

5. Entwicklung der Magnetspeichertechnik

von Horst Völz

5.0 Einleitung

Abb. 1. Zahl der Veröffentlichungen je Jahr. I Abbruch der Entwicklung durch den 2. Weltkrieg II Einsetzen der Digitaltechnik; III Messwertspeicherung und Magneto-Optik

Die Geschichte einer Technik darzustellen, birgt mehrere Gefahren in sich. Sie kann zu einer Bibliographie ohne wesentliche Systematik ausarten, sie kann aber auch den geschichtlichen Ablauf ohne Literatur oberflächlich darstellen. Erstmalig versuchte der Autor 1961/62, eine Geschichte der Magnetspeichertechnik zu schreiben [65.1]. Das dort Gesagte bedarf natürlich heute einer kritischen Durchsicht und vor allem einer beträchtlichen Ergänzung. Wie viel Neues in der Zwischenzeit entstand, wurde dem Autor erst bewusst, als die zu erfassenden Arbeiten zusammen vor ihm auf dem Schreibtisch lagen. Statt einer Ergänzung wurde eine vollständig neue Bearbeitung notwendig. Wie in dem erwähnten Artikel bereits erwartet, sind jetzt die Gebiete Schall-, Video-, Messwert- und Digitalspeicherung getrennt zu behandeln. Zum Stand der Technik soll hier kaum etwas gesagt werden. Sie ist in diesem Band bzw. in den anderen Bänden dieser Reihe als Fachwissen aufbereitet. Es bleiben vorwiegend die zeitlichen Entwicklungsstufen herauszuarbeiten. Dementsprechend sind die Literaturzitate ausgewählt. Einleitend sei noch ein Überblick zur Anzahl der Publikationen über die Zeit gegeben. Abb. 1 zeigt diesen Verlauf vom Beginn bis etwa 1965. Bis zu diesem Zeitpunkt wurde die Literatur sehr vollständig durch die Originalliteratur und Referatesblätter erfasst. Natürlich ist dabei die Abgrenzung ein Problem. So sind auch die gestrichelten Äste verständlich. Sie ergeben sich aus dem Beginn des Krieges 1939 (I), dem Hinzukommen der Digitaltechnik (II) und weiterer neuerer Methoden (Messwertspeicherung, Magneto-Optik usw. (III)). Die letztere gewaltige Ausdehnung hatte auch in unseren Laboren zur Folge, dass keine einheitliche Kartei mehr geführt wurde. Deshalb wurde diese Auswertung 1966 abgebrochen.

Zur besseren Übersicht befindet sich am Ende dieses Buches eine Zeittafel. In ihr wurden allerdings die meisten Querverbindungen fortgelassen.

5.1. Vorgeschichte und Poulsen

Der Wunsch, Schallereignisse zu "konservieren", um sie später wiedererzeugen zu können, ist sehr alt. Die ersten erfolgreichen Versuche wurden nach Mitte des 19. Jahrhunderts von Edison, Scott und Berliner auf rein mechanischer Basis unternommen. Die Weiterentwicklung, führte zu der heutigen Langspiel- und Stereo-Schallplatte [61.1], [67.1]. Zur gleichen Zeit wurden auch die Grundlagen des Elektromagnetismus untersucht, diese Ergebnisse führten bereits in den Jahren 1887/88 zu drei erfolgversprechenden Ansätzen der magnetischen Schallspeicherung [52.1], [53.1]. Neben Wittedick und Janet ist vor allem O. Smith zu nennen, der vorschlug, zur Speicherung Fäden mit eingewebten Feilspänen zu verwenden und diese durch Induktionsspulen zu führen

Als eigentlicher Beginn der Magnetspeichertechnik ist die Konstruktion des "Telegraphone" von Poulsen anzusehen, der hierfür den "Grand Prix" der Pariser Weltausstellung im Jahre 1900 erhielt. Dieses sowie alle zunächst folgenden Geräte arbeiteten mit einem Stahldraht von etwa 1 mm $\varnothing$ bei einer Geschwindigkeit von etwa 20 m/s [00.1], [50.1]. Bald erwarben verschiedene Firmen die Lizenz und verwendeten die Geräte hauptsächlich für die Aufzeichnung von Konferenzen und Diktaten sowie für den Tonfilm. Abb. 1 zeigt diesen Anstieg und zugleich, da für die Probleme die Zeit noch nicht reif war, den Abfall um 1905.

1907 verbesserte Poulsen sein Verfahren durch die Gleichstromvormagnetisierung, und obwohl er auch die Trägerschwindigkeit und den Drahtdurchmesser auf ein Zehntel verkleinern konnte, ließ das Interesse an der magnetischen Schallspeicherung wieder schnell nach. Die Entwicklung der Elektronenröhren (1920) schuf neue Möglichkeiten, jedoch blieb dem Verfahren immer noch eine weite Ausbreitung versagt, da es gegenüber der Schallplatte und dem Tonfilm beträchtliche Qualitätsnachteile aufwies. Aus diesem Grunde wurde es bis etwa 1935 praktisch nur für Diktatzwecke, Telefonaufzeichnungen und Rundfunkreportagen verwendet.

5.2. Entwicklung der Informationsträger

5.2.1. Erstes Band und ökonomische Entwicklung

Einen neuartigen Informationsträger schuf Pflüger, indem er Papierband mit Eisenpulver beschichtete. Dieses Band führte er 1928 der Presse vor, wobei er anschaulich einen wichtigen Vorteil demonstrieren konnte. Das im Lauf zerrissene Band ließ sich augenblicklich so zusammenkleben, dass die Klebstelle praktisch unhörbar war. Außerdem vermeidet ein solches Band den sehr gefürchteten "Drahtsalat" und hat einen geringeren Kopiereffekt. Auf Vorschlag der AEG übernahm die Badische Anilin- und Sodafabrik die Entwicklung. 1932 standen die ersten Versuchsbänder mit Eisenpulver auf Acetylcellulose zur Verfügung. 1934 lieferte die BASF 50 km Band für die Funkausstellung [65.3]. 1935 wurde statt des Eisenpulvers der schwarze Magnetit Fe_3O_4 später das braune $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ und 1943 als Träger "Luwitherm" verwendet; 1939 verließen bereits $5 \cdot 10^6$ m Band das Werk [61.2], [54.1], [60.1], [59.1]. Zu erwähnen ist noch, dass unabhängig von Pflüger auch in Japan ein ähnlicher Tonträger entwickelt worden sein soll [56.1]. Da die Deutschen Rundfunkanstalten bereits vor 1945 90 % der Sendezeit mit Bandaufnahmen bestritten, trat nach dem Kriege zunächst eine Bandknappheit auf. Deshalb wurde für einige Jahre eine alte Anlage in Gendorf, deren Erzeugnisse unter dem Namen „Geneton“ bekannt wurden, wieder in Betrieb genommen. Die bereits 1943 nach Wolfen ausgelagerte Produktion entwickelte eine beachtliche Bedeutung.

Die weitere Entwicklung der Magnetbandtechnik drückt sich u.a. in der großen jährlichen Zuwachsrate von etwa 20 % aus. Die Weltproduktion stieg von Jahr zu Jahr [63.5], und 1966 war schon von einem Milliardengeschäft die Rede [66.9]; von 1964 bis 1966 baute dann die BASF eine große neue Bandfabrik auf [64.3], [66.9], [66.10]. In den westlichen Ländern wurde dabei der Konkurrenzkampf immer härter, was die immer stärkeren Konzernverflechtungen zeigen [62.7], [62.8], [66.9]. In Westeuropa gab es 1966 etwa 10 Firmen. Zu dieser Zeit sind etwa 40 % Computer-, 30 % Audio-, 20 % Instrumentations- und 10 % Videobänder produziert worden [66.9], [66.11], [65.12]. 1969 sollen in der Welt für etwa 2 Milliarden Mark magnetische Speichermedien hergestellt worden sein. Den größten Teil von 800 Millionen haben die Magnetplattenstapel. Dann folgen die Computerbänder mit 550, die Audiobänder mit 500, die Instrumentationsbänder mit 125 und die Videobänder mit 75 Millionen Mark [70.11], [70.2].

5.2.2. Breite des Bandes

Während das Magnetband zu Anfang 6,5 mm breit war, schrumpfte seine Breite mit der Normung, um 1948 in den USA zunächst auf 6,35 mm ($\frac{1}{4}$ Zoll) zusammen. Aus unerklärlichen Gründen ist daraus heute 6.25 mm, geworden, was besonders deshalb problematisch ist, da alle anderen Bandbreiten stets ein vielfaches von $\frac{1}{4}$ Zoll sind.

5.2.3. Normung der Geschwindigkeit

War zu Anfang die Geschwindigkeit 72 cm/s, so wurde sie mit der Normung ebenfalls auf einen Zollwert (30 Zoll) 76,2 cm/s festgelegt. Etwa 1956 erfolgte der Übergang im Studio auf 38,1 cm/s. Die meisten späteren Geschwindigkeiten werden hieraus durch mehrfache Halbierung abgeleitet (siehe auch Abschn. 5.3 und 5.5).

5.2.4. Dicke und Unterlage des Bandes

Anfangs betrug die Dicke des Magnetbandes 52 μ m. Sie wurde im Laufe der Entwicklung ständig verringert, um auf gleichen Spulen längere Spielzeit zu erhalten. Bis etwa 35 μ m (Langspielband wurde 1954 eingeführt [65.3]) genügte die allgemein übliche Acetatcellulose. Bis zu 26 μ m (Doppelspielband) ließ sich das Luwitherm verwenden. 1957 wurde das bessere Polyester eingeführt [57.1], [61.5]. Hierdurch erfolgt zunächst 1961 der Übergang zum Tripelband (18 μ m) [61.3], [61.4], [62.1]. 1965 wird das Vierfachband [65.2] und 1969 sogar das Sechsfachband (9 μ m) [69.1] erwähnt. Wie bedeutsam der Fortschritt durch das Polyester ist, wurde in zahlreichen Versuchen demonstriert [62.2].

