

Kontinuierliche Magnetische Speichergeräte

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

Shaker Verlag Aachen 2007,

Es ist u.a. auch vollständig auf der CD enthalten:

Völz, H.: Wissen - Erkennen - Information. Datenspeicher von der Steinzeit bis ins 21. Jahrhundert. Digitale

Bibliothek Bd. 159, Berlin 2007

Völz, H.: Informationsspeicher, Grundlagen - Funktionen - Geräte. Expert-Verlag, Renningen - Malsheim 1996

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

Email: hvoelz at fpk.tu-berlin.de bzw. h.voelz at online.de

Prof. Dr. Horst Völz, Koppenstr. 59, 10243 Berlin, Tel./Fax 030 288 617 08

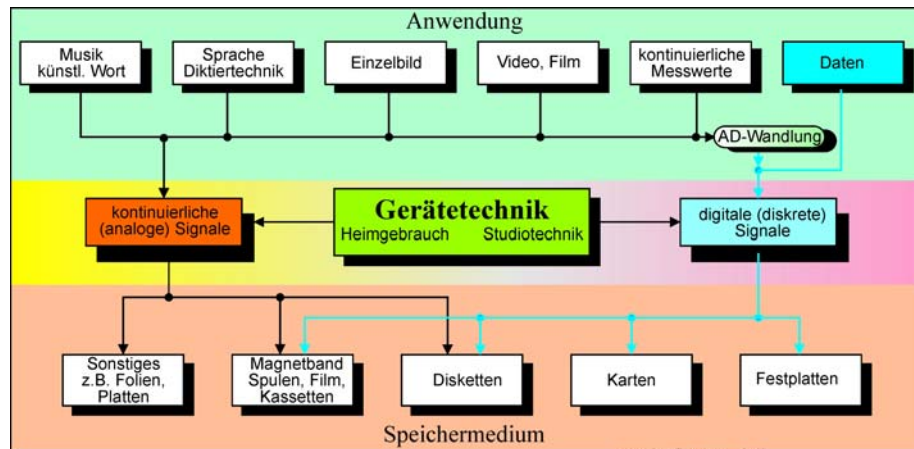
Material **herunterladbar** von aes.cs.tu-berlin.de/voelz

Überblick

Speichergeräte unterscheiden sich vor allem unter folgenden, gegenseitig abhängigen Aspekten:

- **Anwendungen:** Audio, Bild, Video, Messwerte und Daten
- **Gestaltung** durch **Speichermedien:** Draht, Band, Karten, Disketten, Festplatten usw.
- **Elektronische** Auslegung: kontinuierlich direkt, moduliert, digital
- **Benutzung:** individuell $\approx$ Heimtechnik bis kommerziell $\approx$ Studio
- **Geschichtlich:** Zeitpunkt der Entstehung

Die folgende Beschreibung geschieht primär nach den Anwendungen und sekundär nach den Speichermedien



Der Beginn

1888 legt OBERLIN SMITH (1840 – 1926) die niemals realisierte Idee einer Speicherung vor

1898 entsteht das erste Telegraphon von VALDEMAR POULSEN (1869 – 1942)

Es benutzt Draht aufgewickelt auf einen Zylinder, der Antrieb erfolgt per Hand mit einer Kurbel
Der Draht wurde immer dünner, auf Spulen gewickelt und mit Elektromotor bewegt

1918 entwickelte CURT STILLE (1873 – 1957) das flache Stahlband

U.a. wurde es ab 1929 für die BBC von BLATTNER weiterentwickelt (Blattnerphone)

1927 entstand durch FRITZ PFLEUMER (1897 – 1945) der Vorläufer des Magnetbandes auf Papier

1932 schuf EDUARD SCHÜLLER (1904 – 1976) den noch entscheidenden Ringkopf

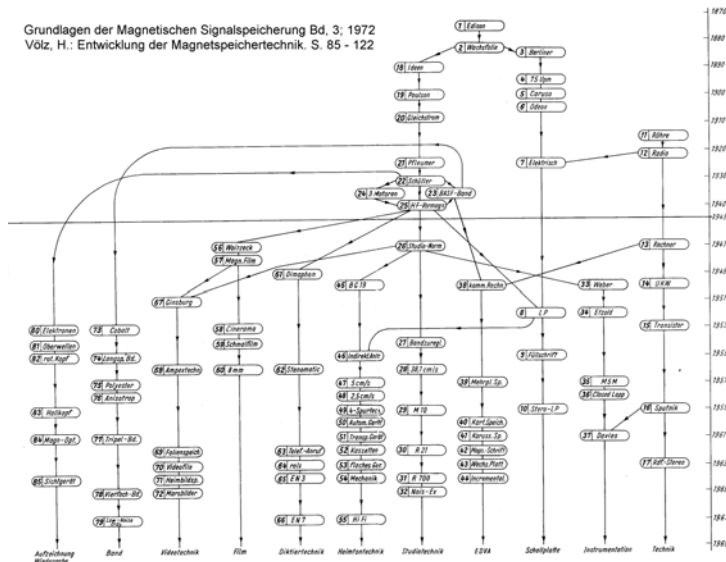
1935 entstand bei der AEG durch THEO VOLK (~1800 - ~1924) das typische 3-Motoren-Laufwerk

Auf diesen Grundlagen Berliner Funkausstellung 1935 das erste „Magnetophon K1“ vorgestellt
50 kg, 50 bis 10 000 Hz, 1 km Band, $\varnothing = 30$ cm, Laufzeit 20 Minuten, Dynamik schlechter als Schallplatte.

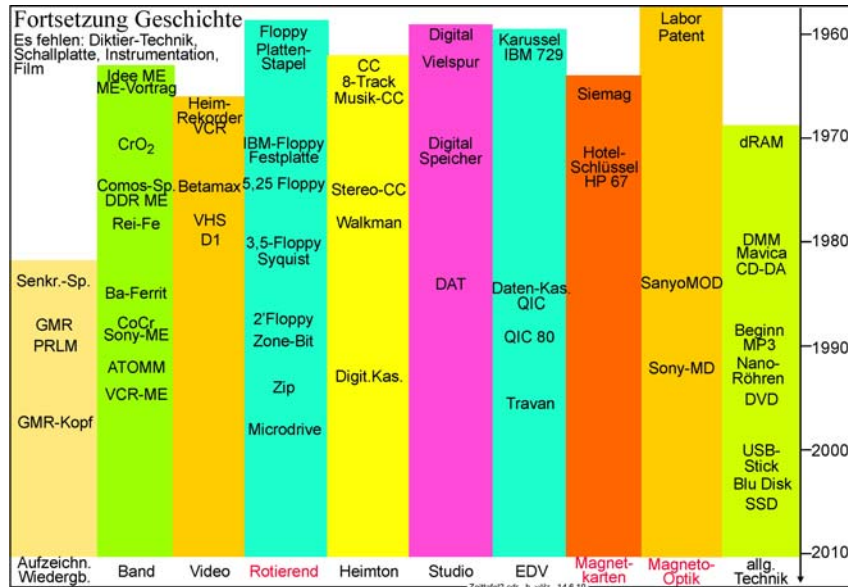
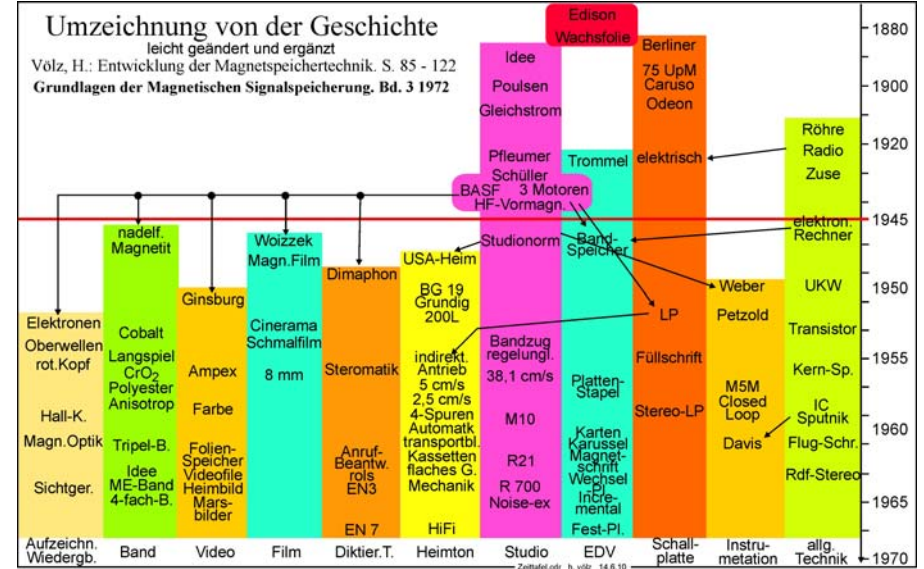
1940 fanden HANS-JOACHIM VON BRAUNMÜHL (1900 – 1980) und WALTER WEBER (1907 – 1944)
die HF-Vormagnetisierung, weit höhere Qualität als anderen Verfahren

1943 im Heinrich-Hertz-Institut Berlin erste hochwertige und historisch wertvolle Stereoaufnahmen „K6“

1945 Kriegsende alle Deutschen Patente ungültig, vor allem USA beachtliche Weiterentwicklungen



Zahlen Anhang bei Download

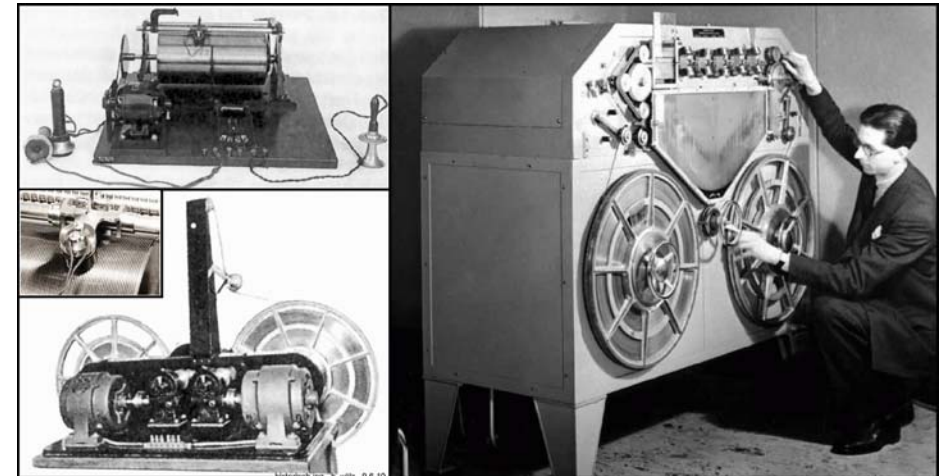
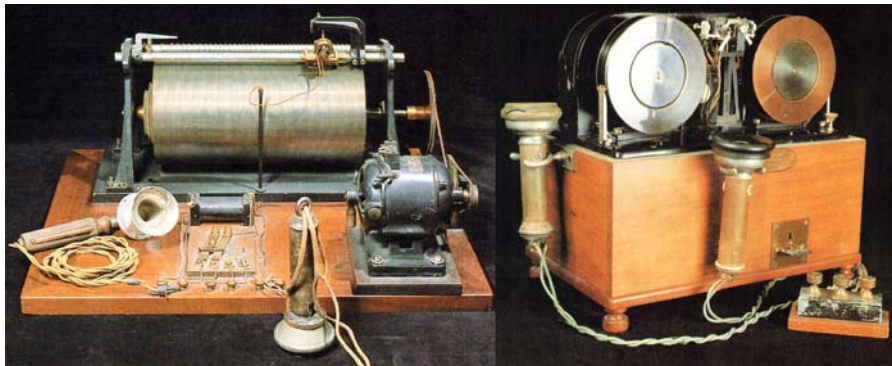
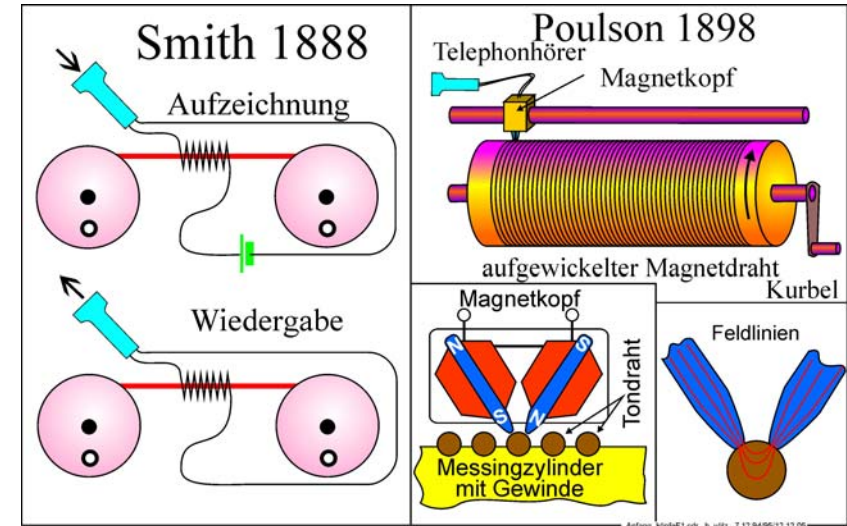
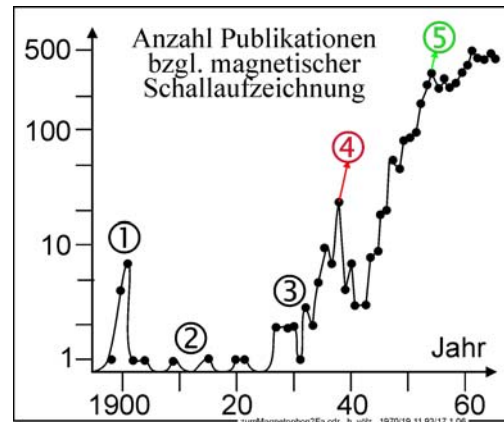


Schallspeicher

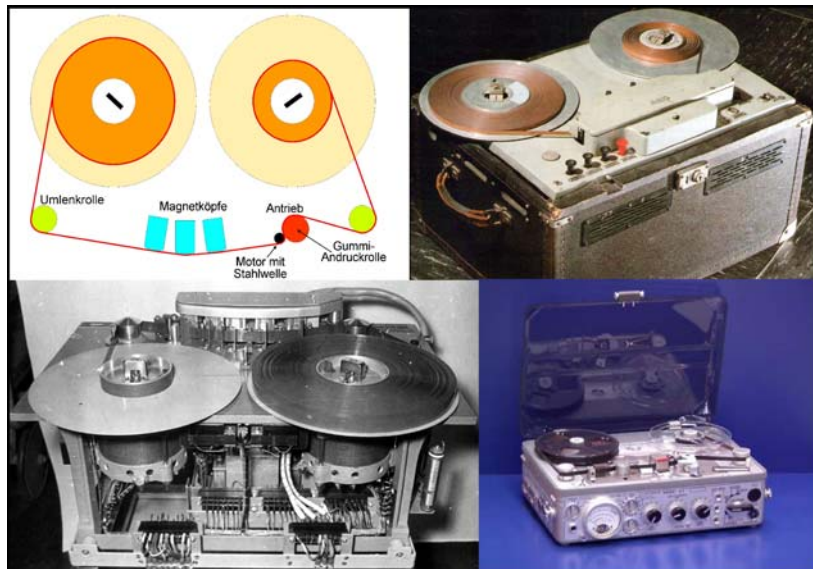
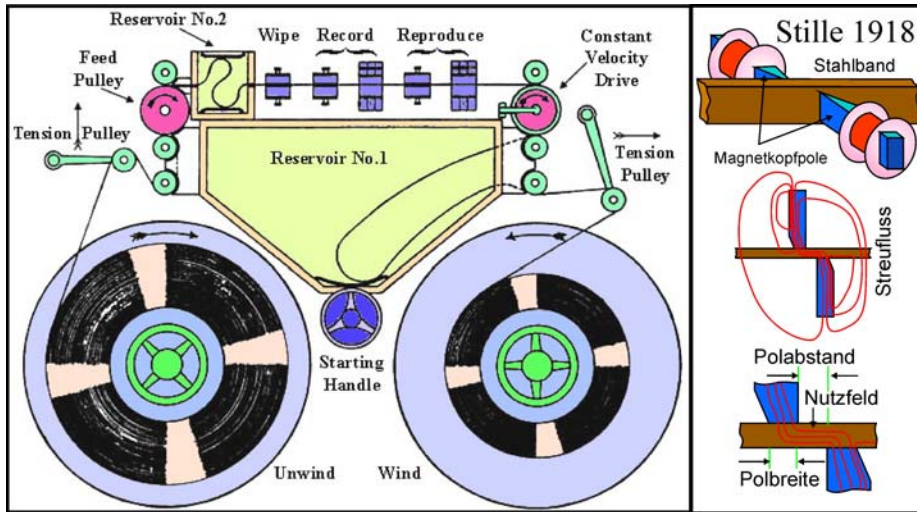
Publikations-Entwicklung

Entwicklung bis um 1960 leidlich durch verfügbare (deutschsprachige) Publikationen zu belegen

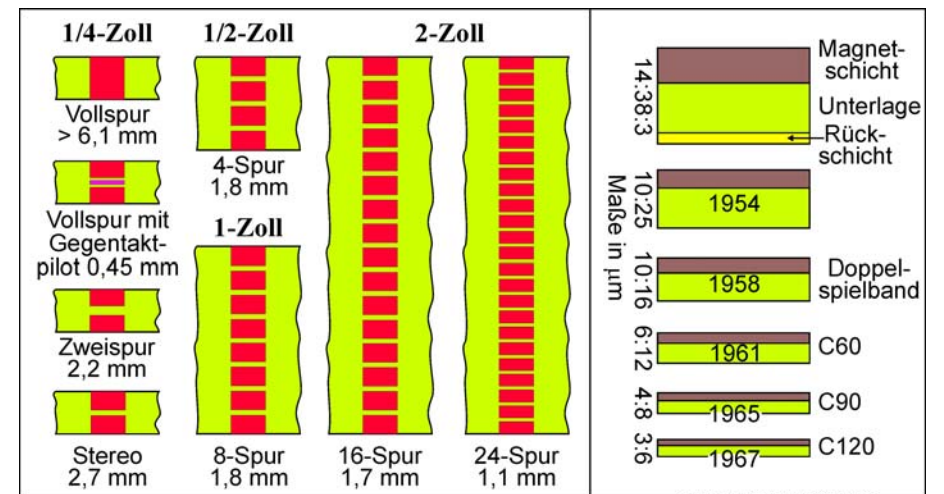
- ① Umfangreiche Berichterstattung zu den ersten POULSEN-Geräten
- ② Im flachen Verlauf wird nur über Anwendungen in der Diktiertechnik und kleine technische Fortschritte berichtet
- ③ Betrifft die 1935 vorgestellte neue Technik: Band, Ringkopf, Gerät insbesondere „K1“
- ④ HF-Vormagnetisierung und zu erwartender steiler Anstieg, bleibt aber infolge des **Weltkriegs** aus, Publikationszahl sinkt!
- ⑤ Sättigung für Audio, steiler Anstieg nicht dargestellt, entsteht durch viele **andere Anwendungen**: Tonfilm, Video, digital usw.



