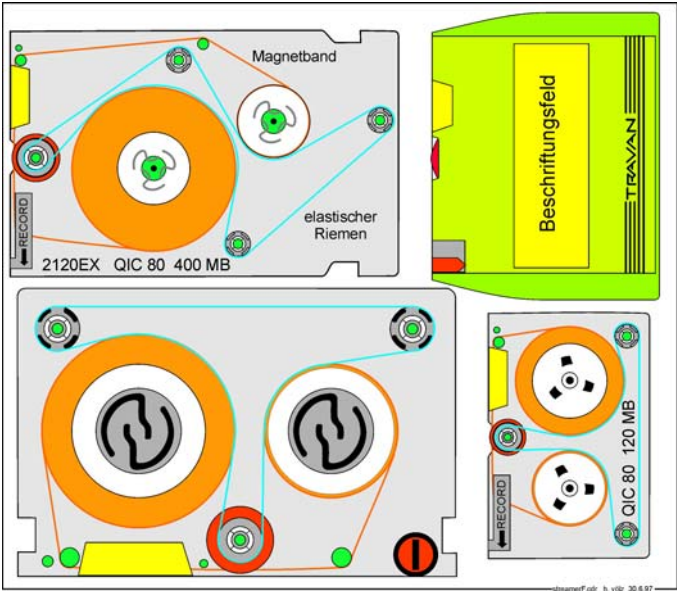
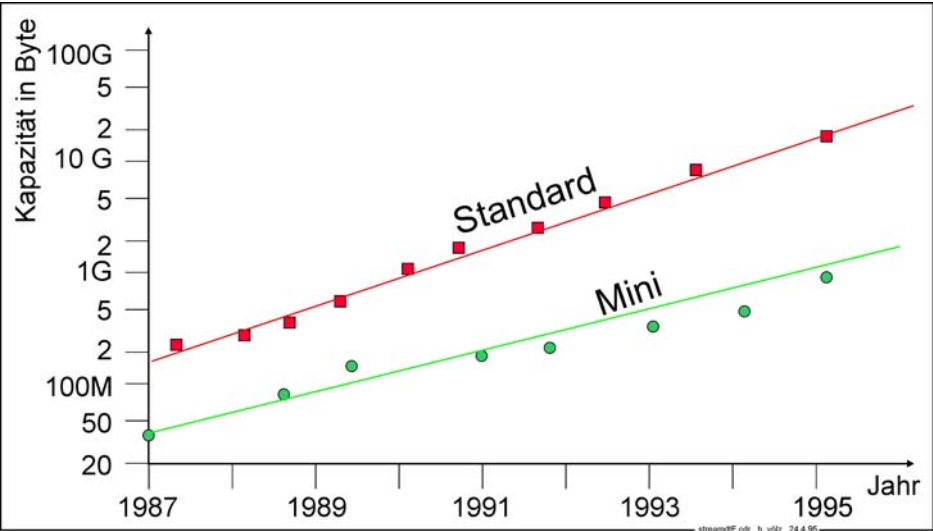
Später 4 Cartridges-Varianten mit Breiten des Bandes von ¼-, ½-, 1/8-Zoll und 8-mm

Mini-Variante mit 1/8-Zoll-Band bei ersten **Hewlett-Packard-Tischrechnern** zur externen Speicherung benutzt

1988 führte Sony die **Wide**-Technik der Mini-Cartridge mit 8 mm breitem Band ein, 56 statt 42 Spuren
read-after-write ⇒ read-while-write, Lesen fast während der Aufzeichnung, Vergleich über CRC

1995 shuf 3M (heute Imation) die **Travan**-Technik: 8-mm-Band, Cartridge ragte aus dem Laufwerk 15 mm heraus

2000 Mini-Varianten, 228 m Band, ragten 15 cm aus dem Laufwerk heraus, erreichten erstmalig **1 GByte**



Daten von QIC-Kassetten und -Gräten

Markterfolg von QIC: lange Zeit Abwärtskompatibilität zu älteren Formaten, zumindest bezüglich Lesen.
Bandgeschwindigkeit bei 1,3 bis 3 m/s

Für Standard-Cartidges existierten u. a.

Format	Cartridge	MByte	Spuren	kbpi	kfcpi
QIC-24	DC600A/XTD	24/60	9	8	10
QIC-120	DC600/6150	125	15	10	12,5
QIC-150	DC6150/6250	150/250	18/32	10	12,5
QIC-525	DC6320/6525	329/525	26	16	20
QIC-1000	DC9100/9120	1000/1200	30	36	45
QIC-1350	DC9135	1350	30	30	38,8
QIC-2GB	DC9200/9250	2000/2500	42	40,6	50,8
QIC-2100	QIC-137	2700	30	40,6	50,8
QIC-5GB	QIC-137	5000	38	62	82,6
QIC5010	DC13GB	13300	144	67	50,8

Für Mini-Cartridges existierten u. a.

Format	Cartridge	MByte	Spuren	FW/mm	kfcpi
QIC-40	DC2000	40	20	390	10
QIC-80 (XL)	DC2080 (DC2120)	80/120	28	580	14,7
QIC-3010	MC3000/(XL), QIC-Wide	255/340/445	40	870	22,1
QIC-555M	DC2555, QIC-EST	555/2100	40	2 000	50,8
QIC-3040	MC3000XL, QIC-Wide	840/1000	42	2 000	50,8
QIC-3050	MC3100 (XL)	750/1000	40	1 500	38,8
QIC-3080	MC3000XL, QIC-Wide	1600/2000	60	2 400	60
QIC-3110	QIC-153	2000	48	2 800	70

QIC-(ähnliche) Formate anderer Firmen

Tandberg-Geräte (ab 1996) tragen die Bezeichnung **MRL-XX** (multi channel linear recording) besaßen 4 Aufzeichnungs- und 8 Wiedergabeköpfe

Neuere Bezeichnung ist **SLR** (scalable linear recording bzw. single channel linear recording).

QIC-ähnliches Laufwerk T9840B von **StorageTek und Imation** mit 20 GByte

Firma	Name	GByte	MByte/s
Tandberg Data Typisch 460 m ¼ Zoll-Band	SLR-3	1,2	0,3
	SLR-4DC	2,5	0,3
	SLR-5	4	0,38
	SLR32	13	1,5
	SLR-7	20	3
	SLR-50	25	2
	SLR-60	30	4
	SLR-100	50	5
Imation ehemals 3M Travan bis zu 106	SLR-140	70	6
	TR-1	0,4	0,063
	TR-2	0,8	0,063
	TR-3	1	0,125
	TR-4	4	1
	TR-5	10	1
	TR-7	20	2

Betriebssicherheit von QIC-Geräten

Wird in MTBF (mean time between failure) angegeben, etwa gilt

Elektronik 80 000 (200 000) h

Magnetköpfe 5 000 h

Motor 10 000 h

Weitere Daten zu QIC in Literatur. Sie haben aber nur noch historische Bedeutung

Linear-Techniken

Kassetten mit nur einer Spule

1984 erstes Gerät von **Digital Equipment Cooperation** (DEC) TK 50 = **DLT** (DEC linear tape), 94 MByte
Schichtseite berührt nur Magnetkopf, ausgereifte Technik garantiert: Daten 30 Jahre sicher gelagert

1994 veräußert DEC: Festplatten- + Bandspeicherung **an Quantum**
DLT = **digital linear tape technology**
Wurde dann schrittweise zum meistbenutzten Streamer

ab 2001 **SDLT** (super DLT)

DLT-Kassette

stabiles **Kunststoffgehäuse** $4 \times 4 \times 1 \text{ Inch}^3$ ($101,6 \times 101,6 \times 25,4 \text{ mm}^3$)

Verschlossene Klappe der Spule wird für die Einfädelung geöffnet

Einfädelung erfolgt über mehrere Umlenkrollen zur Spule im Streamers

Kopplung über ovales Loch, 15 cm lange **Kunststoff-Zugband** und angepasstes Band im Gerät (Leader)

Bandwickel auf einer **kuggelagerten Spule**, 600 m $\frac{1}{2}$ -Zoll-Band, 8 μm dick

Ursprünglich **feststehender Aufzeichnungs-Wiedergabe-Kopf** schreibt/liest mehrere Spuren parallel zur Bandkante

Zum Transport Kassette in weiche, **staubdichte Kunststoff-Schatulle**

Mit Weiterentwicklung wurde **Spurzahl** = Spurdichte ständig erhöht, **2005 = 448 Spuren**

Jeweils **8 Spuren werden gleichzeitig** geschrieben/gelesen werden

MRC-Magnetköpfe (magneto resistive cluster): magnetoresistive Wiedergabe

+ rechts, links je 8 Aufzeichnungssysteme

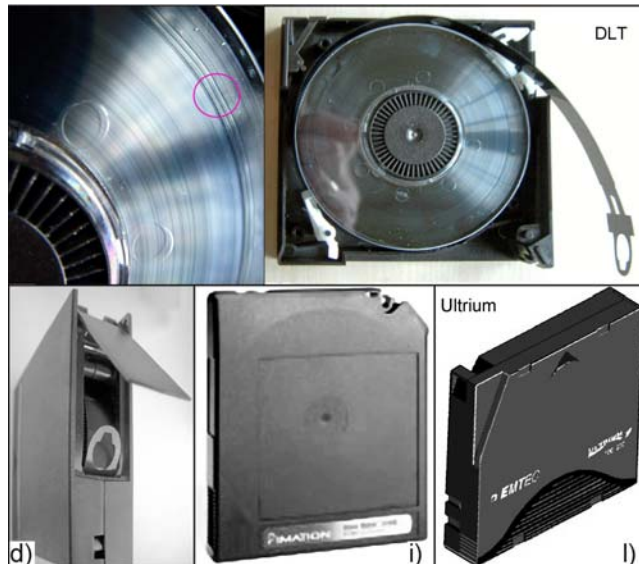
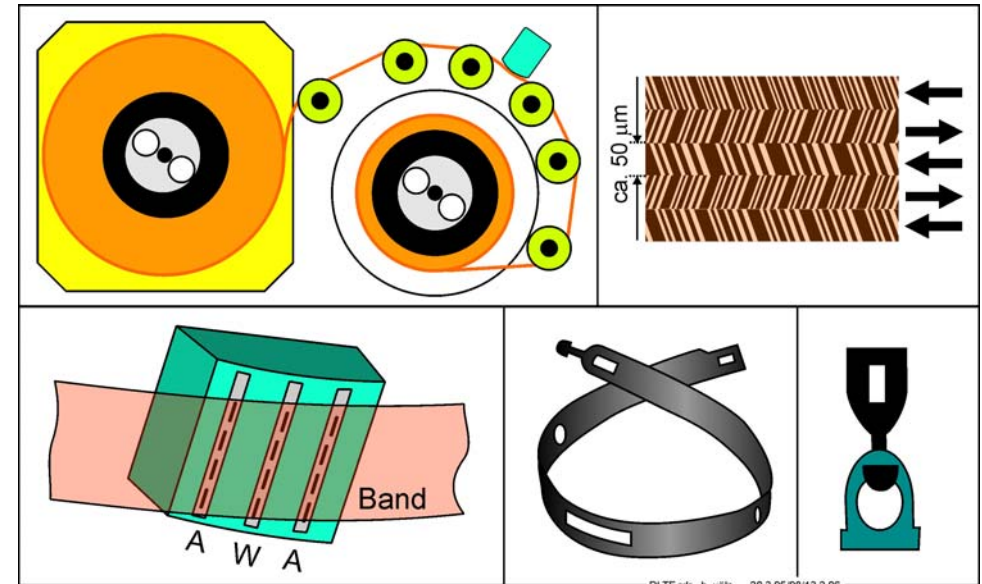
Leicht **schräge Spaltausrichtung** SPR (symmetric phase recording) $\Rightarrow$ **Betatechnik** ohne Rasen

Band **metallische Pulverteilchen** (AMP = advanced metal powder), auf seiner Rückseite optische Servo-Spuren

Wiedergabe: weiterentwickeltes **PRML** (partial response maximum likelihood) = **EPR** (enhanced partial response)

Spurführung kombiniert optisch (3 Laser-Strahlen) und magnetisch mit **LGMR** (laser guided magnetic recording)

2005 verbessertes **POS** (pivoting optical servo), entfällt sogar das Vorformatieren des Bandes



DLT; rote Umrandung = nicht ordnungsgemäßer Bandwickel mit stitches; rechts unten Ultrium-Kassette

Abgeleitete Entwicklungen

Zusammenhang mit IBM Cartridge 3480 MTC von 1985 (1 Jahr später) **ist unsicher**

Ab etwa 1995 versuchten **mehrere Firmen ähnliche Techniken** einzuführen

1999 Firma **Onstream** gegründet, vermarktet 2000 Philips entwickelte **ADR** (advanced digital recording)

2001 konkurs, jedoch gleichzeitig **Neustart als Onstream BV**, bestand dennoch nur bis Mai 2003

Benutzt **8 mm Band**, schreibt/liest **parallel 8 Spuren**

Vorteil: **Bandgeschwindigkeit stufenlos** für Datenstrom von 0,5 bis 4 MByte/s anpassbar, gespreizte Fehlerkorrektur

Hewlett-Packard, IBM und Seagate offener Standard **LTO** (linear tape open), jedoch **Lizenz-Gebühren**

Gilt als **verkappte Weiterentwicklung von DLT** mit Ultrium-Kassette, erste Geräte **2000** auf dem Markt

Laufwerks- und Medieneigenschaften müssen **kompatibel zu Parametern eines Referenzbandes** sein

Ursprünglich **zwei Formate geplant**

1. Einzelspulengeräte „Ultrium“ für hohe Kapazitäten
2. später verworfene „Accelis“ für sehr schnellen Datenzugriff

Präzise Kopfführung **6 redundante Servo-Spuren** zwischen den Datenspuren + optische Markierungen

Magnetoresistive Köpfe, advanced **PRLM** verwendet

4 KByte-Chip in Kassette speichert:

Seriennummer, Inhaltsverzeichnis, Informationen der letzten 100 Ladevorgänge
verwendetes Laufwerk und verarbeitete Datenmenge

Konkurrenzkampf

DLT höhere Kapazitäten, niedrigerer Preis

Geräte CLT-V mit DLT-Ice = WORM-Funktionalität
Mit elektronischen Schlüssel, einmalige Kennung, Daten nicht modifizierbar, manipulierbar
Band kann lediglich vollständig gelöscht und dann mit anderer Kennung erneut beschrieben werden
Weiterentwicklung von DLT-V verhindert unautorisierten Zugriff auf Banddateien

LTO höhere Geschwindigkeiten

2010 LTO-5-Bändern 1,5 bzw. 3,0 TByte, Marktanteil ca. 80 %
LTO-Roadmap bis Generation 8 mit 12.8 TByte, Datenraten bis 472 MByte/s

Ab 2000 auch Versuch von StorageTek und Imation mit T9940B

Einige Daten der Linear-Technik

Bei Spuren x(y): x = Spurzahl auf dem Band, y Spuren beim Kopf
Zahlen in den Namen geben meist die komprimierte Datenkapazität an

Firma	Name	GByte	MByte/s	Sonstiges
DEC 1993	DLT 2000	10	1,25	½ Zoll, 560 m
Quantum 1994	DLT 4000	20	1,5	208 (4) Spuren
1996	DLT 7000	35	5	Spuren schräg, kaum Rasen
1999	DLT 8000	40	6	
1999	SDLT 80	40	3	
2003	SDLT 160	80	8	
2001	SDLT 220	110	11	448 (8) Spuren MR-Köpfe
2002	SDLT 320	160	16	
2004	SDLT 600	300	36	
2005	DLT-S4	800	120	
IBM	3480	0,2/0,3	3	18 Spuren, 169/246 m
	3490	1	3	36 Spuren
	3590J	20	14	128 (16) Spuren, 335 m, ½ Zoll
	3590K	60	14	dito
IBM Magstar	MP3570	7	7	Produktion eingestellt
Philips	ADR1(50)	25	2	192 (8) Spuren 8 mm Band
Onstream	ADR2	60	4	384 (8) Spuren
HP (2000)	LTO-1	100	15	
+ IBM (2002)	LTO-2	200	35	384 (8) Spuren, 1 Spule,
+ Seagate (04)	LTO-3	400	80	35 Spuren/mm
StorageTek+	T9840B	20	19	2 Spulenkassette
Imation	T9940B	200	30	1 Spulenkassette

Helikale Technik DDS

1970 begann die Schrägspuraufzeichnung mit rotierenden Köpfen für die kontinuierliche Videoaufzeichnung
1975 benutzte sie IBM für das System 3850 bei seinem großen Bandroboter (s.o.)
1987 entstand die digitale Schallaufzeichnung mit dem R-DAT-Verfahren (digital audio on tape)
1989 führte Sony diese Variante 1989 zum DDS (digital date storage)

Kassette entspricht der R-DAT mit Abmessungen 76,2 × 50,8 × 12,7 mm³ (3 × 2 × 0,5 Inch³)
Kopftrommel ist mit jeweils zwei Schreib- und Leseköpfen bestückt
≈4 mm (3,84) breite, sehr dünne Metallpartikel-Magnetbänder von 60, 90 bzw. 120 m Länge

DDS verlangt bessere Speicherdaten, vor allem weniger Bandfehler und Bänder mit speziellen Eigenschafte
Gekennzeichnet durch Streifencode MRS (media recognition system) am Anfang, wird automatisch erkannt
Hohe mechanische Belastungen ⇒ DLC-beschichtet (diamond like carbon = Kohlenstoff in Diamantqualität)

Nachteile gegenüber Linear-Technik

Rotierenden Köpfe = hohe Beanspruchung der Magnetschicht, zusätzlich Ein- und Ausfädeln des Bandes