5.2.5. Mehrspurtechnik

Ursprünglich erfolgten alle Aufzeichnungen über die volle Breite des Bandes. Für die Heimtontechnik gewinnt ab 1950 die Halbspurtechnik an Bedeutung. Wenn auch zunächst sehr umstritten, wird 1959 die Viertelspurtechnik eingeführt [59.3]. Damit gewinnen drop-outs eine beachtliche Bedeutung [65.8]. Dieses Problem ist noch stärker bei den nicht akustischen Anwendungen des Magnetbandes vorhanden. Zur Minderung der drop-outs wird die Reinigung des Bandes bedeutsam [60.2], [65.9], [66.4].

5.2.6. Konfektion des Bandes

Waren ursprünglich die Magnetbänder auf Bobbys (d.h. ohne Randschutz) gewickelt, so erfolgte mit der Heimtontechnik in Europa um 1950 der Übergang zu Spulen, wie sie schon zuvor vom 8-mm-Schmalfilm verwendet wurden. Um 1963 begann eine neue Technik durch die Kassetten [65.4]. Hierbei konnte auch dünnes Band sicherer und staubfreier aufbewahrt werden. Die Breite des Bandes geht dabei auf 3,81 mm zurück. Zugleich kann auch der Laie mit den Kassetten besser umgehen. Dabei entwickelte sich zunächst ein starker Konkurrenzkampf [65.5], bis schließlich doch nur die Compact-Cassette übrig blieb. Es sei erwähnt, dass die Kassettentechnik auf sehr frühe Entwicklungsstufen zurückblicken kann [59.2], [65.6]. Die erste Kassette wurde bereits 1951 angewendet [66.1]. Ein weiterer Vorteil der Kassettentechnik ist, dass so auch bespielte Bänder besser zu vertreiben sind [67.2]. Dabei zeigt sich aber besonders deutlich, wie teuer Konfektionieren und Bespielen ist [65.7].

5.2.7. Magnetische Substanzen

Entscheidende Verbesserungen wurden durch die Weiterentwicklung der magnetisierbaren Substanzen erreicht. Um 1953 konnte durch Kobaltzusatz die Koerzitivfeldstärke erheblich gesteigert werden [54.2]. Durch verschiedene Störungen, wie schlechte Lösbarkeit und starker Kopiereffekt, wurde dieser Weg, der in der DDR zum CH-Band führte, bald wieder verlassen. Etwa um 1958 wurde in Europa von den kubischen zu den prismatischen Kristallen übergegangen. Damit rückte auch die Anisotropie der Magnetbänder stark ins Interesse. Durch Verkleinern der Teilchen und weitere technologische Neuerungen gelingt es, in den letzten Jahren ein Band mit geringerem Rauschen und größerer Aussteuerbarkeit zu entwickeln [66.21], [67.3], [68.1] (Low-Noise-Tape).

Seit einiger Zeit rückt das Chromdioxidband immer mehr ins Interesse [67.4]. Ebenso gewinnen Metallpulver und metallische Schichten an Bedeutung [70.1]. Es scheint so, als ob Markt- und Konzerninteressen infolge eines guten Absatzes diese oder andere neue Methoden mit hoher Speicherdichte an ihrem Einsatz hindern.

Zum Nachweis der Verbesserung der magnetischen Kennwerte kann das Preisachdiagramm dienen [66.3]. Eine erste Zusammenstellung seiner umfassenden Messungen aller zugänglichen Bandtypen gibt Struska [68.2].

5.2.8. Zubehör

Mit der Weiterentwicklung der Magnetbänder wächst auch das Zubehör. Spätestens durch die Polyester-Bänder wird ein spezielles Klebeband notwendig [53.2]. Später genügt die anfängliche Klebeschiene nicht mehr, und auf dem Markt erscheint eine Klebepresse [61.10], [63.1]. Auch Spezialbänder für die Einstellung von Köpfen und Geräten entstehen [60.3], [62.3], [65.10] (siehe auch Abschn. 5.3.).

5.2.9. Tonfilm

Für den Tonfilm wurde das Magnetband schon um 1947 bei der DEFA eingesetzt [48.1] (siehe auch S. 37). Etwa 1948 erschienen, zunächst nur in den USA, die ersten Magnet- und Randspurfilme [48.2], um dann etwa 1950 auch in der DDR und Westdeutschland gefertigt zu werden [60.5]. Trotzdem blieb der Randspurtechnik noch einige Jahre breitere Verwendung versagt; lediglich die Magnetfilme wurden vor allem aber wegen der leichten Aufzeichnung mehrerer Spuren, für die Stereophonie und zur Aufzeichnung im Atelier häufiger benutzt [59.4].

1953 wurde mit einem 35 mm breiten Magnetfilm erstmalig 6kanalige Stereophonie mit optischen Breitwandverfahren als "Cinerama" der Öffentlichkeit vorgeführt [53.3]. Noch im selben Jahr erhielt der Kinonormalfilm an jeder Seite zwei Randspuren [54.3], und es entstand ein Verfahren, dem noch heute beim 35- und 70-mm-Film der Vorzug gegeben wird. Somit war auch der Weg für die randspurbeschichteten Schmalfilme frei gemacht [54.4]. 1956 wurde in Europa auch beim 8-mm-Film die Randspur üblich [56.21]. Im Fernsehbetrieb herrscht die Randspur bei 16-mm-Film vor [55.1].

5.2.10. Sonderbänder

Als Sonderbänder sei nur auf die Entwicklung des Datenbandes und Videobandes um 1958 [60.4] und in Europa um 1965/66 [65.11], [66.6], [67.5] hingewiesen. Das Band für die Messwertspeicherung entwickelt sich durch die Raumfahrttechnik noch mehr in der Stille. Durch diese Anwendungen wird immer deutlicher das Magnetophonband zum Magnetband [67.6].

Für den robusten Betrieb bei der Werkzeugmaschinensteuerung wurde um 1962 ein spezielles Magnetband entwickelt [62.5]. Neben dem Magnetband seien hier noch die Magnetkarte [60.6], magnetische Schichten zum Aufkleben [60.12], [61.6] und der Druck mit magnetischer Farbe erwähnt [63.2], [66.7]. Mit diesen Prinzipien setzte zugleich die Entwicklung der Magnetschriften CMC-7 und E13B ein, die vor allem bei den Banken große Bedeutung erlangten [62.6], [63.3], [63.4], [64.2], [65.12]. 1966 weist die Diebold-Statistik 200 installierte und 124 bestellte Magnetkontokartensysteme aus [66.8].

5.2.11. Nichtmagnetische Verfahren

Andere, nichtmagnetische Wege blieben bisher praktisch erfolglos. Sie haben offensichtlich nicht mehr die Chance, dem großen Erfahrungsschatz der magnetischen Bandspeicherung in ausreichend kurzer Frist mit hinreichendem Kapitaleinsatz und besseren technischen Parametern Konkurrenz zu machen.

So dürfte wohl die um 1959 gepriesene plastische Oberflächenverformung nicht mehr zur Diskussion stehen [64.1]. Ob dem ferroelektrischen Verfahren Erfolg, beschieden sein dürfte, ist noch sehr zweifelhaft [62.4], [66.5].

5.3. Magnetköpfe

Um die Geschwindigkeit mindern zu können, mussten von Anbeginn der Entwicklung die Magnetfelder für Aufzeichnung und Wiedergabe konzentriert werden. Obwohl dieses Problem bereits Poulsen bekannt war, entstand zunächst keine brauchbare Lösung. Eine Änderung trat 1932 ein, als sich Schüller systematisch mit verschiedenen Kopfkonstruktionen beschäftigte und statt er gegenüberstehenden Schneiden einen Ringkopf empfahl [32.1]. Die feldkonzentrierten Eigenschaften wurden besonders deutlich in Verbindung mit dem neuen Band [35.1], [41.1]. Hierdurch konnte die Trägergeschwindigkeit sehr bald auf 72 cm/s vermindert werden.

Seitdem sind zwar noch viele kleine Änderungen eingetreten, doch das Prinzip des Ringkopfes von Schüller, blieb nahezu unberührt. Die entscheidende theoretischen Arbeit geht auf Westmijze [54.5] zurück (1954).

Im Laufe der Zeit wurden die Spuren schmaler, die Spalte enger, der Wirkungsgrad höher, bessere Materialien kamen zur Anwendung, und die Mehrspurtechnik gewann an Bedeutung. (vgl. Bd. 1 dieser Reihe). Die bisher bekannt gewordenen maximale Anzahl von Spuren wurde 1965 zu 33 angegeben [65.14].

1949 wurde ein spezieller eisenloser Kopf für die Absolutmessung entwickelt [49.1]. Für Spezialkonstruktionen, wie den X-Feldkopf von Camras, Köpfe für Zackschrift, Köpfe mit speziellen Spiegelformen usw. sei ebenfalls auf Bd. 1 bzw. 6 dieser Reihe verwiesen.

Um 1953 begannen Versuche mit der Ablenkung von Elektronenstrahlen [53.4]. Sie wurden immer wieder versucht, blieben aber bis heute fast erfolglos (Bd. 1 dieser Reihe). Für die Anwendung wirkte sich ein wenig das Oberwellensondenprinzip aus. Es gewann ab etwa 1955 Bedeutung, hat sich jedoch bis heute nicht durchgesetzt [55.2], [66.13].

Mit großem Aufwand und keineswegs größerem Erfolg versuchte 1959 Siemens den Hallkopf einzuführen [59.5].

Die Ursache für die vorgenannten Misserfolge dürften die ganz speziellen Einsatzmöglichkeiten der flussemppfindlichen Köpfe sein, die dann sogar noch durch spezielle Modulationen beträchtliche Konkurrenz erhalten [66.13].

Um die Frequenztransponierung durch rotierende Köpfe hat sich 1955 Springer verdient gemacht [55.3]. Erstmals wird dieses Prinzip aber bereits 1949 erwähnt [49.2]. Heute ist offensichtlich die Grenze der Aufzeichnung durch Magnetköpfe abzusehen. Sie wird durch die Rauigkeit des Materials und die Toleranzen des Transportwerkes in Verbindung mit dem Magnetband begrenzt [67.8]. Deswegen sind künftig neuartige Methoden mit höherer Speicherdichte zu erwarten.