Marconi-STILLE-Bandspeicher von 1935 mit Doppelspitzen-Köpfe für 100 Hz - 6 kHz, 35 dB Störabstand



Prinzip, K1, Sander Jansen ca. 1950, transportables „Nagra“



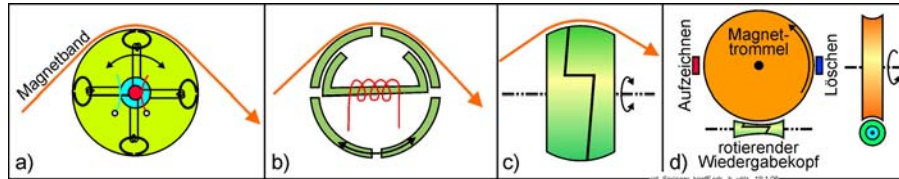
Zusatzgeräte für Studioteknik

u.a. zum Auffinden von Stellen auf dem Magnetband

für ***Pausezeichen***; für ***schnittloses (blutloses) Cuttern***, ***künstlichen Nachhall***

Kassettenspieler für den ***Dauerbetrieb*** der Sender

(A. M. SPRINGER): zum Verändern der ***Tonhöhe*** (transponieren) und/oder ***Laufzeit*** (Beibehalten der Tonhöhe)
Sehr kurze Ausschnitte (ms) wiederholen bzw. auslassen, Änderung der Bandgeschwindigkeit

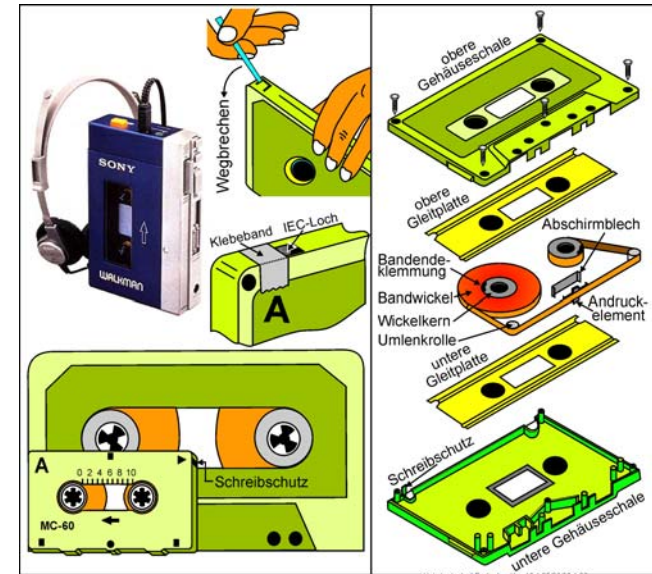


Heimtontechnik

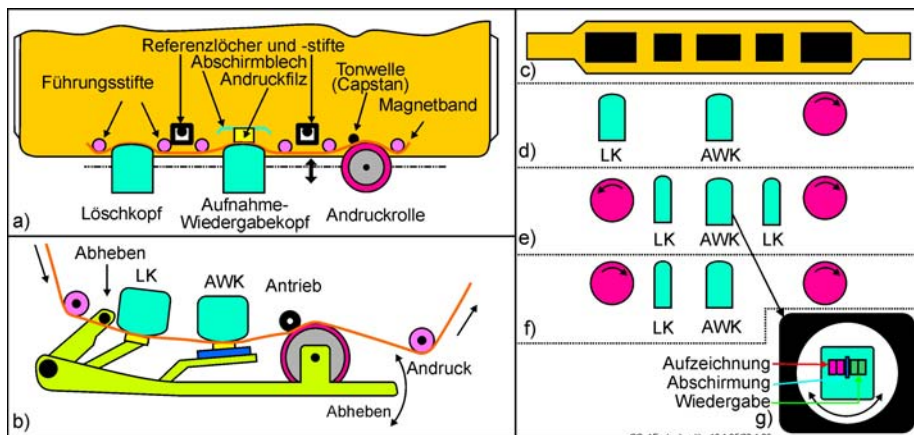




Magnetische Speicher 20.02.2011 Seite 21 von 130



Magnetische Speicher 20.02.2011 Seite 22 von 130



Magnetische Speicher 20.02.2011 Seite 23 von 130

Diktiertechnik

Nur verständliche Sprache → 300 bis 5 kHz, 40 dB, Gleichlauffehler weniger störend, 2,3 und 1,2 cm/s

- **Akustischen Notizen**, Vortrag, automatische Ansagen, Spionage, Geheimdienste
- Bei der Post gab es >20 **Telefonansagen**: Zeit, Wetterbericht, Sport, Lottozahlen, Börsenberichte, Kulturprogramme usw.
- **Anrufbeantworter** mit automatischer Steuerung per Telefon
- Sprechendes **Spielzeug**, z. B. Puppen

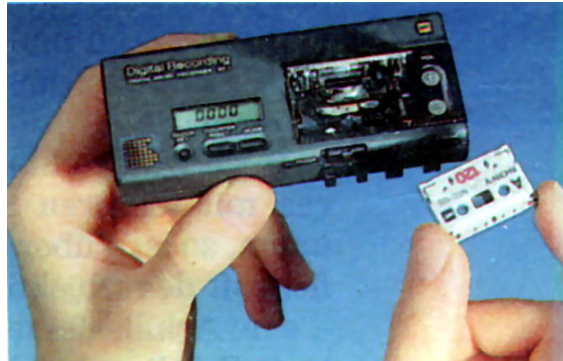
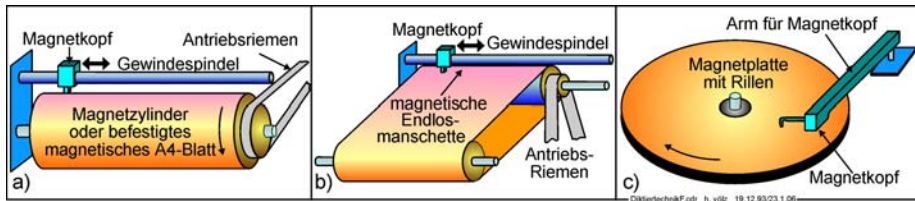
Besonderheiten für „Stenographie“

- Klein und leicht transportabel, batteriebetrieben
- Aufzeichnung automatisch sprachgesteuert, erste Silbe soll nicht verloren gehen
- In längeren Sprachpausen (z. B. > 2 s) wieder abschalten. Automatisch Sprache und Geräuschen unterscheiden
- Bei Wiedergabe muss Start-Stopp (Fußschalter) möglich sein, dabei letztes Wort wiederholen = Rücksetzen
- Vertraulicher Texte muss leicht entfernbar, sicher löschar sein (Sonderlöschgeräte)
- Evtl. getrenntes Aufnahme- und Wiedergabegerät
- Evtl. Archivierung notwendig

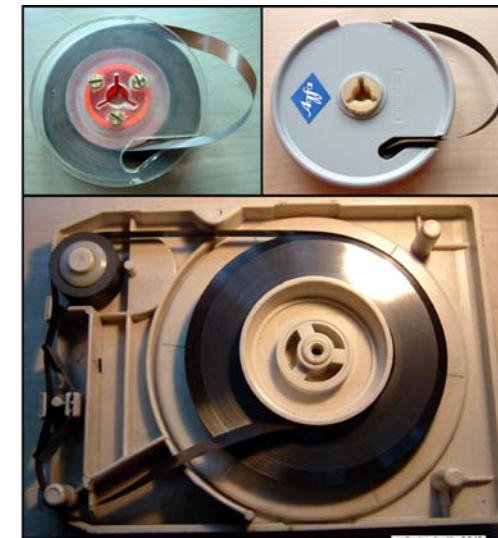
Es entstehen viele **Sondervarianten**, Band, Folien, A4-Blatt um Zylinder, extrem klein ⇒ Draht

Höhere Qualität: Fremdsprachenunterricht, programmiertes Lehren, Lernen, Archivierung Mundarten usw.

Magnetische Speicher 20.02.2011 Seite 24 von 130



Magnetische Speicher 20.02.2011 Seite 25 von 130



Magnetische Speicher 20.02.2011 Seite 26 von 130

Juristische Folgen

Telefunken hat sich die **Bezeichnung** „Magnetophon“ als **Warenzeichen** hat schützen und verlängern lassen **Schallplattenindustrie, GEMA** verlangten bereits 1950 zusätzlichen Urheberschutz, 1952 umfangreiches Buch 1965 nach mehreren **Grundsatzurteilen** ein Gesetz zur Abgabe von Gebühren auf Kassetten

Magnetbandaufzeichnungen **vor Gericht** in der DDR durch Arbeiten von KORISTKA 1966 geregelt
Sicherheit = Urkundencharakter durch magnetische Unterschrift auf Band



Magnetische Speicher 20.02.2011 Seite 27 von 130

Vervielfältigung Musik-Kassetten

Große Verbreitung von Musik- und Sprachwerken setzte massenweise Vervielfältigung der Aufnahmen voraus
Erstmals wurde das bei der **Schallplatte** erreicht: In etwa 2 Minuten war sie zu pressen und zu verpacken

Für **Musik-Kassetten** mussten ähnliche Werte bei höchstens gleichem Personal erreicht werden:
Im Archiv befinden sich **Mutterbänder höchster Studioqualität** ⇒ Spezialkopie auf meist 1/4-Zollband
Erfolgt in einem Schritt für **alle vier Spuren**, je eine Stereoaufzeichnung vorwärts und rückwärts
Kopie wird als **Endlosschleife** geklebt und übersteht in dem speziellen Wiedergabegerät ca. 2000 Umläufe
Spezialwiedergabe-Master mit **Vierspurkopf bei 16- bis 64-facher** Geschwindigkeit alle vier Spuren parallel
Geschwindigkeit **mehrere m/s**, Aufzeichnungsfrequenzen bis **1 MHz**, HF-Vormagnetisierung mehrere MHz
Ein einziger Aufzeichnungsverstärker überträgt die Signalen auf bis zu **30 Tochtermaschinen** (Sklaven)
Sie zeichnen das Signal fortlaufend auf **Spulen mit Kassettenband Ø = 30 cm** auf.
Einzelne Aufnahmen durch einen **7-Hz-Ton getrennt**. Auf einer Spule schließlich etwa 30 Kassettenbänder
Durch Automaten werden sie geteilt und in **C0-Kassetten** (=Leerkassetten) eingefädelt

In einen Ablauf entstehen so rund 1000 Kassetten

Die Ferritköpfe Standzeit >3000 Stunden

Videobänder völlig abweichende Technik notwendig

Magnetische Speicher 20.02.2011 Seite 28 von 130

Anwendung in der Messtechnik

Durch die Signalspeicherung entstanden für die Messtechnik neue Möglichkeiten.

- Messung und Auswertung können **zeitlich und örtlich getrennt** erfolgen
- Gleichzeitiges Aufzeichnen **vieler Signale**
- **Wiederholung** der Aufzeichnung (Archivierung) für unterschiedliche Auswertungen
Fourier-Analyse, Statistik usw. Beginn der *Korrelationstechnik* $\Rightarrow \int f(t) \cdot f(t + \tau)$
- Unterschiedliche **Bandgeschwindigkeit** bei Aufnahme $\Leftrightarrow$ Wiedergabe ermöglicht
Frequenztransponierung $\Rightarrow$ Analysen mit üblichen Geräten, z. B. Audiomesstechnik, Infra-, Ultraschall usw.
Zeitraffung und -dehnung, z. B. Langzeit-EKG, Seismik,
- **Störungs-, Flugschreiber** usw. z.T. mit Endlosschleife s. u.
- Untersuchungen in **unzugänglichen oder für Menschen zu gefährlichen Gebieten**, radioaktiv, Weltraum, Meeresgrund usw.

Gebiet heißt auch **Instrumentation** (Geräteausrüstung)

Wurde lange Zeit aus **militärischen Gründen geheim** gehalten, u. a. Atombombenversuche

Mit dem **Sputnik**-Start 4.10.1957 trat Lockerung ein

Erstes Buch GOMER L. DAVIES 1961

Störungs-Schreiber

Zeichnen spezielle **Schallsignale und Messwerte** (anfangs kontinuierlich) auf, Später digital „Instrumentation“

Industrie und Anlagen, z. B. Energieversorgung z. B. mit zwei Stunden Laufzeit durch Endloswickel

Die jeweilige Neuaufzeichnung löscht dabei automatisch die vor den zwei Stunden

Im Störfall wird die Neuaufzeichnung zwangsläufig unterbrochen

Flugschreiber 1

Seit 50er Jahren bei Flugzeugen = **Blackbox** $\Rightarrow$ ursprünglich schwarze gekapselte Metallkästen

Anfangs Drahtspeicher wegen Hitzefestigkeit

1957 benutzte Boeing 727 noch ein 12,5 cm breites Stahlband, arbeitete kontinuierlich

Ab 1965 Magnetbänder

Ab 90er Jahre auch Flash-Speicher

1. Übliche Bezeichnung ist heute **CVR** (cockpit voice recorder, Stimmenrekorder)
Zeichnet ca. 30 Min. gesamten Funkverkehr mit Bodenstation
Gespräche im Cockpit, Geräusche und Warnsignale an Bord auf
2. Seit 90er Jahre zusätzlich Datenrecorder = **DFDR** (digital flight data recorder) = Crash-Recorder
Registrieren Flugparameter wie Geschwindigkeit, Fluglage, Kurs, Ruderausschlag und Schalterstellungen
Z.T. werden mehr als tausend Parameter über 25 Stunden gespeichert
3. Z. T. zusätzlich Leistungskontroll-Rekorder = **PMR** (performance maintenance recorder)
Auf auswechselbare Kassette werden 50 Stunden Daten zum Zustand des Flugzeuges gespeichert

Flugschreiber 2

Härteste Sicherheitsbedingungen, ähnlich Castor-Brennstoffbehälter, Aufschlag $\approx$ 250 km/h $\approx$ 2000 g überstehen

Flash-Rekorder erreichen 3400 g $\approx$ 425 km/h; schwingungsgedämpfte Aufhängung und Luftfilterausgleich

Zwischen mehrlagiger Edelstahlarmmierung, langsam schmelzenden Kunststoffen zur Wärmeisolation

30 Min. 1 100 °C überstehen

Z.T. auch Plastekügelchen mit Flüssigkeit gefüllt, Schmelzen, Verdampfen verbraucht viel thermische Energie
Dampf durch ein kleines Loch

Meist im Heck untergebracht, dort überstehen am besten einen Aufprall

Beide Geräte geben nach Absturz auch **im Wasser Schallsignale** ab, klingen wie „Ping“ $\Rightarrow$ Name Pinger

Signal muss aus 5 000 m Tiefe hörbar und über 30 Tage aus 6 000 m Tiefe ortbar sein

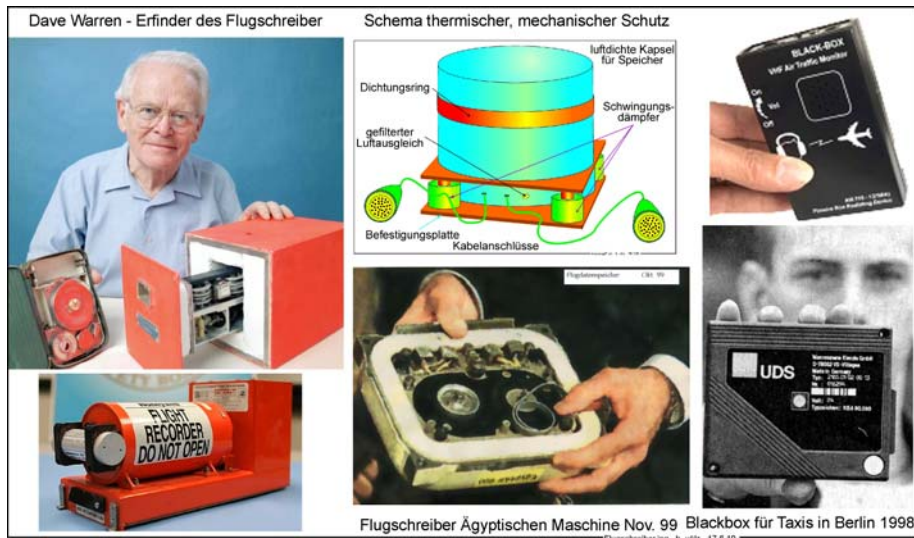
Geräte einige 10 000 €. Inzwischen mehrere 100 000 Geräte installiert

Ähnliche Anwendungen

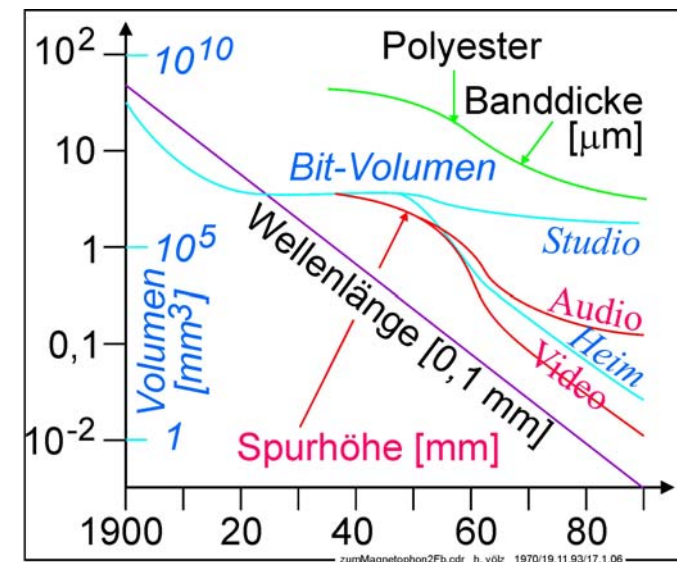
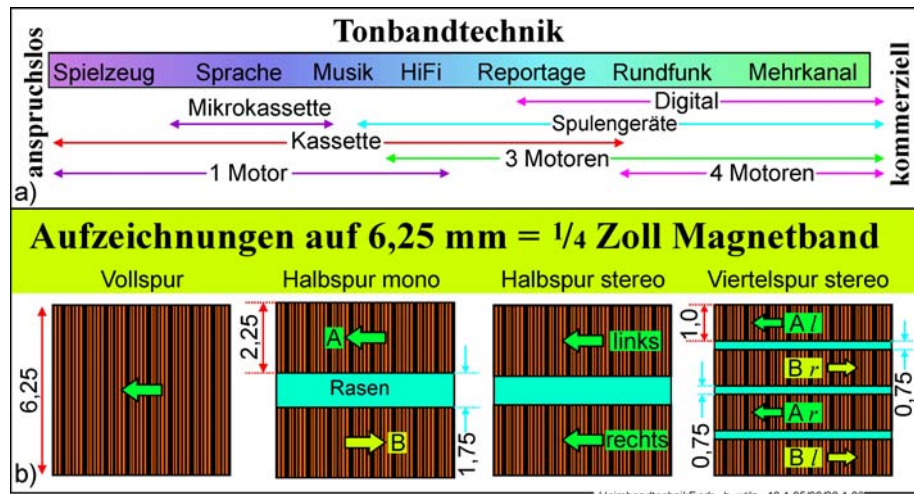
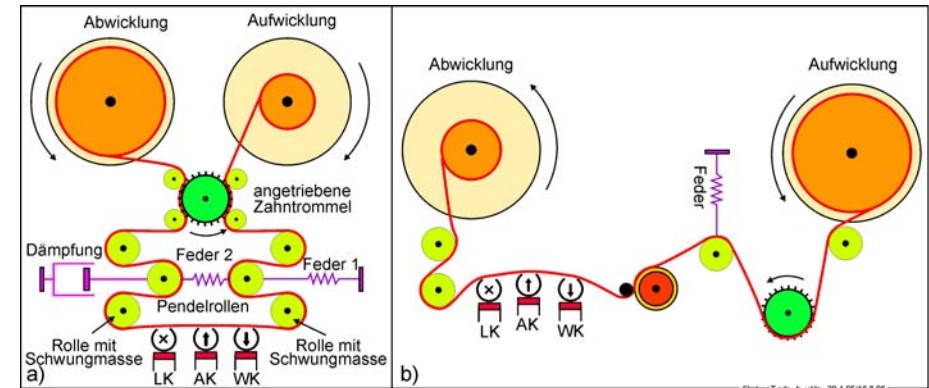
Seit 80er Jahre **vereinfachte, preiswerte Blackbox** bei Bahn- (u.a. Kontrolle des Zugablaufes) und Busbetrieb

Seit 2005 auch Berliner U-Bahn Blackbox, speichert Daten für 24 Stunden

Inzwischen auch bei Taxen und zur Video-Überwachungen durchgeführt



Audio bei Film



Digitale Audiotechnik

Ab 80er Jahre auch die digitale Aufzeichnung von Audiosignalen möglich
Kontinuierliche müssen Signale *abgetastet*, *quantisiert* und *codiert* werden = PCM (**P**uls-**C**ode-**M**odulation)
Notwendig *Sample-Hold-Schaltung* + *Analog-Digital-Wandler* = ADU (analog digital unit)

Qualität durch Bit-Tiefe (meist 24 Bit) und Samplingrate (meist > 40 kHz) bestimmt
Besonderheit für Audio: **Vielzahl parallel anfallender Signale**, vor allem bei der Produktion
Wiedergabe erfordert Rückwandlung in kontinuierliche Signale (DAU), s. u.
Für Studioteknik entstand bei Bandgeräten zunächst **DASH** bis zu 48 Spuren
Ab 1985 entwickelte ein Normen-Ausschuss **DAT** (**d**igital **a**udio on **t**ape) in zwei Varianten

S-DAT (stationary head DAT) ↔ **R-DAT**, (rotary head DAT)

Bei R-DAT werden in Abwandlung der Videotechnik **rotierende Köpfen** benutzt (Details dort)
Heute wird fast ausschließlich mit Rechnern und Festplatten gearbeitet

Später entstanden **je nach Anwendung**: Diktiertechnik, Heimgebrauch, semiprofessionell und professionell
Anfangs entstanden viele Varianten zur **Datenreduktion**, heute sind nur noch MPEG und **MP3** bedeutsam
Für die Heimtontechnik hat MD (**m**agneto **o**ptical **d**isc = **MiniDisc**) von Sony auf MO-Basis Bedeutung (s. u.)