DDS Fortsetzung

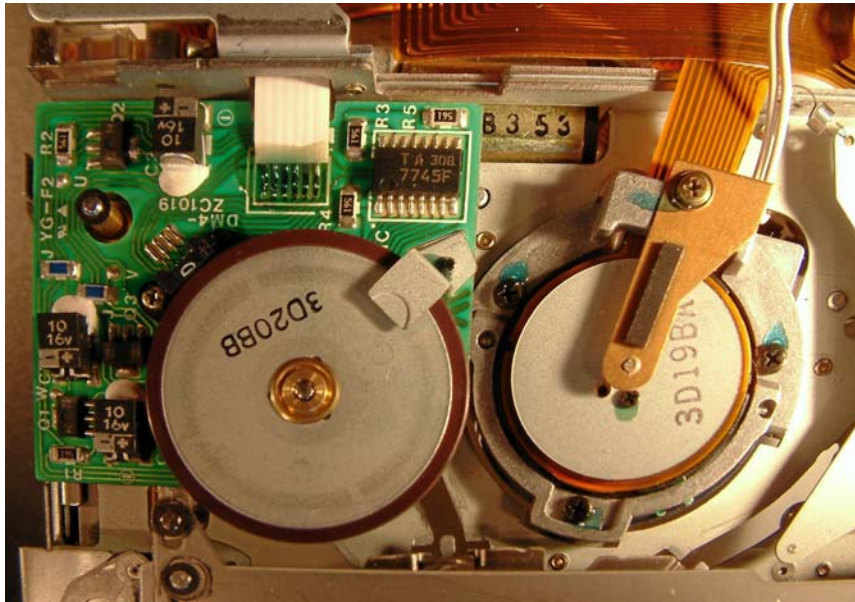
Zusätzliche vierte Stufe der Fehlerkorrektur
Bei günstigen Betriebsbedingungen dürfen 4 000 Byte maximal 640 Fehler auftreten
Entspricht: bei 15 Spuren darf maximal eine fehlerhaft sein

Zwei Partitionen auf dem Band:

- 1. am Bandanfang: Adressen als Inhaltsverzeichnis für etwa 200fache Suchgeschwindigkeit
- 2. eigentliche Daten, nicht zusammenhängend, in 120 Blöcken verteilt, kleinste logische Gruppe = 126 KByte

Belastung = Gefahr des Rostens der Fe-Partikel, Garantie zwar 100 Aufzeichnungs- + Wiedergabevorgänge
Jedoch gemäß Ontrack höchste Häufigkeit der Datenverluste, Empfehlung: Band nur 4mal benutzen
Ferner wird empfohlen, ein aufgezeichnetes Band etwa alle 3 Jahre umzuspeichern

Anfangs Verkaufserfolg: günstiger Preis + hohe Speicherdichte, Anfangs 1 GByte ⇒ Gigatape
DDS-2 und DDS-3 sind bezüglich DDS-1 voll rückwärtskompatibel
DDS-4-Streamer benutzen metallbedampftes 180 m langes Band



Folien Rechnerspeicher Horst Völz Seite 57 von 166

Weitere helikale Techniken

Hewlett Packard und **Certance** (ehemals Seagate RSS) DAT-72 und DAT-160 ähnlich DDS

1995: **Sony**-Variante **DTF** abgeleitet aus ½-Zoll-Betacam-Technik, große L-Kassette 732 m Band
8 parallele Aufzeichnungs- und Wiedergabekanäle für hohe Datenrate, DTF-2 kleine S-Kassette, 241 m Band
Beide enthalten einen Speicherchip für die Bandinformationen. Technik wenig verbreitet

1996 Sony wegen Probleme mit dem **4-mm-Band** ⇒ **AIT** (advanced intelligent tape) mit 8-mm-Band
Kassette enthält 64 KBit Halbleiterspeicher als MIC eingebaut (**memory in cassette**) für 1. Bandpartition von DDS
Metallbedampfte **AME-Bänder** (advanced metal evaporated) aus doppelter Magnetschicht, 100 % Kobalt + DLC
Besitzen am Anfang ein kurzes **Reinigungsband**, Höhere Koerzitivfeldstärke verlangt MIG-Köpfe (**metal in gap**)

2002 Weiterentwicklung zum **S-AIT** (super AIT) mit ½-Zoll-Band benutzt. Bezeichnung zuweilen SDX

1989 **Exabyte** abgeleitet vom S-VHS mit 8 mm Band, 1996 **Mammoth** genannt, M-1, 2002: M-2

Ecrix entwickelt **VXA**-Geräte, Fa. wurde 2001 von Exabyte übernommen
Kassette: 122×84×15 mm³ (4,8×3,3×0,6 Inch³) entspricht kleiner 8-mm-Video-Cartridge, 120 m Metallpigmentband
Jede Schrägspur von 72 mm Länge enthält 387 Datenpakete zu 64 Byte, mit speziellem read-after-write kontrolliert
Zur Vermeidung von back-hitching (Lesewiederholung) gibt es **Geschwindigkeitsanpassung**

Folien Rechnerspeicher Horst Völz Seite 58 von 166

Helikale Streamer

Firma	Name	GByte	MByte/s	Sonstiges
Sony 1988	DDS-1	0,65	0,15	4 mm, 60 m
1991	DDS-DC	2	0,18	Metallpartikelband, 90 m, 13/4,5 µm 120 m
1993	DDS-2	4	0,36	
1995	DDS-3	12	0,5	180 m, metallbedampft
1997	DDS-4	20	3	
ca. 1995	DTF-1	200	24	½ Zoll L-Kassette Beta-Video
ca. 1995	DTF-2	60	24	½ Zoll S-Kassette
1996	AIT-1	35	3	8 mm, vakuumbeschichtetes Band, 230 m
	AIT-2	50	6	
	AIT-3	100	12	½ Zoll Kassette
	AIT-4	200	24	
2002	S-AIT-1	500	30	
2005	S-AIT-2			
HP + Certance	DAT-72*	36	3	4 mm, Metallpartikel-Band
2003, 2005	DAT-160*	72		* meist Ultrium hinzugefügt
Exabyte 1996	Mammoth	20	3	8 mm
2000	Mammoth 2	60	12	
	VXA-1	33	3	
	VXA-2	80	6	
	VXA-3	160	12	

Folien Rechnerspeicher Horst Völz Seite 59 von 166

Bandbibliotheken und Automatisierung

Griechisch **biblion** Buch und **theke** Behälter

Schon im Altertum waren die vorhandenen Datenmengen für individuellen Umgang zu groß
Um 300 v.Chr. gründete PTOLEMAIOS I. SOTER (305 - 283 v.Chr.) die **große Bibliothek in Alexandria**
für den König von Makedonien ALEXANDER DEM GROßEN (356 - 323 v.Chr.)
Mit über 700 000 Buchrollen war sie die größte Wissens-Sammlung der Antike
Zum ersten Mal in der Menschheits-Geschichte wurde hier alles Wissen der Welt an einem Ort vereint
Die heiligen Schriften der Ägypter, der Juden, der persischen und der indischen Religionen
ebenso Werke der Naturwissenschaften, der Metaphysik, der Poesie und der Politik

Heute sind es **Bilder, Filme, Musik, Hörspiele, technische Daten** usw. weniger die Bücher

Bei **elektronischen Daten** gibt es – wenn auch in anderer Weise – ähnliche Aufgaben
Zunächst, weitgehend auch heute noch, werden Bänder, Kassetten, USB-Sticks usw. **manuell gehandhabt**
Das ist bei **großen Archiven**, z. B. in Rundfunk, Fernsehen, Rechenzentren usw. äußerst schwierig und umständlich
Ab 1966 entstanden **automatische Geräte**, 1974 die erste, große automatisierte **Bandbibliothek** IBM 3850 (s. o.)
Weitere Details in Literatur

Folien Rechnerspeicher Horst Völz Seite 60 von 166

Wachsende Bedeutung der Automatisierung

Einfache Abschätzung mit Vergleich

Für das **Weltwissen** von $\approx 0,1$ EByte sind 10^5 Bandkassetten mit je 1 GByte erforderlich

Die Bandoberfläche beträgt $\approx 10^5$ m² $\Rightarrow$ zusammengefasst **ein Magnetband 10 km lang und 10 m breit**

Das entspricht den **Jumbo-Papier-Rollen** großer Druckereien mit ≈ 1 m $\varnothing$

Prinzipiell realisierbar, wegen geringer Redundanz wäre das Archivierungsvolumen sogar sehr klein

Probleme: Einhalten Speicherdichte, Finden der Daten, Trägheit des Wickels, sehr große Zugriffszeit

Entgegengesetztes Extrem: **10^8 extrem kleine Chips mit 1 MByte** $\Rightarrow$ hohe Volumenredundanz
Hoher Organisationsaufwand, aber wenn Chip gefunden, extrem kleine (parallele) Zugriffszeit

Zwischen Extremen **optimale Lösungen**

besonders vorteilhaft sind automatisierte, **hierarchische Strukturen**

Entsprechend dem Bedarf und der technischen Möglichkeiten sind Lösungen **stark zeitabhängig**

Varianten der Automatisierung

Archivierung, Daten müssen bei Bedarf verfügbar sein, hohe Sicherheit ist wichtiger als kurze Zugriffszeit
Backup; regelmäßiges Aufheben von Daten, bei Ausfall der Technik muss schnell Arbeitsfähigkeit möglich sein
Datenmanagement, optimierte Datenzugriffe nach Bedarf bzgl. Zugriffszeit und Datenmenge (viele neue Begriffe!)

Technische Lösungen

z. B. Autoloader, Band-Bibliothek, -Roboter, -Station, -Wechsler
Datensilo, Juke-Box, Massenspeicher, Tape-Library, -Roboter und -station
Namen z. T. firmenspezifisch

Passende Software (Lösungen)

u. a.: Information Lifecycle Management (ILM)
Hierarchical One Volume Manager (OVM-H)
Hierarchisches Speicher-Management
High-end Storage Management (HSM),
Storage Area Network (SAN)
Tape-Virtualisierung

Eigenschaften und Varianten s. u.

Klassifizierung von Geräte-Varianten

Etwas vereinfacht lassen sich die technischen Lösungen in 3 Gruppen einteilen

Zwischen den Varianten gibt es **Übergänge**

Auswahl erfolgt nach Betriebsgröße und anfallende Datenmengen

Autolader

englisch autoloader = kleine kompakte Geräte

Passen noch auf Schreibtisch oder als Einschub in einen typischen 19-Zoll-Schrank

Ermöglichen Zugriff auf 4 bis 20 Kassetten, stehen nebeneinander im Magazin oder auf einem Karussell

Sie werden automatisch einer einzigen Schreib-Lese-Einheit zugeführt; Wechselzeit etwa 30 Sekunden

Bandwechsler

Schränke in Kühlschranksgröße, enthalten um hundert Kassetten, mehrere Schreib-Leseeinheiten

Bandbibliothek

füllt einen Raum; ähnlich Hochregalen der Fertigungs- und Lagertechnik

enthält oft viele Tausend Kassetten

Ein oder mehrere bewegliche Roboter ergreifen Kassetten und führen sie zu einigen Schreib-Lese-Einheiten

Auswahl der Geräte-Varianten

Große Bandbibliotheken vor allem zur **Archivierung**

kleinere Geräte automatisches **tägliches, wöchentliches Backup**

Nur für kleine Datenmengen sind Festplatten-RAID oder Geräte mit optischen Speichern (CD usw.) eine Alternative

RAIT (redundant array of independent tapes) besteht aus mehreren Geräten

In der Praxis ist meist mit **beachtlichem Wachstum der Datenmenge** zu rechnen

Daher ist bei jedem Neuaufbau einer Technik immer eine **Erweiterbarkeit zu berücksichtigen**

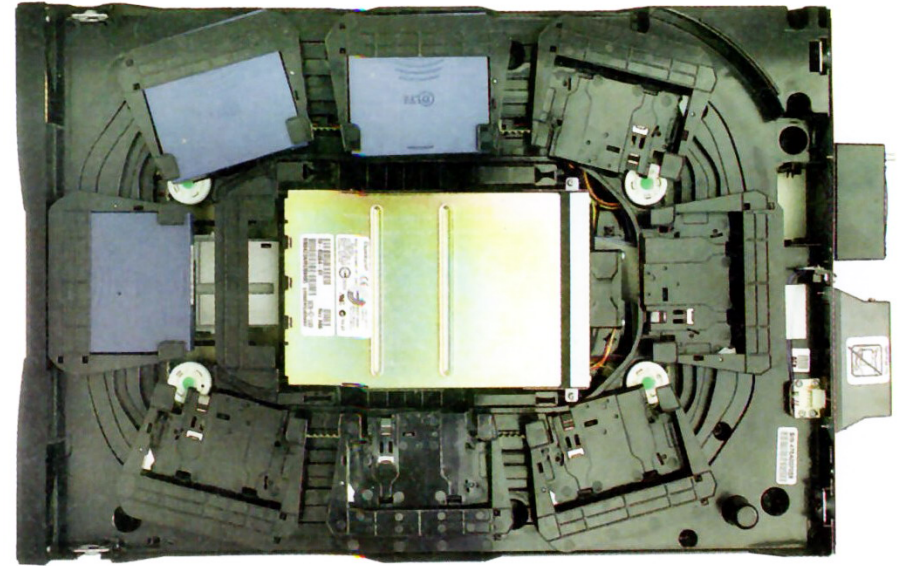
Leider trägt hierzu auch der **Gesetzgeber** mit seine stark wachsenden Forderungen bei

Dies gilt u. a. für alle **steuerrelevante** Finanz-, Produktions- und Lieferdaten

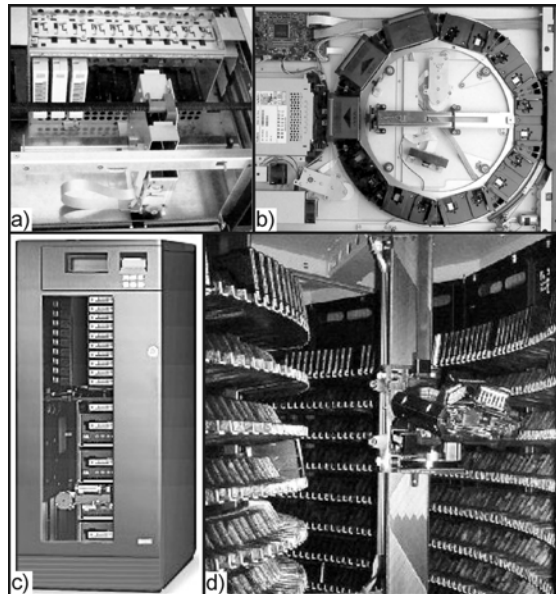
In der Pharma-, Prozess- und Nahrungsmittelindustrie ist auch **lückenlose Chargenrückverfolgung** erforderlich



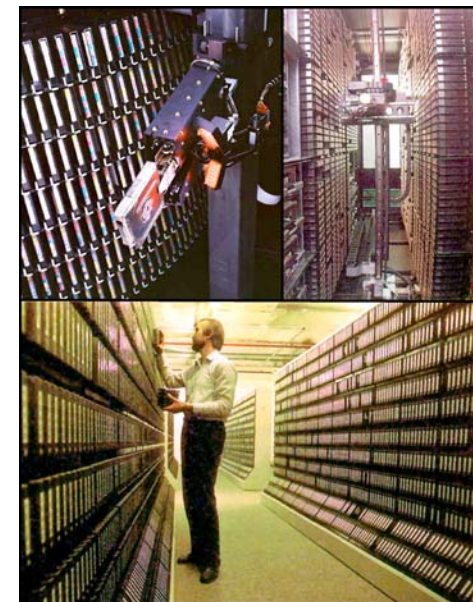
Folien Rechnerpeicher Horst Völz Seite 65 von 166



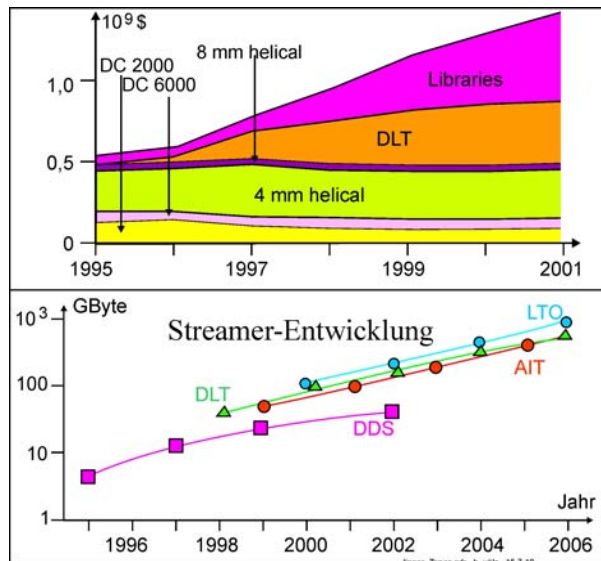
Folien Rechnerpeicher Horst Völz Seite 66 von 166



Folien Rechnerpeicher Horst Völz Seite 67 von 166



Folien Rechnerpeicher Horst Völz Seite 68 von 166



Geschichte der Magnetkarten

Erste Versuche gab es bereits Mitte der 30er Jahre, dann wieder Anfang der 50er Jahre. Ende 50er Jahre ausnahmsweise **große Magnetkarten** als Massenspeicher für Großrechner eingesetzt (s. o.)