Sie sind hauptsächlich durch strahladressierte Speicher zu realisieren [67.9]. Dabei werden Strahlen (Elektronen oder Licht) für die Aufzeichnung und Wiedergabe verwendet. Hierbei hat die Magneto-Optik besondere Bedeutung. Erstmals wurden derartige Effekte noch in Verbindung mit Magnetköpfen 1950 von Friend beschrieben [50.2]. Die erste direkte magneto-optische Wiedergabe beschreibt 1961 Miyata [61.7]. Seitdem haben derartige Veröffentlichungen steil zugenommen (Anstieg 111 in Abb. 1).

Bei der Wiedergabe und Aufzeichnung hat es Bedeutung, die Spuren sichtbar zu machen. Hierzu entwickelte 1964 die 3M-Kompanie ein Betrachtungsgerät [64.7].

Die Entwicklung der Magnetkopf-Produktion kann in Analogie zur Firma Bogen abgeleitet werden [69.2]. Die Verdopplung der Produktion erfolgte danach jeweils in $2^{1/2}$ Jahren. Bereits 1966 fertigte die Firma 2 500 Köpfe je Tag [66.14]. Einen Überblick zu den konstruktions- und fertigungstechnischen Problemen gibt [63.10], [65.58].

5.4. Transportwerke

Die ersten Drahtgeräte bewegten den Informationsträger mit Antrieb der Aufwickelspule. Hierbei gab es natürlich Gleichlaufschwankungen, die allerdings bei der Sprache kaum störten. Mit der Einführung des Magnetbandes und der Ringköpfe entwickelten die Ingenieure der AEG zugleich ein neuartiges Transportwerk. Es enthält je einen Wickelmotor für die Auf- und Abwickelseite. Ein dritter Motor bewegt das Magnetband mittels des Friktionsantriebes mit konstanter Geschwindigkeit. Dieser Antrieb lag als hoch anzuerkennende Leistung um etwa 1935 vor [35.2], [37.1]. Er stellt noch heute die Grundlage für die meisten Geräte, insbesondere für Studiogeräte und Messwertspeicher dar.

Beim Studiogerät entstanden erst um 1959 kleinere Änderungen durch eine mitlaufende Rolle gegen die Bandlängsschwankungen [59.6] und durch eine zusätzliche Schwungmasse bei der M 10 von Telefunken [60.9]. Die endgültige Weiterentwicklung dürfte bei der R 700 mit vier Motoren um 1965 erreicht sein [65.15].

Um etwa 1958 führte Ampex für die Messwertspeicher die geschlossene Schleife ein [60.9].

Erste Methoden zur Stabilisierung des Bandzuges entstanden um etwa 1955. Ihre allgemeine Einführung erfolgte aber nach 1960 [59.7].

Eine wesentliche Vereinfachung der Transportwerke erbrachte die Heimtontechnik. Sie führte zum Einmotorenantrieb mit mechanischen Kupplungen zur Auf- und Abwicklung. Das international erste Gerät dieser Art war das BG 19 des VEB Funkwerkes Köpenick, welches auf der Herbstmesse 1950 erstmalig gezeigt wurde.

Die Dreitourenlaufwerke bei Plattenspielen (infolge der Langspielplatte) um 1952 [52.2] bewirkten auch bei der Heimtontechnik Lösungen mit dem indirekten Antrieb [55.6]. Die umschaltbare Geschwindigkeit wurde zu dieser Zeit jedoch noch direkt vom Motor mit Polumschaltung realisiert [56.4]. Der indirekte Antrieb erlaubte zunächst nur, kleinere und damit leichtere Motoren anzuwenden [56.5].

1957 tauchten dann die ersten Geräte mit mehr als zwei Geschwindigkeiten auf. Sie werden natürlich mechanisch umgeschaltet [57.4]. 1957/58 erfolgte der entscheidende Übergang von den Ein- zu den Zweigeschwindigkeitsgeräten. Ihre Produktionszahlen vervierfachen sich hier [59.10]. Gleichzeitig, erscheint auch ein Gerät mit vier Geschwindigkeiten [57.5]. Diese Entwicklung befruchtet später ganz erheblich die Messwertspeicherung [61.8].

Die Entwicklung der transportablen Magnetbandgeräte mit Batteriebetrieb begann für Reportagen des Rundfunks bereits um 1950. 1959 kann Meier neun Reportagegeräte in einer Tabelle zusammenfassen [59.8]. Gleichzeitig weist er in dieser Arbeit auf die besonderen Eigenschaften des Kleinmotors hin, die hier eine entscheidende Problematik darstellen.

Erste transportable Heimtongeräte tauchen dagegen erst um 1961 auf [61.4]. Sehr bald treten auch Erleichterungen durch den Transistor auf.

Werden Bandgeräte in Betrieb bewegt, so treten Gleichlauffehler durch die Trägheit der Schwungmassen auf. Dieser Fehler wird ab 1965 durch gegenläufige Schwungmassen unterdrückt [65.27].

1963 wird der HF-geregelte Motor [63.6] und 1965 der kollektorlose Motor [65.16], [65.18] eingeführt.

Die Kassettentechnik begann um 1963 durch Philips ihren Einzug zu halten [63.7]. Nach 1965 versuchte Grundig unter Verkennen der objektiven Entwicklung eine neue Kassette einzuführen [65.19], muss sie jedoch 1967 wieder zurückziehen. Zu den transportablen Geräten kommt um 1964 noch das extrem kleine elektronische Notizbuch für Sprache [64.6], [65.20]. 1969 wird sogar ein Miniaturgerät für Stereo angeboten [69.8].

Neben diesem traditionellen Weg der Magnetbandgeräte mit einfachem Friktionsantrieb gibt es noch etliche Nebenwege, die teils andere Informationsträger und teils andere Bewegungstechniken benutzen. Sie sind einfach aus den Forderungen verschiedener Gebiete der Technik entstanden. Sie sollten daher auch dort behandelt werden. Hinweise auf feinwerktechnische Probleme und deren Weiterentwicklung gibt [68.5]. Ein besonders stark abweichender Antrieb erfolgt quasielastisch [66.15].

5.5. Schallaufzeichnung

5.5.1. Linearisierung der Kennlinie

Die Schallaufzeichnung auf magnetisierbarem Material wird durch die Nichtlinearität und Mehrdeutigkeit der Remanenzkurve erschwert. Die ersten Versuche von Poulsen wurden mit entmagnetisiertem Material ausgeführt, und durch den stark gekrümmten Verlauf der zugehörigen Remanenzkennlinie ergeben sich große nichtlineare Verzerrungen und geringe Empfindlichkeit. Mit einer bestimmten Gleichfeldvormagnetisierung konnten später wesentlich bessere Ergebnisse erzielt werden, jedoch machten sich dafür die Inhomogenitäten des Drahtes und später des Bandes durch Rauschen störend bemerkbar. Durch Zufall fanden Braunnühl und Weber 1940 einen idealen Kompromiss, der gute Verzerrungsfreiheit und großen Störabstand ergab. Hierbei wird dem aufzuzeichnenden Signal ein Hochfrequenzstrom überlagert. Mit dieser Maßnahme übertraf die magnetische Schallaufzeichnung sofort die Qualität aller anderen Verfahren. Es ist interessant, dass trotz der großen Bedeutung der Hochfrequenzvormagnetisierung bis heute noch keine umfassende Theorie vorhanden ist. Unabhängig von Braunnühl und Weber und etwa gleichzeitig erschien eine japanische Patentanmeldung gleichen Inhalts. Außerdem existieren noch zwei ältere Patente (1921 und 1932), in denen eine höhere Frequenz zusätzlich zur Verbesserung der magnetischen Aufzeichnung benutzt werden soll. Offensichtlich haben jedoch diese Untersuchungen keinen Einfluss auf die technische Weiterentwicklung ausüben können.

5.5.2. Rundfunkstudioteknik

Die Entdeckung von Braunnühl und Weber trug dazu bei, dass bereits vor 1945 in Deutschland etwa 90 % der Sendezeit von Magnetbandaufzeichnungen bestritten wurde. Nach Kriegsende wurde der Entwicklungsstand überall bekannt, und angewendet. Zur Erleichterung des internationalen Bandaustausches, wurde die Geschwindigkeit 76,2 cm/s genormt. Als 1950 der UKW-Rundfunk entstand, stiegen die Forderungen weiter, und die Magnetbandtechnik erfüllte sie. Einige Jahre später erfolgt der Übergang zur Geschwindigkeit von 38,1 cm/s und zugleich erreicht die Studioteknik etwa ihre Standardwerte. Prinzipiell könnte heute 19,05 cm/s eingeführt werden, doch hierbei dürfte die im Rundfunkbetrieb so notwendige Cuttertechnik zu schwierig sein.

Einen letzten ergänzenden Schritt geht die Magnetbandtechnik im Studio 1963 mit dem Übergang zur Stereotechnik [54.61, [58.2], [59.9], [63.11].

Seit einigen Jahren ist auch die gesamte Studioteknik auf Transistoren umgestellt. Hierdurch werden nicht nur die Reportergeräte (siehe auch Abschn. 4) leichter und kleiner, sondern auch die Studiogeräte. Eines der progressivsten Studiogeräte dürfte z.Z. die R 700 sein [65.15]. Es ist vollkommen kontaktlos aufgebaut. Auch die Motoren sind ohne Kollektor elektronisch geregelt. Ein hoher Gleichlauf wird durch zwei Antriebsmotoren, je einer vor und nach den Köpfen garantiert. Ein angepasstes neues Reportergerät liegt bereits 1962 vor [62.13].