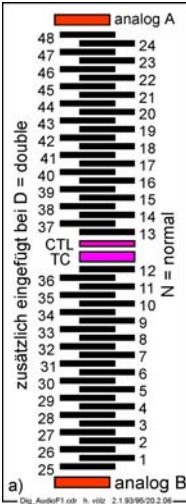
DASH

digital audio stationary heads

von Industriegremien international erarbeitet: u.a. Sony, Mitsubishi und Studer
Dadurch entstand eine Vielzahl von teilweise nicht kompatiblen Kompromissen:

- ¼- und ½-Zoll-Bänder
- unterschiedliche Spurdichten
- drei Bandgeschwindigkeiten
- Sampling-Frequenz 48 oder 44,1 kHz
- digitaler Rundfunk 32 kHz vorgesehen
- Banddicke bevorzugt 25 µm
- Speicherdichte 1 500 Bit/mm

Bei 44,1 kHz Bandgeschwindigkeit proportional verringert = 1 500 Bit/mm
Normale ↔ doppelte Spurdichte kompatibel ⇒ Festlegung der Spurnummern
Eingefügte Spuren der doppelten Dichte sind nach links versetzt
Zusätzlich existieren 2 Analog- (A, B), 2 Hilfspuren für Cue (englisch Hinweis, Regie) und Time Code (CTL und TC)
sind u. a. für die spezielle Schnitttechnik notwendig:
ausgewählte Spur wird zunächst auf den analogen Kanal übergespielt
manuelles Bewegen ermöglicht gewohntes Cuttern
digitaler Schnitt erfolgt danach voll elektronisch



DASH-Formate

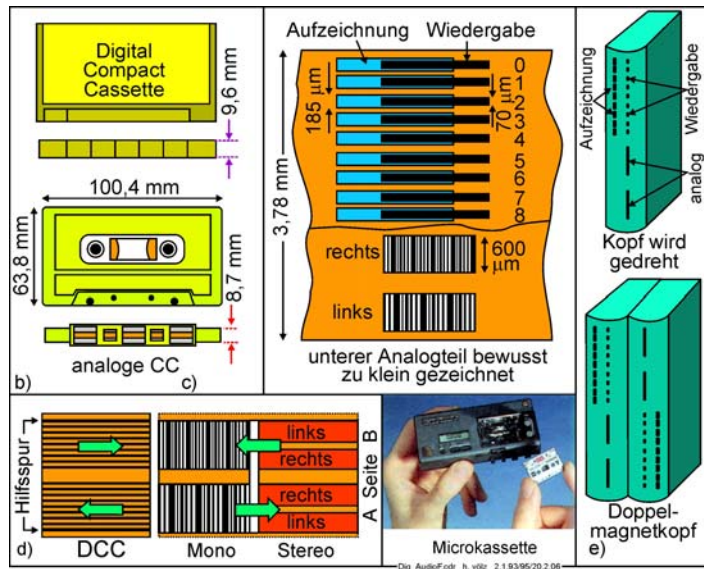
Bandformat	¼“ = 6,35 mm		½“ = 12,7 mm		v _{Band} in cm/s		
	N	D	N	D	bei Sampling 48 (44,1) kHz		
Digitale Audiospuren	8	16	24	48	A	76,2 (70,0)	F
	4(2)	8	12	24	B	38,1 (35)	M
	2	4	6	12	C	19,05 (17,5)	S
Hilfsspuren	4	4	4	4	bei A, B und C		

N = normale und D = doppelte Spurdichte.
A, B, C sind ähnliche Kennzeichnungen wie F = fast, M = medium und S = slow.

DAT ⇒ DCC ⇒ NTC-60

1985 wurden gemeinsam S-DAT und R-DAT konzipiert
S-DAT sollte 20 digitale Spuren und je eine Cue- und kontinuierliche Audiospur erhalten
Wendekassette – ähnlich der CC – mit 3,81 mm breitem, aufgedampftem Metalldünnschichtband
Durch Videotechnik wurde **schneller R-DAT (s.u.)** fertig und S-DAT führte zu keiner kommerziellen Lösung
1992 leitete hieraus **Philips** eine vereinfachte Home-Version als **DCC** (digitale CC) ab
Wesentlicher Unterschied verlustbehaftete Komprimierung ⇒ genügen 8 Spuren
1992 **je Haushalt** ≈ 60 CC (selbst aufgenommene + bespielte MC), Σ ≈ 3·10⁹ Kassetten, >10⁸ Kassettenrecorder
Daher **Rückwärtskompatibilität** für notwendig gehalten: Kassettenform und zusätzlichen analogen Magnetkopf
Digitale Kassette etwas dünner, durch Schieber aus Edelstahl verschlossen, dann Wickel arretiert
Betrieb nur von einer Seite möglich ⇒ nur Autoreverse-Betrieb: Kopf doppelt oder wird um 180° gedreht
Band 12 µm dickes hochwertigem CrO₂ oder cobalt-dotiertes γ-Fe₂O₃, bei 4,76 cm/s werden 2×45 Minuten
Fand kaum Akzeptanz, und daher wurde **Produktion 1998 eingestellt**, weitere Details [Völk 96]

1992 führt Sony die extrem kleine **Digital-Kassette NTC-60** und später NTC-120 (21,5 × 30 × 5 mm³)
Für Diktiertechnik vorgesehen, konnte aber, offensichtlich (zu hoher Preis?!) keine breitere Anwendung erlangen



Oversampling

Digitale Audiosignale müssen letztlich wieder in kontinuierliche Signale zurückgewandelt werden
Rechteckige Spannungssprünge (Aliasing, Abtastfrequenz) $\Rightarrow$ Oberwellen, Seitenbänder, Mischfrequenzen

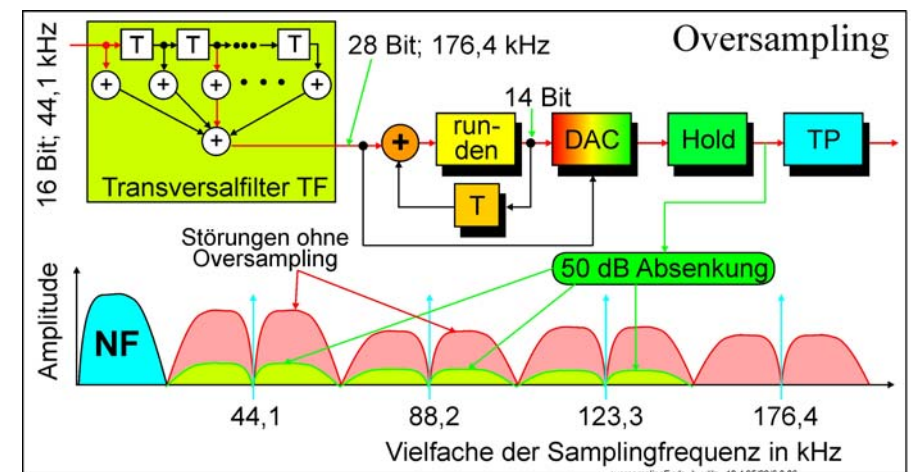
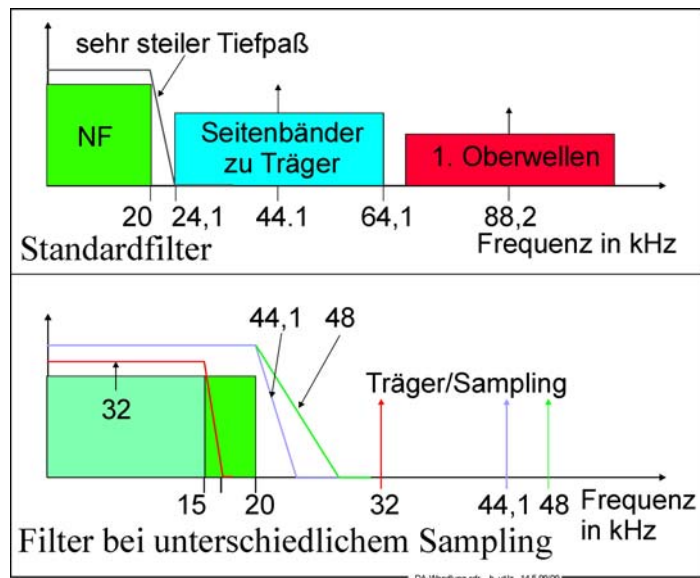
Müssen mit **sehr steilem Tiefpass** (Anti-Aliasing) reduziert werden $\Rightarrow$ Bessel-, elliptische Filter viele Nullstellen
Studio-Geräte verlangen innerhalb $\frac{1}{6}$ Oktave 100 dB Dämpfung (13 Nullstellen)
Heimtongeräte 60 dB (9 Nullstellen)

Derartige Filter sind aufwendig, teuer, bewirken außerdem erhebliche Einschwingvorgänge und Phasenfehler

Deshalb bei **Studiogeräten 48 kHz** statt sonst statt 44,1 als Sampling-Frequenz

Indirekte Lösung ist so genanntes Oversampling mit einem Transversalfilter als integrierter Schaltkreis
Aus 16-Bit-Wörtern mit 44,1 kHz erzeugt es 28-Bit-Wörter mit 176,4 kHz

Durch Rückkopplungsschaltung auf 14-Bit abgerundet, eine Hold-Schaltung erzeugt eine Treppenkurve
Das Spektrum ist wesentlich günstiger aus und es genügt ein einfacher Tiefpass



Satelliten-Speicher

Für Forschungen im nahen und fernen Weltraum waren **Bandspeicher** zunächst die einzige Lösung
An sie wurden besondere **Forderungen** gestellt, waren von Beginn an digital

- Geringes **Volumen** und **Gewicht** (Masse), geringer **Energieverbrauch**
- Möglichst **kleines Drehmoment**
- Wegen Start: sehr hohe **Vibrationsfestigkeit**, typisch: 3 - 10g innerhalb von 20 – 20 000 Hz, stoßfest 3-mal je Richtung 40 g (freier Fall etwa 1 m auf Beton)
- Betrieb in **Schwerelosigkeit**; **Temperaturbereich** -5 bis +45 °C; bis zu 100 % **Feuchtigkeit**
- Hohe **Zuverlässigkeit** und **Lebensdauer**, **wartungsfrei** und **fernsteuerbar**
- Hohe **Strahlungsfestigkeit**
- Hohe Aufzeichnungsrate, kleine Wiedergaberate, **Transponierung** bis zu 1:100
- Gewünschte **Lebensdauer** > 3 Jahre

Magnetische Speicher 20.02.2011 Seite 45 von 130

Speichereinsatz

Der erste Band-Speicher bereits 1958 in Courier-Satelliten mit 10 m Band geflogen

Bis 1969 etwa 20 Speicher in 6 Grundtypen von der NASA
(National Aeronautics and Space Administration, ab 1958 Act)
23 - 90 m ¼-Zoll-Band, Bandgeschwindigkeiten zwischen 0,76 und 38 cm/s

1976 - 1981 Akademie der Wissenschaften der DDR
3 Varianten in russischen Interkosmos- und Meteor-Satelliten

Das Partikel-Magnetband bereitete in USA Probleme
Durch die Start-Erschütterungen rieb es sich am Kopf fest
Nach dem Start war dadurch der Speicher oft unbrauchbar
Deswegen verwendet die DDR das damals neu entstandene **ME-Band**

Magnetische Speicher 20.02.2011 Seite 46 von 130

R1-Speicher

- für ETMS bzw. PM (Einheitliches Telemetrie-System der sozialistische Länder, Peilmesstechnik)
- Satelliten flogen erdnah zwischen 400 und 1000 km, Umlaufzeiten ca. 100 Minuten
- Funksicht sozialistische Länder jeweils täglich mehrmals für 5 und 10 Minuten
- Speicherkapazität 6·10⁶ Bit, Speicherdichte 115 Bit/mm (Biphase)
- **Bandgeschwindigkeit** 2-fach umschaltbar, durch Reibradgetriebe 1:2, 1:8, 1:32
Bei Aufnahme 0,297; 1,09; 4,75; 9,5 cm/s je nach Variante, Bei Wiedergabe 9,5 cm/s,
- Aufnahmerate 0,38; 1,25; 5 und 10 kBit/s je nach Variante, Wiedergabe etwa 10 kBit/s
- Fehlerrate <10⁻⁶, Wartungsfrei > 5 Jahre bzw. >3000 Zyklen
- Leistungsbedarf max. 2,5 W; Abmessungen 280×110×85 mm³, Masse 2 bis 2,6 kg je nach Variante
- Dünnschicht-Magnetband: Breite 6,25 mm, Länge 22 bis 60 m, Schichtdicke 30 nm

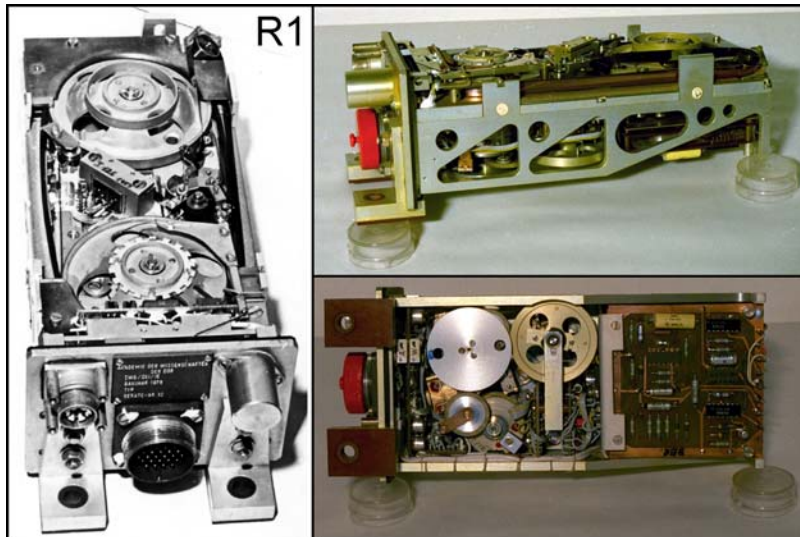
Magnetische Speicher 20.02.2011 Seite 47 von 130

Ausgewählte Einsätze

Startdatum	Satellit	Speicher-Nr.
15.5.76	Meteor 25	12 und 13
19.6.76	Intercomos 1	10 und 11
26.9.77	Meteor 28	2 und 3
24.10.78	Intercomos 18	18 und 20
Jan. 79	Meteor 29	14 und 15
1.11.79	Intercosmos 21	45 und 46
1980	Intercosmos 27	16 und 19

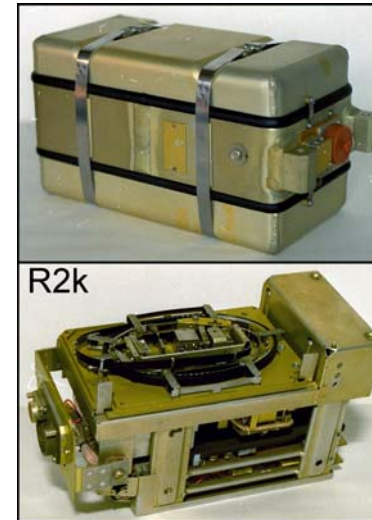
Meist je Satellit zwei Speicher installiert
Bei jedem Start musste zusätzlich ein technologisches Muster am Boden vorhanden sein
Außerdem Muster für Reserve, Klima-, Schüttel- und Lebensdauertests

Magnetische Speicher 20.02.2011 Seite 48 von 130



Magnetische Speicher 20.02.2011 Seite 49 von 130

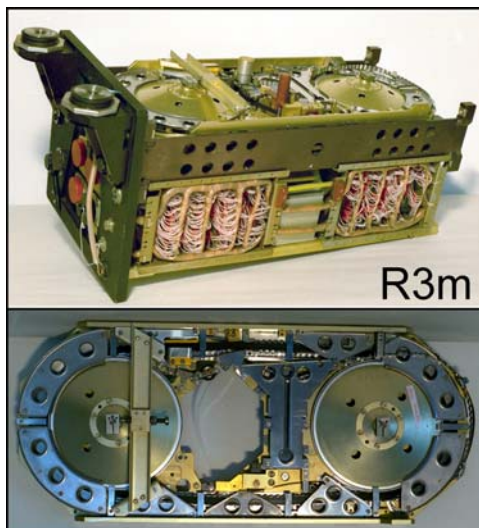
Weiterentwicklung R2



Mit abnehmbarer Kassette und verbesserten Daten
Nur 3 Einsätze 1976 - 1979
Industrieüberführung vorgesehen, nicht erfolgt

Magnetische Speicher 20.02.2011 Seite 50 von 130

R3m für internationale Phobos-Mission (Mars-Mond)



1982, 200 m 1/4-Zoll-Band, 200 MByte
Wiedergabe erst nach einer mehrmonatigen Flugzeit
Wegen großer Entfernung 2 MHz
Videosignale $\Rightarrow$ 4 kHz Sendesignale

Details

[aes.cs.tu-berlin.de/voelz/
/PDF/DDR-Tiefraumspeicher R 3m.pdf](http://aes.cs.tu-berlin.de/voelz/PDF/DDR-Tiefraumspeicher_R_3m.pdf)
[/WeideTiefraumvideospeicher.pdf](#)
[/Vortrag Sternwarte.pdf](#)

Magnetische Speicher 20.02.2011 Seite 51 von 130

Video-Speicher Erste Versuche

Magnetband ermöglichte beim Hörrundfunk eine hervorragende Programmgestaltung
 $\Rightarrow$ Wunsch auch für Fernsehen
Besonders wichtig für USA wegen **Zeitunterschied** Ost-West-Küste

Film viele Probleme, Qualitätsverlust, Transport usw.