1957 versuchte Magnavox (Los Angeles), die damals noch üblichen Lochkarten durch Magnetkarten zu ersetzen. 1969 erfolgte der entscheidende **Durchbruch mit der Kreditkarte**, heute u.a. Euro-, VISA- und MasterCard. Sie entstand als Weiterentwicklung von Diners Club 1950 eingeführter Vollplastikkarte mit **hochgeprägter Schrift**. Spätere Weiterentwicklungen sind u. a. die Chipkarte bzw. Smartcard. Sie besitzen die standardisierten Abmessungen des **Scheckkartenformats** von $85,6 \times 53,6 \times 0,76 \text{ mm}^3$. Andere Namen sind magnetic card, Plastikkarte mit Magnetstreifen oder Magnetstreifenkarte. Ab 1980 erfolgte die **Normung nach ISO 3554** (International Standards Organization) s. u. Inzwischen sind viele **Abwandlungen und Sonderanwendungen** erfolgt (s. u.)

Aufbau

Magnetkarten und -streifen verwenden **Partikel-Schichten des Magnetbandes** werden direkt oder mittels Magnetband-Kaschierfolie auf eine Unterlage gebracht. Ihr Aussehen ist meist schwarz, selten braun, häufig ist eine dünne Schutzschicht oder Aufdruck aufgebracht.

Magnetkarten sind **sehr einfach herzustellen** und daher sehr preiswert (wenige Cent). Daher **viele Anwendungen**, u. a. Kreditkarte, Einlasskarte, Bordkarte, Kundenkarte, Bahncard, Schlüsselkarte, Bonuskarte, Mitgliedsausweis, schrittweise entwertbare Fahrkarte, auf Sparbüchern usw.

Die **vielfältigen Varianten** unterscheiden sich durch die Unterlage und die Abmessungen. U. a. werden stabile **Kunststoffe, Pappe und dickes Papier** benutzt.

Magnetkarten werden manuell oder automatisch (Motor) durch ein **Lesesystem** gezogen. Eine **Aufzeichnung** ist gewöhnlich nur mit erhöhtem Aufwand und speziellen motorgetriebenen Geräten möglich. Meist wird nur eine geringe **Speicherdichte** von wenigen Bit/mm benutzt.

Karten nach ISO-Norm

Gemäß der ISO-Norm befindet sich der Magnetstreifen auf der dem oberen Teil der Rückseite. Karten können zusätzlich einen Chip, Hochprägung oder Bar-Code besitzen.

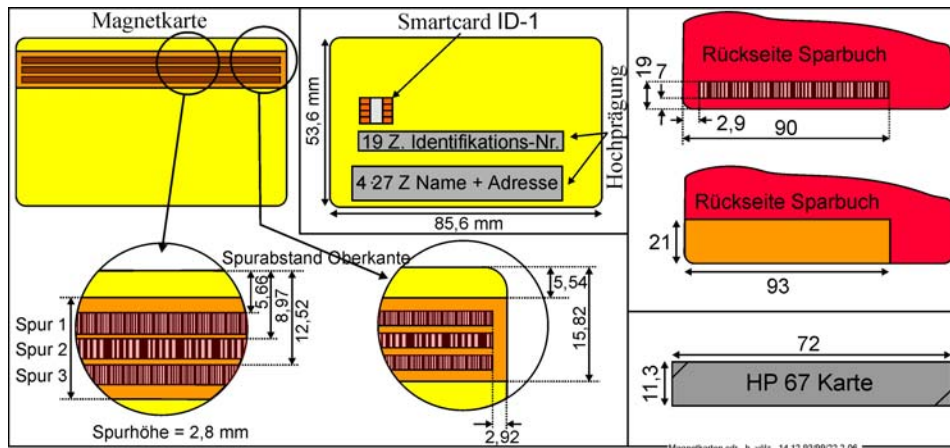
Der Magnetstreifen mit reichlich 1 cm Breite wird in **3 Spuren von 2,8 mm Breite** aufgezeichnet. Die Aufzeichnungen beginnen und enden in etwa 3 mm vom Kartenrand:

Spur 1: 79 Zeichen zu je 7 Bit/Zeichen mit 8,3 Bit/mm, nur lesbar, alphanumerisch in ASCII, Addition von 20 Hex.
Spur 2: 40 Zeichen zu je 5 Bit/Zeichen mit 3 Bit/mm, nur lesbar, numerische Zeichen, BCD (binär codiertes dezimal).
Spur 3: 107 Zeichen zu je 5 Bit/Zeichen mit 8,3 Bit/mm, schreiben zulässig, dito BCD, für ASCII + 30 Hex.

Alle Daten unverschlüsselt, niederwertiges Bit zuerst. PIN (personal identification number) nicht auf der Karte.

Kodierung in modifizierter Frequenzmodulation (F2F = frequency double frequency). Bereits 1954 von HOWARD HATHAWAY AIKEN (1900 – 1973) entwickelt, ermöglicht sehr gute Taktgenerierung.

Ähnlicher Magnetstreifen wird auf die Rückseite einiger **Sparbücher** kaschiert, soll 2012 durch Chip ersetzt werden, 8,3 Bit/mm und 4-Bit-BCD-Code + ungerades Parity-Bit. Enthält u. a.: Länderschlüssel, Bankleitzahl, Kontonummer, Saldo, Währung. Details in Literatur.



Inhalte einiger Magnetkartentypen nach ISO

	Spur	Stelle	Inhalt
EC-Karte	2	1-3	Kennung (672)
		9-18	Kontonummer
		21-22	Gültigkeitsjahr
		23-24	Gültigkeitsmonat
	3	1-4	Kennung (0159)
		5-12	Bankleitzahl
		14-23	Kontonummer
		37-40	noch abhebbarer Betrag in € (nicht alle Geldinstitute)
		41	Endziffer des Jahres der letzten Abhebung
		61-62	Gültigkeitsjahr
		63-64	Gültigkeitsmonat
S-Card	2	x	genau wie EC-Karte
	3	1-4	Kennung (0059)
Kreditkarte	1	2-17	Kreditkartennummer
		19-44	Familiennamen des Karteninhabers
		46-47	Gültigkeitsjahr
		48-49	Gültigkeitsmonat
	2	1-16	Kreditkartennummer
		18-19	Gültigkeitsjahr
		20-21	Gültigkeitsmonat



Oben links: Einlasskarte von „Autostadt“ in Wolfsburg
 Unten links: grüne Fahrkarte vom Pariser Roissybus (66 × 30 mm²) dünne Pappe
 Unten rechts: Kundenrest einer Bordkarte der Scandinavian Airlines, stärkeres Papier



Oben links: U-Bahn-Fahrkarte von Barcelona. Nur langer, schmaler, schwarzer Bereich ist mit Magnetmaterial beschichtet, kurzer senkrechter Strich ist aufgedruckte Kennung, keine Eckenrundung
 Oben rechts: Londoner U-Bahn, dito keine Eckenrundung
 Unten links: Fähre Amsterdam - Newcastle
 Unten rechts: Neckermann-Versand mit zusätzlichem Prägedruck und Barcode

Programmierbare Taschenrechner

1972 erstmals von Hewlett Packard beim HP-65 benutzt, Es folgten 1975 der HP-67/97 und 1979 der HP-41C
Damals Halbleiterspeicher in Taschenrechner noch sehr klein: HP-65: 100; HP-67/97: 224; HP-41C 448 Byte

Magnetkarten in beide Richtungen – randseitig mit etwa $\frac{1}{3}$ Spurhöhe – verwendet, Kapazität 2×112 Bytes
Zum Schutz einer Aufzeichnung kann die jeweilige Ecke entfernt werden

Auch **Texas Instruments** übernahm Kartenspeicherung beim SR-52 und TI-59

Anfang der 80er Jahren erschien der HP-71 für längere Karten ohne Motor, Hindurchziehen der Karte

Für die HP-Rechner gab es etwa 10 umfangreiche Programmpakete

Sowie eine Bibliothek mit ca. 1000 von Anwendern eingereichten Programmen



Fest programmiert
Zum Schreibschutz fehlen beidseitig die Ecken

Leere Magnetkarte
Aufzeichnung und Beschriftung möglich

Reinigungskarte mit spezieller Beschichtung



Rotierende Magnetspeicher

Gegenüber Bandspeichern sind sie ein deutlich anderer Kompromiss bezüglich:
große Speicherkapazität, kurze Zugriffszeit und niedrige Kosten

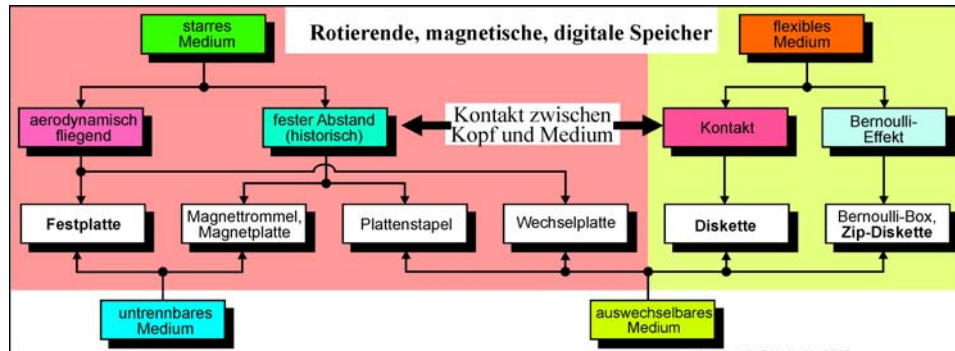
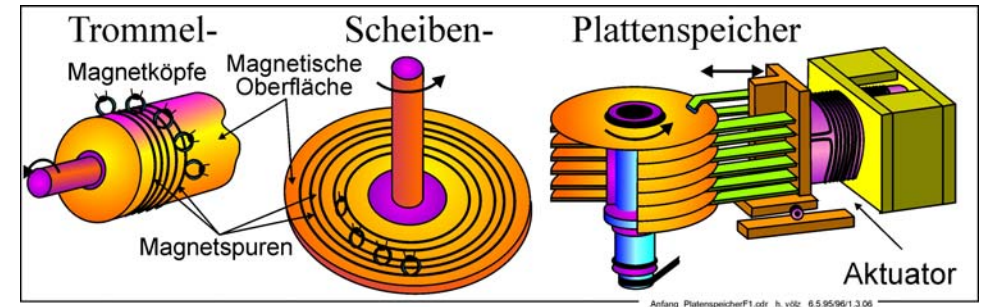
Die wichtigsten Varianten sind

- **Trommelspeicher** mit ungünstigem Verhältnis zwischen nutzbarer Oberfläche und Volumen, fixierten Köpfen
- **Plattenspeicher**, evtl. mehrere Scheiben, Fest- oder Wechselplatten, fixierte oder fliegenden, verstellbare Köpfe
- **Disketten** mit flexiblem Datenträger und meist einem verstellbaren Kopf

Alle sind durch **kreisförmige Spuren** gekennzeichnet
nur bei optischen Speichern (CD usw.) wird *Spiralform* benutzt

Die Spuren können unterschiedlich auf verschiedenen **Oberflächen** angeordnet sein

- **Zylinder** beim Trommelspeicher
- Auf einer **Scheibe, Platte, Diskette** mit unterschiedlichen Radien
- **Mehrere Platten** können übereinander stehen



Stukturen

Innerhalb einer Spur werden Winkelbereiche als **Sektoren** mit bestimmter **Blocklänge** mit 2^n Daten definiert
Gebräuchlich sind Blöcke mit 128, 256, 512 usw. bis zu 8192 Byte

Auf Festplatten existieren z.T. mehr als hundert Sektoren je Spur

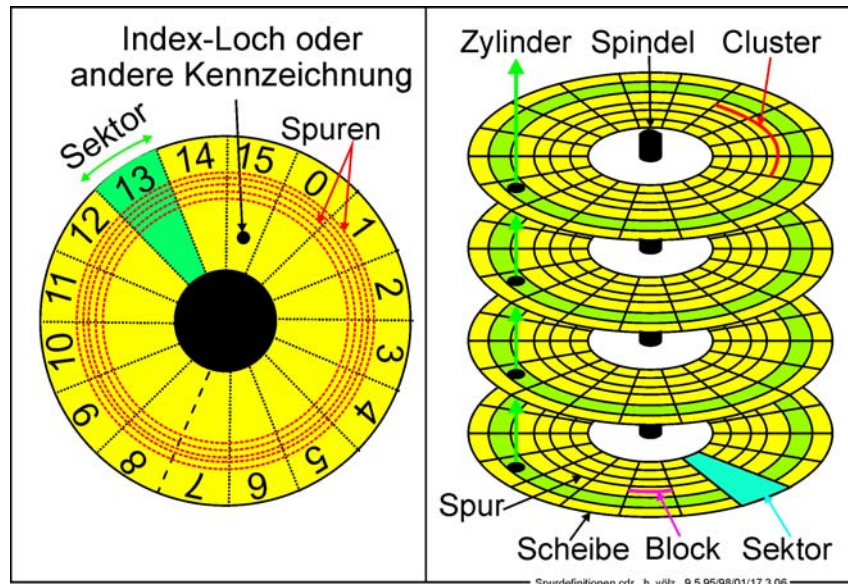
Zählung der Sektoren ist durch ein **Indexloch** bei Disketten oder eine ähnliche Struktur bei anderen Medien festgelegt

Jeder Block/Sektor ist folglich durch eine **Spur- und Sektor-Nummer** festgelegt

Beidseitig benutzte Disketten, Scheiben von Festplatten, mehrere Scheiben $\Rightarrow$ **Kopf-Nummer** erforderlich

Bei Festplatten werden alle Köpfe zugleich bewegt, sie steuern dann äquivalente Spuren an, **Zylinder** genannt

Insgesamt können sich dabei so viele „Adressen“ ergeben, dass sie vom Betriebssystem nicht erfasst werden können
Dann mehrere Sektoren zu einem **Cluster** zusammengefasst
selbst ein einzelnes Bit (Byte) belegt dann ein ganzes Cluster



Zugriffstechnik

Adressen der Sektoren bzw. Cluster in **FAT** (file allocation table) als „Adressverzeichnis“, Spur 0 gespeichert
Hier auch gespeichert, ob jeweiliger **Sektor „frei“** ist bzw. was für Daten er enthält

Die meisten Dateien sind größer als die Blocklänge, daher zusätzlich „**Fortsetzungsverweise**“ notwendig

Mit dieser komplexen Methode ist ein **recht schneller Zugriff** auf beliebige Dateien möglich

Für eine gesuchte Datei wird zunächst in der FAT gesucht, von dort der Magnetkopf auf Spur und Zylinder gesetzt
Dann muss gewartet werden, bis der richtige Sektor unter dem Kopf zum Lesen/Schreiben vorbeikommt
Dann muss der nächste Sektor gesucht, angesteuert und gelesen werden
So sind **für eine Datei viele Kopfbewegungen** erforderlich

Beim Löschen einer Datei werden **nur Einträge** in der FAT zurückgesetzt.

Werden mehrfach Dateien aufgezeichnet, später wieder gelöscht usw.
entstehen freie Sektoren an verschiedenen Stellen

Nach längerem Betrieb wird daher eine Datei unregelmäßig verteilt über eine Festplatte aufgezeichnet
ist dann **fragmentiert** (lateinisch *fractio* Zerbrech. Bruch)
liegt vollständig erst nach längerer Suchzeit vor

Um die Suchzeit wieder zu verkürzen, muss eine Festplatte mit einem Programm **defragmentiert** werden
In der Anfangszeit der Rechentechnik geschah dies durch *Umspeichern auf eine leere Diskette*



Details eines Sektors

Beim Aufzeichnen dürfen nicht versehentlich Daten zerstört werden $\Rightarrow$ hohe Sicherheit für Adressen notwendig
Bevor Aufzeichnung, Wiedergabe erfolgt, immer erst prüfen, ob richtige Spur + Sektor erreicht
Dazu vor jedem Sektor die **Spur- Sektor-Nummer** gespeichert = **ID-Feld** (identification $\approx$ Index $\approx$ header)
Daten werden bei **Formatieren** auf Disketten, Festplatten erzeugt, können danach nur gelesen werden
= „**Low-level-Formatierung**“ = Vor-Formatierung (Aufruf: debug -g=c800:6, heute nicht mehr zulässig (s. u.)