Als wesentliche Zusatzgeräte für die Studioteknik entstanden unter anderem im Laufe der Zeit folgende Geräte: zum Auffinden beliebiger Stellen auf dem Magnetband [48.3]; zum Verändern der Tonhöhe und/oder Laufzeit [49.2], [55.3]; für Pausezeichen [49.5]; blutlose Cuttermaschine [56.6]; künstlichen Nachhall [62.14] und Kassettenspieler für Dauerbetrieb der Sender [65.23]. Nach einer Notiz des Bayerischen Rundfunks verfügt er 1966 über 160 000 Tonbänder im Archiv [66.17]. Die letzte Entwicklung der Magnetbandstudioteknik zeigt, dass sie ihre Grenze erreicht hat. Lag zu Beginn ihrer Einführung die Qualität weit über den Parametern von Mikrofonen, Lautsprechern und Verstärkern, so bedingt heute die Magnetbandtechnik meist die erreichbare technische Grenze. Es wird deshalb allgemein nach Auswegen gesucht. Nach Meinung verschiedener Fachleute wird die Qualität nur mit einer speziellen Codierung oder Modulation zu verbessern sein. Viele Versuche mit Dynamikregelungen sind bereits gescheitert. Ein Beispiel ist das Nois-Ex-Verfahren [65.21]. Solche Verfahren dürften meist schon aus rein theoretischen Gründen ausscheiden. Etwas günstiger ist schon die Kompressortechnik mit Pulsdauermodulation [68.6]. Prinzipiell ist nur ein Austausch von Bandbreite gegen Dynamik sinnvoll [67.10].

5.5.3. Tonfilm

Für den Tonfilm bringt die Magnetspeichertechnik vor allem den Vorteil, dass der Entwicklungsprozess fortfällt und eine unmittelbare Kontrolle bei der Aufzeichnung möglich ist. Trotz noch zusätzlicher Qualitätssteigerung konnte sie nur langsam Eingang finden, da der Tonfilm die synchrone Wiedergabe benötigt. Als erster Filmhersteller benutzte die DEFA 1947 das Magnettonverfahren für die Aufnahmen des Spielfilms "Wozzeck"; lediglich die Theaterkopien wurden, um Schwierigkeiten bei der Vorführung zu vermeiden, noch mit Lichtton hergestellt [48.1] (siehe auch 5.2.9).

Die Randspurtechnik hielt trotz erster Versuche 1950 seit 1954 mit der Breitwandtechnik ihren Einzug [53.3], [54.3]. Der Magnetfilm mit voller Breite der Magnetschicht setzte sich bereits einige Jahre früher durch und hat wegen der Schwächen des Magnetbandes bei vielen Spuren heute noch in vielen Studios große Bedeutung. Zum Teil wird er allerdings durch breite Magnetbänder verdrängt. Während beim Magnetfilm die Synchronisation durch die Perforation gegeben ist, benötigen die Magnetbänder dann eine Synchronisationsspur [60.5]. Da die Pilotspur enge Toleranzforderungen zu erfüllen hat, entstanden im Laufe der Zeit mehrere Prinzipien [64.9], [66.18]. 1965 wird ein Rückblick über 15 Jahre Magnetfilm gegeben [65.24].

5.5.4. Fernsehontechnik

Für das Fernsehen erfolgte die Entwicklung ganz analog zum Tonfilm. Trotz der internationalen Einigung für die optische Aufzeichnung auf den 16-mm-Film existieren heute zur Tonaufzeichnung drei etwa gleichberechtigte Verfahren zur Synchronisation bei der Aufzeichnung: der 16 mm breite perforierte Film, die Magnetbandaufzeichnung mit transversaler Pilotspur und, für kurze Szenen, Geräusche und dgl., die nicht synchronisierte Aufzeichnung. Bei der Sendung herrscht eindeutig die magnetische Randspur vor [55.1]. Die Entwicklung beim Farbfernsehen ist noch im Fluss.

5.5.5. Schallplattentechnik

Die Erstaufzeichnungen für die Schallplattenherstellung wurden ab 1950 etwa gleichartig wie bei den Rundfunkanstalten mit der Magnetspeichertechnik durchgeführt. Während zunächst nur die bessere Technik entscheidend war, wurde bald das Magnetbandgerät vor allem für die Rhein-sche Füllschrift unentbehrlich [54.7]. Für die Stereotechnik überwiegt heute das breite Magnetband. Die Probleme der Überspieltechnik behandelt Redlich [63.15].

5.5.6. Heimtontechnik

Für den Amateur bestand schon immer Interesse (ähnlich wie beim Film), eigene Schallaufnahmen zu machen. Die Schallplatte war hierfür viel zu schwierig zu handhaben. So ist es verständlich, dass es seit Beginn der Entwicklung der magnetischen Schallaufzeichnung nie an Versuchen gefehlt hat, sie auch für Amateurzwecke nutzbar zu machen. Bereits 1950 entstanden die ersten Vereinigungen für Tonbandamateure, die jetzt regelmäßig internationale Wettbewerbe austragen [60.10], [61.9].

Für die Amateure waren aber auch die für den Rundfunk entwickelten Magnetbandgeräte zu teuer, und es mussten zweckmäßige Vereinfachungen gefunden werden.

Entwicklung in der DDR

Abgesehen von einzelnen, wenig erfolgreichen Versuchen [48.4], [49.6] muss als das erste Heimtongerät das „BG 19“ des VEB Funkwerk Köpenick angesehen werden. Es wurde erstmalig, auf der Leipziger Herbstmesse 1950 gezeigt, und danach nahm die Produktion ähnlicher Geräte immer größeren Umfang an. 1953 wurden in der DDR bereits 37 000 Geräte hergestellt, und in den folgenden Jahren nahm die Produktion gewaltig zu, wobei gleichzeitig ein gewisser technischer Abschluss erreicht wurde. Hauptsächlich ging der Trend in Richtung zu dünnen Bändern mit gesteigerter Höhenempfindlichkeit und besserem Störabstand. 1956 produzierten in der DDR 9 Firmen 9 Geräte, davon 6 für Heimtonzwecke. Sie besaßen überwiegend die Geschwindigkeit 19,1 cm/s. Ausnahmen machten nur 2 Studio- und 1 Diktiergerät [56.7]. 1965 weist der VEB Messgerätekombiwerk Zwickau 7 Geräte, davon 3 für 9,5 und 4 für 9,5 und 5 cm/s aus. Darunter befindet sich auch ein Batteriegerät für 4-Spur-Technik [64.10]. Außerdem existieren zu diesem Zeitpunkt noch zwei weitere Heimton- und mehrere Typen von Studiogeräten in der Produktion.

Ökonomische Entwicklung

Aus Japan ist bekannt, dass Sony 1948 mit der Tonbandgeräteproduktion begann und 1965 damit ein Drittel seiner Produktion füllt [65.26]. Abb. 2 zeigt die Steigerung der Gerätezahl in Westdeutschland [65.24]. In Japan wurden vergleichsweise 1961 gleich 890 000 und 1962 gleich 1,35 Millionen Bandgeräte, produziert [63.13]. Bereits 1963 konnte sich eine Firma rühmen, eine Million mal die gleiche Gerätekonstruktion verwendet zu haben [63.12]. In Westdeutschland wurde die Millionengrenze der jährlichen Produktion 1965 überschritten [67.11], wobei regelmäßig etwa 50 % exportiert werden. Die Steigerungsrate der Produktion liegt 1965/66 mit 20,2 % an zweiter Stelle in Westdeutschland. Nur die Datenverarbeitung hat einen noch größeren Satz mit 41,3 %. Der absolute Produktionswert liegt bei 360 Millionen Mark, das sind 3 % der gesamten Elektronikproduktion [67.12]. 1966 wird geschätzt, dass etwa 2 Millionen Geräte in Westdeutschland in Betrieb sind, das entspricht theoretisch einer Sättigung von 100 % der Haushalte. Da aber viele Amateure zugleich mehrere Geräte benutzen und auch Geräte für die Schule und den Beruf verwendet werden, dürfte eine Sättigung von 5 bis 6 % real sein [66.21]. Interessant ist in diesem Zusammenhang die kritische Einschätzung über die geringe Benutzung der meisten Geräte und deren Gründe. Andererseits besitzen viele Amateure Archive von über 100 Bändern [63.13]. Als Ergänzung zu Abb. 2 zeigt noch Abb. 3 die jährliche Wachstumsrate der gesamten Industrie in Westdeutschland [69.13].

Entwicklung der Technik

1952 erschien das erste Magnetbandgerät der heutigen Form von Grundig "Reporter 500 L" [52.3]. Die ersten darauf folgenden Entwicklungsstufen sind in Abschn. 5.6.1 beschrieben.

In Konkurrenz mit der Einführung der Stereoplate (1958) erschienen umgehend die entsprechenden Bandgeräte [58.3]. 1957 konnte mit dem Telefunkengerät KL 65 S die Geschwindigkeit 4,75 cm/s für Musikaufnahmen genutzt werden [57.61], [58.4]. Im selben Jahr wurde auch erstmalig 2,4 cm/s für die Sprachaufzeichnung verwendet [57.5]. 1959 entstand die Viertelspurtechnik [59.3], und Grundig brachte, wenn von dem "Minifon" [54.8] abgesehen wird, das erste transportable Batteriegerät für den privaten Gebrauch heraus [59.11].

Tabelle 1 Zusammenstellung der Häufigkeiten westdeutscher Bandgeräte

1960 wurde erstmalig ein automatisches Magnettongerät vorgestellt [62.17].

Die Transistortechnik hielt etwa 1962 ihren Einzug, und zwar gleichermaßen für Netz- und Batteriegeräte [62.15], [62.16]. Das erste flache Tonbandgerät zeigt Telefunken 1963 [63.7].

Einen Überblick über den Anteil unterschiedlicher Gerätetypen für den Zeitraum von 1955 bis 1966 gibt Tab. 1. Aus ihr geht hervor, dass der Anteil der Netzgeräte auf 80 % absinkt und der der Batteriegeräte auf 30 % ansteigt.