Bei aktueller Berichterstattung außerdem zeitraubende chemische Entwicklung
erst im Nachhinein steht Brauchbarkeit fest

1954 zeigte RCA erste Anlage zur Fernsehaufzeichnung; 12,7 mm Magnetband mit 10 m/s und 5 Spuren
1956 in Frankreich Versuche mit 100 rotierenden Köpfen. BBC vielfältige aber letztlich erfolglose Ansätze

Magnetische Speicher 20.02.2011 Seite 52 von 130

Ampex-Video-Speicher

- 1951 CHARLES P. GINSBURG beginnt in aller Stille, ohne Kenntnis seines Arbeitgebers der Fa. Ampex Versuche
- 1952 Bilder gerade erkennbar, den Vorgesetzten werden die unerlaubten Versuche bekannt:
Forderung: innerhalb von 3 Jahren produktionsreifes Gerät oder die Entwicklungskosten voll bezahlen
- 14.4.1956 Ampex stellt in Chicago erste brauchbare Lösung vor
- 23.10.1956 erste Übertragung der Videobandaufzeichnung „Douglas Edwards with the News“
in der gesamten USA jeweils aktuell, trotz der großer tageszeitliche Unterschiede
- 1958 Hollywood erhält das erste Produktionsgerät
- 5.9.1958 Vorführung der ersten Farbaufzeichnung
- 1962 das 1000. Gerät ausgeliefert
- 1963 Nutzung von Transistoren
- 1965 83 % der Fernsehsendezeit wird vom Band bestritten
- Prinzip wurde schnell zur internationalen **Norm. MAZ (Magnetische Aufzeichnung)** wurde zu einem Schlagwort
- Probleme gab es lange Zeit beim **Cuttern**, wegen der komplizierten Spurlage
- 1976 **VHS (video home system)** für die private Anwendung
- 1980 tragbare Geräte, aus denen auch privat nutzbare Camcorder hervorgingen (Kamera + Rekorder)

Magnetische Speicher 20.02.2011 Seite 53 von 130



Magnetische Speicher 20.02.2011 Seite 54 von 130



Magnetische Speicher 20.02.2011 Seite 55 von 130

Zwei wesentliche Probleme

1. Große Bandbreite MHz bis GHz und geringe Phasenfehler
2. Ab Bandgeschwindigkeit > 5 m/s wegen Luft-einschluss kein guter Band-Kopf-Takt möglich

Daher Möglichkeiten

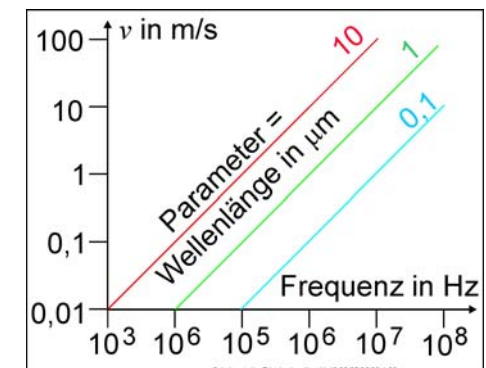
- Frequenzumsetzung wegen induktiver Köpfe (Pegel $\sim \square \Rightarrow$ Frequenzmodulation)

Aufteilung in Frequenzbereiche auf mehrere Spuren
Problem phasengetreue Zusammensetzung

Bei digitaler Technik verlustbehaftete Kompression

Rotierende Köpfe mit sehr hohem Kopfdruck (Vakuum-Schuh, Belastung von Band und Kopf)

Notwendigkeit von großen Bandlängen und -breiten



Magnetische Speicher 20.02.2011 Seite 56 von 130

Ampex-Technik nach GINSBURG 1

2-Zoll breites Magnetband wird mit 39,7 cm/s (später 38,1) transportiert

Kopftrommel mit 4 Köpfen erzeugt Rotationsgeschwindigkeit von ≈ 40 m/s: Verhältnis 1:100

Videoband „Scotch 179“, Masse 10 kg, 800 m

von MEL SATER und JOE MAZZITELLO bei Scotch-3M-Company entwickelt

Bandlauf:

Löschkopf voller Breite, dann **Kopftrommel**

Band wird halbkreisförmig in **Vakuumschuh** hineingezogen, Winkel 100°
nach jeder Vierteldrehung ist überlappend ein anderer Magnetkopf in Betrieb

Köpfe ragen $\frac{1}{10}$ mm aus der Kopftrommel heraus

drücken sich tief in elastischen Schichtteil des Magnetbandes hinein

⇒ hohe Belastung des Bandes, starke Abnutzung, beträchtliche Wärme, erste Videoköpfe nur ≈ 100 h

Spuren verlaufen mit $90^\circ 33'$ nahezu senkrecht, **143 μ m** breit, **Abstand** wegen Rasen **254 μ m**

Vollbild aus **40 Teilspuren**, bei Wiedergabe zeitkorrekt zum kontinuierlichen Videosignal zusammenzusetzen

Erfordert **sehr genaue Winkel** beim Einbau in Trommel, sonst entstehen sichtbare Bildfehler

Es folgen: **Steuerkopf** für Regelung,

drei Köpfe (Löschung, Aufzeichnung, Wiedergabe) für **Ton-** und **Merkspur** (Cue)

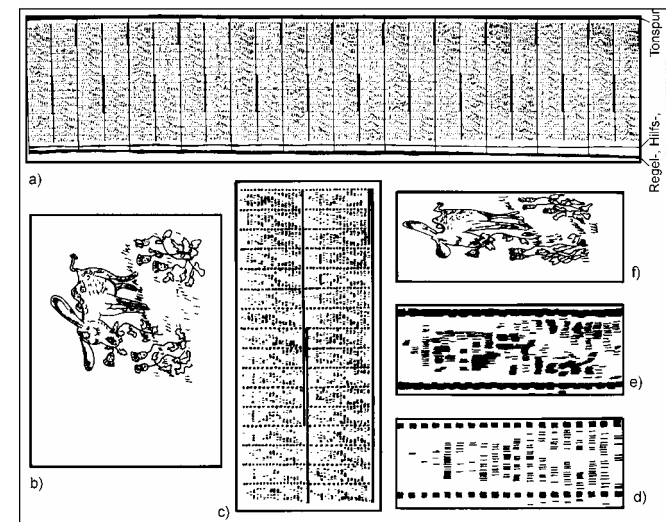
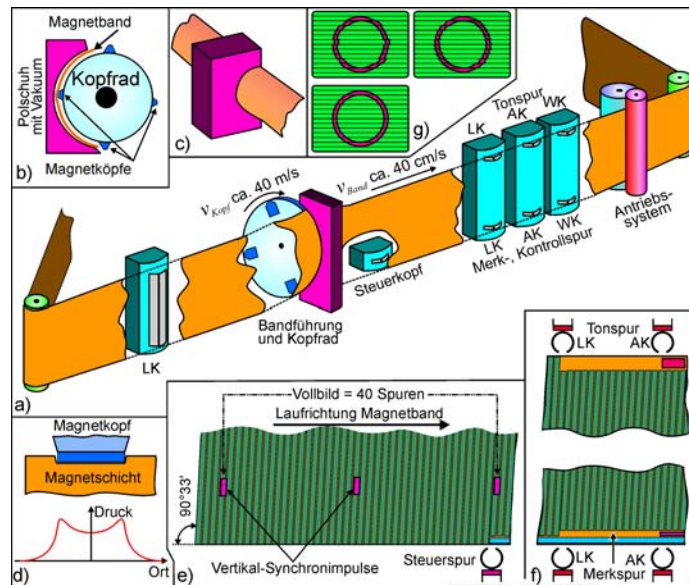
überschreiben am Rand vorhandene Videospuren

Tonspur 2 mm, Kontrollspur 1,4 mm, Registrierungs- 0,56 mm breit

Ampex-Technik nach GINSBURG 2

Umfangreiche **Regelmechanismen**:

- konstante und richtige Bandgeschwindigkeit
- die konstante und richtige Rotationsgeschwindigkeit des Kopfrades,
- zeitlichen „Nullpunkt“ (Position) des Kopfrades zur Synchronisation des FBAS-Signals,
- Spurnachführung des Videokopfes.



Beispiel „Die Beneidete“ von ALBERT SCHAEFER-AST (1890 – 1951)

Schrägrotnation

Problem der Ampex-Variante: Zusammensetzung der Teilspuren zu einem (Halb-) Bild

Mögliche Lösung: Schrägrotnation mit geringer Neigung = ein Halbbild in einer langen Spur
1975/76 begann Ampex mit Helical- oder Helix-Verfahren

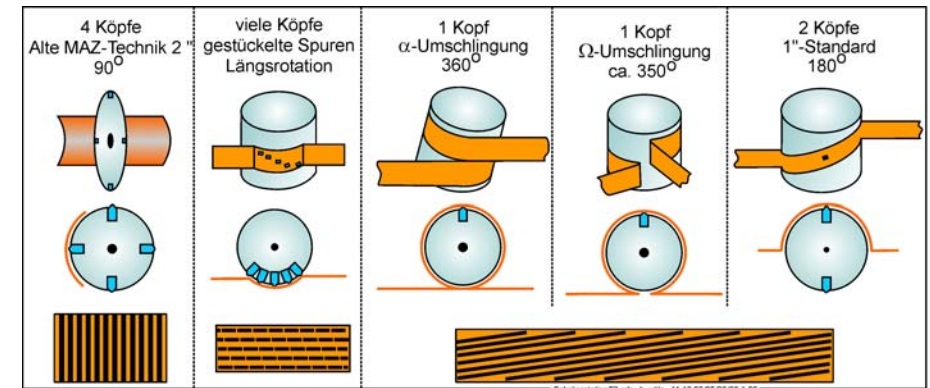
Elektronik einfacher, verringerter Zeitfehler

Spurnachführung: verlangt **besseres Band und genauere Regelung**

Bandzug und damit Kopfkontakt nehmen **exponentiell mit Umschlingungswinkel ϕ** gemäß e^ϕ zu

Drei Varianten möglich

- **1-Kopf-Technik:** Band vollständig um Trommel (mit Überlappung) gelegt
= α -Umschlingung, technisch Bandkanten-Problem
- **ditto: Ω -Umschlingung** nur $\approx 370^\circ$ möglich,
fehlende Aufzeichnung bei Zeilensynchronisation! Evtl. Zusatzspur
- Deutlich besser **2-Kopf-Technik**. Nahezu gleich bleibender Kopfkontakt, vollständiges Videosignal



Reibungsverluste, rotierender Transformator

Es muss **nicht komplette Kopftrommel rotieren**, genügt ein „dünner“ Anteil, als Kopfscheibe
Hauptteil läuft mit Band mit $\Rightarrow$ hoher Technologieaufwand $\Leftrightarrow$ verringerte Reibung, verbesserter Kopfkontakt

Zusätzliche Senkung Reibungskoeffizient:

Außenrand der Trommel mit Vielzahl von Rillen bzw. **Riefen** in Bandlängsrichtung
Es bilden sich dadurch bei Rotation Luftpolster aus

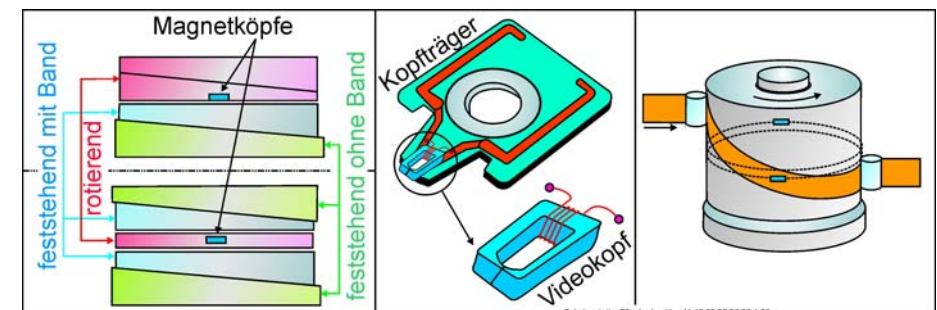
Mit einer Sandwichtechnik (z. B. Betamax): Bandzug beim Bandeinlauf 40 p und beim Bandauslauf 44 p.

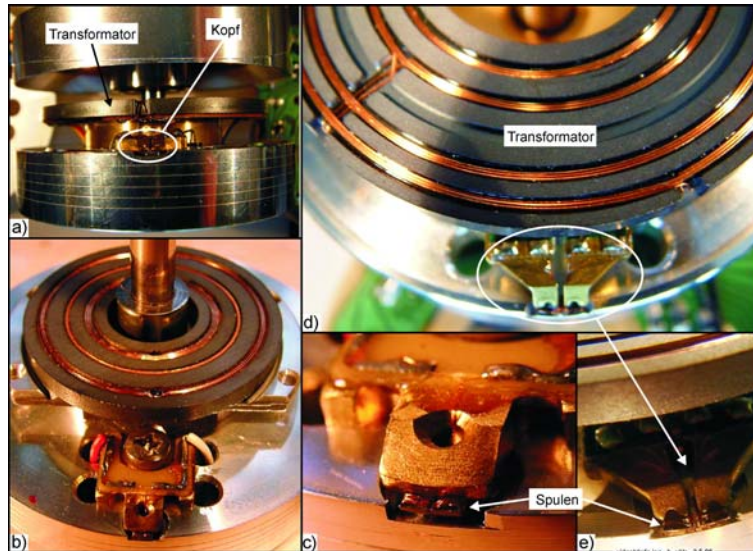
Verlangt präzise Führungsrollen der **Ein- und Auslaufzone**

Querbelastung muss dennoch wegen „windschiefer“ Bandlage gering gehalten werden

Durchmesser der Kopftrommel wenige cm, Magnetköpfe etwa ein mm,
deshalb auf einem Kopfräger befestigt

Signale werden durch **mitrotierenden Transformator** übertragen





Trommelgröße

Annahme ruhendes Band:

Spurlänge l_s , Breite des Bandes l_{Band} , Halbbild-Zeitdauer t_h (übliche Norm 20 ms), Winkel α

$$l_s = \frac{l_{Band}}{\sin(\alpha)}$$

Umfangsgeschwindigkeit der Kopftrommel

$$v_{rot} = \frac{l_s}{t_h}$$

Drehzahl $N \rightarrow$ Trommeldurchmesser

$$D = \frac{v_{rot}}{\pi \cdot N} = \frac{l_s}{\pi \cdot N \cdot t_h}$$

Bei k Köpfen gilt

$$\pi \cdot D = k \cdot l_s \quad \text{und} \quad N = \frac{1}{k \cdot t_h}$$

Änderung von **Drehzahl** und **Anzahl der Köpfe** ermöglicht **unterschiedliche Trommeldurchmesser**

Kleine Trommel $\Rightarrow$ kleinere und leichtere Bauweise $\Rightarrow$ Camcorder

Trägheitsmoment proportional $r^4 \Rightarrow$ Camcorder weniger **Kreiseffekt bei Bewegung** der Kamera

Nachteil: Höhere Belastung für Band und Kopf an, mehr „Schläge“ der herausragenden Köpfe auf das Band

Große Trommel für Standgeräte ergibt stabileres Bild und besitzt längere Lebensdauer der Köpfe.

Zeitfehler

Akustik

Unregelmäßigkeiten im Bandtransport $\Rightarrow$ **Jaulen und Rauheit**, ab etwa 10^{-3} gerade hörbar

Absolute Geschwindigkeitsfehler $\Rightarrow$ **Transponierung**, selbst für Geübten erst ab 10^{-2} wahrnehmbar

Fernsehen

absolute + relative Fehler

$\Rightarrow$ schlechte Synchronisation, Bildstand, wackelnde Kanten, Farbänder. -verschiebungen

Mechanisch für Trommel- und Bandantrieb nur Zeitstabilität $\approx 5 \mu s$ erreichbar

Schwungradregelungen, zusätzliche Regelsysteme, adaptive Laufzeitschaltungen $\rightarrow \approx 100 ns$

Reicht gerade für das **BAS** (Bild-Austast-Signal) des Schwarzweiß-Fernsehens

Farbfernsehen insbesondere für Burst des FBAS (Farb-BAS) deutlich kleinere Werte erforderlich

Grenzwerte Studiospeicher

Signal BAS/FBAS	absoluter Zeitfehler	relativer Zeitfehler	Phasenfehler Farbhilfsträger
schwarz-weiß	70 ns	$5,5 \cdot 10^{-4}$	
SECAM / PAL	25 ns	$2 \cdot 10^{-4}$	$\pm 40^\circ$
NTSC	3 ns	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$\pm 5^\circ$

Zusätzliche Zeitfehler bei Schrägrotation

Bandzug-Differenz Ein-, Auslauf $\Rightarrow$ Änderung von **Pegel** und **Frequenzgang** bzgl. Anfang/Ende der Bildzeile

Unterschiedliche **Dehnung des Bandes**, statistisch schwankende Reibung $\Rightarrow$ Längenänderung Band Δl

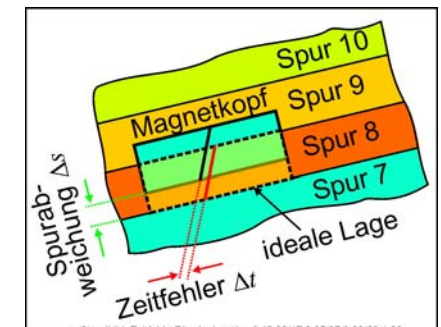
wirkt sich fast vollständig als Zeitfehler aus (t_h = Zeit für Halbbild = 20 ms), zugelassen $\Delta t \approx 1 \mu s$, ergibt

$$\frac{\Delta t}{t_h} = \frac{\Delta l}{l} = 5 \cdot 10^{-5}$$

Starker Fehler **Spurführung**: Bei Spurabweichung Δs ,

Spurwinkel α und Kopfgeschwindigkeit v gilt (s. u.)

$$\Delta t = \frac{\Delta s \cdot 2 \cdot \tan(\alpha)}{v}$$

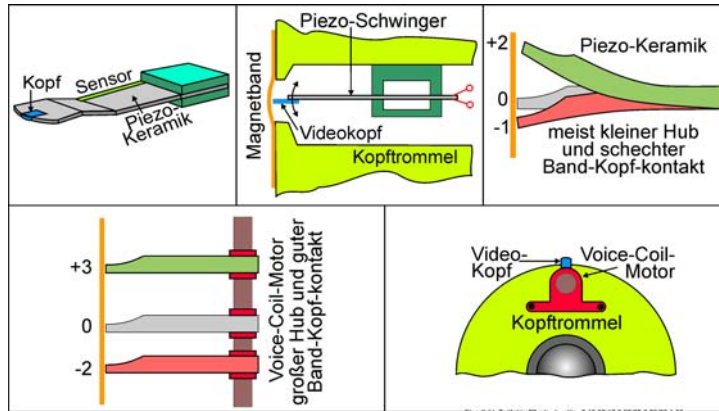


Kompensation durch zusätzliche Kopfnachführungen

Ist erheblich schneller als Regelung von Bandgeschwindigkeit und Trommelrotation

1. einfaches, preiswertes **Piezo-System**, ermöglicht nur relativ kleinen Hub bei sich änderndem Kopfkontakt
2. Wesentlich wirksamer ist ein **Tauchspulensystem** (voice coil)

Beide benötigen zusätzlichen Sensor



Magnetische Speicher 20.02.2011 Seite 69 von 130

Zeitraffer, Zeitlupe und Standbild

Für Studientechnik entstanden wichtige **Sondertechniken**, z. B. für **Zeitlupe**, **Zeitraffung** und **Standbild**. Bei Schrägspur Sondersteuerungen der Kopftrommel erforderlich, später auch bei Heimtechnik.

Geschwindigkeit des Magnetbandes v_{Band} schreibt Spuren mit Abstand l_{Abstand} bei t_h = Zeit für Halbbild

$$l_{\text{Abstand}} = v_{\text{Band}} \cdot t_h$$

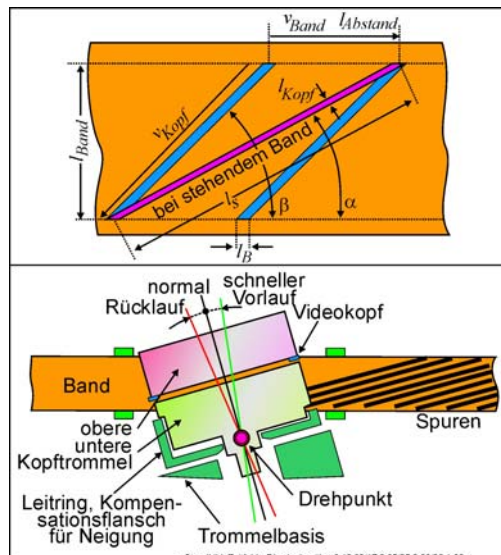
Je nach Spürhöhe des Kopfes l_{Kopf} wird dabei eventuell ein Rasen zwischen den Spuren erzeugt. Beta-Technik wird negativer Wert für geringes Überschreiben gewählt.

Zeitlupe, Zeitraffer und Standbild erfolgen durch **Änderung der Bandgeschwindigkeit** $\Rightarrow$ mit Neigung α bzw. β . Bewirken deutliche Spurbabweichungen $\Rightarrow$ Studio- und gute kommerzielle Geräten $\Rightarrow$ **neigbare Trommel**. Regelung stellt entsprechend gewählter Bandgeschwindigkeit richtige Spurneigung.

Dabei ändert sich auch etwas die „senkrechte“ Spurbreite und die Geschwindigkeit in der Spur:

$$l_b = \frac{l_{\text{Kopf}}}{\sin(\alpha)}.$$

Magnetische Speicher 20.02.2011 Seite 70 von 130



Magnetische Speicher 20.02.2011 Seite 71 von 130

Entwicklung der Studientechnik (MAZ)

Fast alle (historischen) Studioformate verwenden offene Spulen von 30 cm Durchmesser. Im halbprofessionellen Bereich werden kleinere Spulen verwendet, erst ab ca. 1990 Übergang zu Kassetten.