ID-Feld besteht aus

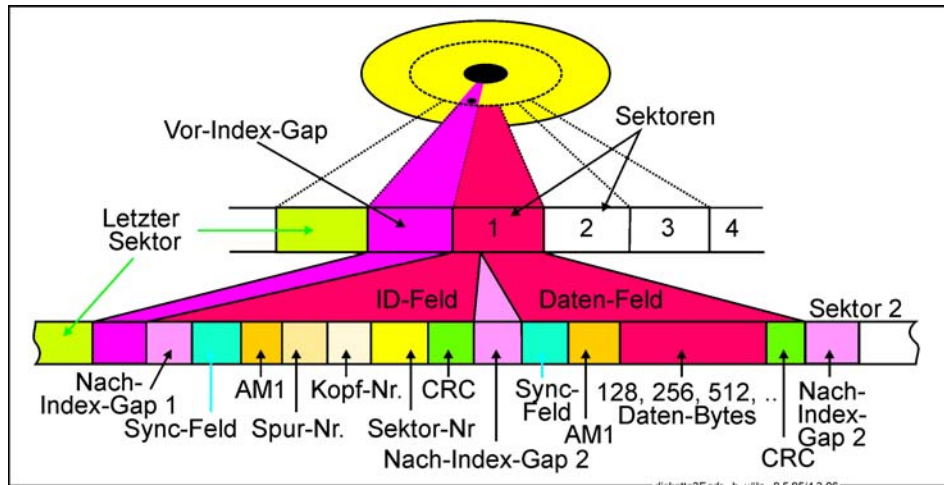
- Ein Sondersignal „**Sync-Feld**“, zeigt den Beginn an
- „**AM 1**“, kennzeichnet das Medium einschließlich der Sektorgröße
- Es folgen: **Nummern für Spur, Kopf** (u. a. Ober-/Unterseite) und **Sektor**
- Abschließend **CRC-Zeichen**, dient zur Überprüfung der Fehlerfreiheit

Für das Aufzeichnen muss anschließend der Kopf **von Wiedergabe auf Aufzeichnung umgeschaltet** werden
Hierzu wird Zeit benötigt, so ergibt sich ein **Nach-Index-Gap** (englisch *gap* Lücke, Riss, Spalt)
Er kann von Aufzeichnung zu Aufzeichnung variieren, muss daher Reserve besitzen

Datenfeld besteht aus

Sync-Feld; AM 1 für Datenträgerkennzeichnung; **eigentliche Daten**; **CRC-Zeichen**

Zum nächsten Sektor ist wegen Aufzeichnungs-Wiedergabe-Umschaltung noch ein **Nach-Index-Gap** erforderlich
Bei jeder Umdrehung muss einmalig der Start-Index (Loch) erkannt werden $\Rightarrow$ vergrößerter Sonder-Gap

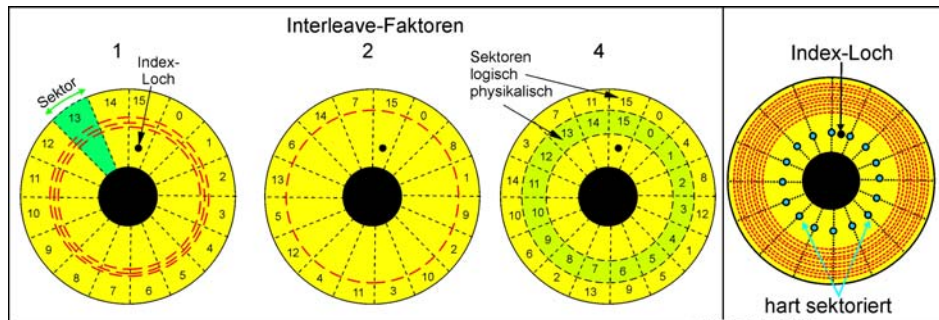


Interleave-Faktor, hard sektoriert

Englisch *to leave* lassen, zurücklassen, hier besser auslassen

In der Anfangszeit waren die **Rechner nicht so schnell**, dass sie aufeinanderfolgende Sektoren lesen konnten. Wegen Umschalten Schreiben/Lesen mussten ein oder mehrere Sektoren übersprungen werden = Interleave-Faktor. Andernfalls musste eine volle Umdrehung abgewartet werden.

Sein Wert hing von den Daten der Festplatte und des Rechners abhängig, musste individuell eingestellt werden. Es wurden dann **physikalische und logische Sektoren** unterschieden. Heute ist dies nicht mehr erforderlich.



Zeitweilig gab es auch „**hart sektorierte**“ Disketten, Für den Anfang jedes Sektors besaßen sie zusätzliche Löcher

ZBR

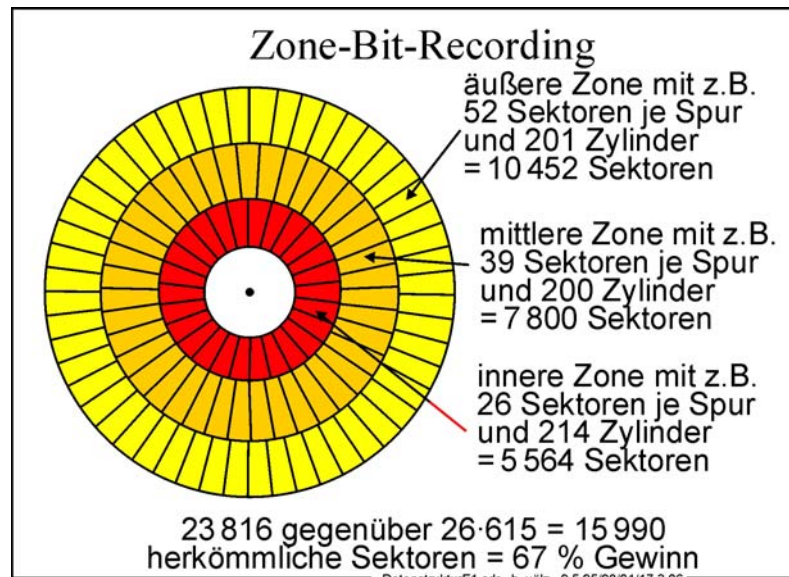
Bei allen rotierenden Medien muss die Speicherdichte **auf innerste Spur ausgelegt** werden. Hierdurch wird **äußerste Spur nur schlecht genutzt**. Sie würde etwa doppelte Speicherdichte ermöglichen.

1987 führte daher **Seagate ZBR** (zone bit recording) ein.

Mit der Sektorenzahl ändert sich ja auch die Datenrate. Erst zu dieser Zeit gab es hinreichend komplexe Controller. Zunächst gab es nur drei Zonen mit unterschiedlichen Sektorenzahlen, $\Rightarrow$ 1,7-fache Speicherkapazität. Heute wird das Prinzip bei fast allen Fest-, Wechsel- und optischen Platten angewendet.

Bei Festplatten wird es allgemein **VTOR** (variable track capacity recording) bezeichnet, viele Zonen, z.T. über 20.

Ein **Nachteil** dieser Technik ist, dass die **low-level-Formatierung** nicht mehr durchgeführt werden kann. Auch **Parkprogramme** sollten nicht mehr angewendet werden. Entsprechenden Platten besitzen Autoparkfunktion.



NCQ

Im letzten Jahrzehnt wurde der **Cache** in den Festplatten immer **größer und schneller**, **Controller umfangreicher**

Zusätzliche Steigerung ermöglicht dann **NCQ**

(native command queuing, $\approx$ natürliches In-Reihe-Stellen von Befehlen)

Es wird die Reihenfolge von Positionier- und Latenzzeit (s. u.) teilweise vertauscht
Sektoren werden **nicht mehr in „richtiger“ Reihenfolge**, sondern auf mechanisch kürzestem Weg gelesen

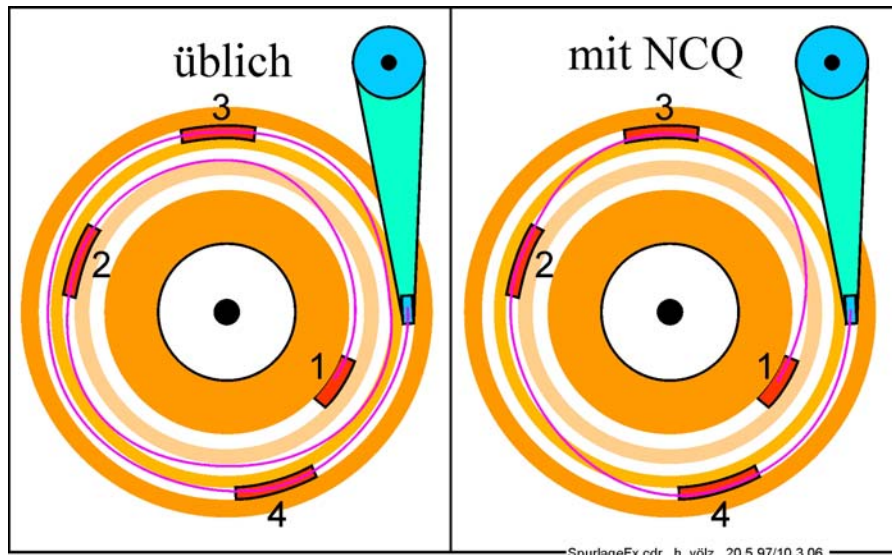
Controller muss Reihenfolge optimieren, Cache muss Daten zwischenspeichern
Standardgemäß werden dabei bis zu 32 Sektoren berücksichtigt

Beispiel: „richtige“ Reihenfolge: $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4$, NCQ kürzesten Weg: $1 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 4$

Ergibt deutlich höhere Geschwindigkeit für getrennt liegende Sektoren

Zusätzlich geringer Verschleiss der Festplatte

Derartige Programme heißen u.a. „**rotational position ordering**“



Beginn und RAMAC

Am ältesten ist der **Trommelspeicher** (s. o.), großes Volumen im Vergleich zur nutzbaren Speicherfläche

Außerdem **unterschiedliche Ausdehnungskoeffizienten** $\Rightarrow$ kein kleiner Kopfabstand, hohe Speicherdichte möglich

Sehr früh entstanden daher auch Speicher mit **Magnetplatten** (Scheibenspeicher), zunächst mit je einem Kopf je Spur

Später Varianten mit einem **beweglichen Kopf je Oberfläche**, können als Urbild der Diskette (1978) gelten

Notwendig Antrieb für Kopfbewegung (Aktuator) $\Rightarrow$ **aufwändige Steuerung, Energie, längeren Zugriffszeiten**

Am 13.9.1956 stellte IBM den ersten **Plattenspeicher RAMAC** (random access method of accounting and control)
Unter Leitung von REYNOLD B. JOHNSON in San Jose (Kalifornien) entwickelt für den Rechner IBM 350

Erstmalig ein Plattenstapel benutzt, **50 Platten; $\varnothing = 61$ cm** (24 Zoll), je Plattenseite ein beweglicher Kopf

Motor für Rotation mit 1 200 UpM einige kW

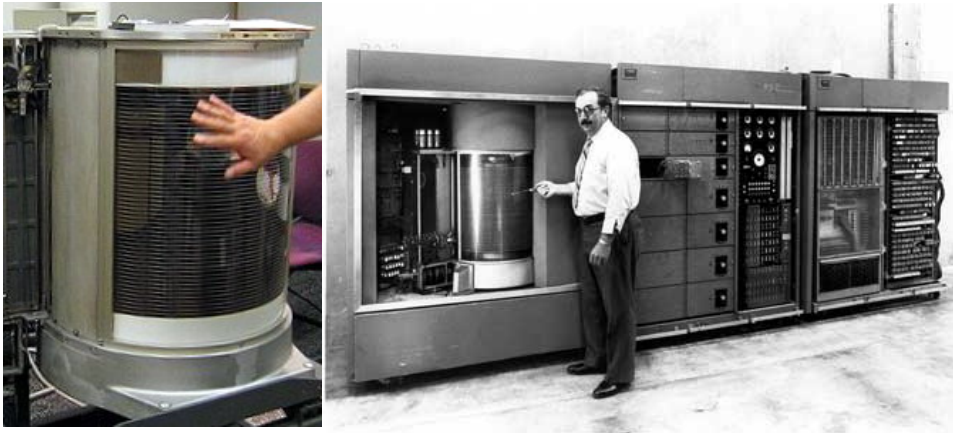
Aktuator (Tauchspulenmotor, voice coil) = einige kg bis zu 20 g beschleunigt und abgebremst (Energieverbrauch!)

100 Spuren/Plattenseite; 500 Zeichen/Spur; 100 kByte/Platte; total **5 MByte**

Platten mit braunem, pulverförmigem Eisenoxyd beschichtet

Flughöhe der Köpfe **pneumatisch $\approx 30 \mu\text{m}$** $\Rightarrow$ zusätzliches Gebläse und Düsen an den Köpfen

Größe etwa zwei Kühlschränken, konnte für **$\approx 250\,000$ \$/Jahr geleast** werden



Erster Wechselplattenspeicher

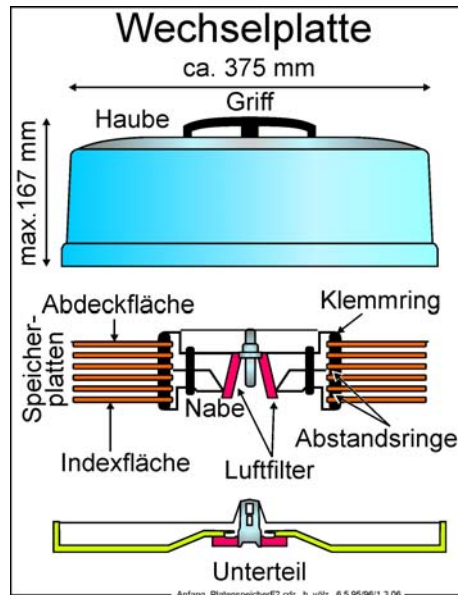
Beginn 1961 mit IBM 1311. Auf Spindel **6 Platten zu 14 Zoll**, total **3,65 MByte**
Spindel auf einem Unterteil gelagert, darüber Haube mit Handgriff, staubgeschützte Lagerung, Offline-Medium!
Ermöglicht Erweiterung der Kapazität, Archive, guten **Transport** (noch kein DFÜ!)

Für Betrieb Haube abnehmen und Spindel ins Speichergerät einsetzen
 Bei Sollzahl (1500, 2400 oder 3600 UpM) werden Köpfe an Gleitern zwischen die Platten geschoben
 Anschließend (anfangs ≈ 350 p) gegen entstehendes Luftpolster an Plattenoberfläche gepresst
 Flugabstand $\approx 5 \mu\text{m}$, Speicherdichte $\approx 4 \text{ Bit/mm}^2$.
 Positionierung der Spur mittels unterster Scheibenfläche = aufgezeichnete **Master-Spuren**
 Vor **Halt** werden die Köpfe aus Plattenstapel herausgefahren; erst danach kann der Stapel wieder entfernt werden
 Bei dieser Technik erstmalig **Headcrash**; Erschütterungen oder Staubteilchen
 Kopf berührte die die Magnetschicht der Platte, beschädigte sie oder riss gar selbst ab, Informationsverlust!
 Zuweilen wurde dabei sogar der ganze Stapel unbrauchbar

1965 zur IBM 2314 Variante mit 10 Platten und 29 MByte
 Weiterentwicklungen erfolgten bis Ende der 80er Jahre
 Kapazitäten erreichten fast GByte, bis minimal 2 Platten
 Technik erlangte Mitte der 60er Jahre sehr große Verbreitung



WechselplatteFoto.jpg



Folien Rechnerspeicher Horst Völz Seite 101 von 166

Festplatten ⇔ Winchester

1973 beginnt IBM das „**Winchester**“-Projekt: Gerät und Speichermedium $\Rightarrow$ als untrennbare Einheit
 Vor allem wird höhere Datensicherheit **gegen head crash** und **einfache Technologie** angestrebt
 Staubfreiheit in völlig abgeschlossenem Gehäuse, komplizierter, teurer Lademechanismus der Plattenstapel entfällt
 Heute kennt keiner Bezeichnung „Winchester“ war kein Deckname, sondern **Vulgär-Bezeichnung** der Ingenieure
 Speicher sollte im Gehäuse **zwei Plattenstapel zu 30 MByte** erhalten **Deckname 30-30**
 Stimmt zufällig mit Nummer der berühmten **Winchester-Jagdgewehre** überein
 Begriff **Winchester-Speicher** blieb bis $\approx$ 1990, heute Festplatte bzw. englisch harddisc, harddrive

1979 erstes 8-Zoll-Winchester-Laufwerk „3330“, nur ein Plattenstapel, sehr schwer, teuer (5 MByte >10 000 DM)
 Für **Anpassung** an vorhandene **Controller ca. 3 Monate** Arbeitszeit

300 Spuren/Plattenseite, Speicherdichte (innen) $\approx$ 220 Bit/mm, Aluminiumplatten beidseitig **1 μ m γ -Fe₂O₃**

Wesentlich **verbesserter Gleiter** mit mechanischen **Federdruck $\approx$ 10 p**

Erstmalig reservierter Bereich = **Park-, landing zone** in Zentrumsnähe, hinreichend weit von Datenspuren entfernt

Hier landeten Köpfe beim Abschalten und erhoben sich beim Start

Rotation erzeugt aerodynamisch automatisch die richtige **Flughöhe 0,5 μ m**

Bewegt und **transportiert** durften die Speicher nur dann werden, wenn die **Köpfe hier fixiert** waren (extra Befehl)

Bereits 1980 gab es erste 5¼-Zoll-Laufwerke, wurden auch beim IBM-PC (1983) eingesetzt (s. Geschichte)

1998 IBM Microdrive (Entwickler THOMAS A. ALBRECHT)

Größe = Compact-Flash-Card Typ II von $42,8 \times 34,4 \times 5$ mm³, zunächst 340 MByte, später bis 8 GByte