Der Stereogeräteanteil liegt bei etwa 50 %, während nach 1961 die Zweispurtechnik wieder schwach zunimmt und etwa $\frac{2}{3}$ für sich beansprucht. Geräte mit nur einer Geschwindigkeit existieren für 9,5 cm/s. davon sind 55 % für 2-Spur-Monobetrieb eingerichtet. Bei 5 und 9 cm/s sind 45 % auf 2-Spur-Mono und 30 % auf 4-Spur-Stereo ausgelegt. Bei 9 und 19 cm/s überwiegt die 4-Spur-Technik mit 40 % Stereo- und 35 % Monogeräten. Die Geräte für drei Geschwindigkeiten schließlich enthalten fast nur Stereo, 60 % für 4-Spur- und 30 % für 2-Spur-Technik.

Ab 1968 ist ein solcher Standard erreicht, dass sich eine hochwertige Klasse von Geräten deutlich herausgebildet hat. Sie wird mit dem Begriff Hi-Fi (High Fidelity) belegt.

Da mit diesem Begriff jedoch Missbrauch getrieben wird, erfolgt eine Normung der Mindestanforderungen [68.7].

Der Stand der heutigen Technik liegt bei 19 cm/s und Halbspurtechnik für die vorgenannten höchsten Ansprüche. Die Geschwindigkeit 9,5 cm/s und Viertelspurtechnik hat sich als Standard für gute Musikqualität herausgebildet. 4,75 cm/s und Viertelspurtechnik wird hauptsächlich für Sprache angewendet. Die Viertelspurtechnik hat neben der Bandeinsparung für den

Entwicklung der Magnetspeichertechnik.doc; Völz, H.: Grundlagen der Magnetischen Signalspeicherung, Band 3. Akademie - Verlag, Berlin 1972, S. 85 bis 109 eingescannt und orthographische Fehler korrigiert, Bilder + Tabellen fehlen. 19.8.04; Seite 5 von 10

Amateur die großen Vorteile der Multiplaybacktechnik (vgl. S. 78). Durch Kombination der beiden Spuren in Aufnahme- und Wiedergabe lassen sich alle Möglichkeiten des Studios nachgestalten. Aus diesem Grunde hat auch die Viertelspurtechnik bei 19 cm/s Bedeutung. Für die mittlere Qualität hat auch das automatische Magnetbandgerät eine gewisse Bedeutung, erlangt.

Kassettenteknik und Kuriositäten

Die Vorteile der Schallplatte mit den Vorteilen des Magnetbandes zu verbinden, versuchte von je her die Kassettenteknik [65.6]. Mit nachhaltigem Erfolg wurde sie 1963 von Philips eingeführt [63.7]. Der große Anstieg 1965 in Abb. 2 wird im wesentlichen durch diese neue Kassettenteknik erbracht.

Zu diesem Zeitpunkt hatten sich der Philips-Compact-Kassette bereits viele Firmen angeschlossen. Philips konnte den Verkauf des millionsten Gerätes melden [65.4], und 1966 erfolgte der Übergang zur Stereoteknik [65.29].

In Verknennung der Gegebenheiten versuchte Grundig nach 1965 eine andere Kassette "DC-International" einzuführen [65.30]. Aber bereits 1967 muss Grundig hiervon zurückgehen, da 63 Firmen der Welt die Compact-Kassette übernommen haben [67.2].

Mit der Kassettenteknik werden auch immer mehr tragbare Kombinationsgeräte (Rundfunk-Bandgerät) üblich [64.12], [66.21]. Nichttragbare Vorläufer dieser Art produzierte die österreichische Firma Stussi seit etwa 1958 [63.14]. 1964 wurde sogar ein Rundfunkgerät mit Plattenspieler und Bandgerät kombiniert [64.20].

Als Kuriositäten seien das Stereo-Magnetongerät mit Kopierzusatz und das Gerät Musik-Center erwähnt. Um nicht zwei Geräte für vielfältige Amateurzwecke zu benutzen, werden im ersten Fall zusätzliche Wickeleinrichtungen und Verstärker an das Gerät mit drei Köpfen angebaut [64.13]. Das zweite Gerät ist mit einem Rundfunkempfänger zusammengebaut und besitzt ein Magnetband von 150 in Länge und 10 cm Breite. Es wird nicht mehr ausgewechselt, da es 45 Stunden speichern kann. Hierzu existieren 126 Spuren mit je 22 Minuten Aufnahmezeit [65.32].

Schallplatten- und Magnetbandtechnik

Den ersten Vergleich zwischen Platte und Band gab 1952 Trampert [52.2]. Nach einigen Schwankungen besteht ab etwa 1960 zwischen beiden Techniken ein stabiles Gleichgewicht [59.13], [60.13], [60.14], [65.28]. Dies hat zwei Gründe. Einmal kann bei der Platte sehr leicht jede beliebige Stelle wiedergegeben werden, und zum andern ist die Vervielfältigung von Bandaufzeichnungen vergleichsweise viel kostspieliger. Die zunächst wichtig erscheinende Kontaktkopie im Hochfrequenzfeld hat offensichtlich an Bedeutung verloren [50.3]. Dagegen wurden für das gleichzeitige Umzeichnen mit mehreren Geräten und bei erhöhter Geschwindigkeit aufwendige Apparaturen gebaut [57.7], und selbst Sondereinrichtungen für automatische Kontrolle sind entstanden [56.8]. Durch die Kassettenteknik wird der Vergleich zur Schallplatte erneut aktuell. Vor allem im Auto besitzt die Kassette erhebliche Vorteile [65.31]. Schwierigkeiten bereitet jedoch immer mehr die Vervielfältigung [65.7], [67.13].

5.5.7. Bürotechnik

Viele Geräte der üblichen Heimtontechnik sind auch im Büro zum Diktat und Telefondiktat einsetzbar. So haben sich heute schon ganze Schreibzentralen herausgebildet. Das eigentliche Diktiergerät weicht in der Regel jedoch bezüglich seiner technischen Ausrüstung vom Heimtongerät ab. Es muss u.a. fernsteuerbar sein und möglichst auch nach dem Stoppen einen kurzen Teil des Satzes automatisch wiederholen. Ferner sollte der Informationsträger auch leicht mit der Post versendbar sein. So kommt es, dass neben dem Magnetband sich auch viele andere Informationsträger gehalten haben und entstanden sind [55.7]. Selbst der Magnetdraht hat hier immer noch eine gewisse Bedeutung.

Das erste von der Drahttechnik abweichende Diktiergerät dürfte das seit 1949 von der Firma Assmann hergestellte "Dimafon" sein [49.3], [49.4]. Es arbeitet mit Magnetplatten und Rillenführung. Diese Technik hat besonders für die Satz wiederholung nach dem Stoppen praktische Vorteile. Es ist daher nicht verwunderlich, dass sehr bald andere Firmen ähnliche Techniken anwendeten. 1957 haben neben dem Assmann-Gerät vor allem das Foliengerät "Stenomatic" und Bandgeräte die größte Bedeutung [58.5]. Einen Überblick zur Folientechnik gibt Christian 1966 [66.92].

1964 erscheint in Japan das erste Gerät, welches sich automatisch beim Besprechen ein- und ausschaltet [64.14]. Ein Jahr später bietet Telefunken eine faltbare Magnetfolie an, die in normalen Briefumschlägen (C6) versandt werden kann [65.33]. Hierdurch gelangt die Magnetbandaufzeichnung langsam zu einer Ergänzung der normalen Briefpost [65.39]. 1967 erscheint ein interessantes Gerät "rols". Es zeichnet auf einer Papiermagnetfolie zeilenweise auf. Jedes Diktat kann dann abgerissen und dem jeweiligen Vorgang zugeordnet werden [67.14].

Interessant ist, dass die Diktiergeräteproduktion in Westdeutschland seit Jahren bei etwa 130 000 Geräten liegt, von denen über die Hälfte exportiert werden [65.28], [68.8].

Eng verbunden mit der Diktiertechnik ist von Beginn an die Kopplung mit dem Telefon. Größere Bedeutung erlangten so automatische Telefonanrufbeantworter ab 1962 [62.18] [63.16]. Ab 1965 dürfen diese Geräte nur noch mit Genehmigung galvanisch angeschlossen werden [65.35]. Ein modernes Gerät ist in [65.36] und eine komplette Telefondiktieranlage in [65.37] beschrieben.

Eine automatische Wähleinrichtung bei der 1000 Fernsprechnummern magnetisch gespeichert sind, liefert eine schwedische Firma [66.23].

5.5.8. Elektronische Notizbücher

Mit der Diktiertechnik hat sich eine weitere Richtung der Schallspeichergeräte, nämlich die der elektronischen Notizbücher, entwickelt. Durch die hohe Speicherdichte und Halbleiterelektronik ließen sich schließlich so kleine Geräte bauen, dass sie jederzeit in einer Rocktasche mitzunehmen sind. Das erste Gerät dieser Art ist das Grundig EN 3. Es wiegt nur 385 g und wird etwa 1964 angeboten [64.6], [65.20]. Ähnliche Geräte zeigt zur gleichen Zeit auch Japan. Sie sind jedoch etwas größer und schwerer [64.15]. 1966 erhält das EN 3 als erstes Konsumgütergerät einen Festkörperschaltkreis [66.24]. 1967 wird das noch kleinere EN 7 produziert. Es hat nur noch $10 \times 6 \times 2,5 \text{ cm}^3$ bei 280 g. Die Kassette ist $5,4 \times 3,8 \times 0,8 \text{ cm}^3$ groß, wiegt 7 g und gestattet Aufnahmen von 2×10 Minuten Dauer [67.15]. Zwei weitere Geräte sind in [67.16] beschrieben. Schließlich sei noch ein Miniaturstereogerät erwähnt [69.8].

5.5.9. Schmalfilmtechnik

Als die Heimtontechnik und die magnetische Tonfilmtechnik einen gewissen Stand erreicht hatten, wurde es auch für den Schmalfilmamateur möglich, seine Filme zu vertonen. Die ersten Versuche zur Zweibandtechnik, also Synchronisation von

Film und Magnetongerät, erfolgten 1953 [53.5]. Größere Bedeutung erlangte dieser Weg jedoch erst 1956 [56.9]. Zur selben Zeit wurde auch erstmalig die Randspur des 8-mm-Filmes versucht [56.2]. 1959 erreichte die Randspurtechnik durch Einkleben eines 0,8 mm breiten Magnetbandstreifens eine beachtliche Qualität, die heute noch als Standard gilt [59.14] [62.19].

