

Magnetköpfe für Zeiss-Magnetbandspeicher



Vortrag gehalten am 15.11.2005 im Verein Technikgeschichte in Jena e. V

Autor: Klaus-Dietrich Wehrsdorfer
Fassung: Januar 2006

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	2
1. Geschichtliche Entwicklung	3
1.1. Einführung	3
1.2. Anforderungen an eine analoge oder digitale magnetische Signalaufzeichnung	3
1.3. Standards für die Datenaufzeichnung auf Magnetband	4
2. Magnetkopftechnologie	12
3. Anhang	17
3.1. Zusammenfassung	17
3.2. Literaturnachweis	17
3.3. Bildnachweis:	17
3.4. Abbildungsverzeichnis	18
4. Anlagen	19
4.1. Anlage 1 Magnetkopf AW 50	19
4.2. Anlage 2 Magnetkopf ZMK 3209 (AW 56)	20
4.3. Anlage 3 Magnetkopf ZMK 6309	21

Kurzfassung

Der Magnetkopf ist das Herzstück der Magnetbandspeichertechnik. Für die Magnetbandspeicher wurden insgesamt ca. 55.000 Stück Magnetköpfe im VEB Carl Zeiss Jena produziert.

Für den Speicher ZMB 30 fertigte und lieferte die Firma VEB Goldpfeil Hartmannsdorf den Magnetkopf vom Typ AW 50. Goldpfeil Hartmannsdorf entwickelte danach auch den ESER-kompatiblen Nachfolgetyp AW 56. Der VEB Carl Zeiss Jena übernahm diese Entwicklung, machte sie technologisch für eine Serienproduktion reif und baute dafür eine spezielle Fertigung im Werk Göschwitz auf.

Etwa 36.000 Magnetköpfe vom Typ AW 56 (ZMK 3209) wurden für die Magnetbandspeicher ZMB 51 (EC 5016), ZMB 61 und EC 5017.02 bis 1983 produziert. Der Speicher EC 5002.03 erforderte höhere Auflösungen. Dafür entwickelte man bei Zeiss Jena den Magnetkopf ZMK 6309, von dem bis 1989 ca. 19.000 Stück hergestellt worden sind.

Nachfolgend wird über die konstruktiven und technologischen Probleme berichtet, die zur Fertigung von Magnetköpfen zur digitalen magnetischen Signalaufzeichnung gelöst werden mussten.⁽¹⁾

1. Geschichtliche Entwicklung

1.1. Einführung

Die magnetische Speichertechnik geht auf die Erfindung des Dänen Valdemar Poulsen im Jahr 1898 zurück. Er bewegte einen Stahldraht an einem magnetischen Wandler, einem Magnetkopf, vorbei. Damit magnetisierte er diesen Draht in Längsrichtung und las die aufgebrachte Magnetisierung wieder ab.

Mit der Weiterentwicklung dieser Technik wurde der Draht nach einem Vorschlag von Fritz Pfelemer 1928 durch eine unmagnetische Unterlage, die mit magnetisierbarem Material beschichtet war, ersetzt. Im Zuge dieser Arbeiten beschichtete man zunächst Papierbahnen mit Eisenoxid Fe_2O_3 . Mit der Weiterführung der Arbeiten durch die AEG für die gerätetechnische und die BASF für Datenträgerseite konnten auf der Funkausstellung 1934 in Berlin die ersten Speichergeräte auf magnetischer Basis vorgestellt werden.

Die Entwicklung in den folgenden Jahren erfolgte ausschließlich in Richtung der Speicherung akustischer Signale. Sie fand 1940 mit der Einführung der Hochfrequenzvormagnetisierung und -löschung zunächst ihren Abschluss. Nach 1945 begann man in den USA sich mit dieser Technik zu befassen.

Zunächst ging die Entwicklung dahin, den bisher kommerziellen Einsatz der Magnetbandtechnik auf den Amateurbereich auszuweiten. Das bedeutete, dass zum einen die Geräteseite in Richtung kleinerer und preiswerterer Speicher und zu anderen die Magnetbänder in Richtung höher koerzitiver Magnetschichten und dünnerer sowie festerer Trägerfolien weiterentwickelt wurden.

In den 50-iger Jahren des vergangenen Jahrhunderts wurden dann auf dem Gebiet der Magnetspeichertechnik weitere Anwendungsgebiete wie die Videospeicherung und die Datenspeicherung erschlossen.