Folien Rechnerspeicher Horst Völz Seite 102 von 166



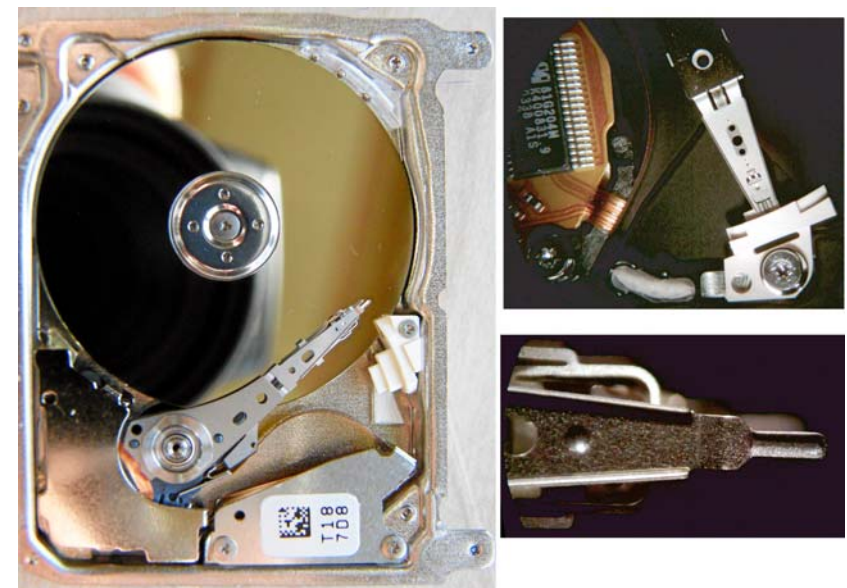
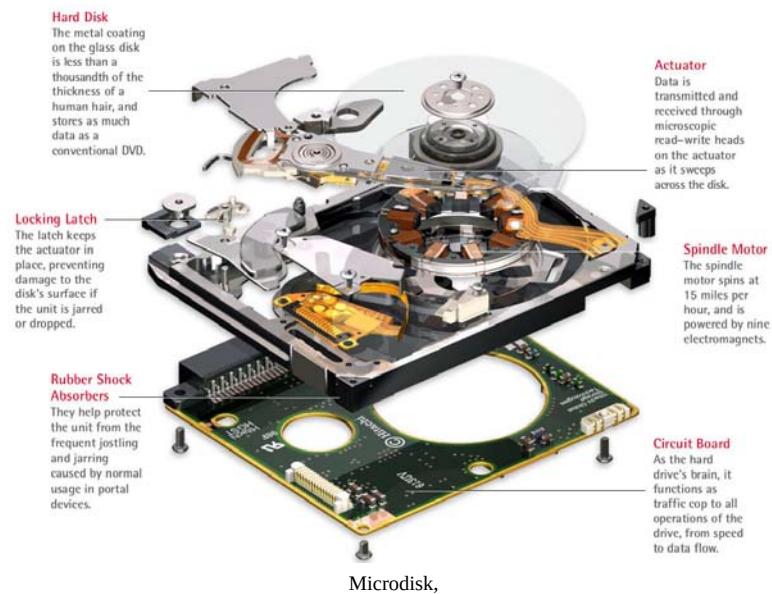
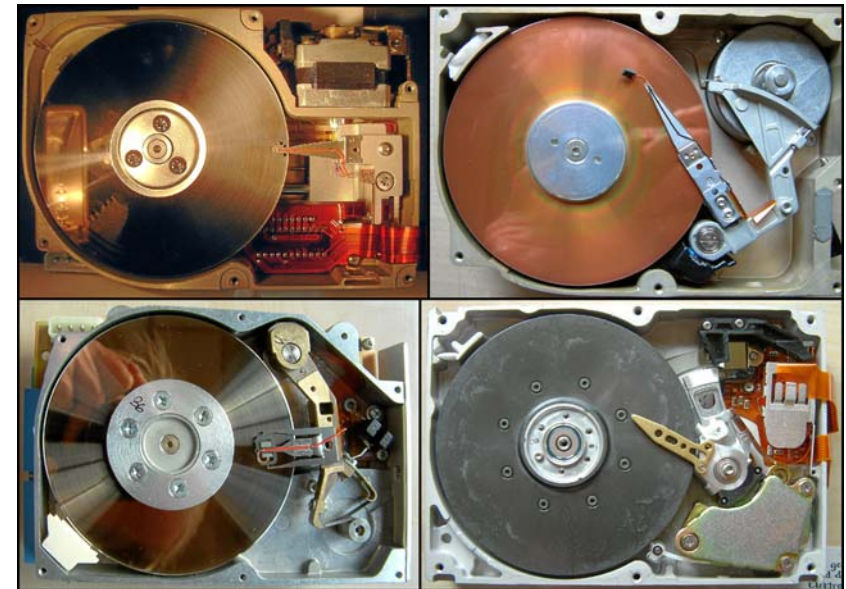
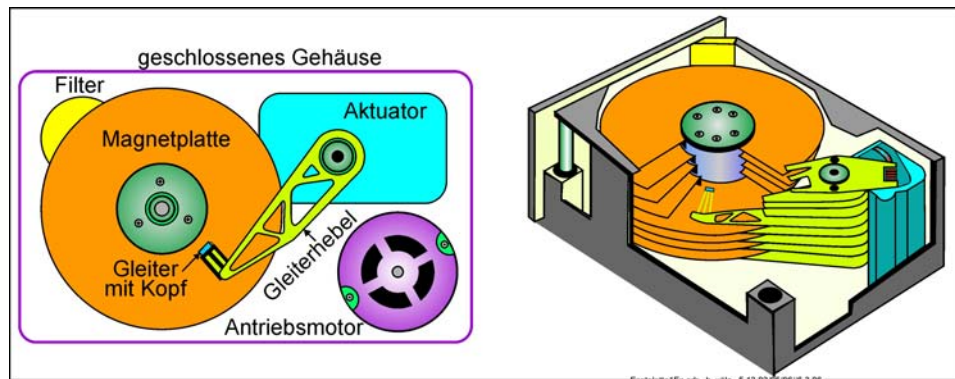
1973 IBM

Folien Rechnerspeicher Horst Völz Seite 103 von 166



Mini Micro Systems Nov. 1980, Quantums McCoy (links) und Jan Patteron (rechts) mit Festplatte

Folien Rechnerspeicher Horst Völz Seite 104 von 166



Probleme

Geräte müssen in **Reinst-Räumen** gefertigt und verschlossen werden
Neben Festplattenstapel befindet sich ein **Filter**, fängt eventuell von der Schicht sich ablösende Magnetpartikel
Im Gehäuse hinter Filter kleine Öffnung (Ø ≈1 mm) für **Luftausgleich**, lässt keine Staubpartikel eindringen

Motor und Aktuator zunächst wegen **magnetischer Einstreuungen** hinreichend weit entfernt, Riemenkopplung
Motor erst viel später in Stapel verlegt = Spezialaufbau, Detail Motor, Aktuator, Gleiter ⇒ s. Transportwerke

Anfangs **Drehzahl** 3 600 UpM, Erst 1990 schrittweise auf 7 200 UpM erhöht
Weitere Steigerung verlangten elektronischen Baugruppen mit höherer Datenrate
Ab 15 000 UpM statt der Kugellager neu zu entwickelnde Öllager

Parking ⇒ **Autoparking**: ≈1990 Energie nach Ausschalten aus noch rotierendem Motor als Generator gewonnen
Bremst zugleich vorteilhaft seine Drehgeschwindigkeit ab, bei geringer Motorleistung zusätzlich Kondensatoren
IBM Microdrive spezielles Hebelsystem bewegt Gleiter auf Lagerposition außerhalb des Plattenstapels, dort arretiert
= dynamic head loading (DHL), hält im Ruhezustand Beschleunigungen bis 100 g, neu >2 000 g aus

2005 **Bewegungssensor** gegen Fall hinzugekommen

2010 **Hybrid-Festplatten z. B.** 2,5-Zoll-Format 250, 320 oder 500 GByte + 4 GByte NAND-Flash

Spurführung

Mit wachsender Speicher-, Spur-Dichte immer schwieriger

Anfangs **fixierte Spurführung**, etwas später **Nachregelungen**

1970 „dedicated servo“

eine, meist unterste Plattenfläche ausschließlich als Servo-Platte genutzt
wurde vor dem Einbau auf einer Spezialeinrichtung mit hochgenauen Spezialdaten beschrieben
Temperaturdifferenzen innerhalb der Festplatte durften nicht zu groß wurden
Mit geringer werdender Plattenzahl war „verschwendeter“ Speicherplatz nicht mehr zu akzeptieren

ESS (embedded servo system)

innerhalb jeder Datenspur, zwischen Sektoren, Servo-Informationen innerhalb ID-Feld
Servo-Bursts, jeder gerade genutzte Kopf kann sich selbst genau auf die Spur positionieren
Umschalten zum anderen Kopf bei gleichem Zylinders nur noch minimale Nachkorrektur
Formatierung ursprünglich durch Befehl Debug -g=c800:6, heute nicht mehr möglich
Es können fehlerhafte Sektoren nur noch als unbrauchbar gekennzeichnet werden
Servo-Bursts erstmals bei 5¼-Zoll-Diskette 192/384 Spuren, 6,6 MByte (vergeblich) versucht

Seit etwa 2000 schnelle **Feinjustage mit Mikro-Aktuatoren** zwischen Hebel und Gleiter

Wichtige Zeiten

Spur- = Positionierzeit T_S

Aktuator und Regelung müssen Köpfe zum gewünschten Zylinder (Spur) bewegen

Komponenten

Wechseln der Spur ⇒ **Beschleunigung** mit Zeitdauer T_{Bs} erforderlich
Dann Aktuator mit **konstanter Geschwindigkeit** ⇒ Zeitdauer ~ übersprungene Spurzahl $n \times T_W$ /Spur
Aktuator **abbremsen** und **warten** bis sich **Köpfe beruhigt** haben = **Einschwingzeit** = settling time T_{Br}

$$T_S = T_{Bs} + n \cdot T_W + T_{Br}$$

1956 ≈1 s. 1964 ≈150 ms, 1970 ≈50 ms, 1985 ≈25 ms, heute 2 bis 30 ms, Mittelwert ≈10 ms
Hohen Beschleunigungen nicht geräuschlos, insbesondere Server-Platten sehr laut

Ende 90er Jahre Lautstärke-Management **AAM** (automatic acoustic management); spezieller Debug-Befehl

Latenzzeit

Umdrehungswartezeit T_T bis richtiger Sektor unterm Kopf erscheint; Mittelwert = halbe Umdrehung
schnelle Platten mit 10 000 UpM → ≈3 ms

Transferrate

Sektor muss gelesen bzw. geschrieben werden ≈10 MByte/s ⇒ Block von 8 KByte = 0,8 ms

Meisten Dateien viel größer als ein Block, **defragmentiert** folgen Blöcke nicht unmittelbar aufeinander
⇒ mehrfache Zeitverzögerungen $T_S + T_T$. Wird teilweise durch Cache gemildert

Schichtsysteme + Substrat

1956 **Nickel-Eisen-Schichten** von A. V. POHM und S. M. RUBENS vorgeschlagen, Technologie um 1955 M. S. BLOIS
Ab 1980 zögerlich bei 5¼-Zoll-Platten eingesetzt, aufgedampft, gesputtert bzw. stromlos abgeschieden, Co bevorzugt
Ab 1990 allgemein üblich, Ni-Verbindungen oder spezielle Magnetstrukturen bevorzugt

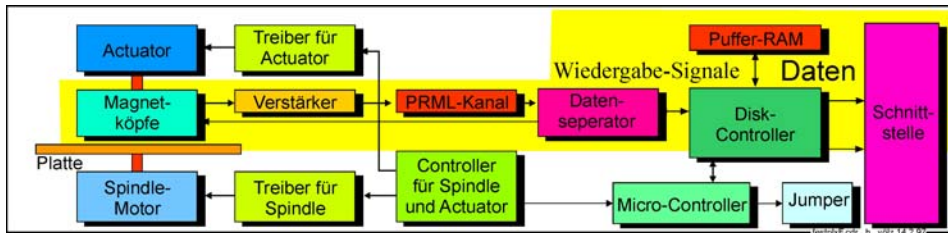
Wesentlich **dünnere als Partikelschichten** herstellbar. Da höhere Energiedichte schrittweise herabgesetzt bis <10 nm
Benötigen dann **dickeere Unterschicht** + mechanisch **harte Schutzschicht** + **obere Gleitschicht**
Koerzitivfeldstärke zunächst 500 A/cm → 1500 A/cm erhöht

Substrat

Anfangs **hochwertige Aluminium-Scheiben** ≈2 µm dicke, später bis auf 1,2 µm verringert
Hohe Drehzahlen (≥10 000 UpM) bewirkten Materialwanderung nach Außen = geometrische Verformung

1995 Platten ≤2½ Zoll bevorzugt **Glas-** und teilweise **Keramikscheiben**
Beim Einbau Bruchgefahr, jedoch besser polierbar, verformen sich weniger, sind unempfindlicher gegen Head-Crash
ermöglichen eine geringe Dicke (Einbauhöhe des Speichers) Keramikscheiben besser wärmeleitend

1998 mit IBM Microdrive **Glasträger**: Cr-Grundsicht, 0,6 nm Ruthenium antiferromagnetisch gekoppelt CoPtCrB



Fortschritte Festplatten

Anstieg der **Speicherdichte** seit Beginn auf das **10^9 fache**

Halbleiterspeicher entstanden zwar **20 Jahre später**, erreichten bis heute aber **nur Faktor um 10^5**

Jährliche **Zuwachsraten**: Festplatten 50 %, Halbleiterspeichern $\approx 40\%$, Prozessoren $\approx 15\%$.

Ab 1997 Festplatten sogar $\approx 100\%$

2004 ≈ 150 Millionen Festplatten **hergestellt**, jährliche Zuwachs $\approx 15\%$.

Codierung: FM $\rightarrow$ MFM $\rightarrow$ RLL-2.7 $\rightarrow$ RLL-1.7, Signalerkennung mittels PRLM

Magnetköpfe: Ferrit $\rightarrow$ Dünnschicht $\rightarrow$ MR $\rightarrow$ GMR

Zone-Bit-Recording und **Senkrechtspeicherung**

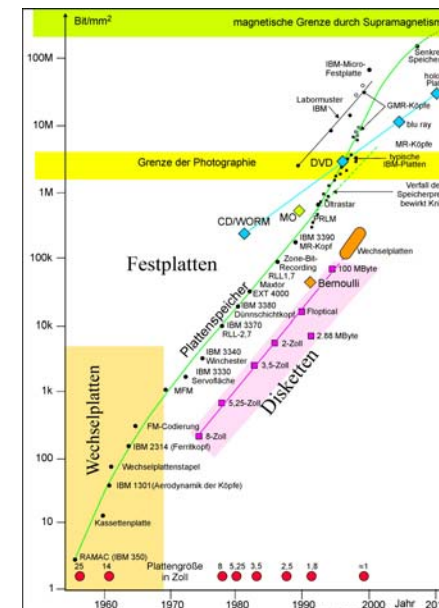
Für **üblichen PC**: 1992 ≈ 100 MByte; 1996 ≈ 1 GByte, 2010 ≈ 1 TByte

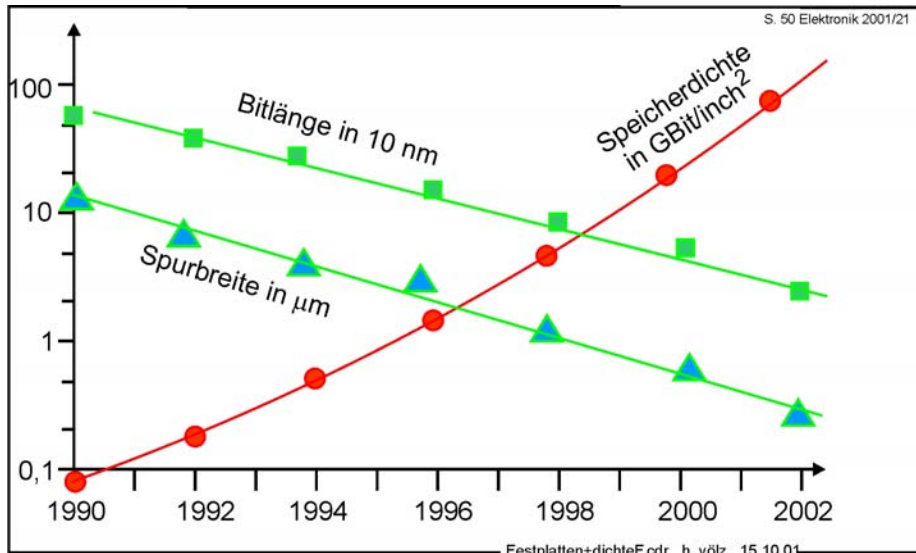
Preisentwicklung 1 MByte: 1980 ≈ 150 €, 1990 ≈ 5 , 2000 $\approx 0,07$ €

Festplatte 2009 wurden **665 Millionen** Festplatten verkauft, überwiegend 3,5 Zoll, 2,5-Zoll-Modelle nur 18 %

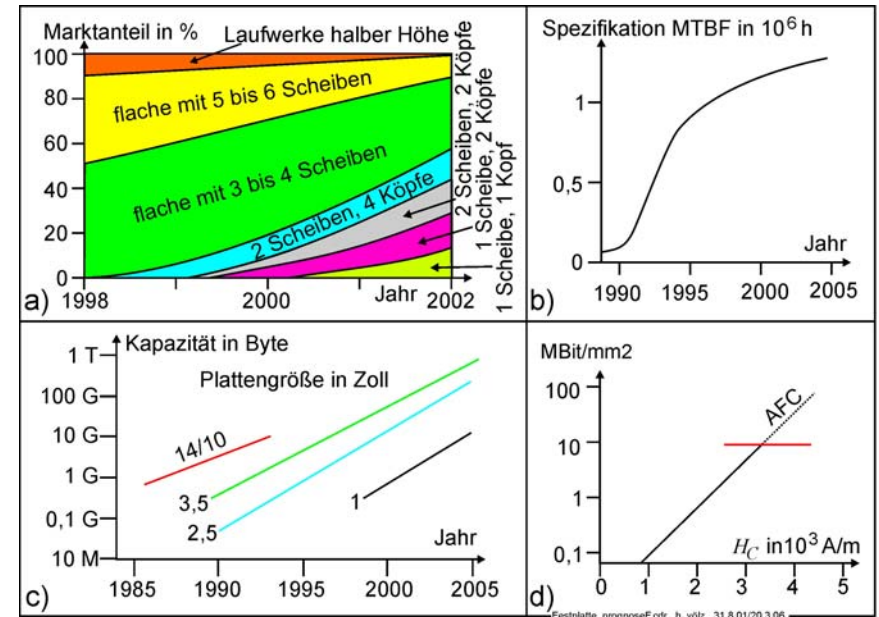
Spitzen-Werte von Festplatten

Kapazität	Hersteller	Modell	Jahr
5 MByte	IBM	Ramac	1956
21 MByte	IBM	1301	1962
100 MByte	IBM	2302-3	1965
880 MByte	STC	8800 Super Disk	1975
1,2 GByte	IBM	3380	1981
180 GByte	Seagate	Barracuda 180	2001
500 GByte	HGST	7K500	2005
1 TByte	HGST	7K1000	2007





Folien Rechnerspeicher Horst Völz Seite 117 von 166



Folien Rechnerspeicher Horst Völz Seite 118 von 166

Zuverlässigkeit 1

Festplatten sind heute sehr zuverlässig; **Headcrash** tritt kaum mehr auf; **Verschleiß** stark reduziert
Motoren sehr gute Kugellager, z. T. sogar hydrodynamisch gelagert, Aktuatoren ist auf eine Drehachse gesenkt

Meist ist nicht mehr die **Laufzeit**, sondern die Anzahl der **Start- Stopp-Vorgänge** begrenzend
1998 meist nur 10 000, 2000 mehrere 100 000 Vorgänge, wichtig Ablegen der Köpfe außerhalb des Plattenstapels
Laptop mit power save (Stromspar-Mode) täglich 50 Start-Stopp-Zyklen, Lebensdauer etwa 5 Jahre
Zumindest bei Server-Platten vielfach ein Dauerbetrieb empfohlen, sind ohnehin zuverlässiger als Konsum-Platten

Ausfallrate zwar sehr gering ist, aber $\approx 10^8$ produzierte Festplatten ergeben doch beträchtliche Anzahl **defekter Platte**
Relativ gefährlich bleiben **Erschütterungen** im Betrieb (Fahrzeuge) und **Überhitzungen** (Sonneneinstrahlung)

Typische **MTBF**-Wert (mean time between failures) 1985 ≈ 50 000; 1992 ≈ 500 000; 2000 $> 10^6$ Stunden (> 100 Jahre)
Bei MTBF-Zeit fallen ≈ 3 % der Festplatten aus.