Inzwischen sind noch mehrere Techniken der Zweibandvertonung entstanden. Sie haben unterschiedliche Eigenschaften und Qualitäten und behaupten sich etwa gleichberechtigt neben der Randspur [60.15], [61.12], [62.20], [62.21], [64.16], [64.17].

5.5.10. Akustische Sonderanwendungen

Neben den genannten Hauptzweigen bildeten sich im Laufe der Zeit viele, akustische Sonderanwendungen heraus. Sie alle aufzuzählen ist hier kaum möglich. Daher sollen nur einige wichtige bzw. interessante Beispiele herausgegriffen werden. Im größeren Umfang wird das Magnetbandgerät heute in der Pädagogik für Fremdsprachenunterricht, zur Gestaltung von Schulstunden für das programmierte Lehren und Lernen sowie für vieles andere eingesetzt [62.22], [64.17].

Große Bedeutung haben auch Tonbandgeräte für Blinde [52.4], [60.16]. Eine der größten Tonbandbibliotheken ist in Leipzig. Ab 1968 werden dort jährlich etwa 335 000 Bänder verliehen. Der Roman "Krieg und Frieden" von Tolstoi hat 74 Stunden Dauer und benötigt 37 Bänder. Weiterhin gibt es in der DDR 4 Tonbandzeitschriften mit 1008 Abonnenten (vgl. auch [65.40]).

Eine andere Richtung ist die automatische Ansage der Zeit, des Wetterberichtes usw. Sie führte zur Entwicklung von speziellen Ansagespeichern mit Band, Folie und anderen Trägern. Auch für Reklame und Diebstahlsicherung werden sie eingesetzt [51.1], [51.21], [55.8], [56.10], [56.11], [57.8], [65.39].

Die gute Haltbarkeit der Magnetbandaufzeichnungen macht sie auch anwendbar für historische Aufzeichnungen. So wurde bereits 1955 die gesamte Außenministerkonferenz auf Tonband aufgenommen [55.9]. Bedeutsam ist sicher auch die Archivierung von Mundarten [61.13], [64.18].

Im ähnlichen Sinne erhält die Sprache Dokumentencharakter für die Kontrolle des Zugablaufes bei der Reichsbahn und dem Flugdienst. Verbesserte Spezialbandgeräte mit vielen Spuren, hoher Betriebssicherheit, langer Speicherzeit und im Dauerbetrieb gestatten die Rekonstruktion von Unfällen vorausgegangener Abläufe [52.4], [53.6], [57.9], [61.14], [66.25]. Schließlich seien noch einige Sonderanwendungen erwähnt; die Erzeugung von künstlichem Nachhall [56.12], echofreie Versorgung akustisch schwieriger Räume [54.9] und ein Gerät zur Erzeugung verschiedenartigster Geräusche [66.26]. Natürlich hat das Magnetbandgerät auch für die Schallmesstechnik erhebliche Vorteile [53.7], [65.41].

5.5.11. Einsatz in der Musik

Von Beginn an hatte die Magnetspeichertechnik auch erhebliche Vorteile für die Musik. Hierdurch hat der Künstler doch die Möglichkeit, sich selbst laufend zu überwachen. Es wurde im Laufe der Zeit aber auch das Magnetband selbst in den Schaffensprozess einbezogen. So wird es unter anderem direkt für die Klangbildung und Komposition eingesetzt [60.17]. Hierbei werden z.B. kleine Tonbandabschnitte mit speziellen Geräuschen und Klängen nach- und übereinander aufgeklebt, oder die Änderung der Bandgeschwindigkeit wird zur Erzeugung nicht gekannter Klangeffekte benutzt. In anderen Fällen wird das Magnetband nur dazu verwendet, Klangbilder festzuhalten, für die die Notenschrift ungeeignet ist [55.10], [55.11]. Es ist damit zum Kunstgegenstand geworden. Der Einsatz solcher Technik auch von Klein beschrieben [62.23]. Erstmals benutzte wohl Jean Etienne Marit bei seiner Komposition „Tanaische Bilder“ (Uraufführung 12.11.61) das Magnetbandgerät sogar als Orchesterinstrument. Eine vorproduzierte zweikanalige Aufnahme mit Geräuschen und Klängen „ersetzt“ hier das übliche Orchester, während die Instrumentalmusiker (in drei Gruppen geteilt) und ein Sprecher als Solisten wirken. Solche Methoden sind heute wenig gebräuchlich. Wie groß allerdings ihre künstlerische Bedeutung wird, bleibt abzuwarten. Natürlich wird heute das Magnetband in der Bühnenpraxis für Oper und Schauspiel sehr vielfältig eingesetzt.

5.5.12. juristische Folgen ermöglicht heute

Die dargestellte Entwicklung der Magnetspeichertechnik ermöglicht heute jedem, zu jeder Zeit und an jedem Ort Bandaufzeichnungen durchzuführen. In der sozialistischen Gesellschaft, wurde dieses Problem relativ konfliktlos gelöst. Der erste Band dieser Reihe zeigt dazu die gesetzlichen Regelungen. Ältere Arbeiten sind [61.15], [62.24].

Während lange Zeit die Sicherheit (Urkundencharakter usw., vgl. Bd. 1 dieser Reihe) stark umstritten war, ist sie durch die Arbeiten von Koristka zumindest für die DDR auch jetzt gesetzlich geregelt [66.12]. Die technische Sicherheit wurde schon früher unter extremen Bedingungen nachgewiesen [56.13].

Ganz anders verlief der Weg natürlich im kapitalistischen Wirtschaftssystem. Symptomatisch ist z.B., dass sich Telefunken die Bezeichnung "Magnetophon" als Warenzeichen hat schützen [58.61] und verlängern lassen [62.25]. Noch bedenklicher ist jedoch der Aufwand, den die Schallplattenindustrie und die "Gema" als Interessenvertretungen der Künstler betrieben. Wurden 1950 nur alle Hersteller und Händler von Magnetongegeräten und Zubehör durch ein Rundschreiben vor den Folgen gewarnt, so erschien 1952 eigens zu diesem Zweck ein Buch [52.5], und wenig später folgten die ersten Grundsatzurteile [55.12], [61.16]. Dieser Streit nimmt dann immer stärkere Formen an [62.26], [62.27]. 1965 entsteht endlich ein Gesetz [65.42], zu dem dann sogar die westdeutsche gesetzgebende Körperschaft Stellung, nehmen muss [65.43]. Obwohl dieses Gesetz ab 1.1.66 gelten soll, gibt es auch nach 1966 noch keine Einigung, wie hoch der Prozentsatz je Gerät sein soll [66.27]. Unklar ist in Westdeutschland offensichtlich noch, wie die Magnetbandaufzeichnung vor Gericht gehandhabt werden soll [55.13], [62.28], [64.19].

5.6. Anwendung in der Messtechnik

Den Magnetbandgeräten zur Schallaufzeichnung stehen die meisten Geräte der Messtechnik (Instrumentation) besonders nahe. Hierfür bieten sie den Vorteil, dass Messung und Auswertung zeitlich und örtlich getrennt erfolgen können. Auch die Änderung der Geschwindigkeit und damit die Transponierung der Frequenzen in einen günstigen Bereich sind neben vielen anderen Spezialeigenschaften von großer Bedeutung.

Erstmals benutzte wohl Weber die Transponierung, als er 1950 Infrarotschwingungen langsam aufzeichnete und anschließend so schnell wiedergab, dass ihre Analyse mit den üblichen akustischen Geräten erfolgen konnte [50.4].

Die erste eigentliche messtechnische Anwendung führte Etzold durch [53.7]. Er verbesserte 1952 ein Bandgerät so weit, dass aufgezeichnete Schalldrücke später vom Band aus messtechnisch ausgewertet werden konnten.

Bald gelingt es auch, durch Anwendung spezieller Modulationen tiefe Frequenzen zu speichern, wie sie z. B. bei seismischen oder elektrophysiologischen Untersuchungen auftreten [52.6], [55.14].

Den von Weber eingeschlagenen Weg, der vor allem bei der Schwingungsmesstechnik Bedeutung hat, benutzt Telefunken 1957 für die Konstruktion eines Spezialgerätes [57.10]. Als neues Problem trat dabei jedoch die phasenreine Entzerrung des Frequenzganges auf [59.15].

Durch die Entwicklung besserer Köpfe und Bänder war es bald kein Problem, die Frequenzgrenze wesentlich zu erhöhen [58.7]. Es konnten bald sogar Radarbilder gespeichert werden [57.11].

Die Entwicklung der Messwertspeicherung ging besonders schnell voran, und sie stellte bald einen beachtlichen Teil der Instrumentation (Geräteausrüstung) dar. Ihr Stand wurde aber aus militärischen Gründen geheim gehalten. Eine Lockerung trat erst nach 1959 durch den sowjetischen Vorsprung in der Raumfahrt auf. So erschien 1961 ein erstes zusammenfassendes Werk [61.17]. Inzwischen hatten sich verschiedene Standards herausgebildet. Ein Messwertspeicher hat meist mehrere Geschwindigkeiten und Modulationsverfahren [59.17], [61.18], [63.19], [63.25], [64.33].

Die Bedeutung der Messwertspeicherung ist für Flugkörper und die Weltraumfahrt von Anbeginn beträchtlich [61.19], [61.20], [63.18]. Bereits 1964 konnte offiziell bestätigt werden, dass hierdurch schneller Unfälle aufzuklären sind [64.21]. Solche Geräte werden unter extremen Bedingungen erprobt, z.B. freien Fall aus 167 km Höhe [64.21]. Andere Geräte halten statische Belastungen bis zu einer Tonne und dynamische von 100 g, in einem Fall sogar 1000 g, sowie Temperaturen bis 800 °C kurzfristig aus. Die letzten Daten setzen wieder Draht als Informationsträger voraus [64.22], [65.44]. Wieder andere Typen zeichnen bis zu 33 Spuren auf Magnetband von 1 Zoll Breite auf [66.28]. Ja, selbst besonders kernstrahlteste Geräte sind gebaut [63.17].