1956 Beginn der klassischen Ampex-Technik

1975/76 erste Querrotation im **A-Format** = Schrägaufzeichnung mit 350° Ω -Umschlingung

1-Zoll-Magnetband, $v_B = 24$ cm/s; Trommel- $\varnothing = 15$ cm, Halbbildlänge 40 cm, Spurneigung 3°
Senkung der Zeitfehler erstmalig durch automatische Spurnachführung AST (automatic scan tracking)
Synchronsignal wird synthetisiert

B-Format (B-Standard) von Bosch eingeführt, vermeidet Nachteile der großen Trommel $r = 50,3$ mm

Trommelrotation 150 U/s, Spurneigung 14,3°, Spurbreite 40 μ m und Spurbstand 160 μ m
Halbbild auf mehreren Spuren, beide Videoköpfe durch 2 Löschköpfe ergänzt (spurgenaues Löschen)
3 Tonspuren zu 0,8 mm (Stereo + Merkspur). Die Steuerspur ist 0,4 mm breit. Für Videospur bleiben 21 mm

1979 C-Format (C-Standard), Kopftrommel: 3 Video- und 3 Synchronköpfe, 344° Umschlingung, rotiert 60 U/s
Halbbildlänge 411 mm, Spurneigung 2,5°, Spurbreite 52 μ m, Spurbstand 130 μ m, Breite Video 18,5 mm

III-Technik hatte für Berichterstattung beachtliche Bedeutung = Halbzollrecorder
zwei parallele, getrennte Schrägspuren für Leuchtdichte- und Farbsignal

Ab **1987 digitale Video-Speicherung** (s. u.)

Magnetische Speicher 20.02.2011 Seite 72 von 130

Reportagegeräte = Kombination mit Videokamera

1963 kündigt Ampex einen ersten Speicher als Koffergerät an

Ausgangspunkt verbesserte Heimtechnik = Betamax-Technik durch Kombination mit *Betacam*

1979 erste Geräte, noch Kamera und Speicher getrennt

1980 Sony die erste integrierte Kombination: Masse 2 kg

1984 erscheint von JVC der erste VHS-Camcorder GR-C1

Betamax-Technik $\Rightarrow$ **Betacam** entwickelt = Videokamera mit halbprofessionellen Videorecorder

Betacam SP Hubbereich 4,4 bis 6,4 $\Rightarrow$ 5,7 bis 7,7 MHz erhöht, Videospektrum erweitert

Farbdifferenzsignale weiterhin auf getrennter Spur in FM gespeichert

Metallschichtband mit Bandgeschwindigkeit 10,5 cm/s

1970 Sony, JVC, Matsushita halbkommerzielle **U-matic** eingeführt

Wurde lange Zeit als Masterband der Audiotechnik für CD-Produktion benutzt

Band 1,95 cm (3/4-Zoll) Breite, ähnelt etwas **Betamax**; 9,53 cm/s

Videospuren 125 μ m breit, 4°58'6" gegenüber Bandachse geneigt, Rasen 40 μ m

Technik-Vergleich

Hub-Bereich in MHz

2 Zoll-Technik					
Low-Band	4,95	6,8	High-Band	7,16	9,3
Super-High-Band RCA	9,0	12	Super-High-Band Ampex	10,9	12,2
1 Zoll-Technik					
A-Format Ampex	8,64	11	B-Format BCN, Bosch	6,76	8,9
C-Format RCA, Ampex	7,16	8,9			
Umatic in 3/4-Zoll-Technik					
Low-Band	3,8	5,4	High-Band	4,8	6,4

Heim-Anwendung

24.6.1963 **BBC** stellt ersten Heimvideorekorder mit Schrägrotation vor

1969 **Sony** erste (völlig erfolglose) Kassettensystem

1971 **Philips** ebenfalls wenig erfolgreichen VCR (video cassette recording)

1973 folgte **VLP** (video long play)

Weil Kassettentechnik immer noch unhandlich und wenig betriebssicher, Übergang zu **Bildplatten**

1975 die **Betamax** von Sony $\Rightarrow$ Beta-Technik (*slanted azimuth recording*)

1977 das **VHS** (video home system) von JVC (Victor Company of Japan Ltd.)

U. a. longplay-Variante **VCR-LP** ohne Rasen, Grundig **SVR** super-videorecording

Erfolge bewirkten: jeder Konzern will mitverdienen, **viele inkompatible Varianten entstehen**

1979 **Video 2000** von Grundig und Philips eingeführt, kommt trotz technisch höchster Qualität zu spät

1988 weltweit ¼ **Milliarde Heimvideorecorder** im Einsatz

Bald setzt sich – marktpolitisch gesteuert – das **VHS-System** durch, obwohl annähernd die schlechteste Variante

Unterschied in automatischer **Bandeinfädelung** (Ladeprinzip der Kassette) M- oder U-Laden

M-System zieht Band an zwei Stellen etwa symmetrisch zur Kopftrommel geradlinig aus der Kassette

U-Loading wird Band durch „Schwenkung“ von einer Stelle um die Kopftrommel herum bewegt

Nur Video 2000 ermöglicht beide Varianten, Philips $\Leftrightarrow$ Grundig

Außerdem doppelseitige Nutzung der Kassette)

Fortschritte der Heimvideotechnik

2000 weltweit **2·10¹⁰ Videokassetten** verkauft

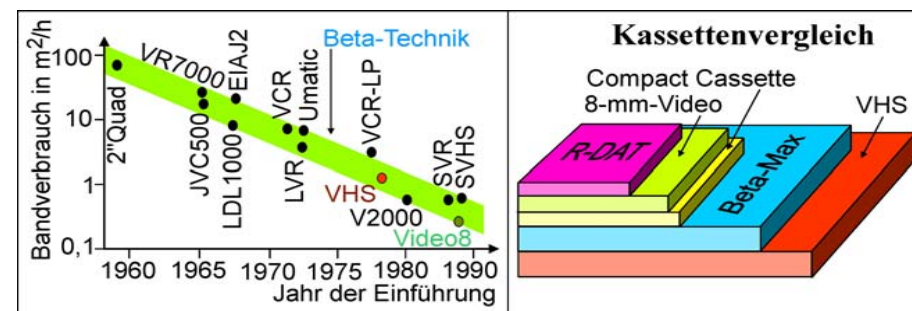
Bespielte Videobänder wurden lange Zeit von der **Filmindustrie stark bekämpft** (s. Vervielfältigung)

Stellten jedoch bald ihre **Haupteinnahmequelle** dar, werden ab ca. 2000 teilweise von bespielten DVD abgelöst

Relativer Bandverbrauch konnte in 30 Jahren konnte er auf fast $\frac{1}{1000}$ gesenkt werden

Weitaus weniger verringerte sich die Kassettengröße, liegt bei 200 bis 800 cm³

Nur Camcorder verwenden spezielle kleinere Kassetten

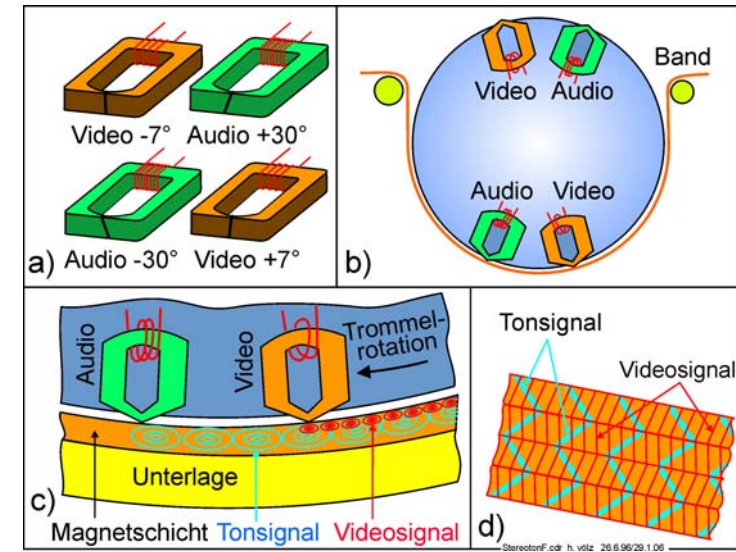


FM-HiFi-Stereo-Ton

Fast immer wird Begleitton in Zusatzspur gespeichert $\Rightarrow$ digital ins Signal integriert (s.u.)
 Durch oberflächliche Video- und tiefliegende FM-Tonaufzeichnung höchste Qualität erreichbar
 Niedrige Frequenzen dringen tiefer in Magnetschicht als hohe: **Tiefenmultiplex = deep layer recording**
 $\approx$ Entmagnetisierung; ähnelt auch etwas Pilottontechnik

Erst Audio-, dann Videoaufzeichnung, erfordert spezielle Köpfe für Video und Ton auf der Trommel
Audio mit relativ großer Spaltweite und Winkel von $\pm 30^\circ$ als FM- oder PCM-Technik
Video (hohe Frequenzen) dringt wenig in Magnetschicht, ändert Audioaufzeichnung unwesentlich: $\pm 7^\circ$

Zur Kompatibilität und Sicherheit bleiben zusätzlich die getrennten
 in der Qualität wesentlich schlechteren Tonspuren erhalten

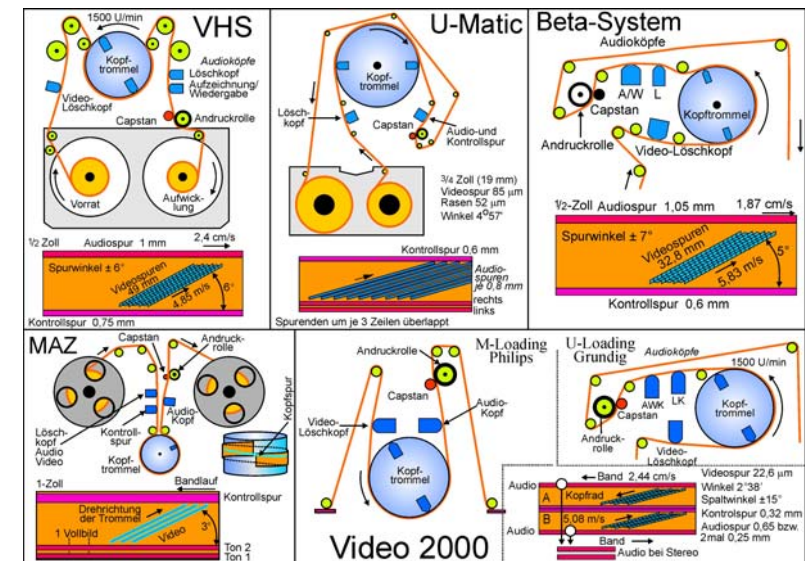


Magnetische Speicher 20.02.2011 Seite 78 von 130

Kenndaten einiger Heimvideorecorder

	VCR	SVR	VHS	Betamax	Video 2000	Video 8
Bandbreite mm	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	8
Bandgeschwindigkeit (cm/s)	14,29	3,95	2,34	1,873	2,44	2,051
Kopfgeschwindigkeit (m/s)	8,1	8,2	4,84	5,83	5,08	3,1
Spurhöhe (µm)	130	51	49	32,8	22,6	34,4
Rasenbreite (µm)	57	0	0	0	0	0
Spaltneigung		$\pm 15^\circ$	$\pm 6^\circ$	$\pm 7^\circ$	$\pm 15^\circ$	$\pm 10^\circ$
Trommeldurchmesser (cm)	10,5	10,5	6,2	7,45	6,5	4,0
Farbträger 1 und 2 (kHz)	562,5		629,95	685,546, 689,453	625	732,422
Hubbereich von bis (MHz)	3,4(4,0) - 4,4(5,0)		3,4 - 4,4	3,6 - 4,8	3,2 - 4,8	4,2 - 5,4
Halbbildlänge (mm)	162	164	97	122	102	
Audiospur (mm)	0,7	0,7	1	1,05	0,6	
Synchronspur (mm)	0,3	0,7	0,75	0,6	-	
FM-Tonspur (mm)			1,3/1,7			1,5
Spaltweite (µm)	0,6	0,6	0,3	0,6	0,28	
Spurwinkel		3°45'	3°43'	5°58'	5°	2°39'
Bandverbrauch (m/h)	515	236	84	67	87	
Bandverbrauch (m²/h)	6,45	3	1,07	0,86	0,56	
Laufzeit (h)	1,3	3	3	3,3	2 x 4	0,5

Magnetische Speicher 20.02.2011 Seite 79 von 130



Magnetische Speicher 20.02.2011 Seite 80 von 130

Weiterentwicklungen

Aus der Videotechnik entstanden viele **Sonderanwendungen**, z. B.:

- Bildgebende **Medizintechnik**
- **industrielles Fernsehen**
- Anwendungen in **Wissenschaft und Technik**
- **Kosmosforschung** und **Raumfahrttechnik**, 1965 historisch bedeutsamen, erste Fernübertragung als Bilder vom Mars, auf 100m Magnetband zwischengespeichert
- (leidige) **Videoüberwachung**
- Varianten Audiospeicherung, u. a. **R-DAT** und **Backup-Streamer** (s. u.)
- Vorstufe der **elektronischen Fotografie**; s. Still-Video
- zeitweiliger Außenseiter für **Dokumentation** [NN64]
- Realisierungen in **Kunst**

Ab 1990 generelle Weiterentwicklung zur **digitale Videospeicherung** mit MPEG-Kompression
Jetzt weitgehend die **Festplattenspeicherung** etabliert (s. u.)

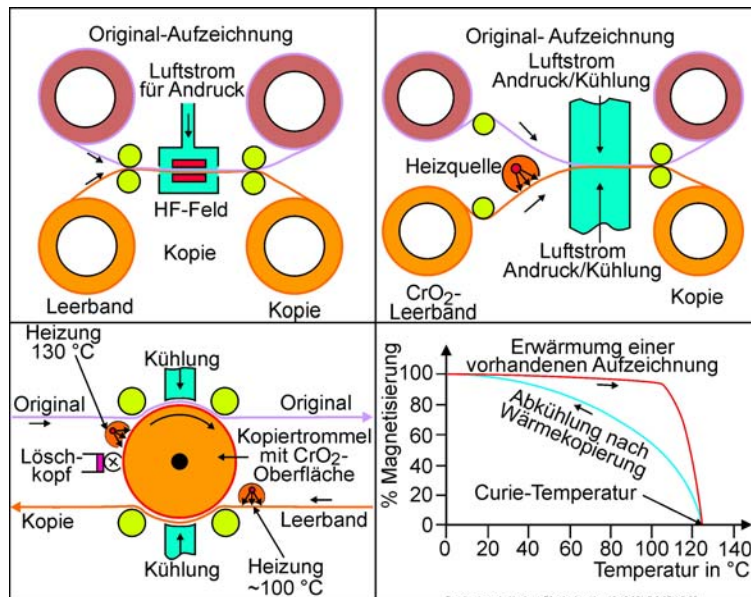
Vervielfältigung Video-Kassetten

Videoaufzeichnungen nicht wie Audiokassetten durch stark erhöhte Geschwindigkeit zu vervielfältigen
Begrenzung vor allem bei den rotierenden Köpfen durch Drehzahl und Abnutzung
Zunächst schuf **JVC spezielle Dreiermaschinen**, später entstanden Verfahren mittels **Kontaktkopieren**
Sie verlangen Spezialaufzeichnungsgerät für ein **spiegelbildliches Masterband** (MMT = mirror master tape)

- 1. HF-Kopierverfahren von Sony:** Master = hochkoerzitives Metallpulvermagnetband
Ein transversalen HF-Feld wird bei innigem Kontakt Schicht an Schicht mit niederkoerzitives Band
Intensität HF-Feld: optimale für niederkoerzitives Band, keine Änderung vom Mastertape
Der sonst störende Kopiereffekt wird optimal genutzt. Kopiergeschwindigkeit ≈ 4 m/s.
- 2. Thermomagnetische Verfahren von Otari:** Masterband Fe- oder Kobaltferritband, Curietemperatur ≈ 500 °C
Kopierbandes CrO_2 ; Curietemperatur ≈ 130 °C
In Kopierzone wird das Kopierband auf etwa 150 °C erhitzt, engen Kontakt mit dem Master
Durch Luftstrom werden zusätzlich beide Bänder zusammenpresst und gekühlt
- 3. Ohne Spiegelbild:** Thermokopie mit Zwischenmedium = magnetisch beschichtete Kopiertrommel
Verlangt drei Abstufungen der Curietemperatur

Hinweis:

Kopierte Bänder sind wegen ihrer speziellen Auslegung zur normalen Videoaufzeichnung schlecht geeignet
„Billig-Kauf“ lohnt daher nicht



Still-Video

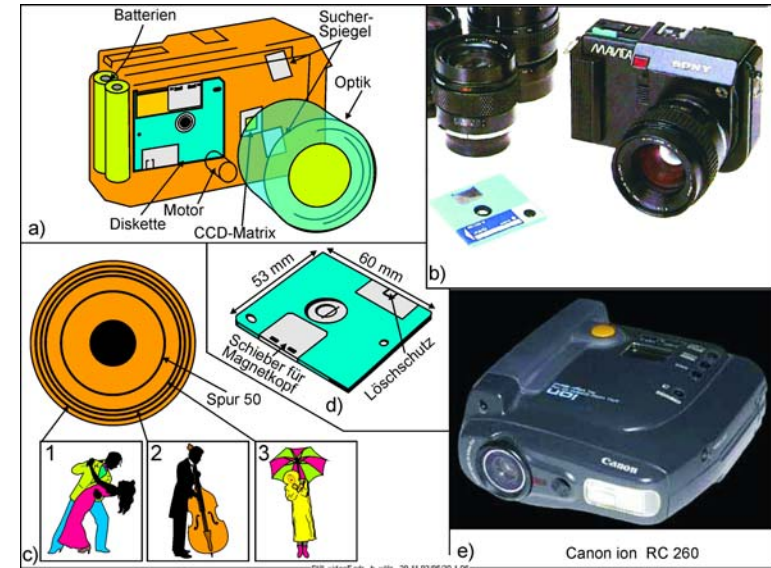
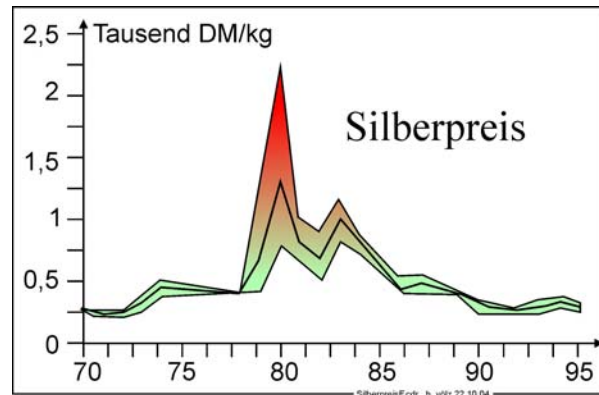
Weil Videospeicherung sich etabliert hatte, bemühte sich Sony einen entsprechenden Fotoapparat zu schaffen
Hinzu kam: Ab 1975 war **Silberpreis** stark gestiegen $\Rightarrow$ Ziel elektronisch und ohne Silber
Einzelbilder zwar auch mit Camcorder möglich: aber unpraktische Handhabung, Auflösung und Bildverarbeitung

Mai 1981 auf der Intermag-Konferenz stellt **Sony** seine **Mavica** vor; Still-Video wird üblich
Fotoapparat Wechselobjektiv, CCD-Sensor 300 000; 640×480 Pixel, besser als Fernsehen
Kleine flexible Diskette $60 \times 54 \times 3,6$ mm³, 40 μm dick, 47 mm $\varnothing$, Spurbreite 60 μm , Rassen dazwischen 40 μm ;
50 Spuren = VFS (video floppy system), spezielle Lösung für guten Kopfkontakt
Je Spur ein **Vollbild** mittels Frequenzmodulation
Standardbetrieb für Helligkeitssignal einen Hubbereich von 6 bis 7,5 MHz
Auch High-Band-Variante = zwei Halbbilder mit erhöhter Auflösung in zwei Spuren
Großer Vorteil für Reporter $\Rightarrow$ Bilder schnell elektronisch per Telefonleitung an Redaktion zu übertragen
Erste praktische Einsatz bei Olympischen Spielen 1984 in Los Angeles