Doch die meisten Festplatten werden wegen inzwischen **zu kleiner Kapazität ausgetauscht**

Früher wurde angenommen, dass **gelagerte Festplatten** > 30 Jahre zuverlässig Daten speichern
z.T. aber Hinweise, dass eine Wiederinbetriebnahme zu Schwierigkeiten führen kann
Kein Hersteller nennt Werte für zuverlässige Lagerdauer, empfohlen, jährlich Brauchbarkeit überprüfen

Große Belastung beim **Filesharing** (benutzen u.a. bei „verbotenen“ Programmen, wie eMule, Kazaa usw.)
Dateien in kleine Stücke zerlegt, in unterschiedlicher Folge übertragen und dann wieder richtig zusammengefügt
Hohe Aktuator-Aktivität $\Rightarrow$ zwischenzeitlich elektronische Speicher nutzen, erst fertiges File auf Festplatte ablegen

Folien Rechnerspeicher Horst Völz Seite 119 von 166

Zuverlässigkeit 2

Seit 1996 Tools und Hilfsmittel zur **Frühwarnung**, u. a. **Smart** (self monitoring analysis and reporting technology)
Laufwerks-Controller überwacht mechanische, elektrische Komponenten, vergleicht mit Referenzwerten

~40 Kennwerte erfasst, die sich mit dem Verschleiß ändern, werden mittels Programme angezeigt
Anzahl der Start-Stopp-Zyklen werden addiert, auch fehlerhafte, nicht mehr benutzte Sektoren
Mit Verschleiß steigen z.B. Anlaufzeit (spin up time), Motorstrom, Temperatur, hoch = bevorstehenden Ausfall

2005: **GStor** zerlegt Festplatte in zwei Partitionen, erste für eigentlichen Datenspeicherung
zweite = versteckter, „gesicherter“ Bereich zur Datenverwaltung, ermöglicht Daten nach Absturz wieder herzustellen

Datensicherheit: **gebrauchte Festplatten bei ebay**: nur 10 % Daten gelöscht, 8 % sofort lesbar
Mit einfachen Tools waren etwa $\frac{2}{3}$ aller Daten wieder herstellbar.

Folien Rechnerspeicher Horst Völz Seite 120 von 166

Disketten 1

Diskette = **Floppy Disk**; Englisch **floppy** schlaff, schludrig; **disk** Scheibe, Platte

Rechner jeder Größe, insbesondere Kleinrechner und PC benötigten ein einfaches, **preiswertes Ein-Ausgabe-Medium**
Lochkarten, -bänder bzw. CC sind zu langsam $\Rightarrow$ Idee der Diskette

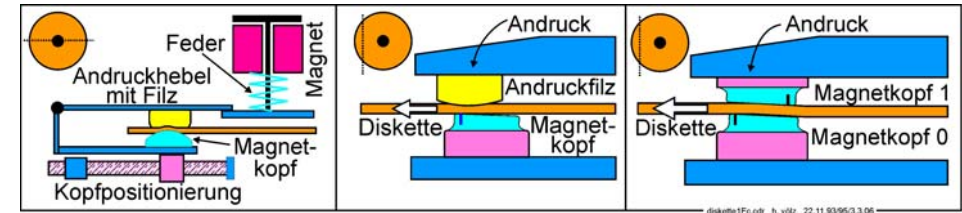
Bereits in 40er Jahren führte ANDREW BOOTH erste, noch **nicht erfolgreiche Versuche** durch

1967 schlagen DAVID NOBLE und ALAN SHUGART, IBM San Jose: **Betriebssystem auf flexiblen Magnetplatten** vor

1970 führt IBM zunächst nur für Großrechner die **Diskette** im **8-Zoll-Format** ein, $\varnothing$ rotierender Scheibe = 203,2 mm
Flexible Scheibe, ähnlich dickem Magnetband befindet sich in biegsamer, kartonstarker Kunststoffhülle, 360 UpM
Eindringen von Staub bei Ausschnitt für Kopf möglich, daher Lagerung in einer zusätzlichen Papierhülle
77 Spuren; 48 tpi (track per inch), Spurbstand **≈0,6 mm**, 6815 Bit/Inch (bpi) $\approx$ **270 Bit/mm, 80 KByte**
Einseitiger Betrieb, zweiseitig durch Umdrehen, Kapazität, benutzt bis Ende der 80er Jahre
1D = einseitig; 2D = zweiseitig; 2N = zweiseitig, jedoch Wendediskette, **1,6 MByte**

1972 **5¼-Zoll-Diskette** vorgestellt ($\varnothing \approx 130$ mm) Einsatz bei Personal- und Heim-Computer bis in 90er Jahre
Zunächst **360 KByte**, später 720 KByte, schließlich **1,2 MByte**, 40/80 Spuren 9/15 Sektoren, 300 UpM

Es gab **etwa hundert unterschiedliche Formatierungen** + Vielzahl international genormter Formate
1S/2D* 48/96 tpi, einseitig; 160/180 KByte: **2S/2D*** 48/96 tpi, zweiseitig, 360 u. 720 KByte, 5536 bpi
HD 96 tpi, zweiseitig (MFM) 1,2 MByte, 9869 bpi
S = Seite und D = Dichte, HD hohe Dichte. * für 96-tpi wird hier 96 angefügt



Disketten 2

1980 führt Sony **3½-Zoll-Mikrofloppy** ($\varnothing \approx 90$ mm) mit starren Kunststoffgehäuse ein, 322 KByte
Magnetschicht $\approx 50 \mu\text{m}$; durch Shutter (Schieber, Verschluss) geschützt; 135 tpi, 300 UpM
Schreibsperre erstmalig eine verschiebbare Nocke, **Mittelloch** = metallische Halterung, ersetzt zugleich Indexloch
Es gibt mehrere Formate, u.a. 9, 18 oder 36 Sektoren, zunächst 720 KByte, 1984 $\Rightarrow$ 1,44 MByte

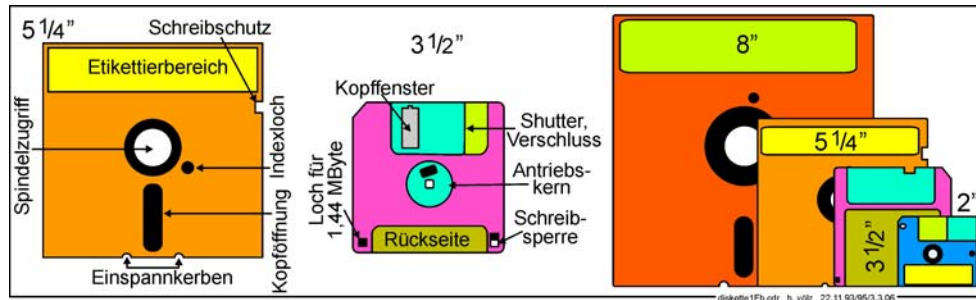
1DD einseitig, 360 KByte. einfache Dichte = single; 48 tpi, 40 Spuren
2DD zweiseitig, 720 KByte, 8 717 bpi (≈ 340 Bit/mm), 96 tpi, weitere
HD (high density) zweiseitig (MFM), 1,44 MByte, 17 434 bpi (≈ 690 Bit/mm), Zugriffszeit ≈ 100 ms
80 Spuren mit 135 tpi ($\approx 5,3$ Spuren/mm) bei 300 UpM und 18 Sektoren, ab 1987.
ED (extra density) zweiseitig (MMFM), 2,88 MByte, 34 868 bpi ($\approx 1,4$ KBit/mm), ab 1991; bleibt erfolglos
Erstes D = benutzbare Seitenzahl, E = Extra (wie bei 8-Zoll)

1984 wird Format durch **ANSI** bestätigt, dennoch zunächst zu teuer, langsam zum Standard-Format aller PC
Erst 1990 übersteigt ihre Anzahl mit **weltweit 2·10⁹ Stück** vom 5¼-Zoll-Format
Einige Hersteller gingen bei 1,44 und **2,88 MByte**-Disketten zum **Barium-Ferrit** über

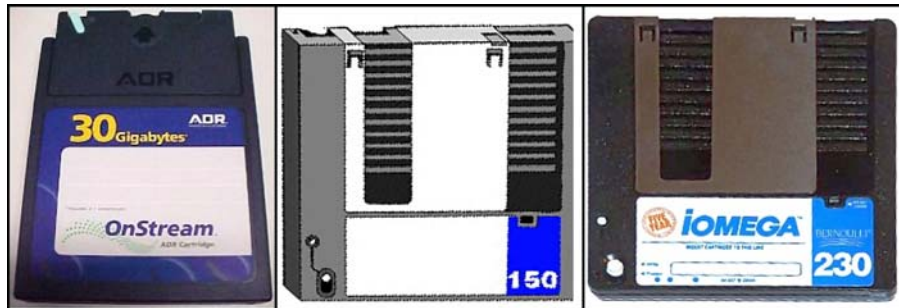
Disketten 3

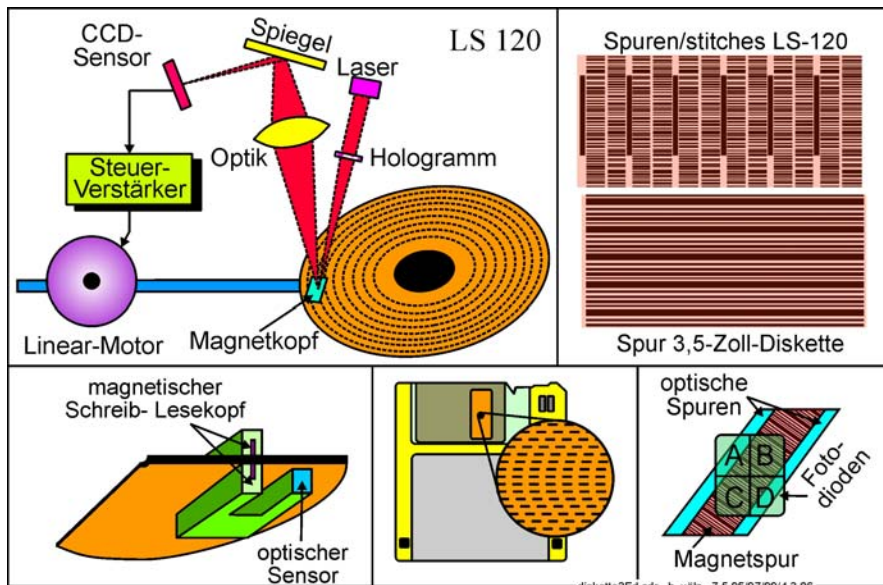
Viele, meist erfolglose Versuche für andere Floppy-Formate, u. a.

- 1981 Sony stellt **Mavica** mit **2-Zoll-Floppy** vor, noch kontinuierlich, digitales Format erschien nicht
- 1983 Iomega **Bernoulli-Box**; 1500 - 3000 UpM; $\varnothing = 5\frac{1}{4}$ Zoll, 10 - 35 ms, 20 - 200 MByte, 2 MBit/cm²
- 1984 3-Zoll-Diskette für Schreibmaschinen und Rechner Schneider CPC 646
- 1988 **Floptical** von Insite Peripherals 20 MByte, $\varnothing = 3,5$ Zoll, 755 Spuren, 1250 tpi (≈ 50 Spuren/mm), 720 UpM
Rillen = optische Spurführung, anfangs mit Laser eingebrannt, später Prägetechnik; 4,5 μm breit, 1 μm tief
- 1991 3,5-Disketten 4 MB mit **Bariumferrit**-Beschichtung (BaFe), 10 MByte mit Metallpigment
- 1992 Sony stellt die 140 MByte 2,5-Zoll-**MO-Floppy** vor
- 1995 Mitsumi 3.5" Floppy mit 128 MByte, kompatibel zum 720 KByte und 1,44MB 3½-Zoll Floppy
- 1995 Zip-Drive mit 100 MByte Diskette von Iomega mit **Bernoulli-Effekt**
- 1997 Sony erhöht die 2,5-Zoll-MO auf 650 MByte
- 1997 Imation führt den 3½-Zoll-**Superdisk LS 120** (Laser Servo; Large Scale), 120 MByte
Abwärtskompatibel, 2490 Spuren, 720 UpM, 250 KBit/s
- 1999 Zip-Drive mit 250 MByte



Von links nach rechts: Schneider-3-Zoll-, 3 1/2-Zoll-, ZIP-Diskette, 120 MByte SuperDisk,





Datensicherheit

Disketten sind sehr robust, benötigen dennoch etwas Pflege, wichtige Daten durch Schreibschutz sichern

Stören können u.a. **Staub, Feuchtigkeit** (Kaffee), größere Hitze und sehr tiefe Temperaturen

Magnetische Streufelder müssen recht groß sein, um Daten zu verändern oder gar zu löschen
Farbmonitor/-fernseher Degaussing beim Einschalten, Transformatoren, Lautsprecher, Magnetverschlüsse

5¼- und 8-Zoll-Disketten in sehr dünner Hülle, **Gefahr in Büchern** verpackt nicht mehr lauffähig, weil Schmalseiten durch Breitdrücken der Hülle verformt werden. Zurückformen!

Verringerung der typischen Einbauhöhe von Diskettenlaufwerken

	1974	1978	1982	1984	1986	1988	1995
Format in Zoll	8	8	5¼	5¼	3½	3½	3½
Höhe in mm	108	54	86	30	42	26	12

Ende der Diskette?

1998 „i-mac“ von Apple erster **Rechner ohne Diskettenlaufwerk**, ab 2000 auch einige Windows-Laptops
Doch bis heute werden immer wieder **nachträglich extern Disketten-Laufwerke** angeschlossen

Daten-Austausch über **USB-Stick, SD-Karten** usw. hat sich jedoch durchgesetzt

2002 **Sony** Absatz 47 Millionen, 2009 nur noch 12 Millionen Stück
2011 will Sony Disketten-Produktion einstellen

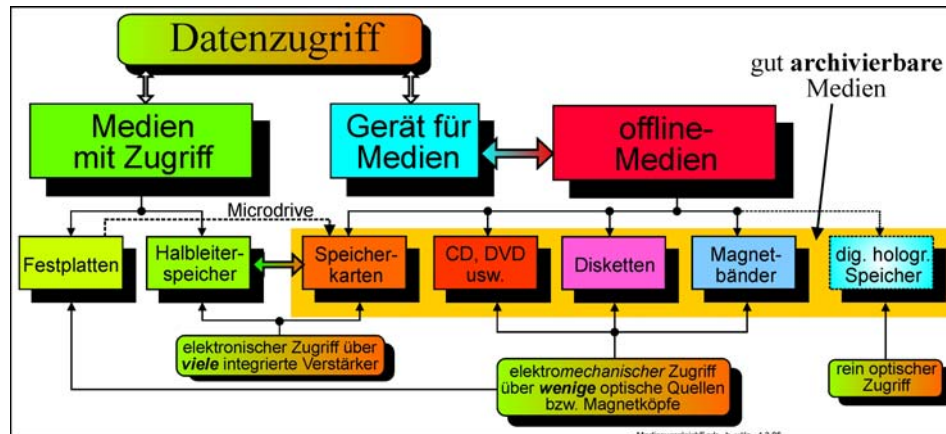
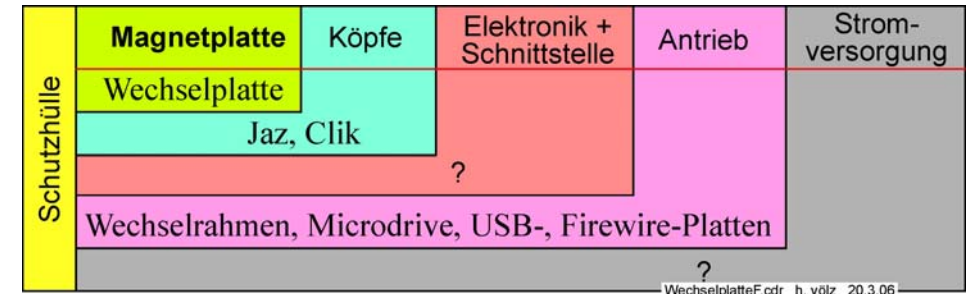
Verbatim Marktführer. 2009: 50 Millionen, Jetzt Hauptabsatz osteuropäischen und GUS-Staaten
Will **nicht aussteigen** Einschätzung 2010: Diskette bleibt lange noch im privaten und professionellen Umfeld
U. a. Behörden, Industrie z. B. für Maschinensteuerung, Keyboards usw. wichtig.