Aus der Fülle weiterer Anwendungen seien noch ausgewählt: Störungsschreiber für die Energieversorgung [64.25], [65.47], [67.17], Geräte für Korrelationselektronik [56.14], [57.12], Geräte für besonders langsame Geschwindigkeiten (z.B. 0,2 mm/s) und große Speicherzeiten (z.B. 1 Jahr unter Wasser, Schnee und Eis) [64.26], [66.29]. Ebenso gehört hierzu die automatische Kontrolle über Kernexplosionen [62.30]. In Übertragung der Videotechnik entstehen auch sehr breitbandige Messgeräte [64.20]. In einem Fall werden sie sogar zur Funküberwachung empfohlen [62.29]. Zur besseren Nutzung der Leitung können Bildtelegramme gespeichert und mit höherer Geschwindigkeit übertragen werden [57.13]. In ähnlicher Weise können für die drahtlose Weiterverbindung sogar kurzlebige Meteoriten-Spuren als Scattering-Verbindung genutzt werden [60.18]. Erwähnt sei hier auch ein Kraftfahrzeugtest, bei dem pneumatische Kolben nach Magnetbandprogramm getrennt auf die Räder einwirken [64.24].

Diese Fülle von Spezialgeräten zeigt deutlich, wie viel sich die Speichertechnik für Sonderzwecke vom ursprünglichen Magnettonbandgerät entfernt hat.

Einen Überblick zu Miniaturgeräten von Raumsonden bis zur Erdölbohrung gibt [64.23]. Etwas später erscheint auch ein kurzer Überblick über Geräte, die in Flugkörpern und Fahrzeugen zu verwenden sind [65.45]. Einen recht anschaulichen Überblick zum Gerätebestand gibt [65.46], [65.48]. 31 Geräte von 11 Firmen fasst in einer Tabelle [65.60] zusammen. Den Zusammenhang mit der Instrumentierkette zeigt Barognon [65.62].

Abschließend sei etwas zum Umsatz gesagt. Im gewissen Umfang geht er schon aus dem Anteil der Instrumentationsbänder (Abschn. 5.1) hervor. Bereits für das Geschäftsjahr Mai 1961 bis April 1962 weist die größte amerikanische Firma Ampex einen Umsatz von 84 und einen Gewinn von 3,2 Millionen Dollar aus [62.31].

5.7. Anwendung in der Produktion

Ein der Instrumentation sehr verwandtes Gebiet ist die Werkzeugmaschinensteuerung. Sie schien zunächst mit dem Magnetbandgerät große Bedeutung zu erlangen, da einmal durchgeführte Arbeiten danach ständig reproduziert wiederholt werden können [56.15]. Zu diesem Zweck war natürlich eine einwandfreie Positionseinstellung und -kontrolle der Maschinen zu schaffen. In einem Falle wurden hierzu von Schnecken und Zahnstangen spezielle Spuren auf dem Magnetband aufgezeichnet [54.10], [61.23]. Ein anderer Weg benutzte modulierte Aufzeichnungen, die Servomotoren steuerten [54.11]. Hiermit können auch mehrere Maschinen gleichzeitig parallel betrieben werden. Diese Verfahren sind jedoch keineswegs auf die Metallbearbeitung beschränkt, sondern gewinnen in allen Gebieten an Bedeutung, wie z.B. in der Chemie [55.15]. Entsprechend den rauen Bedingungen wurden spezielle Bänder mit einer Schutzschicht entwickelt [61.21]. Die Entwicklung der Rechentechnik wies dann aber seit etwa 1960 einen anderen Weg, der nicht in der Wiederholung von Vorgängen, sondern in der Steuerung nach Konstruktionsdaten besteht [58.8], [59.17], [62.32], [62.33], [66.31]. Der Übergang zur Anwendung in der Automation war dann nur noch ein kleiner Schritt. Als Beispiel seien hier die Zielsteuerung [61.12], [61.24], [62.33], [63.20] und der Postscheckdienst [63.24] angegeben.

5.8. Bildspeicherung

5.8.1. Vorgeschichte

Angeregt durch die betriebssichere Programmgestaltung beim Hörrundfunk, bestand auch beim Fernsehen das Bedürfnis nach einem ebenso zuverlässigen Speicherverfahren. Der Film hat hierfür viele Nachteile. Aus mechanischen Gründen wird fast ausnahmslos nur jedes zweite Halbbild aufgezeichnet. Außerdem muss infolge der häufig ungünstigen Gradation des Filmmaterials stets ein beträchtlicher Qualitätsverlust in Kauf genommen werden. Schließlich kommt noch die zeitraubende chemische Entwicklung dazu, nach der erst die Brauchbarkeit der Aufzeichnungen festgestellt werden kann [66.32]. Nur auf Grund dieser Tatsachen ist der gewaltige Aufwand zu verstehen, mit dem die ersten Versuche zur Speicherung von Fernsehbildern auf Magnetband betrieben wurden [60.19]. Ein erster Überblick für technische Möglichkeiten erschien 1952 [52.71], [52.8]. Danach sollten u.a. mittels Elektronenstrahlschaltröhren oder entsprechenden Vidikons auf 10 und mehr Spuren die Signale gespeichert werden. Auch längs oder quer zum Bandlauf rotierende Köpfe wurden erwähnt. 1954 führte die RCA die erste Anlage zur Fernsehaufzeichnung vor, bei der ein 12,7 mm breites Magnetband, auf dem fünf Spuren aufgezeichnet wurden, mit etwa 10 m/s fortbewegt wurde [54.121]. Doch trotz weiterer Verbesserung konnte sich dieses Verfahren nicht behaupten. Noch 1956 wurden in Frankreich mit 100 rotierenden Köpfen Versuche in anderer Richtung unternommen [56.16]. Auch von England wurden einige Versuche bekannt. Diese Geräte hat sogar die CBS gekauft [56.17].

5.8.2. Ampextechnik

An einem einfachen Verfahren hatte bereits 1951 Ginsburg in aller Stille mit Versuchen begonnen. 1952 waren gerade Bilder erkennbar, 1955 erfolgte bei Ampex die Überführung in die Produktion [62.12] und 1956 fand der erste Probeinsatz statt [57.3]. Das erste Gerät erhielt 1958 Hollywood, und Anfang 1962 konnte bereits das 1000. Gerät ausgeliefert werden [62.121]. Davon waren allein 861 in den USA im Juni 1962 in Betrieb. Als wesentlich wird die erhöhte Betriebssicherheit und Transistorisierung eingeschätzt [62.34].

Obwohl noch 1958 die BBC Geräte mit vier Spuren und hoher Transportgeschwindigkeit untersuchte [58.9], blieb der von Ampex eingeschlagene Weg mit vier senkrecht zur Laufrichtung des Magnetbandes rotierenden Köpfen die bisher beste Lösung [57.14], [59.18]. 1963 treten so die ersten Patentstreitigkeiten auf [63.21].

1965 erfolgen bereits 83 % der Fernsehsendezeit vom Band [65.49], und 1966 wird stolz das 10jährige Bestehen der magnetischen Bildaufzeichnung gefeiert [66.33], [66.34]. Dabei hatten die Geräte auch die Einführung des Farbfernsehens mitgemacht und die Entwicklung Riesenprofite abgeworfen.

Probleme entstanden der Ampex-Technik durch die komplizierte Spurlage zunächst bei der Schnitttechnik [59.12], [61.26], [61.27], [62.36].

Das Drop-out-Problem ließ sich bei der Videoaufzeichnung, relativ elegant lösen [65.36]. Hilfsmittel entstanden für die Tonaufzeichnung [67.19] für eine Zeitlupen- und Zeitraffertechnik, die auch eventuell Einzelbilddarstellung ermöglicht [67.20], [69.5]. In diesem Zusammenhang sei noch der Standbildfolienspeicher [62.9], das Speicherrad [60.20] und eine Videomagnetmaschine, bei der sich 18 Kassetten abwechseln [69.11] erwähnt (vgl. auch S. 1-34).

5.8.3. Heimbildtechnik

Durch die Entwicklung der Ampex-Technik angeregt, entstanden bald vereinfachte Bildgeräte mit einem oder zwei rotierenden Köpfen [60.8], [61.25]. Sie führten zu Miniaturgeräten [62.35]. 1963 kündigt Ampex das erste Koffergerät an [63.22], und 1964 folgt dann das große Wettrennen um Heimbildgeräte [64.28]. Dabei werden noch einmal die Techniken ohne rotierende Köpfe erfolglos erprobt [64.29], [66.35]. Auch ein Techniker im Handel versucht eine Entwicklung [64.30]. Im Endeffekt bleiben aber die Geräte mit einem bzw. zwei rotierenden Köpfen Sieger [65.33], [65.51], [65.52], [65.53]. Auch hier gelingt der Übergang zum Farbfernsehen [67.18]. 1969 scheint ein erheblicher Preisrückgang einzusetzen [69.91] und demnächst werden Kassettengeräte erwartet [69.4], [69.7]. Einen Überblick gibt [69.6].

5.8.4. Sonstiger Einsatz der Bildspeicherung

Mit der Vereinfachung der Bildtechnik erweiterte sich auch der Einsatz der Fernstechnik. An der Universität ist sie heute schon nicht mehr besonders außergewöhnlich. Demonstrationen der verschiedensten Art sind so gut wiederholbar [64.31], [69.10].

Für das industrielle Fernsehen lag bereits 1961 ein Gerät vor [61.25]. Auch für die Röntgendiagnostik werden Speichergeräte angewendet [63.23], [65.65]. Der Einsatz im Sport muss hier leider ohne Beleg genannt werden.