1.2. Anforderungen an eine analoge oder digitale magnetische Signalaufzeichnung

Der Magnetkopf ist ganz allgemein ein Wandler von elektrischen Signalen in magnetische Flusswechsel auf einem Magnetband bzw. von Flusswechseln auf einem Magnetband zu elektrischen Signalen. Zwischen einer analogen Signalaufzeichnung in der Audiotechnik und einer digitalen Signalaufzeichnung in der Datentechnik bestehen signifikante Unterschiede:

Digitale Datenspeicherung	Audiospeicherung
Impulsaufzeichnung	Aufzeichnung analoger Signale
Magnetisierung des Bandes bis in die Sättigung	Magnetisierung im linearen Bereich
Aufzeichnung ohne Vormagnetisierung	Aufzeichnung mit Vormagnetisierung
Gleichstromlöschung (Magnetisierung bis zur Sättigung in definierter Richtung) über die gesamte Breite des Bandes	Spurweise Entmagnetisierung des Bandes durch HF-Löschung

Daraus leiten sich grundlegend verschiedene Anforderungen an die konstruktiv-technologische Gestaltung der Magnetköpfe ab. Während das Bestreben bei Magnetköpfen für die Audiotechnik dahingeht, eine möglichst verzerrungsarme Wandlung sowohl linear als auch in nichtlinear zu erreichen, ist es das Ziel, bei Köpfen für die Datenspeicherung möglichst ein optimales Impulsverhalten zu erreichen. Das bedeutet, dass die Antwort auf die rechteckförmigen Aufzeichnungsimpulse auf der Wiedergabeseite möglichst schmale und steile Nadelimpulse sein müssen, um genau lokalisierbare Informationssignale bei einer hohen Speicherdichte zu erhalten.

Ein weiterer Unterschied der beiden Anwendungsgebiete besteht in unterschiedlichen mechanischen Anforderungen an die Magnetköpfe. Bei Audioanwendungen beschränkt sich die Anzahl der Systeme im Allgemeinen auf zwei, je eines für den rechten und den linken Kanal, in dem die Audiosignale auf einem 6,25mm breitem Band (3,8mm bei Kassettentechnik) in Viertelspurtechnik aufgezeichnet und wiedergegeben werden. Man kann also immer nur aufzeichnen oder wiedergeben. Damit ist es im normalen Anwendungsfall nicht möglich und auch nicht erforderlich, eine sog. Hinterbandkontrolle, d.h. eine Kontrollwiedergabe der aufgezeichneten Signale während der Aufzeichnung durchzuführen. Spezialfälle aus der Studioteknik sollen hier nicht betrachtet werden.

Um aufgezeichnete Magnetbänder auf verschiedenen Geräten einsetzen zu können, wurden Standards vereinbart, um deren Kompatibilität sicherzustellen. Diese schreiben u.a. die Abmessungen der verwendeten Magnetbänder und die Anordnung und bestimmte Eigenschaften der Signale auf diesen Bändern vor. In der Audiotechnik sind das z.B. bestimmte Entzerrungskurven oder Pegel, die die Wiedergabeeigenschaften beschreiben. In der Datentechnik betrifft das u.a. die Anordnung der Signale auf dem Band, Magnetisierungsrichtung usw.

1.3. Standards für die Datenaufzeichnung auf Magnetband

Die Standards für die Datenaufzeichnung sollen den Datenaustausch zwischen verschiedenen Magnetbandspeichergeräten und Datenzentren gewährleisten.⁽²⁾

Dazu wurden folgende Aufzeichnungsverfahren festgelegt:

Aufzeichnungsverfahren	Magnetisierung	Digitale Codierung	Charakteristisches Merkmal des Aufzeichnungsverfahrens
NRZI (non return to zero-invers) Wechseltaktschrift	+	0 1 0 1 0 0 1 1 0	Nur das Binärzeichen "1" wird durch einen Magnetflußwechsel dargestellt, in der Regel zwischen den Sättigungszuständen
PE (phase encoding) Richtungstaktschrift	+		"0" wird gebildet aus einer positiven Halbwelle, der eine negative folgt. Bei "1" ist es Umgekehrt. Bei aufeinanderfolgenden Binärzeichen zusätzlicher Flußwechsel an der Grenze des Taktes