Neue Varianten von Wechselplatten

In Bezug zu den vielen Disketten-Varianten sind auch **kleine Wechselplatten** (harter Scheibe) entstanden. Sie haben alle **bestenfalls kurzzeitig** eine geringe Verbreitung besessen.

Im erweiterten Sinn **unterschiedliche Offline-Medien**, die nach unterschiedlichen Kriterien Baugruppen enthalten. Unterteilt in: Magnetplatten, Köpfe, Elektronik, Antriebe (Motor + Aktuator) und Stromversorgung.

Formal auch möglich, **Köpfen mit Aktuator, jedoch nicht Elektronik oder Antriebsmotor**, ins Gerät zu integrieren. Erfordert Volumen, in das sowohl der Antriebsmotor als auch die Elektronik mit unterzubringen wären. Daher wohl nicht produziert.



SyQuest-Platten

1961 erste Wechselplatte, s.o., wurde durch Festplatten abgelöst

1986 für **Apple Macintosh Plus** eine kleine = Scheibe in durchsichtigen Hülle (Cartridge). Beim Einschieben in das Laufwerk öffnete sich die staubdichte Hülle.

1988 beim **Atari ST** eine ähnliche: 41 MByte, 5¼ Zoll große, u. a. von Rhothon und Vortex

Relativ erfolgreiche Vermarktung durch **SyQuest** (= SYQT), später 3½-Zoll-Wechselplatten

Da keine gute Staubsicherheit vorhanden, Speicherdichte und -kapazität, etwa 3 - 5 Jahre hinter den Festplatten. Maximal 300 MByte, Ausnahme SyJet mit 1,5 GByte, typisch 15 ms

Für **Druckvorstufe** wurden sie **zeitweilig Quasistandard**

Für PCMCIA gab es eine 1,8-Zoll-Ausführung mit 80 MByte

1998 Produktion eingestellt. 1999 übernahm Iomega Teile des Unternehmens

Zweiter Anbieter **Nomaï**, Kassetten mit verbessertem Schließmechanismus



Wechselplatten mit eingebauten Magnetköpfen

nur von Iomega

1987 **Clik**, Scheibe mit $5,5 \times 5 \text{ cm}^2$ passt in den CF-Schacht vom Typ II.

In ihr sind Magnetkopf und Motor integriert, 40 MByte, 0,39 MByte/s, 9 g. 1997 = 22 DM
Wurde vorübergehend in einigen elektronischen Fotoapparaten von Agfa benutzt

1995 **Jaz** mit 1 bzw. 2 GByte, 2006 REV mit 35 GByte

1997 entstand noch die sehr kleine **n-hand**, nicht einmal genauere Daten sind auffindbar

Sie könnte aus der **Clik** hervorgegangen sein



Wechselrahmen, Filecard, USB

Ab etwa 1980 zweiteilige **Wechselrahmen** für 3½-Zoll-Festplatten

1. fest eingebautes Teil in 5¼-Zoll-Platz des Rechners, Verbindung zur IDE-Schnittstelle, hohe Datenrate

2. austauschbarer Einschub mit Steckkontakten und **aufmontierter handelsüblicher Festplatte**

Mehrere derartige Einschübe ermöglichen Variabilität für Daten, Betriebssystem usw.

Wechseln darf nur bei ausgeschaltetem Computer erfolgen, schlechte Wärmeabfuhr teilweise zusätzlicher Lüfter

Ende 80er Jahre gab es auch **Filecard** = 5¼-Zoll-Festplatte mit eigenem Controller auf einer Steckkarte montiert
Karte für ISA-Bus im PCs gesteckt, ihre Breite (Höhe der Festplatte) verlangte zwei Steckplätze

Heute weitaus bessere Lösung mittels **USB**, **Firewire** und **i-Link**, ermöglicht auch **hot plugging**

Nur bei älteren Modellen und sehr großen Kapazitäten ist zusätzliche Stromversorgung notwendig
Datenrate bei USB 2.0 480 MBit/s, bei IEEE 1394b 1,6 GBit/s.

Daten-Verluste

Formal und theoretisch sollten gespeicherte Daten beständig und damit stets vorhanden sein
Bereits wegen **ARRHENIUS-Gleichung** und **Quantenphysik verschwindet** irgendwann stabiler *Speicherzustand*
Digitale Technik kennt kaum eine Möglichkeit, den *Beginn von Ausfällen zu erkennen* = „schleichende“ Fehler
Fa. KROLL ONTRACK ist auf Rettung verloren gegangener Daten spezialisiert, folgerte 2010 aus Erfahrung:
„**Absolute Sicherheit gibt es nicht und Datenverlust ist weiterhin eine Realität.**
Und in der Regel nur eine Frage der Zeit“

Wesentliche **Ursachen** für reale Datenverluste sind:

- **Menschliches Fehlverhalten** z. B. Bedienungsfehler, u. a. versehentliches Löschen oder Überschreiben
- **Hardware-Ausfälle** u.a. defekt gewordene Festplatten, Bauteile und Kabel, fehlerhafte Datenträger, störende Magnetfelder (z.B. Lautsprecher, Farbfernseher, Motoren, Netztransformatoren), Überhitzung, Staub, Rauch
- **Softwarefehler** u. a. Rechnerabsturz, fehlerhaftes Backup und Restore (Rückholen der Daten aus dem Backup)
- **Absichtlich böswillige Attacken, Viren** usw. z. B. Rache, Zerstörungswut, Sabotage, Kriminalität und Diebstahl. ≈80 % gehen auf eigene Mitarbeiter zurück. Vielfach empfohlen, 2 oder 3 Viren-Scanner (jeder findet nur ≈90 %)
- **Naturkatastrophen**, höhere Gewalt, wie Überschwemmungen, Brände, Erdbeben usw., z.T. auch Stromausfall.

Umfrage 2010 von KROLL ONTRACK

bei >2.000 Teilnehmern aus 17 Ländern

- Was **war** die Ursache Ihres letzten Datenverlusts?
- Was **glauben** Sie ist die häufigste Ursache für Datenverlust?

Sie ergab (in Klammern Vergleichswerte von 2005)

	war %	glauben %
Menschliche Fehler	27,4	40 (11)
Hardware Ausfälle	28,1	27,2 (56)
Software Probleme	6,3	12,8
Computer Viren	6,6	13,6 (4)
Naturkatastrophen	2,7	3 (2)
Ursache unbekannt	18,1	
Sonstiges	3,2	3.4
Kein Datenverlust	7,7	

Auch in *virtuellen Umgebungen* treten nach ONTRAK ähnliche Fakten auf
Mangelndes Know-how 65 %, Hardware-Ausfälle 35 %
Sehr gefährlich, wenn *klassisches Backup* vernachlässigt wird

Musterbeispiele

Besonders nachlässiger Umgang mit wertvollen Daten (Chip 4/02 auf Seite 272):

„Wie man mit wichtigen Daten nicht umgehen sollte, demonstrierte ausgerechnet die amerikanische Luft- und Raumfahrt-Behörde NASA: Sie hat in einer Nacht- und Nebelaktion sämtliche Baupläne und Produktionseinrichtungen für die Einweg-Trägerrakete Wernher von Brauns vernichtet – zu Gunsten des wiederverwendbaren Space-Shuttle. Dreißig Jahre nach der letzten Landung auf dem Mond wäre die NASA nicht mehr im Stande, die weltweit stärkste Trägerrakete nachzubauen und so die Voraussetzung für eine weitere Mondfahrt zu schaffen.

Nicht weniger folgenreich war die Nachlässigkeit, Millionen von Magnetbändern unkatalogisiert in Pappkartons zu verpacken, in Lagerhäusern abzustellen – und dort zu vergessen. Den Magnetschichten auf den Bändern blieb genug Zeit, sich von der Trägerfolie zu lösen oder sich stellenweise auf der Spule durchzukopieren. Dokumente aus drei Jahrzehnten US-amerikanischer Raumfahrt gingen verloren, weil die NASA keine Backups erstellt hat.“

Hier nicht dazu Diskussion ob es Mondlandung gab
In der 80-jährigen Geschichte des Magnetbandes sind ähnliche Verluste nicht bekannt
Fast allen unbrauchbar gewordenen Magnetbänder **gehen auf Brände zurück**: s. Literatur

80er Jahre musste amerikanische Regierung >Million \$ für Reaktivieren von *Geräten und Programmen* ausgeben, um die noch fehlerfrei vorhandenen Daten der alten Volkszählung wieder nutzbar zu machen

Auswirkungen

Hohe Kosten und erhebliche Zeit für erneute Erzeugung von 20 MByte Daten, s. Literatur

Bereich	Kosten	Zeit
Vertrieb/Marketing	25 TDM	19 Tage
Rechnungswesen	29 TDM	21 Tage
Produktion	40 TDM	32 Tage
Forschung	147 TDM	42 Tage

Gab es ein **brauchbares Backup** (s. u.) sind selbst für viel umfangreichere Daten *nur wenige Tage* erforderlich
Eine Firma, die all ihre Daten verliert existiert bestenfalls nach zwei Jahren noch mit 50 % Wahrscheinlichkeit
Datenverlust durch Naturkatastrophen, wie Feuer, Erdbeben, Diebstahl mit folgendem Missbrauch kaum 1 Halbjahr

Vorsichtsmaßnahmen

- Sensible Daten müssen gut **gegen unbefugten Zugriff** gesichert werden, u.a. Verschlüsselung, begrenzter Zugriff
- Wichtige Daten müssen **zusätzlich am sicheren Ort** außerhalb des Computersystems gelagert werden
- **Regelmäßiges Backup** nach festem Plan s. u.

ONTRACK: notwendige **Backup** werden **oft nur fehlerhaft oder gar nicht durchgeführt**

Zwar existieren für 80 % der bearbeiteten Datenverlustfälle Backups

Doch in ≈70 % der Fälle befanden sie sich in **keinem verwertbaren Zustand**

Deshalb ist des Öfteren **Probewiederherstellung** (Verifizierung) auf andere Festplatte, Verzeichnis notwendig

Individuelle Computer-Nutzer erstellen oft kein Backup: **Sprüche**, wie „wer ein Backup macht, ist feige“

Aufbewahrung und Pflege von Daten

Lagerung von Daten **in Archiven** erfolgt meist für **2 bis 25 Jahre** (s. u.)

Auch mit den meisten **heutigen Datenträgern** sind hinreichend lange Zeiten oft nicht gesichert

Außerdem bedürfen Archive immer einer gewissen **Pflege** u. a. die Lagerbedingungen

Beim üblichen **Aufwickeln von Bändern** wird Luft mit eingespult. Sie entweicht langsam.

Bei langer Lagerung können so erhebliche Wickelverformungen auftreten

Datenbänder sind in gewissen Abständen (**jährlich**) **umzuspulen**

Temperaturänderungen und **Feuchtigkeit** können Bandunterlage langfristig spröde machen ⇒ Längenänderung

Magnetisierungen aber selbst dann **noch vorhanden**, wenn der Träger schon fast zerstört ist

⇒ Aufwendige **Sondermaßnahmen zur Rettung** der Information

Zusätzlich bei Langzeitlagerung regelmäßig Daten **auf neue Datenträger übertragen** = **Migration**

Beachten **moralischen Verschleiß** der **Geräte!** (Technik veraltet, nicht mehr verfügbar) s. o. Zitat USA

Gilt z. T. auch für benutzte **Software** (Programme) für Daten

Beachten, dass bei Migration Daten nicht verändert werden

Sicherung, Varianten

- **Backup** in Varianten dient der Sicherung von Daten, es soll schnell die Wiederherstellung ermöglichen
- **Archive** enthalten langfristig (Jahre, Jahrzehnte) Daten verfügbar, der Zugriff muss nicht schnell sein
- **Hierarchie** der Datenbestände = unterschiedliche Speicherung nach Kosten und Zugriffsnotwendigkeit
- **Spiegel** dient nach Absturz oder Fehlverhalten der schnellen Wiederherstellung eines alten arbeitsfähiger Zustands
- **Virtualisierung** = indirekte Arbeitsumgebungen für „probeweises“ Arbeiten, ohne Gefahr für eigentlichen Rechner

Backup 1

Für Daten die jemals bei einem Computer verloren gingen, gab es kein „gültiges“ Backup!!

Backup kostet

1. Geld für fachkundige Personen + Geräte + Speicherkapazität und

2. Zeit infolge begrenzte Datenrate, unterscheiden für **Operator** und **automatischem Ablauf**;

Während dieser Zeit ist auch **kein Arbeitszugriff** auf die Daten möglich!

Erfahrungsgemäß werden maximal 45 Minuten akzeptiert

Zur **Senkung des Aufwands** sind mindestens **drei Varianten** entstanden:

- **Gesamtsicherung** = vollständiges (totales) Backup = snapshot: **Alle Daten** des Rechners (System) werden auf externe Medien, vorwiegend Tapes, seltener optische Medien oder Festplatten zusätzlich gespeichert
- **Zuwachssicherung** = differentielles Backup. : Nur seit der letzten Sicherung veränderte Daten werden zusätzlich gespeichert, Entscheidung erfolgt über Archivbit der Dateien, es wird bei jeder Sicherung zurückgesetzt
- **Selektivsicherung** = Individuelles Backup = Auszug: Einzelne Dateien/Pfade werden ausgewählt, Archivbit bleibt meist unverändert, dient vor allem dem Transport, Schutz einzelner Dateien

Alle Varianten können auch **komprimiert** erfolgen ⇒ Senkung der erforderlichen Kapazität, Erhöhung der Zeitdauer

Die **ersten beiden** Verfahren stellen eine **gute Kombination** zur regelmäßigen Sicherung dar

Je nach anfallenden Daten erfolgt eine wöchentliche bis vierteljährliche Gesamtsicherung

Zwischendurch erfolgen tägliche bis wöchentliche Zuwachssicherungen

Nach jedem Backup sollte immer der **Schreibschutz** gegen versehentliches Löschen eingeschaltet werden

Backup 2

Häufig empfohlen wird **GVS-Prinzip** (Großvater-Vater-Sohn)

Söhne sind z. B. fünf Bänder (-Gruppen), nehmen umschichtig differentielle Tageskopien (Montag bis Freitag) auf

Väter wieder z. B. fünf Bänder für umschichtige Gesamt-Backups jeweils am Wochenende

Großväter 12 Bänder Gesamt-Backups am jeweiligen Monatsende

Zusätzlich müssen regelmäßige Recovery bzw. Restore (Wiederherstellung) erprobt werden

Lagerung aller Backup-Bänder muss an einem **sicheren Ort erfolgen, der recht weit** vom Rechner entfernt ist
Auch beim **Transport** dürfen **keine Magnetfelder** auf die Bänder einwirken

Zur Gerätepflege werden **Reinigungsbänder** angeboten

Sollten möglichst selten benutzt werden, unnötiger Abrieb bei Köpfen und Führungen

Feuchtreinigung ungünstig wegen Lösungsmittel- und Verdunstungsreste

Spezielle **Geräte und Software** beherrschen nur wenige Firmen erforderliche komplexe Mechanik der Geräte

Meisten anbietenden Firmen modifizieren die Geräte nur sehr wenig, kleben quasi nur ihr Label drauf

Archivierung

Griechisch **archeion** Regierungs-, Amtsgebäude, árchein regieren, herrschen

Systematische Erfassung, Erhaltung, Betreuung von Schriftstücken, Dokumenten, Urkunden, Akten usw.
insbesondere soweit sie historisch, rechtlich, politisch von Belang sind

Archivierung ⇔ Backup

Ähnlichkeiten

- Wichtigen Daten zusätzlich außerhalb des Computer-Systems **an einem sicheren Ort zu lagern**
- **Sensible Daten** müssen gegen **unbefugten Zugriff** gesichert werden, bedingt spezielle Speicherung

Unterschiede

vor allem **Zeitfaktoren, Veränderbarkeit** und **Originaltreue** der Daten

Backup	Archivierung
relativ geringe Zeitdauer der Sicherung	Erhalt und prinzipielle Verfügbarkeit
Sicheres Restore	Forderung durch Gesetze + Geschichte
Backup entspricht Doppelung der Daten	Originaldaten entscheidend, nicht fälschbar
Datenabgleich, Synchronisation zwischen Rechnern	Doppelung nicht unbedingt notwendig
Nur Tage bis Monate	Format und Datenträger langfristig nutzbar
	Jahrzehnte und länger

Langfristigkeit verlangt

U. a. bzgl. Pflege des Materials und Verfügbarkeit der Wiedergabetechnik

Speichermedien bevorzugt **Mikrofilm** (immer lesbar) und **Magnetband** (Technik + Datenformat kann veralten)

Räume: geregelter Feuchte und Temperatur, z. T. Frei von Strahlung und Magnetfeldern
Sauberkeit, Staubfreiheit usw.: Parkett- nicht Teppichböden + Rauchverbot!