Einen interessanten Vergleich zwischen Fernseh-speicherung und Schmalfilm zeigt [65.54].

Mit einem Magnetband von 100 m Länge wurden schließlich auch die Bilder vom Mars übertragen [65.56]. Diese Speicherung langsamer Bildvorgänge wird heute schon häufiger angewendet [65.57]. Dabei sei zugleich auf die Bildtelegraphie verwiesen [57.13]. Ähnlich wie bei der Schallplatte scheint sich auch eine Bildplatte herausbilden zu wollen [66.37].

Erwähnt sei noch die Anwendung der Bildspeicherung für die Dokumentation [64.8].

5.9. Rechentechnik

1947 wurde der erste Elektronenrechner fertiggestellt und 1951 die erste kommerziell elektronische Rechanlage gebaut [65.59]. Wenig später erschienen die ersten IBM-Rechner. Sie enthielten bereits Magnetband- und Magnettrommel-Einheiten. Wegen der großen Bedeutung einer kurzen Zugriffszeit musste sich das Magnetband schnell starten und stoppen lassen. Bereits damals waren zwischen den Bandwickeln und dem Antrieb Pufferspeicher eingefügt. So ergaben sich 10 m/s. Außerdem entstand gleich die digitale Aufzeichnung in NRZ- bzw. RZ-Verfahren (vgl. Bd. IV dieser Reihe) [55.4]. Die folgende Entwicklung senkte dann die Start-Stop-Zeiten von 10 auf etwa 1 ms und erhöhte die Speicherdichte von 4 auf 66 Bit/mm. Zur Grenze der Speicherdichte ist einiges in [66.38] [67.21], [67.22] gesagt. Einen Überblick zu 43 Geräten 9 verschiedener Firmen des Jahres 1962 gibt [62.37] und für 54 Geräte von 15 Firmen des Jahres 1965 [65.61]. In der letzten Zeit beginnt auch die Kassettentechnik Bedeutung zu gewinnen. Gab es zunächst nur Kassetten für 1/4-Zoll-Band, so erschien kürzlich ein Kleinstspeicher mit der Compact-Cassette in 9-Spurbetrieb [69.13]. Ergänzt sei hier noch einiges zur Magnetbandhaltbarkeit [68.9], -Prüfung [61.28], -Archivierung [63.27], -Reinigung [65.63], [66.4] und -Sortierung [63.26]. Bei der digitalen Speicherung entsteht durch die Start- und Stopplücke stets unnötiger Bandverbrauch. Dies ist ein Nachteil für die Datenerfassung. So entstanden um 1964 die Incrementalrecorder, die bei jedem Bit das Band weiterschalten und sonst sozusagen außer Betrieb sind [64.5].

Einen besonderen Kompromiss stellt der 1961 erschienene Karussellspeicher dar. Hier soll erreicht werden, dass Kapazität und Zugriffszeit in ein günstiges Verhältnis kommen [61.29], [62.10]. Eine andere interessante Variante ist der Speicher für Fernschreibzeichen [65.22]. Als gewisse Sonderrichtung kann schließlich der Magnetkartenspeicher [62.38], [63.28], [64.34] und die Magnetschrift [62.6j], [63.3], [63.4], [63.29], [64.2j], [65.12] aufgefasst werden.

Gleichzeitig mit dem ersten Magnetband erschien auch der erste Trommelspeicher. Mit 100 U/s bei 40 m Länge und 10 cm Durchmesser hatte er durchaus respektable Daten [55.4]. Über den Stand um 1960 geben die Arbeiten [59.19], [61.30] einen guten Überblick. Hier änderten sich neben der Speicherdichte vor allem der Kopfabstand, der schließlich pneumatisch gehalten wird [60.7]. Den neuen Entwicklungsstand zeigt [65.59], [68.10]. Interessant ist, dass erst 1966 das Magnettrommel-Patent erteilt wird [66.30].

Neben den Trommeln gab es auch von Beginn an Magnetplatten [65.59]. Sie nutzten besser das Volumen. Aus ihnen ging dann zur noch besseren Volumennutzung der Mehrplattenspeicher 1957 hervor [57.2]. Er entwickelt sich dann gewaltig weiter [61.31], [62.36]. Zum Stand der Technik um 1963 berichtet [63.30]. In demselben Jahr erscheint auch ein extrem großer IBM-Speicher [64.27]. 1963 liegt dann auch der erste Plattenwechselspeicher vor [63.28]. Seine Bedeutung hat in den letzten Jahren beträchtlich zugenommen [68.3], [69.3].

1967 wird in einem Übersichtsartikel von 3 Arten von elektromechanischen Speichern gesprochen: 1. Jene, die je eine Spur, einen Kopf besitzen (Trommel, Platte); 2. Systeme mit beweglichen Köpfen und festmontiertem Träger (Trommel, Platte); 3. Systeme mit auswechselbaren Trägern (Platten, Karten, Bänder) [67.23]. 1970 erscheint eine Einschätzung, der Verhältnisse und Trends bei Magnetband und Magnetstapeln [70.2].

5.10. Literatur

[87.1] Smith, O.: Some possible form of phonograph. Electrical World (1887) Sept. 116- 117.

[00.1] Ruhmer, E.: Der Telephonograph. Phys. Z. 1 (1900). S. 413 - 470, 554; 2 (1900), S. 28

[32.1] Schüller, E. und Meyer, E.: Magnetische Schallaufzeichnung auf Stahlbänder. Z. f. techn. Phys. 13 (1932), S. 593.

Entwicklung der Magnetspeichertechnik.doc; Völz, H.: Grundlagen der Magnetischen Signalspeicherung, Band 3. Akademie - Verlag, Berlin 1972, S. 85 bis 109 eingescannt und orthographische Fehler korrigiert, Bilder + Tabellen fehlen. 19.8.04; Seite 9 von 10

- [35.1] Schüller, E.: Magnetische Schallaufzeichnung. ETZ 56 (1935), S. 1219.
- [35.2] Hansen W. M.: Das Magnetophon ETZ 56 (1935), S. 1232.
- [37.1] Schüller, E.: Magnetophon. VDE-Fachberichte (1937), S. 175.
- [41.1] Braunnühl, H. J. v. und Weber, W.: Das verbesserte Magnettonverfahren. VDI-Z. (1941), S. 628.
- [48.1] Jungk, K.: Das Magnetofon erstmalig im Spielfilm. Foto-Kino-Technik 2 (1948) H. 5, S. 126.
- [48.2] N.N.: Magnetton auf Film. Foto-Kino-Technik 2 (1948) H. 9, S. 224.
- [48.3] Gunka, H. und Lippert, W.: Einrichtung zum Auffinden von Tonstellen auf dem Magnetophonband. Funk u. Ton 2 (1948), 8. 125.
- [48.4] - : Titelblatt. Funktechnik 3 (1948) H. 4.
- [49.1] Hasselbach, W.: Die absolute Messung der remanenten Wechselinduktion auf Magnettonbändern. Diplomarbeit Frankfurt/M. 1949.
- [49.2] Schiesser, H.: Einrichtungen zur zeitlichen Dehnung von Schallaufzeichnungen. Funk u. Ton 3 (1949) H. 5, S. 256.
- [49.3] "Dimaphon" ein wirtschaftliches Diktiergerät. Funktechnik 3 (1949) H. 22, S. 661.
- [49.4] Das Dimaphon. Das Elektron (1949) H. 11, S. 407.
- [49.5] Das Pausenzeichen des NWDR. Funktechnik 4 (1949) H. 2, S. 40.
- [49.6] Hölle, C.: Ferrophon Junior. Funktechnik 4 (1949) H. 10, S. 288.
- [50.1] Larson, A.: Telegrafonen og den Traadlose. Teknisk Forlag, Kobenhavn 1950.
- [50.2] Friend, A. W.: Magneto-optic transducers. RCA-Review 11 (1950) H. 4, S. 482.
- [50.3] Schmidbauer, O.: Vervielfältigung von Magnetophon-Aufzeichnungen. Fortschritte der Radiotechnik. Francksche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart 1950/51.
- [50.4] Weber, K. H. B.: Analyse eines Spektrums sehr tiefer Frequenzen mittels des Magnettonverfahrens. Funk u. Ton 4 (1950) H. 12, S. 619.
- [51.1] Duoton-Magnetbandgerät. Funktechnik 6 (1951) H. 13, S. 347.
- [51.2] Steinbuch, K., und Dölz, H.: Ein neues Magneton-Ortsansagegerät. FTZ 4 (1951), S. 121.
- [52.1] Krones, F.: Die magnetische Schallaufzeichnung. Verlag B. Erb, Wien IV 1952.
- [52.2] Trampert, G.: Kleinbandgeräte. Funktechnik 7 (1952) H. 7, S. 180.
- [52.3] N.N.: Grundig-Tonbandgerät "Reporter 500L". Funktechnik 7 (1952) H. 10, S.260.
- [52.4] N.N.: Messebericht der Leipziger Messe 1952. Funktechnik 6 (1952) H. 4, S. 112.
- [52.5] N.N.: Magnetongeräte und Urheberrecht. Verlag C. H. Beck, Berlin 1952.
- [52.6] Molyneusse, L.: Recording Low Frequency Phenomena on Magnetic Tape. Electron. Engng. 24 (1952), S. 130.
- [52.7] Lennartz, H. : Fernsehen und Magnettontechnik. Radio-Magazin 28 (1952), S.379.
- [52.8] Gernsbach, H.: Magnetic tape TV-Recording. Radio-Electronics 23 (1952) H. 14, S.29.
- [53.1] Begun, S. J.: Magnetic recording. Rinehard Books Inc. New York 1953.
- [53.2] N.N.: Magnetton-Klebeband. Funktechnik 8 (1953) H. 4, S. 108.
- [53.3] N.N.: Cinerama - eine filmische "Sensation" in technischen Grenzen. Film-Technik 7 (1953) H. 2, S. 36.
- [53.4] Shellet, A. u.a.: Electron beam head for magnetie tape playback. Electronics 26 (1953) H. 10, S. 186.

usw. weitere 13 Seiten.