1982 verkaufte Canon Konkurrenzprodukt „ion RC 260“ für damals stattlichen Preis von (nur!) ≈ 2 000 Mark
Dazu Videokarte für PC und spezifischen Software; Modelvarianten für unterschiedliche Ansprüche produziert

Jedoch **erst 1998** beginnt die **elektronische Fotografie** mit Halbleiterspeichern

Anfangs war **Diskette für digitale Daten** vorgesehen: ca. 10 MByte, wäre sehr großer Fortschritt gewesen
Doch kurz zuvor war viel größere $3\frac{1}{2}$ -Zoll-Diskette mit 1,44 MByte von IBM eingeführt worden (s. Disketten)



Digitale Audioaufzeichnung auf Videospeichern

Große Bandbreite von Videorecordern wichtige Voraussetzung für digitales Audio
es ist nur PCM-Prozessor hinzuzufügen

1979 begann Normung als **EIA-J-Format**, zunächst nur für NTSC, ab 1981 für PAL/SECAM
Gleichberechtigt wurden u. a. U-Matic, Betamax und VHS vorgesehen, **Betamax** erlangte größte Bedeutung

2 Audiokanäle: Analoge **Preemphasis** umschaltbar 50 μ s (3,18 kHz) und 15 μ s (10,61 kHz)

44,056 kHz (NTSC) $\approx$ 44,1 kHz (PAL/SECAM), lineare **14-Bit**-Quantisierung

Gesamt-Bitrate = 2,643 bzw. 2,625 MBit/s; **CRC-Polynom** = $x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$

PCM-Datenwörter im Halbbild auf 245 (525/2, NTSC) bzw. 294 (625/2, PAL/SECAM) Zeilen

In „üblichen“ **294 Datenzeilen:** je 8x14 Bit für je 3 linke, rechte Samples, P- und Q-Parity-Codes+ CRC

Erste Quasi-Datenzeile enthält Hilfsinformationen, u.a. im **28-Bit-Adresscode:**

- 6-Bit-Index-Code: Nummer Musiktitel; Blockmarkierung; Pausenmarkierung; laufende Nummer und Schnittmarke
- Zeitcode = HMS-Code für Echtzeit; ablaufende voreingestellte Zeit oder relative Zeit
- Bildcode zählt mit Inkrementierung die Halbbilder

Bildsynchronisation: dreimal 2,5 Zeilen und 10 Leerzeilen

Zum Schutz der Referenzqualität wird **SCMS** (Serial-Copy-Management-System) eingeführt

1983 Beginn von R-DAT (s. d.)

Anwendung von Komprimierung

Nur z.T. benutzt: kontinuierlich (Dynamik), nichtlineare Auflösung, hörbare Signale, Differenz zum Vorwort

ASPEC (audio spectral perceptual entropic coding)

ATRAC (adaptiv transform acoustic coding)

MASCAM (masking pattern adapted subband and multiplexing)

Abtastrate 32 kHz, 24 gehörbezogenen Filtergruppen

unterschiedliche Bandbreiten Δf von 125 Hz bis 2 kHz, werden einzeln mit $f_s = 2 \cdot \Delta f$ gesampelt

MUSICAM = Weiterentwicklung (masking pattern universal subband integrated coding and multiplexing)

32 Filter mit einheitlicher Bandbreite von 750 Hz; Übertragungsrate 192 kBit/s

Anwendungen u. a. bei **MD** (s. MO), **ADR** (Astra digital radio), digitales Radio,

PASC (precision adaptiv sub-coding) 8 ms, 32 Filtern bei **DCC**, 768 kBit/s

1987 entstand **MP3**

Alle verwenden schnelle Fouriertransformation (FFT) in Zeitabschnitten von meist 20 ms

R-DAT Geschichte

In der Technik seltener Fall, dass **Normung weit vor der Produktion** erfolgt
wiederholte sich ähnlich bei blu-ray-disk + HD-DVD (s. d.)

- 1981 Beginn der DAT-Konferenzen
- 1983 DAT-Konferenz legt Datenformat für digital-Audio fest
- 1986 DAT-Recorder auf dem Markt
- 1988 DAT-Recorder als Streamer von Fa. Gigatape (s. Streamer)
- 1989 Athener Abkommen führt SCMS ein (serial copy management system)

DAT (digital audio on tape) in zwei Varianten: rotierende (R-DAT) und stationäre Magnetköpfe
R-DAT früher fertig $\Rightarrow$ entfiel S-DAT $\Rightarrow$ Philips versuchte vergeblich daraus vereinfachtes DCC einzuführen
R-DAT-Einsatz erfolgte sehr zögerlich, hatte keine technischen, sondern nur **urheberrechtliche Gründe**
 Konzerne als „Besitzer“ der Musiktitel befürchteten „widerrechtliche“ Verbreitung der Original-Daten
 Nach langer Diskussion **SCMS**: Jede digitale Audioaufzeichnung darf nur genau einmal digital kopiert werden
 Kontrolle erfolgt über ein Bit = ID-7 in der Main-ID (s. u.)
 Das genügte den Firmen noch nicht, zusätzlich beschlossen: Für R-DAT-Geräte **darf nicht geworben werden**

Signalaufbereitung über Puffer

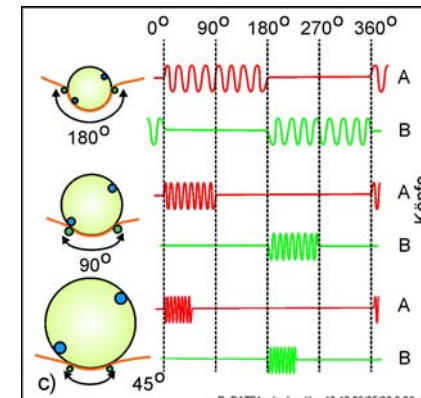
Digitale Daten ermöglichen **elektronischen Pufferspeicher**
dadurch Aufzeichnung, Wiedergabe in „Lücken“
erfolgen in nur kurzen Zeitabschnitten

Ermöglicht geringen **Umschlingungswinkel**,
bei zwei Köpfen weniger als $180^\circ \Rightarrow 90^\circ$ oder gar 45°

Ermöglicht **sehr kleine Trommel** mit ($\varnothing = 30$ mm)

Geringe Umschlingung senkt Reibung Band-Trommel
und Verschleiß

Zeitweilige **Datenrate** das 2- bzw. 4-fache
der „kontinuierlichen“ Rate



R-DAT-Daten

Typische Folge: Aufzeichnungskopf $A_1 \Rightarrow$ Wiedergabekopf $W_1 \Rightarrow A_2 \Rightarrow W_2$
 Anordnung der vier Köpfe so, dass immer **nur ein Kopf im Kontakt zum Band** hat
 Dadurch während der Aufzeichnungspausen **sofortige Hinterbandkontrolle möglich**

Außerdem **Suchlauf** ≈ 200 fache Geschwindigkeit möglich
 verlangt genaue Regelung von Band- und Trommelgeschwindigkeit

Zwischen Trommelachse und Bandführung **Neigung** = $7^\circ 50'$

Spalthöhe Aufzeichnungsköpfe = $20 \mu\text{m}$, Neigung Kopfspalt $\pm 20^\circ$

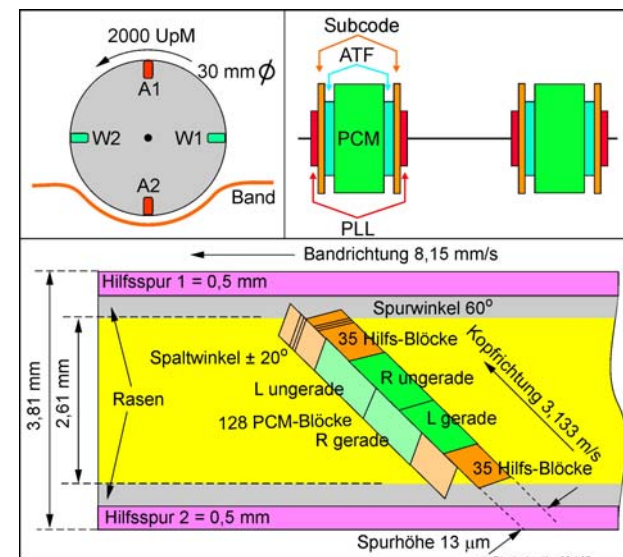
Alle Spuren werden überlappend geschrieben (Beta-Technik), **endgültige Spur** $13,6 \mu\text{m} \approx 75$ Spuren/mm

Speicherichte in Spur ≈ 3000 FW/mm ≈ 2400 Bit/mm, kürzeste Wellenlänge $\lambda \approx 0,67 \mu\text{m}$

Schrägspur = $23,5$ mm, enthält 196 Blöcke mit je 36×8 Bit-Symbolen

Am **Anfang und Ende** jeder Spur 35 Blöcke für **Hilfsaufzeichnungen**
 verbleiben nur 128 Blöcke für Audio-PCM-Signal

Zwei nebeneinander liegenden Spuren je einen linken und rechten + gerad- als auch ungeradzahlgigen Rahmen
 Gegensatz zum EIA-J-Format nur hier Spreading für Fehlerkorrektur, **relativ einfacher elektronischer Schnitt**
 Zusätzlich **zwei Hilfsspuren** für Analog- und Sondersignale, sind durch Rasen von Schrägspuren getrennt



Signal-Details

IBG (inter block gap) für Trennung vom ATF (automatic track following) 784; 1560; 130,67 und 522,67 kHz

SUB-1, SUB-2 und Main Hilfsfrequenzen, abgeleitet aus FM-Frequenz 9,4 MHz als 1/2 und 1/6

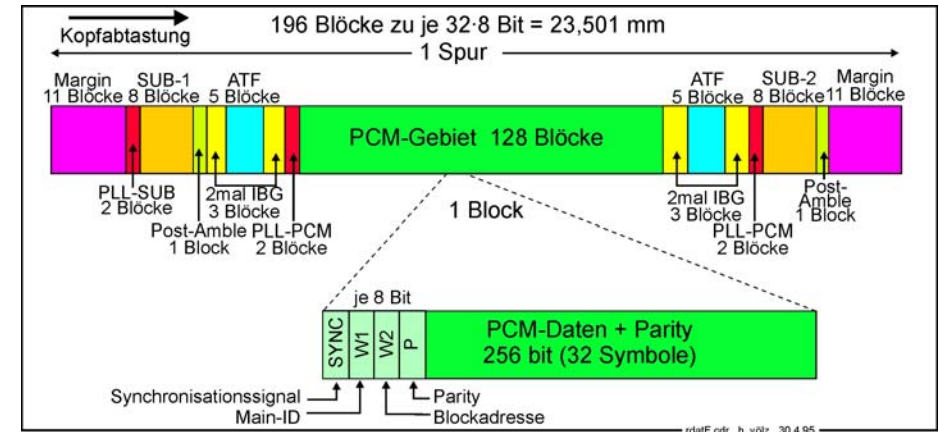
In Main- bzw. PCM-ID wird die Codeart (Option s. Tabelle) codiert.

ETM, Fehlerkorrektur doppelter Reed-Solomon-Code: Rohfehler von 10-4 wird auf 10-11 korrigiert
Von 15 Spuren kann eine fehlerhaft sein

Direkte PCM-Datenrate = $48 \text{ kHz} \cdot 2 \cdot 16 \text{ Bit} = 1,53 \text{ MBit/s}$, mit Fehlerkorrektur auf **2,46 MBit/s**

Wie bei CD Redundanzfaktor von 37,5 %, deutlich unter 54,3 % EIA-J-Format

ETM, ATF usw. erhöhen die Datenrate schließlich auf **7,5 MBit/s**



Kopierschutz-Bit

Zustände beim einfachen und SCMS-R-DAT

ID-7	normales DAT	SCMS-DAT
00	Kopie möglich	Kopie möglich
01	nicht definiert	nicht definiert
10	Kopie unmöglich	Kopie unmöglich
11	nicht definiert	Nur eine Kopie möglich

R-DAT-Kassette

Ähneln einer 8-mm-Video-Kassette, $73 \times 54 \times 10,5 \text{ mm}^3$

Übliche Kassette enthält 60 m Magnetband von 3,81 mm Breite und 13 µm Dicke (4-mm-Technik)
Mit 8,15 mm/s Transportgeschwindigkeit werden 2 Stunden Spielzeit erreicht

Drehbare Klappe an Vorderseite schützt Band vor Staub und Berührung

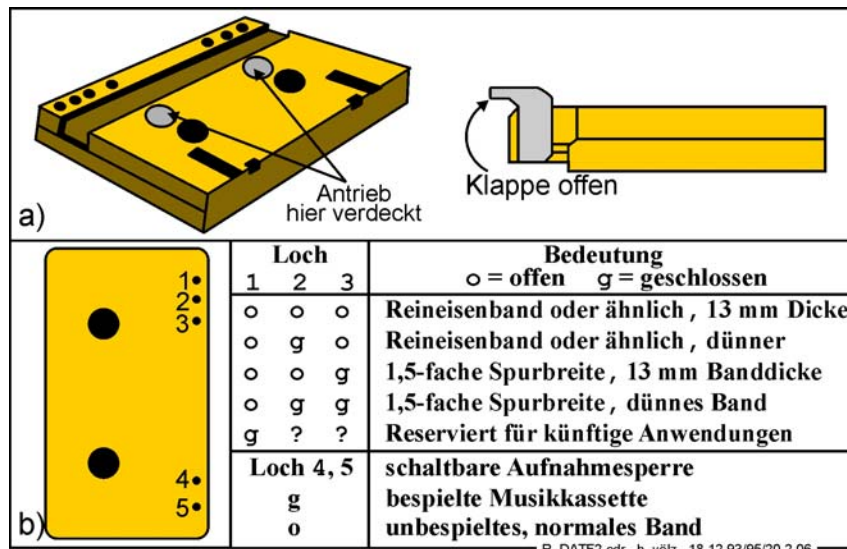
Bandenden werden (wie bei VHS und QIC) durch **Lichtschranken überwacht**

An **Unterseite** der Kassette **7 Löcher**, ermöglichen Codierungen

3 µm dicke Magnetschicht aus **Reinsteisen-Partikel**: $H_C = 1200 \text{ A/cm}$; $B_R = 0,23 \text{ T}$

Gefahr: durch Abrieb und Belastung oxidiert = **Datenverlust**

Zwischen Magnetschicht und Unterlage **stoßdämpfende Zwischenschicht** von 0,1 µm
zusätzlich Rückschicht von 0,5 µm



Betriebsmodi

Standard = **48 kHz**

Für digitalen Rundfunk ^{32 kHz} verfügbar

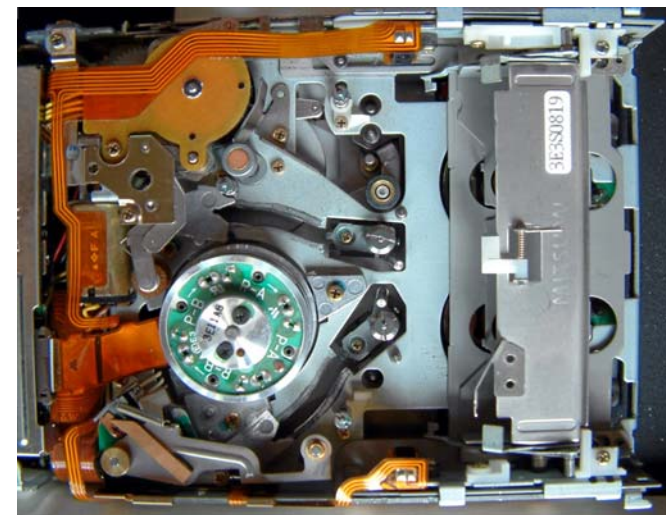
CD-Frequenz **44,1 kHz** nur für Wiedergabe vorgesehen, sollt direktes CD-Kopieren verhindern!

Quantisierung: l = linear; nl = nichtlinear

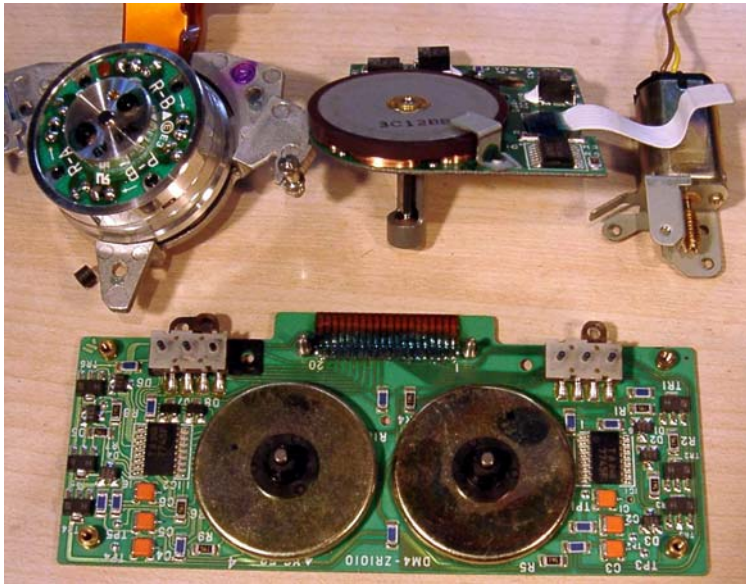
Betriebsart	Aufnahme und Wiedergabe				nur Wiedergabe	
Mode	Standard	Option 1	Option 2	Option 3	kleine Spurbreite	große Spurbreite
Anwendung	digitaler Rundfunk B	digitaler Rundfunk A	Long Play	4 Kanäle	2 Stunden	Massenproduktion
Abtastfrequenz	48 kHz	32 kHz	32 kHz	32 kHz	13-µm-Band	44,1 kHz
Grenzfrequenz	22 kHz	15 kHz	15 kHz	15 kHz	44,1 kHz	20 kHz
Quantisierung	16 Bit l	16 Bit l	12 Bit nl	12 Bit nl	16 Bit l	16 Bit l
Kanäle	2	2	2	4	2	2
Zeit	2 Stunden	2 Stunden	4 Stunden	2 Stunden	2 Stunden	80 Minuten
Geschwindigkeit	8,15 mm/s	8,15 mm/s	4,075 mm/s	8,15 mm/s	8,15 mm/s	12,225 mm/s



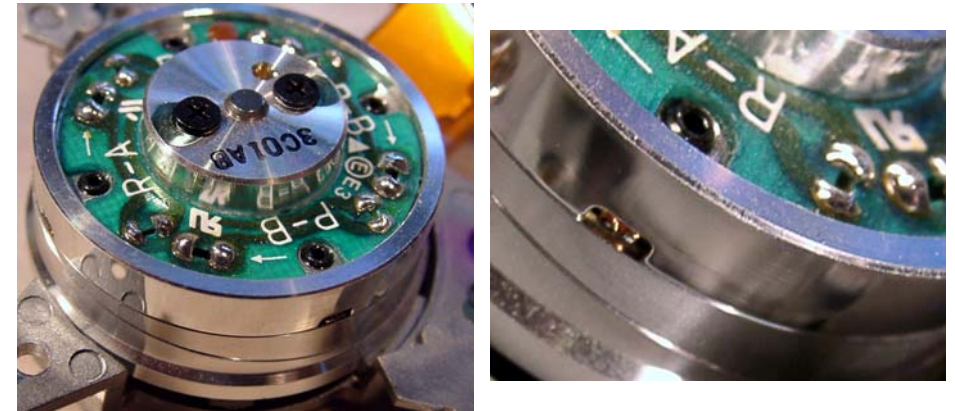
Kleinstgerät für Reporter



Platine von Standgerät



Magnetische Speicher 20.02.2011 Seite 101 von 130



Magnetische Speicher 20.02.2011 Seite 102 von 130

Digitale Video-Signale

Kontinuierliches Videosignal besteht aus eigentlichen Bild- und zusätzlichen Daten, u.a. Synchronisation
 $\Rightarrow$ digitale Signal zwei Abschnitte, begrenzt durch SAV (start of active video) und EAF (end of active video)

Videosignal unterschiedliche Signale, kann daher nicht direkt, sondern nur in Komponenten digitalisiert werden
 Allein für **FBAS** zwei Methoden:

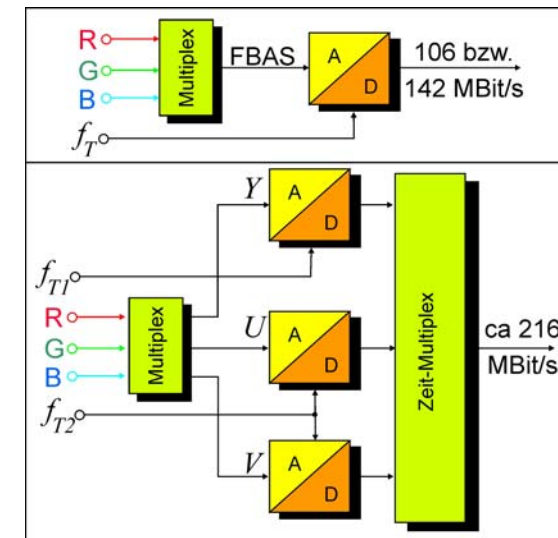
- **geschlossenen Codierung:** alle drei Farbanteile gemultiplext (M) und dann gemeinsam digitalisiert
- **getrennte Codierung:** Vorteil, nach Matrizierung unterschiedlichen Sampling-Frequenzen möglich
 Eigenschaft unseres Auges, **Auflösung:** Farbanteile $U = Y-R$ und $V = Y-B$ (C_R, C_B) < Helligkeit Y

Weiteren Signale, wie Audio- und Zusatzdaten müssen noch (vorwiegend in Austastsignal) eingefügt werden

Bei der Digitalisierung werden Video- und Audio-Daten durch **Shuffling** und **Spreizen** gegen Burst geschützt
 Generell kommt Fehlerkorrektur hinzu

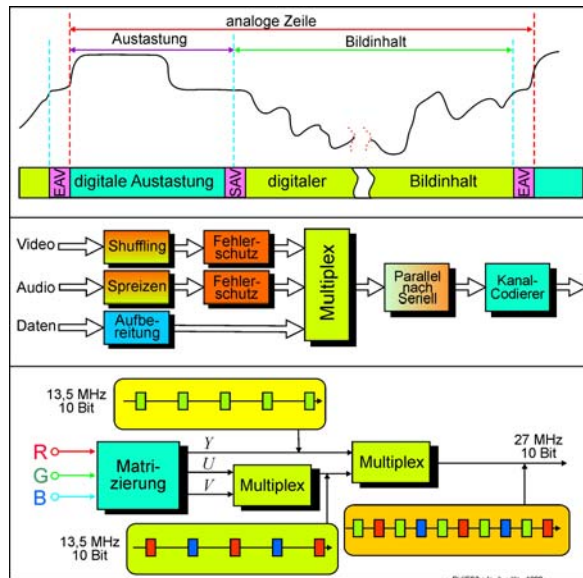
Durch Multiplexen müssen die zunächst parallel anfallenden digitalen Daten seriell verschachtelt werden
 Bei meisten Übertragungen, z. T. auch Speicherungen wird Datenstrom noch komprimiert, u. a. MPEG

Magnetische Speicher 20.02.2011 Seite 103 von 130



Datenraten sind nur Beispiele

Magnetische Speicher 20.02.2011 Seite 104 von 130



Magnetische Speicher 20.02.2011 Seite 105 von 130

Digitale Videospeicher

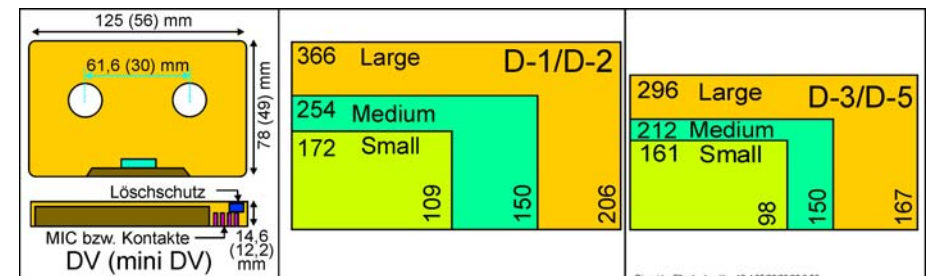
Auch digitale Videospeicher sind in mehreren Varianten entstanden
Kontinuierliche Speicher infolge **hoher Stückzahlen** wegen **großen Gewinn**
Digitale Speicher vor allem **Studio-Anwendungen** und **Filmproduktionen** $\Rightarrow$ **Stückzahlen oft < 100**
 1994 waren in Europa etwa 1 700 Betacams im Einsatz, von der D-5 waren es wenige hundert
 Die verschiedenen Geräte sind durch **ständig höhere Forderungen** und **neue technische Möglichkeiten** bedingt
 Es entstanden zeitlich nacheinander bei verschiedenen Produzenten **D-1, D-2 bis D-6**
 Es fehlt D-4: in einigen Ländern gilt 4 als Unglückszahl
 Sony **Digital Betacam**, mehrere Varianten
 Ampex die **DCT-Technik** (digital component technology)
 Ab 1995 wurden auch **digitale Konsumergeräte** möglich
 Völlig unüblich einigten sich hierzu etwa zwanzig Firmen auf das **DV-Format** (digital video)
 Unter Einhaltung der Norm entstanden dann die (halb-) professionellen Geräte **D-7, D-9 und D-10**

Magnetische Speicher 20.02.2011 Seite 106 von 130

Allgemeine Daten

Fernsehnormen **PAL/SECAM** (625 Zeilen/50 Bildwechsel) und **NTSC** (525/60) sind zu berücksichtigen
Bildbreiten-Verhältnis kann 4:3 oder 16:9 betragen
 Ab 1988 auch **HDTV** (high definition TV, 1250/50 und 1125/60)
 Digitale Geräte verwenden **Kassetten** jeweils in den **Größen** S, M, L vor (small, median, large)
 Bei D-1/D-2 größer als bei D-3 bis D-6, Bei DV nur zwei Varianten
 Nur der erster HDTV-Speicher HDD-1000 Sony 1989, modifiziertes C-MAZ-Laufwerks, besitzt offene Spulen
Banddicken = 11 bis 15 μ m
 D-1 = Oxydband, Ab D-2 Metallpartikelband, ab D-6 vakuumbeschichtetes Metallband
Beta-Technik, Kopfpaa-re mit $\pm \gamma$, einzige Ausnahme D-1
 Meist keine **Komprimierung**, sonst DCT (discrete cosine transform) bzw. VLC (variable length coding)
Ton vorwiegend **4 Kanäle** (D-6 = 12 bzw. 10), Sampling 48 kHz, Quantisierung 20 Bit
 z. T. zur Sicherheit gleich zweimal, dennoch <0,5 % der Gesamtdatenrate

Magnetische Speicher 20.02.2011 Seite 107 von 130



Magnetische Speicher 20.02.2011 Seite 108 von 130

Ablauf, Entwicklung 1

1982 begannen Arbeiten, Hauptproblem die etwa 100fache Bandbreite,
Erforderten komplexe Scanner (Kopftrommeln) und Spurbilder

1986 Sony und BTS (ehemals **Bosch**, Darmstadt) **D-1**, $\Rightarrow$ „Standard“-PAL-Recorder mit sehr gutem Ruf
Scanner 258° (alle anderen 180°) $\Rightarrow$ 12 Spuren = Segmente ein Halbbild
Digitale Audiosignale in der Mitte der Längsspur, bei späteren Geräten Spurränder

1988 Ampex **D-2**, später bei Sony, intern nur Composite-Signal, kompatibel zu analogem FBAS
Geringste Qualität aller professionellen digitalen Videospeicher, erstmal Beta-Technik, Scanner 4 Kopfpaaere

1989 **D-3** von Panasonic, intern ebenfalls Composite-Signal. Scanner zusätzlich ein Löschkopffpaar

D5 Weiterentwicklung mit doppelte Bandgeschwindigkeit, Anpassung an HDTV als HD-D5, Kompression 4:1

Sony **Digital Betacam** weitgehende Kompatibilität zur analogen Betacam SP $\Rightarrow$ viele Magnetköpfe auf Scanner
Übliche 4:2:2-Komponententechnik mit 10 Bit Quantisierung, sehr gute Qualität $\Rightarrow$ Quasi-Standard
Anpassungen betreffen: Kopftrommel- $\varnothing$ = 74,49 $\rightarrow$ 81,4 mm, Drehzahl 25 $\rightarrow$ 75 U/s
Bandgeschwindigkeit 96,7 $\rightarrow$ 101,5 mm/s, Relativgeschwindigkeit 5,75 $\rightarrow$ 19,08 m/s, Rasen 4 μ m

Betacam SX Videokompression von 10:1 mit MPEG2

Betacam IMX $\approx$ D-10; Datenrate 50 MBit/s; MPEG2, Datenaustausch mit 4facher Geschwindigkeit möglich

Ablauf, Entwicklung 2

1992 D-6 auf Basis D-2 durch BTS Darmstadt für Olympischen Spiele vorgestellt, ab 1994 produziert
echte **HDTV**-Aufzeichnung, eigentlich keine spezifische MAZ, sondern universeller Datenrecorder
alle Datenblöcke = 256 Byte: davon 218 Byte für Daten, 8 nebeneinander liegende Spuren = ein Cluster
Y-Signal = 30 MHz, Abtastrate = 72 MHz; **C_r** und **C_b** je 15 MHz, Abtastrate 36 MHz.

D-9 = **Digital-S** von JVC, verwendet S-VHS Kassetten, kann auch analoge S-VHS wiedergeben
Bildsignal 4:2:2 in 8 Bit quantisiert, dann 3,3:1 komprimiert $\Rightarrow$ 50 MBit/s
Trotz guter Qualität und sehr gutem Preis-Leistungs-Verhältnis **selten benutzt**

Digital Video = DV und Mini-DV

1995 als Standard von ca. 20 Konzernen für den Heimbereich eingeführt
Daraus entstanden weitgehend kompatible (semi-) professionellen Varianten

2 Kassetten-Varianten mit 1/4-Zoll-Band = 6,35 mm

4 Kontakten bzw. integrierten Halbleiterspeicher MIC (**m**emory **i**n **c**assette), kennzeichnen
Banddicke, Bandart (ME-, Reinigungs- oder MP-Band), Anwendung (Heim, Industrie oder Computer)
Für Mini-Kassette existiert ein Adapter zur großen Kassette

Metallbedampften Band aus 5 Schichten, zwei oberen zum Schutz der Metallschicht

Bandgeschwindigkeit PAL $\approx$ NTSC $\approx$ 18,8 mm/s. Spurbestand 10 μ m

Bild: Komponenten 8 Bit YUV: **PAL**: 720 $\times$ 576 Pixel, 4:2:0; **NTSC** 720 $\times$ 480 Pixel, 4:1:1
Kompression 5:1 für Einzelbilder in abgewandelten Motion-JPEG in DCT (**d**iscrete **c**osine **t**ransform)
Einfacher Bildschnitt möglich, feste Datenrate 3,125 MByte/s + Audio, Timecode usw. 3,5 MByte/s

Audio: 2 Kanäle zu 48 kHz, 16 Bit oder 4 Kanäle zu 32 kHz mit 12 Bit

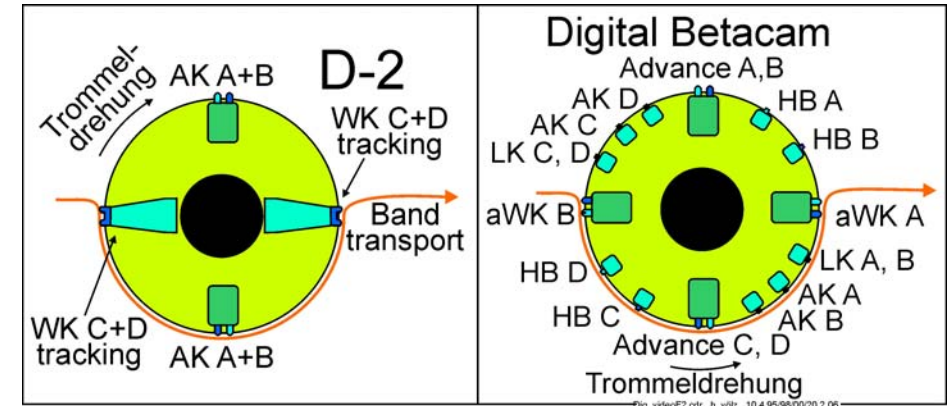
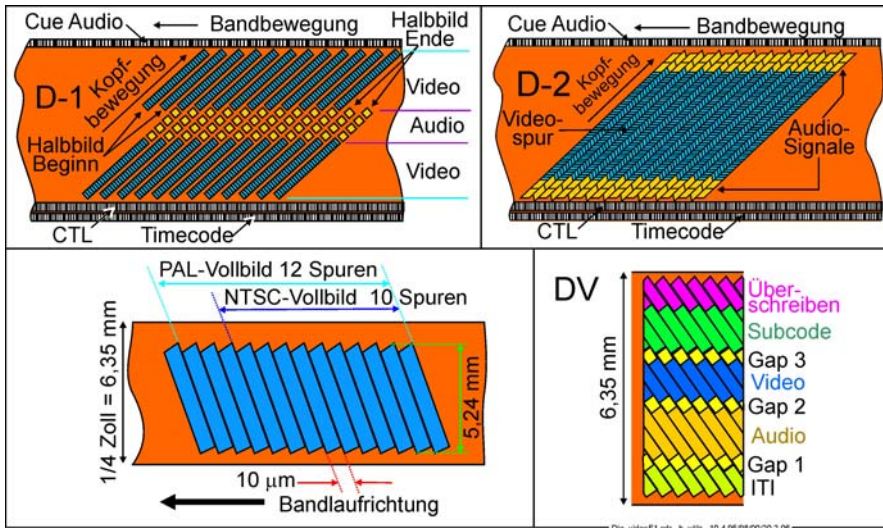
ITI Sektor (insert and track information) Daten für Spur-, Einfügetechnik; Subcode-Sektor, Spur-Nr., Zeit-Code,
Index, take. Digitalisiert Video- und Audiosignale, nicht Vertikal- und Horizontal-Austastsignale

Ein **Longplaymode** ermöglicht bei Qualitätsverlust doppelte Laufzeit

Sonderlösungen auf DV-Basis

Sony: **DVCAM**; bis zu vierfach höherer Bandgeschwindigkeit (28,2 mm/s)
Qualität für Industrie-Videoproduktionen

Panasonic, Hitachi und Philips: **DVPRO** = **D-7**; Bandgeschwindigkeit bis 33,82 mm/s, PAL 4:1:1 (13,5 MHz)
DVCPRO-P (progressiv) fast Studioqualität nur für NTSC. 4:2:0; 60 Bilder/s; 50 MBit/s
DVCPRO-50, **DVCPRO-25**
DVCProHD für HDTV mit 1080 bzw. 720 Zeilen (Kinofilm-Produktion)



AK = Aufzeichnungskopf, WK = Wiedergabekopf, aWK = analoger Wiedergabekopf, LK = Löschkopf, HB = Hinterbandkontrolle, A+B sind die Kopfpaare mit $\pm\gamma$ (meist $\pm 15^\circ$) geneigten Spalten

Daten digitaler Videospeicher

Farbbild gemäß Y: R-Y: B-Y = 4:2:2 aufbereitet

Ausnahmen: D-6 component 4:4:4, D-2 und D-3 extern FBAS

Format	D-1	D-2	D-3	DCT	digitale	D-5	D-6	DV
Jahr	1987	1988	1989		1993	1994	1995	1995
Hersteller	BTS, Sony	Sony, Ampex	JVC, Panasonic	Ampex	Sony	JVC, Panasonic	BTS, Toshiba	viele (D-7 bis D-10)
Datenreduktion	keine	keine	keine	2:1	2:1	keine	keine	5:1
Quantisierung Bit	8	8	8	8	10	8/10	8	8
Datenrate MBit/s	227	154	150	137	126	303	1200	25
Zeilen Auflösung	600	600	600	608	608	608	>1150	500
Scanner U/s	150	100	100	150	75	100	150	150
Trommel mm	75	96,4	76	96,4	81,4	76	96,4	21,7
v_{Band} cm/s	28,7	13,2	8,39	13,2	9,7	16,7	49,7	1,88
v_{Kopf} m/s	35,3	30,4	23,9	30,4	23,8	23,9	45,2	10,2
Trommelköpfe	12	6	10		18	18	34	2 - 6
Schrägsur mm	170	150,71	118	151	122,8	115,5	150,1	33
Bandbreite mm	19	19	12,7	19	12,7	12,7	19	6,35
λ_{min} µm	0,91	0,78	0,71	0,85	0,59	0,71	0,6	0,49
Spurbreite µm	40	35	18	35	26	18	21	10
Spurabstand µm	5	kein	kein	kein	4	kein	kein	kein

Seit 2000 Fernsehsender immer mehr Einsatz von Festplatten

Ermöglicht **24 Stunden direkt**, d.h. ohne zusätzlichen menschlichen Eingriff abzuspielen

Zusätzlich **Time-Shifting Sendungen**, möglich Programme noch teilweise in Produktionsphase zu senden

Zur Erhöhung der **Sicherheit** Übergang zu **RAID** (s. d.)

Für **Reportage** bleibt (z. Z.) **Bandaufzeichnung** sinnvoll bis notwendig

Literatur

Ardenne, Effenberger, Müller, Völz: „Untersuchungen über Herstellung und Eigenschaften aufgedampfter Magnetschichten als Speicherschichten für Magnetbänder“. IEEE Trans. Mag. MAG-2 (1966) 3, 202 – 205; „Investigations regarding production and properties of vapour deposited magnetic films for dynamic stores“
Davies, G.: Magnetic Tape Instrumentation. McGraw - Hill Book Company, Inc., New York, Toronto, London 1961
Engel, F.; Kuper, G.; Bell, F.: Zeitschichten: Magnetbandtechnik als Kulturträger. Erfinder-Biographien und Erfindungen, Polzer, Potsdam 2008
Koristka Ch.: Magnettonaufzeichnungen und kriminalistische Praxis. Publikumsabteilung, Ministerium des Innern, Berlin
Krones, F.: Die magnetische Schallaufzeichnung. Erb - Verlag, Wien 1952
Lullies, B.: Das Format Digital Video. radio fernsehen elektronik 1999, H. 10, S. 51 – 53; H.11, S. 61 – 63; H. 12, S. 47 – 49; 2000, H.3, S. 42 - 45
N.N.: Video-Magnetband als Konkurrenz des Mikrofilms. Funktechnik 19 (1964) H. 18, S. 650
Völz, H.: Informationsspeicher, Grundlagen - Funktionen - Geräte. Expert-Verlag, Renningen - Malsheim 1996
Webers, J.: Handbuch der Film- und Videotechnik. 7. Aufl. Franzis-Verlag, München 2002
Winckel, F.: Technik der Magnetspeicher. Springer - Verlag, New York, Berlin, Heidelberg 1. Aufl. 1960 und 2. Aufl. 1977

Grundlagen der Magnetischen Signalspeicherung

Völz, H. (Herausgeber), Akademie-Verlag Berlin, 1968 – 1975, Sonderbände 7 – 12 Reihe: „Elektronisches Rechnen und Regeln“

Band 1. Grundlagen und Magnetköpfe. 1968

Völz, H.: Informationstheoretische Grundlagen. S. 1 – 54

Magnetische Speicher 20.02.2011 Seite 117 von 130

Völz, H.: Wichtige Grundlagen des Magnetismus. S. 55 – 78
Koristka, Chr.: Juristische Probleme der Verwendung von Magnettonaufzeichnungen. S. 79 – 96
Vajda, Z.: Magnetköpfe. S. 79 – 183

Band 2. Magnetbänder und Grundlagen der Transportwerke. 1970

Schneider, Chr.: Magnetband. S. 1 - 46
Völz, H.: Grundlagen der Transportwerke. S. 47 – 128

Band 3. Anwendung für Fernsehen, Film, Messtechnik und Akustik sowie eine geschichtliche Entwicklung. 1972

Altrichter, A.: Videospeichergeräte. S. 1 - 34
Boden, G.: Filmtransportwerke. S. 35 – 50
Lehmann, H.: Meßdatenaufzeichnung 51 - 62
Lehmann, H.: Heimmagnetbandgeräte. S. 63 - 84
Völz, H.: Entwicklung der Magnetspeichertechnik. S. 85 – 122