Erfahrungen: **Jahrzehnte** Foto, **Jahrhunderte** mit Papier, **Jahrtausende** mit Stein, Keramik (Ton)

Unveränderbarkeit ⇔ elektronische Medien

Rechtlich, gesetzlich, historisch erforderlich. Daher WORM (write **o**nce read **m**ostly)

Hierzu gehören auch Garantie der *Unversehrtheit* und *Authentizität* (Vertrauenswürdigkeit)

Bei Magnetband und RW-Medien **WORM- Funktionalität** durch Software erreichen, garantieren
z. B. DLT-Laufwerke mit „DLT-Ice“

Optimierung bzgl. Sicherheit, Kosten und Zeit

Vergleich meist bzgl. Festplatten $\leftrightarrow$ Magnetbänder, seltener mit optischen Medien (CD, DVD, blu ray disc)

Magnetband	Festplatten
Kosten je Byte um Vielfaches günstiger	Schneller Zugriff
Sicherheit (sachgemäße Lagerung sehr hoch 100 Jahre, spezifiziert nur 30 Jahre Hohe Datenrate erzwingt Back hitch (s. u.)	Dauerbetrieb günstig (Energieverbrauch, Wärme!) Externe Geräte (USB) Vorsicht angebracht Bei Lagerung alle Jahre überprüfen

Beim **Restore** kann Server zuweilen der Datenrate des Bandes nicht folgen, **Bandgerät warten**
Vor neuen Start ist Band zurückzusetzen, damit an der Fortsetzungsstelle Sollgeschwindigkeit besteht
= **back hitch** (englisch **back** zurück, **to hitch** rücken, hinken, anhängen) = **shoe shining** (englisch Schuhe putzend)
Bewirkt hohen **Verschleiß**, verlängert **Zeit**, ist mit unangenehmen **Geräusch** verbunden

Gewünscht **Nonstop-Streaming**, Möglichkeiten:

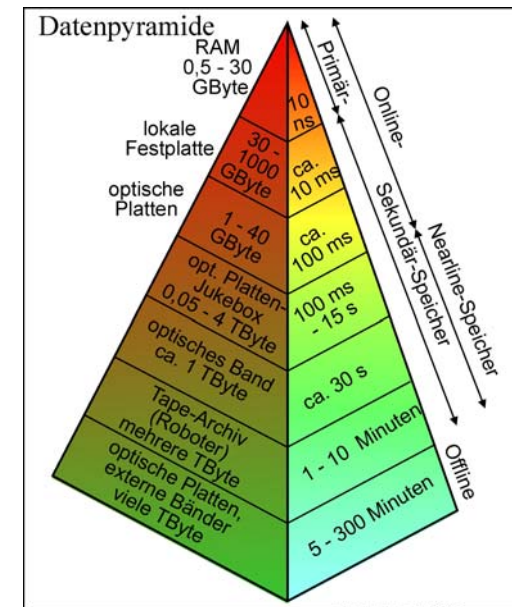
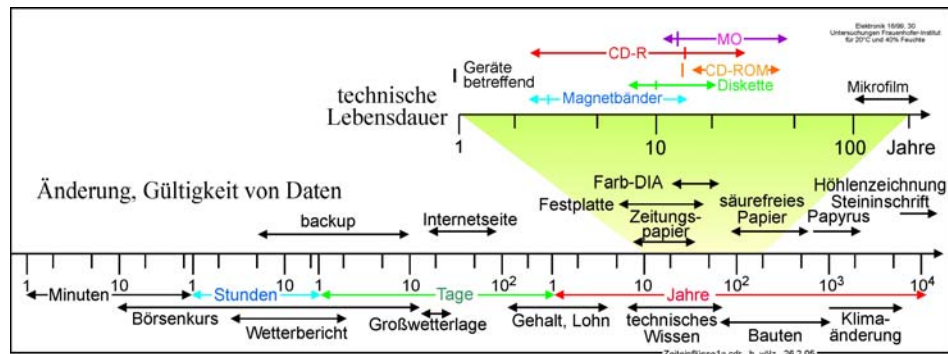
- Wenige Streamer $\Rightarrow$ können **Bandgeschwindigkeit variabel oder in Stufen** ändern
- Sehr großer **elektronischer Puffer**
- **Tape-Virtualisierung**: Magnetband zunächst auf Festplatte simulieren, (Zwischenspeicher) $\Rightarrow$ kontinuierlich Band ermöglicht Speicherkapazität des Bandes vollständig zu nutzen (sonst $\approx 50\%$), verkürzt auch die Backup-Zeit

Hierarchie für Backup und Archiv

Zu Beginn der Rechentechnik bestimmte nur Daten der Medien die Speicherhierarchie
Inzwischen sind mindestens zwei weitere **Eigenschaften** hinzugekommen:

- Solange es mehrere **Speichermedien** gibt, besitzen sie unterschiedliche **Zugriffszeiten** und **Speicherkapazitäten**
- Daten besitzen unterschiedliche lang **Gültigkeit** $\Rightarrow$ **Aktualisierungs-Zeiten**
- **Anwender** benötigen **einzelne Daten schnell** und können auf **andere** unterschiedlich **lange warten**

Je nach Ziel – Backup oder Archiv – ergeben sich so unterschiedliche, fast immer vielstufige **Speicherhierarchien**



Hierarchie der Anwenderdaten

Backup-Technologien sind **kostenintensiv**, so entstanden in letzten zehn Jahren **komplexe Hard-Software-Systeme**.
Allgemein werden mehrere **Parameter (automatisch) erfasst und steuern** dann die Daten in der Speicher-Hierarchie.
Die **Datenklassifikation** und **-organisation betrifft**

Speicherkosten, Datenmenge, Notwendigkeit/Wichtigkeit für den Betriebsablauf, Änderungsgeschwindigkeit,
Gültigkeitsdauer, Vertraulichkeit, Geheimhaltung, Zugriffshäufigkeit, Zugriffszeit, Datenrate,
zulässige Wartezeit, Archivierungspflicht und Betriebsgeschichte

Sie **muss so erfolgen**, dass dem Anwender, Nutzer

- das System **transparent** erscheint
- das **Gefühl** vermittelt wird, er habe **zu allen Daten schnellen Zugriff**

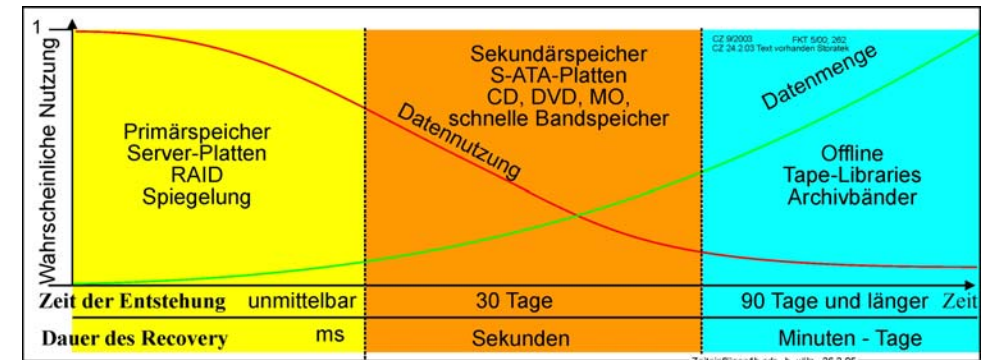
Beispiele

Unternehmenskritische Daten müssen sofort verfügbar sein, andernfalls kommen Geschäftsprozesse zum Stillstand.
E-Mails sind in der Regel nur einen Tag aktuell, können daher auf sehr langsame Speichern abgelegt werden.

Konstruktionsdaten müssen **während der Konstruktion schnell les- und änderbar sein**.

Nach Abschluss nur noch **für Fertigung** und **später für Service-Zwecke** benötigt.
Einige Daten werden nur **saisonal** benötigt.

Meist wird auf die **Hälfte der neu erzeugten Daten** nach einem halben Jahr nicht mehr zugegriffen.
Einige Daten sind für **Betriebsablauf nicht mehr relevant**, müssen aber aus **rechtlchen** Gründen aufbewahrt werden.
Ähnliches gilt für die **Geschichte des Betriebes**.



Vielfalt der Methoden, werbewirksamen Bezeichnungen

Systematischer Überblick in Literatur, bekannte z.T. dort noch nicht genannte sind

Information Lifecycle Management (ILM), Hierarchical One Volume Manager (OVM-H)
Hierarchisches Speicher-Management, High-end Storage Management (HSM)
Storage Area Network (SAN), Direct Attached Storage (DAS)

Meist sind es **keine** eigentlichen **Produkte**, sondern **Strategien**,
wie mit Daten kosteneffektiv und anwenderrelevant umzugehen ist.
Sie **berücksichtigen** die einzelnen **Parameter unterschiedlich**.
Storage-Management-Software soll weitgehend automatisch Datenlokalisierung, Backup und Recovery realisieren.

Spiegel, Rückkehrpunkte, Virtualisierung

Rechner **stürzen zuweilen total ab** oder zeigen Fehlverhalten.
Ursachen u. a. Viren, Programmfehler, Falschbedienung.
Sie müssen dann **neu installiert** werden. Das kostet viel **Zeit und Nerven**.
Es gibt **3 bessere Varianten** mit unterschiedlichen Vor- und Nachteilen.

- Es werden **Rückkehrpunkte** angelegt, die es erlauben, zum letzten stabilen System zurückzukehren, benötigen **zusätzlichen Speicherplatz** im System.
- Es werden **Spiegel** angelegt, die einen kompletten letzten brauchbaren Zustand rückschreiben. benötigt 2. **Partition** oder **externes Laufwerk**.
Rückspielen dauert länger, ist aber zuverlässiger, Spiegel lagern am sicheren Ort möglich.
- Es wird in einer zusätzlichen **virtuellen Umgebung** gearbeitet, die das Hauptsystem unberührt lässt.
Aufwendige zusätzliche Software, leistungsstarker Rechner, nicht ganz einfach zu bedienen.

Laufwerke, Bezeichnungen

Ein Rechner kann mehrere Festplatten auf unterschiedliche Weise verwalten

Windows benutzt **Laufwerksbuchstaben** A bis Z, müssen nicht mit angeschlossenen Festplatten übereinstimmen

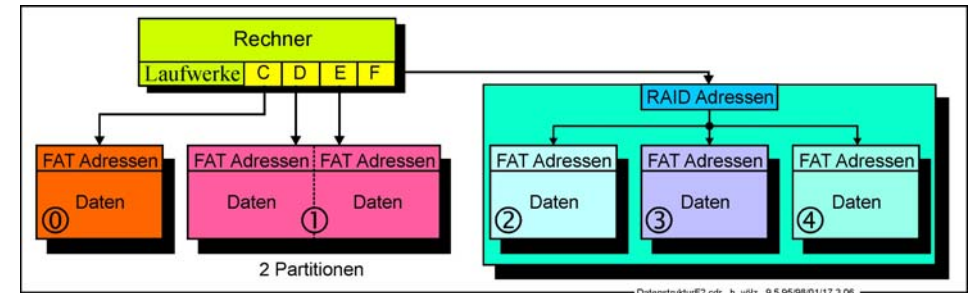
Physikalische Festplattenlaufwerke (Ⓢ - Ⓞ) können **Partitionen** mit eigenen FAT-Adressen besitzen

Die Partitionen erscheinen dann unter eigenen Buchstaben = **virtuelle (= logische) Laufwerke**

Mehrere Laufwerke können mit Controller zu „**virtuellen Laufwerk**“ = **Volume** (F) zusammengefasst werden

Diese Zusammenfassung physikalischer Laufwerke kann auf vielfältige Weise erfolgen

Eine wichtige Variante ist RAID



RAID-Geschichte

RAID entstand **1987** durch D. A. PATTERSON, G. GIBSON und R. H. KATZ, University of California Berkeley (USA)
Bei **gemeinsamer Benutzung** von teuren Platten entstanden oft **erhebliche Verzögerungen**

Idee: viele kleine und preiswerte Festplatten zu einer großen Einheit (Array) zusammenschalten
= **RAID** (redundant arrays of inexpensive disks): inexpensive → independent (*latein. Independenz* Unabhängigkeit)

Zusätzlich ergab sich noch, dass die **Zuverlässigkeit** erhöht werden konnte
Sofort entstanden die 5 RAID-Level: RAID-1 bis RAID-5 = RAID-Level-1 usw.

JBOD (just a bunch of disks ≈ nur ein Bündel Platten) = Zusammenfassen außer Speicherkapazität kein Gewinn

Es entstand eine Gegenbewegung zum Üblichen **SLED** (single large expensive disk)
= immer größere, leistungsfähigere und teure Einzellaufwerke zu benutzen

Bald entwickelten **Firmen spezielle Varianten**, z. B. RAID-10, RAID-55, Intel-RAID-Matrix usw.
So wurde versucht, den alten **Zahlenangaben werbewirksam** besondere Leistungsfähigkeiten zuzuordnen

IBM besann sich auf RAMAC, gab dem Kürzel neuen Sinn: raid architecture with multilevel adaptive cache
EMC formulierte eigene RAID-S-Level usw.

1992 gegen unübersichtliche Vielfalt von etwa 50 Herstellern **RAB** (RAID Advisory Board) gegründet
Die wichtigsten Festlegungen sind in „**The RAID-Book**“ mit über 100 Seiten enthalten
Die neue Einteilung der RAID-Levels (s. u.) **wird aber kaum benutzt**

RAID-Eigenschaften

Für die Speicherung wird ein fortlaufender Datenstrom $D_s = ABCDEFGH \dots$ angenommen

RAID nutzt die physikalischen Laufwerke unterschiedlich bezüglich **3 Methoden** und deren Kombination:

Stripping (aufteilen, zerlegen): D_s wird nacheinander auf die einzelnen Laufwerke aufgeteilt = RAID-0
Stripe-Granularität = -Größe = 64 - 512 KByte. Laufwerke parallel betrieben → **Datendurchsatz größer**

Mirroring (spiegeln) = **shadowing**: Daten parallel auf 2 identische Laufwerke, also doppelt gespeichert
erhöht **Sicherheit auf Kosten der Speicherkapazität** = RAID-1

Bei mehr als 2 (aber ganzzahlig vielen) Laufwerken ⇒ zusätzlich Stripping ≈ RAID-10 (1+0)

Fehlerkorrektur: Daten werden durch Parity- oder Fehlerkorrektur-Werte ergänzt ≈ RAID-2 bis 6

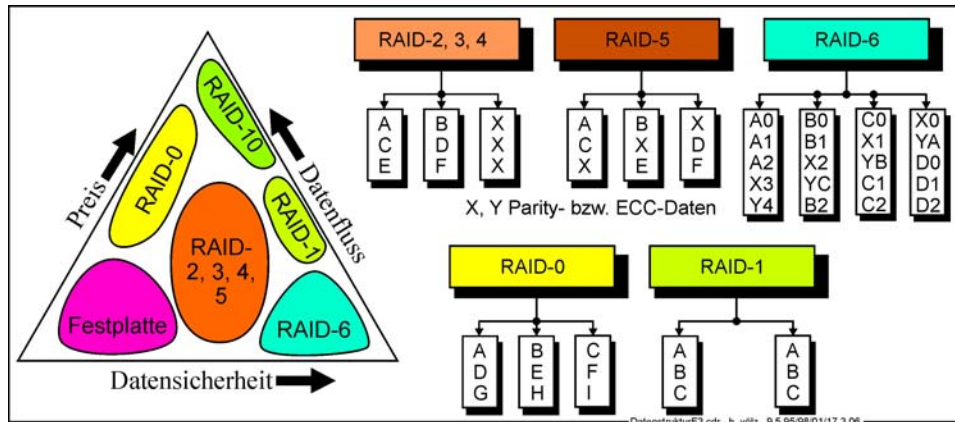
Für die **Anwendung** ergeben sich **3 Kenngrößen**:

Preis/Byte ergibt sich aus Umfang der genutzten Gesamtkapazität der Festplatten, größer, je höher Redundanz

Datenfluss größer, je mehr Laufwerke parallel benutzt werden. Fehlerkorrektur reduziert den Wert
Art und Anzahl der RAID-Controller ist wesentlich, auch Entlastung der zentralen CPU des Rechners

Datensicherheit: wie viel Daten bei Ausfällen wieder rekonstruierbar, dito. **hot swapping** oder **plugging**
z. B. Parity mit XOR, ECC (error correction code), z. B. HAMMING-Code

Grobe Einschätzung ermöglicht das so genannte **RAID-Dreieck**



Weitere Details [Völz]

Literatur

- Billing, H.: Zur Entwicklungsgeschichte d. digitalen Speicher. Elektron. Rechenanlagen (1977) 5, 213 - 218
 Graefen, R., Wiehr, H.: State of Storage – Speichernetze. ZAZA-media, München 2003
 Ergänzung: <http://www.storageconsortium.de/content.php?review.417>: FSC_storage_basics_ebook_de.pdf (3.8.10)
 Lennemann, E.: Bandbibliotheken mit automatischem Spulentransport. In NTG-Fachbericht: Digitale Speicher, Bd. 58. VDE - Verlag, Berlin 1977; S. 65 - 78
 Singhoff, W.: „Sachgerechte Langzeitlagerung von Analog- und Digitalbändern“ 1992
www.tonbandwelt.de/texte/band/pdf/langzeitlager.pdf; download 23.2.06
 Völz, H.: Handbuch der Speicherung von Information Bd. 3 Geschichte und Zukunft elektronischer Medien. Shaker Verlag Aachen 2007 (ist u.a. auch vollständig auf CD enthalten (s. o.)
 Gute Details und Fotos zu **Microdisc**: http://www.munz-udo.de/pdf_files/Minifestplatte.pdf (3.8.10)