Tabelle 1: NRZI / PE -Aufzeichnungsverfahren

Magnetköpfe für Datenspeicherung müssen das Magnetband (12,7mm oder ½" breit) auf 9 Spuren beschreiben und lesen können. 9 Spuren sind notwendig, da auf dem Band senkrecht zur Bandlaufrichtung die 8 zu einem Byte gehörenden Bits und ein zugehöriges Prüfbit, das der Fehlererkennung und -korrektur dient, zu gleicher Zeit aufgezeichnet werden müssen. Daraus resultiert eine für Datenköpfe sehr harte Forderung hinsichtlich der Anordnung der einzelnen Magnetsysteme. Diese müssen in

Bandaufrichtung innerhalb eines Streifens, der durch zwei parallele Linien senkrecht zur Bandbezugskante im Abstand von 4 µm begrenzt wird, angeordnet sein. Das gilt jeweils für die Schreib- und die Lesesysteme.

Eine nicht im Bereich dieser Toleranz liegende Aufzeichnung oder Wiedergabe digitaler Signale führt zu sog. Zeitverschiebungsfehlern (skew).

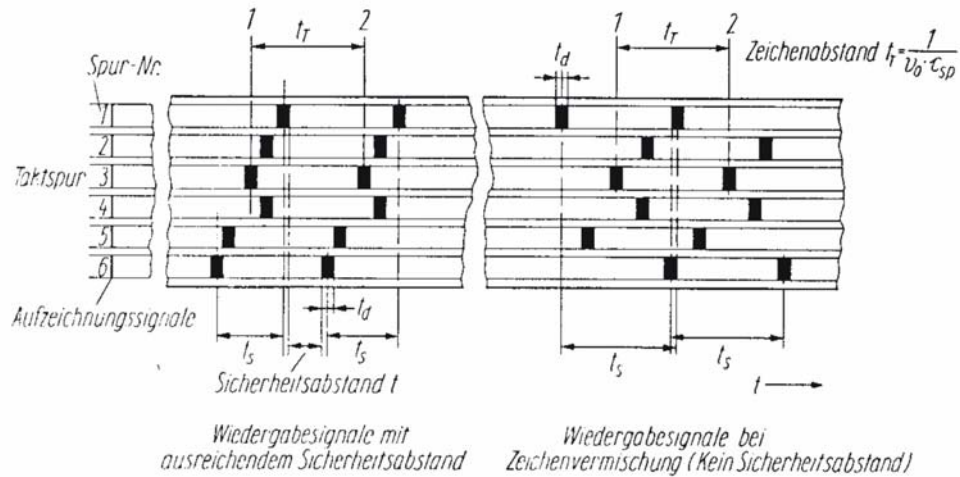


Abbildung 1 : Ursachen der Zeitverschiebungsfehler

Im Gegensatz zur Audioaufzeichnung ist es bei der Datenaufzeichnung unabdingbar erforderlich, die Richtigkeit der zu speichernden Daten noch im Schreibdurchlauf zu kontrollieren, um eventuell beim Schreiben aufgetretene Fehler nach einem Rücksetzvorgang sofort berichtigen zu können. Das bedeutet, dass unmittelbar hinter den Schreibsystemen die Lesesysteme angeordnet sein müssen.

Die Aufzeichnung der Daten erfolgt blockweise, d.h. es sind immer bestimmte Dateneinheiten zu Aufzeichnungsblöcken auf dem Band zusammengefasst, die durch bestimmte Vereinbarungen (Längs- und Querkontrolle) auf Fehler untersucht und gegebenenfalls korrigiert werden. Die Lücken zwischen diesen Informationsblöcken sollen im Sinne einer optimalen Bandausnutzung möglichst klein sein. Die Länge dieser Blocklücke ist standardmäßig festgelegt und darf zwischen 12,7 mm und 15 mm betragen.

Um den Standard, der den Austausch der Magnetbänder und der darauf aufgezeichneten Daten zwischen verschiedenen Anwendern garantieren soll, zu erfüllen, gibt es für den Abstand der Aufzeichnungs- und Wiedergabesysteme eine Obergrenze. Der Wert ist $\leq 3,81$ mm oder $\leq 0,15$ ". Bei diesem geringen Abstand ist die Gefahr des Übersprechens zwischen den Schreib- und Lesesystemen sehr groß.