Band 4. Digitalbandspeicher. 1968

Neumann, W.: Digitalbandspeicher. S. 1 – 189

Band 5. Kleinmotoren. 1975

Schelenz, J. u. Schult, U.: Kleinmotoren. S. 1 – 302

Band 6. Theorie der Aufzeichnung und Wiedergabe. 1968

Straubel, R.: Felder von Magnetköpfen. S. 1 - 32
Straubel, R.: Theorie des Wiedergabevorganges. S. 33 - 60
Fritzsch, Kl.: Entmagnetisierungseffekte im Aufzeichnungsträger. S. 61 - 80
Vajda, Z.: Aufzeichnungstheorie. S. 81 – 139

Liste wichtiger Ereignisse für die Tafel der geschichtlichen Entwicklung

1. EDISON macht erste Aufnahme auf Zinnfolie

Magnetische Speicher 20.02.2011 Seite 118 von 130

2. EDISON geht zur Wachsfolie
3. BERLINER: Platte mit Vervielfältigung durch Ätztechnik und Seitenschrift
4. 70-80 Umdrehungen wird als optimal anerkannt
5. CARUSO singt auf Platte
6. Doppelseitige bespielte Platte von Odeon
7. Elektroakustische Aufnahmetechnik beginnt
8. Langspiel-Kunststoffplatte
9. Rheinsche Füllschrift
10. Stereo-Platte
11. Elektronenröhre
12. Rundfunktechnik
13. Erster Elektronenrechner
14. UKW-Rundfunk
15. Erster Flächentransistor
16. Sputnik
17. Rundfunkstereophonie
18. Erste Ideen zur magnetischen Aufzeichnung
19. POULSEN zeigt sein Telegraphone auf Pariser Weltausstellung
20. Einführung der Gleichstromvormagnetisierung
21. PFLEUMER demonstriert Magnetband
22. SCHÜLLER entwickelt Ringkopf
23. Erstes BASF-Band
24. 3-Motoren-Transportwerk
25. BRAUNMÜHL und WEBER führen HF-Vormagnetisierung ein
26. Studiotechnik wird genormt 76,2 cm/s $\frac{1}{4}$ Zoll-Band
27. Bandzugregelung wird üblich

Magnetische Speicher 20.02.2011 Seite 119 von 130

28. 38,1 cm/s wird im Studio üblich
29. Studiogerät M 10 von Telefunken
30. Reportergerät R 21 des RFZ
31. Studiogerät R 700 ist volltransistorisiert und ohne Kontaktbauelemente
32. Nois-Ex wird versucht zur Dynamikverbesserung einzuführen
33. WEBER zeichnet Ultraschall auf und gibt ihn transponiert wieder
34. ETZOLD entwickelt Schallmeßtechnik
35. Erstes Meßbandgerät von Telefunken M5M
36. Closed Loop für Meßwertspeicher
37. Buch von Davies erscheint über Meßwertspeicher
38. Der erste kommerzielle Rechner mit Magnetband- und Trommelspeicher
39. Mehrplattenspeicher wird eingeführt
40. Magnetkartenspeicher
41. Karussellspeicher
42. Magnetschrift
43. Wechselplattenspeicher
44. Incrementalrecorder
45. BG 19 erstes Heimtongerät
46. Indirekter Antrieb wird von Langspielplatte übernommen
47. 5 cm/s wird für Musik benutzt mehrere Bandgeschwindigkeiten sind üblich
48. 2,5 cm/s wird für Sprache angewendet
49. Vierspurtechnik entsteht
50. Automatisches Bandgerät
51. Die ersten transportablen Batteriegeräte erscheinen
52. Die Kassettentechnik wird durch Philips üblich

Magnetische Speicher 20.02.2011 Seite 120 von 130

- 53. Erste flache Geräte tauchen auf
- 54. Kollektorloser Motor und gegenläufige Schwungmassen werden eingeführt
- 55. HiFi-Technik taucht auf
- 56. DEFA produziert Film Wozzeck mittels Magnetband
- 57. Randspur- und Magnetfilm tauchen auf
- 58. Spielfilme in 35- und 70 mm-Technik mit Magnetrandspuren
- 59. Schmalfilmsynchronisation in 2 Band-Betrieb
- 60. 8 mm Randspur wird möglich
- 61. Assmann produziert das Dimaphon
- 62. Grundig produziert Stenomatic
- 63. Telefonanrufbeantworter werden üblich
- 64. Diktiergerät von rols erscheint
- 65. Elektronisches Notizbuch EN 3
- 66. Elektronisches Notizbuch EN 7
- 67. GINSBURG beginnt Versuche zur Videoaufzeichnung
- 68. Ampex-Technik wird versuchsweise eingesetzt
- 69. Siemens demonstriert Magnetfolieneinzelbildspeicher
- 70. NASA benutzt Videotechnik zur Dokumentenentation
- 71. Heimbildspeicher tauchen auf
- 72. Marsbilder werden auf Magnetband gespeichert
- 73. Cobalt wird für bessere Bänder vorübergehend eingesetzt
- 74. Erstes Langspielband erscheint
- 75. Polyester wird als Unterlage verwendet
- 76. Magnetische Anisotropie verbessert Bänderigenschaften
- 77. Tripelband kommt in den Handel
- 78. Vierfachband wird möglich

Magnetische Speicher 20.02.2011 Seite 121 von 130

- 79. Low-Noise-tape wird verkauft, Chromdioxid wird für spezielle Bänder eingesetzt
- 80. Elektronenstrahlköpfe für die magnetische Wiedergabe werden erprobt
- 81. Der Oberwellensondenkopf wird vereinzelt eingesetzt
- 82. Springer macht rotierende Köpfe für Sonderanwendungen gebräuchlich
- 83. Siemens produziert Hall-Magnetköpfe
- 84. MYAYATE erprobt Magneto-Optik
- 85. 3 M-Kompanie produziert Magnetictape viewer

Daten zur Geschichte magnetischer Aufzeichnungen
Allgemein

- 1898 POULSEN erste Gerät
- 1900 Weltausstellung
- 1902 Magnetband statt Draht bei POULSEN
- 1920 Wiedergabe-Entzerrung Magnetophon
- 1925 PFLEUMER entwickelt Magnetband mit Papierunterlage
- 1930 Rechtstreit: Schallplatten im Rundfunk bis etwa 1940
- 1932 AEG Berlin, BASF Ludwigshafen Entwicklung Magnetband auf Acetylzellulose
- 1932 Ringmagnetkopf von SCHÜLLER
- 1937 T. IGARASHI, M. ISHIKAWA, K. NAGAI Patentanmeldung zur HF-Vormagnetisierung
- 1938 Rotierender und Stereo-Magnetkopf von SCHÜLLER
- 1940 BRAUNMÜHL, WEBER: Gegenkopplung des Magnetophon-Aussprechkopfs, Störungen zu unterdrücken
- 1950 Rechtstreit GEMA gegen Bandaufzeichnungen bis 1965
- 1955 Beginn Flugschreiben mit Draht
- 1956 Ferritkernspeicher
- 1957 Telefunken baut M3 für die Messwertspeicherung

Magnetische Speicher 20.02.2011 Seite 122 von 130

- 1958 Ampex führt Closed-loop für Messwertspeicher ein
- 1958 Beginn IC
- 1965 Flugschreiber mit Magnetbändern
- 1968 Cockpit-Voice-Recorder wird eingeführt
- 1970 dRAM
- 1981 DMM für Schallplatten
- 1981 Sony Mavica, erster elektronischer Fotoapparat 2 Zoll-Diskette
- 1982 Erste CD-DA
- 1984 Senkrecht-Speicherung = Vertikalauzeichnung verspricht zehnfache Aufzeichnungsdichte
- 1987 Frauenhofer-Institut beginnt MP3, 1994 Norm festgelegt
- 1988 GMR unabhängig von PETER GRÜNBERG (IBM Jülich) und ALBERT FERT (Universität Paris) entdeckt
- 1991 Bei Schallplatte DMM (direct metal mastering)
- 1991 C-Nano-Röhrchen gefunden
- 1995 DVD
- 2001 USB-Stick als Nachfolger der Diskette
- 2002 Blu Disk
- 2000 SD-Karten
- 2005 SSD

Bänder

- 1935 Kubisches Magnetit statt Carbonyleisen
- 1946 Nadelförmiges Magnetit bei Magnetbändern
- 1954 Langspielband auf Polyesterbasis
- 1955 Chromdioxid-Magnetband
- 1960 Herstellung von ersten Computer-Band
- 1964 Idee zu ME-Band
- 1966 VÖLZ u.a.: Intermag Vortrag über ME-Band

Magnetische Speicher 20.02.2011 Seite 123 von 130

- 1971 Chromdioxid wird eingeführt
- 1976 DDR Kosmospeicher mit ME-Band im erfolgreichen Einsatz
- 1976 Matsushita beginnen Forschungsarbeiten zum Vakuum-Metallband
- 1979 Reinst Eisen-Pigmente
- 1985 Ba-Ferrit
- 1987 CoCr
- 1989 Sony stellt erste ME-Bänder her
- 1991 3,5-Disketten mit 4 MB mit Bariumferritbeschichtung (BaFe)
- 1992 Fujifilm führt ATOMM doppelt-Coating Prozess für DLT-tape ein
- 1995 ME-Band bei Videorecordern VCR

Computer

- 1949 BLOCH: einspuriger Computerbandspeicher, ENIAC-Nachfolger
- 1950 H. H. AIKEN: Mark III; erste Magnetbandanwendung
- 1953 Magnetbandspeicher bei IBM 701
- 1961 Vorstellung des Facit, schwedischer Karussellspeicher
- 1962 Aktueller IBM-Bandspeicher Modell 729-6, Bandgeschwindigkeit 113 in/s, Datendichte 800 b/in
- 1971 CC=digital, neben Schreibschutz IEC-Loch; Normung durch International Electro Technical Commission (IEC)
- 1984 Datenkassette IBM 3480: Bandlänge 540 ft, 18 Spuren, Kapazität 200 MB; 3480E, löst Computerband ab
- 1984 IBM Magnet-Kassetten-Laufwerk 3480 statt Bänder, 1/2-Zoll 200 MByte
- 1984 QIC-Laufwerk mit 60 MByte
- 1989 QIC-80 mit 80 MByte-Streamer auf 1/4-Zoll-Band-Catridge
- 1995 Frühjahr Travan wird als Erweiterung von QIC-Streamern eingeführt

Film

Magnetische Speicher 20.02.2011 Seite 124 von 130

1895 Kino-Fim
 1922 Lichtton
 1941 Patentschrift von SCHÜLLER zum Pilotton
 1947 DDR produziert „Wozzeck“ mit Magnetfilm für Ton
 1949 Tonfilmverfahren mit perforierten, eisenoxidbeschichteten Magnetfilmen in Filmstudios
 1950 Tonbandgeräte synchron mit Filmkamera auf 6,35 mm breiten Bändern
 1951 90 % aller Tonfilme mit Magnetton aufgenommen, 25 % aller Rundfunksendungen vom Band
 1953 mechanische Synchronisation 8-mm-Film mit üblichen Heimtongeräten
 1953 6-spuriger Magnetfilm für das Cinerama-Verfahren
 1956 Randspur für 8- mm-Schmalfilm, Nut in Filrmand für 0,8 mm breiten Magnetbandstreifen gefräst
 1970 Filmproduktion auch per Video
 1990 Digitale Produktion per Festplatte

Heimton- + Diktieretechnik

1948 27.1. USA: Tonbandgerät „Soundmirror“ von Brush Development Co., Cleveland (Oh.)
 1949 Assmann Dimafon mit Magnetplatten und Rillenführung für Diktieretechnik
 1950 Kassette von Protono für Minifon-hifi von 1960 11×8×1,1 cm³
 1950 BG 19 des VEB Funkwerkes Köpenick wird auf der Herbstmesse vorgestellt
 1950 Vereinigungen für Tonbandamateure
 1951 USA mehr als 200000 Tonbandgeräte verkauft
 1952 AEG-Magnetophon KL 15 + Grundig Reporter 500L
 1955 Versuche mit Kassetten
 1958 RCA-Kassette 12,7×18,1×1,3 cm³
 1959 Batteriebetriebene Bandgeräte
 1960 Lear 8-track-Cartridge 10,2×13,8×2,2 cm³, 120 m ¼ Zoll Band, 9,5 cm/s
 1962 Transistortechnik ermöglicht tragbare Geräte

Magnetische Speicher 20.02.2011 Seite 125 von 130

1962 Anrufbeantworter
 1963 Compact Cassette (CC) 10.6,4.0,9 cm³
 1964 Grundig EN 3: Kassette 5,4.3,8.0.8 cm³, 7 g, 2-10 Minuten
 1965 Telefunken, Grundig DC International 12.7,7.1,2 cm³ blieb ohne Erfolg
 1966 bespielte Musikkassetten
 1967 Grundig EN 7 = 10.6.2,5 cm³, 280 g. Kassette wie EN3
 1968 HiFi (high fidelity) wird als Begriff eingeführt.
 1968 Blinden-Bibliothek Leipzig leiht jährlich 350 000 Bänder aus
 1975 Stereo-Technik auf CC
 1979 Sony Walkman TPS-L2, bis 2004, 200 Millionen Geräte verkauft
 1992 August, Sony Digital-Audio-Kassette 90 m. 21.5.30.5 mm³ Sony Scoopman
 1992 Philips Digital-Compact-Cassette, Maße = CC

Rotierende Speicher

1929 TAUSCHEK Trommelspeicher
 1945 GERHARD DIRKS (Deutschland) baut Magnettrommel- und Magnetplatten-Speicher
 1945 USA Experimente zu Trommelspeicher mit zwei 5-Zoll-Scheiben
 1947 Magnettrommel-Speicher Max-Planck-Institut Göttingen: HEINZ BILLING
 1949 A. D. BOOTH: Magnettrommel für Rechenautomat ARC
 1949 Trommelspeicher in der MARC 1
 1950 H. H. AIKEN: Magnettrommelrechner Mark III; erste Magnetbandanwendung
 1952 IBM Versuch Datenaufzeichnung auf magnetisierbaren, rotierenden Platten
 1955 Magnettrommelspeicher in IBM 704
 1956 IBM RAMAC 25 Zoll, 3 Bit/mm, 50 Platten, 5 MByte; J. A. Rachmann
 1956 Magnettrommel zu D1 in Dresden, LEHMANN,
 1960 AL SHUGART Aufzeichnung auf magnetisch beschichteten Scheiben, Vorläufer vom Floppy

Magnetische Speicher 20.02.2011 Seite 126 von 130

1962 IBM Wechselplatte 1311, 6 Magnetplatten, 2,68 MByte; 69 kByte/s, 150 ms, 13 Zoll, Entwicklungsbeginn 1958
 1964 Burroughs Plattenspeicher mit Kopf je Spur
 1966 IBM Plattenspeicher 2314, 20 Plattenseiten, Durchmesser 14 Zoll
 1967 IBM erste Floppy
 1968 WAYNE PICKETTE IBM erste Festplatte mit schwebenden Köpfen
 1969 IBM ALAN SHUGART erste 8-Zoll-Diskette mit 80 KByte vor
 1972 5,25-Zoll-Diskette
 1973 IBM Plattenspeicher Winchester 3340
 1976 Shugart Associates 5,25-Zoll-Diskette 720 KByte
 1979 Dünnschichtfilm-Magnetköpfe bei IBM im Plattenspeicher 3370
 1981 5,25-Zoll-Diskette erweitert 1,2 MB
 1981 Sony 3,5-Zoll-Disketten zunächst 322 kB, später 1,44 MB
 1983 Iomega Bernoulli-Box
 1983 SyQuest-Drive Wechselfestplatten 5 MByte
 1986 Harddisk, Filecard
 1987 IBM 3½-Zoll-Festplatte, 10 MBit
 1987 QIC mit 40 MByte Streamer eingeführt
 1989 Panasonic 2-Zoll-Floppy
 1989 Seagate Zone-Bit-Recording
 1990 Festplatten mit PRML
 1990 Conner erste 2,5 Zoll Festplatte
 1991 1,8 Zoll-Festplatten
 1991 3,5-Disketten, 4 MB mit BaFe
 1992 1,3-Zoll-Festplatte HP, 32 g und 21,4 MByte
 1993 IBM GMR-Platte, 1 GByte

Magnetische Speicher 20.02.2011 Seite 127 von 130

1994 Iomega Zip 100-MByte
 1996 Festplatten mit Glassubstraten
 1998 Microdrive IBM 340 MByte
 1999 Zip-Drive mit 250 MByte

Audio-Studio

1929 Magnetton-Technik in Radiostudios vieler Länder
 1932 BlattnerPhone BBC, 3 mm Stahlband 32 Minuten, 2700 m Band, LUDWIG BLATTNER
 1935 Tonbandgerät Magnetophon von AEG
 1938 erste Stereoaufnahme mit zwei Tonbandgeräten, BLÜMLEIN
 1944 SCHÜLLER-Kassette
 1945 Magnetband als Zwischenspeicher für Schallplatte
 1949 Tonband in Aufnahmestudios, 20 - 20 000 Hz
 1950 Höhepunkt Gema-Streit zum Tonband
 1952 Bandrecorder im Phonoarchiv Berlin eingeführt
 1958 Übergang zur Magnetbandaufzeichnung mit 38,1 cm/s im Studio
 1961 Bell Labs nahm ein erstes PCM-Übertragungssystem in Betrieb.
 1961 Mitsubishi, Sony und Matsushita entwickeln PCM-Prozessor: digitale Audiosignale
 1962 Mehrspuraufzeichnung Magnetband 4, 6, 8 Spuren auf 1-Zoll-Band
 1970 Beginn Entwicklung der digitalen Audiotechnik
 1972 2-Zoll-Magnetbandtechnik für 16, 24, 32 Spuren
 1981 DAT-Recorder demonstriert
 1986 DAT-Recorder auf dem Markt

Videotechnik

1952 3.10. Videoaufzeichnung auf Magnetband
 1953 EDUARD SCHÜLLER (Deutschland) demonstriert Schrägspuraufzeichnung, rotierender Kopf

Magnetische Speicher 20.02.2011 Seite 128 von 130

- 1954 CHARLES P. GINSBURG magnetische Bildaufzeichnung mit Vierkopf-System
1953 Längsspur Videoaufzeichnung bei BBC
1954 RCA macht Versuche mit magnetischer Bildaufzeichnung
1956 14.4. Ampex Magnetband-Videorecorder, ALEXANDER PONIATOFF, CHARLES GINSBURG, VRX-1000
Chicago
1957 Ampex Farbvideorekorder VR 1000 B
1969 Heimgerät-Videorekorder, offene Spulen, Grundig/Philips
1969 Victor Company (JVC) entwickelt Kassetten-Videorekorder fürs Heim
1969 Sony: Farbvideorekorder mit Kassettenband
1970 Philips führt VCR ein
1970 Sony, JVC, Matsushita führen halbkommerzielles U-matic ein
1971 Philips entwickelt VCR-System (Video Cassette Recording)
1975 Ampex führt die Schrägspuraufzeichnung ein.
1975 Sony: 6300 VCR Betamax als Heimvideo-Recorder
1977 JVC VHS (Video Home System)
1979 Philips und Grundig V 2000
1980 D1 erste Digitale Videoaufzeichnung
1999 Digital 8, Weiterverwendung des alten Kassettenformats, Sony

Magnetkarten

- 1935 Magnetkarten erprobt
1955 Magnetkarten umfangreich eingesetzt
1966 Magnetkarten-Computer von Siemens
1972 Magnetkarten als Sicherheitsschlüssel
1974 Magnetkarten in USA-Hotels als Schlüssel
1974 Taschenrechner HP 67 mit Magnetkarten

Magnetooptik

- 1956 WILLIAMS Aufzeichnung auf MnBi mit heißer Nadel
1959 Patent zur magneto-optischen Aufzeichnung
1985 Sanyo Rekorder für Magneto Optical Disc (MOD)
1986 Verbatim optische Disk mit 40 MByte vor
1992 Sony MD (Mini-Disc)
1993 3,5-Zoll- MO-Laufwerk von Fujitsu mit 128 MByte
1997 3,5" → 640 MByte