Von wesentlicher Bedeutung für die Magnetkopfgestaltung sind die mechanischen und elektrischen Forderungen, die aus den einschlägigen ISO-Standards abgeleitet werden:

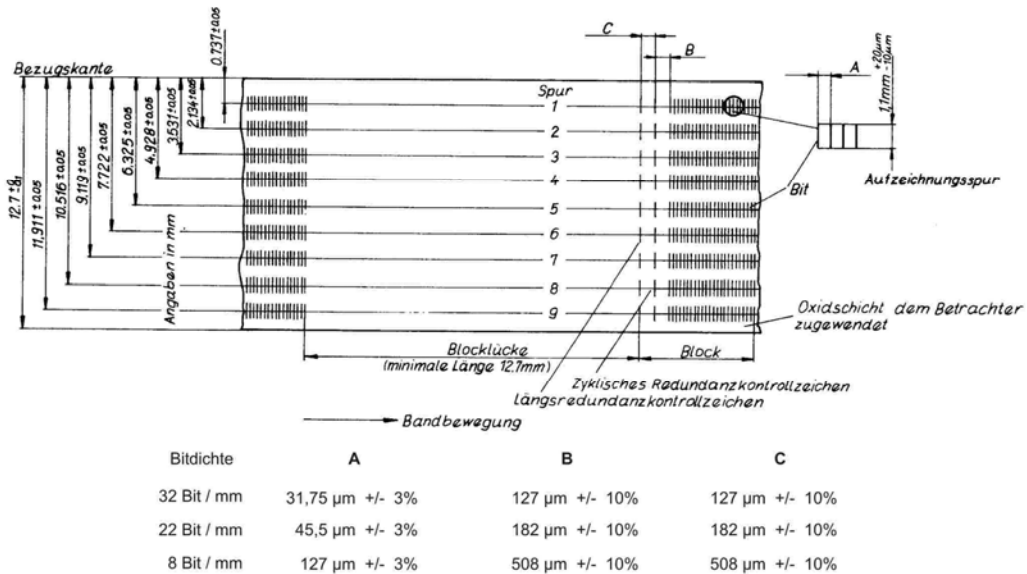


Abbildung 2: Standard digitale Datenspeicherung auf Magnetband

Mechanische Forderungen:

- Spurlage: Abstand Bezugskante Band zu jeder Spurmittle
- $I_f = [1,3971(n - 1) + 0,737 \pm 0,051]$ mm; n ... Spurnummer
- Spurbreite: $1,1 \pm 0,01$ mm
- Rautiefe Kopfspiegel $\leq 0,5$ µm
- Mechanischer Versatz der Kopfspalte ≤ 4 µm
- Spaltweite Aufzeichng.seite ≤ 12 µm (AW56/ZMK 3209) / ≤ 6 µm (ZMK 6309)
- Spaltweite Wiedergabeseite ≤ 6 µm (AW 56 / ZMK3209) / ≤ 2 µm (ZMK 6309)

Elektrische Forderungen:

- Aufzeichnungsstrom: $I_{aufz} \leq 80$ mA im Dauerbetrieb
- Wiedergabespannung: 126 Flusswechsel (PE) $U_{w\ddot{o}} \approx 8$ mV
- Wiedergabespannung 32 Flusswechsel (NRZI) $U_{w\ddot{o}} \approx 20$ mV
- Nebenspurdämpfung (Übersprechen von 2 Nachbarspuren auf die jeweils in der Mitte liegende 3. Spur) > 30 dB
- Verbunddämpfung (Übersprechen aller Aufzeichnungssysteme gleichphasig auf das jeweils zu messende Wiedergabesystem) > 40 dB

Aufbau des Magnetkopfes ^{(2)(7)}

Die in den Magnetbandspeichern verwendeten Magnetköpfe sind Verbundmagnetköpfe, die in einem Gehäuse jeweils 9 Systeme für Aufzeichnung und Wiedergabe und die notwendigen Abschirmeinheiten enthalten.

Der wirksame Teil eines Systems, der Kernkreis, besteht aus zwei unterschiedlich großen Teilen. Sie sind zur Verringerung der Wirbelstromverluste lamelliert aufgebaut. Das größere der beiden Teile trägt die Wicklung.

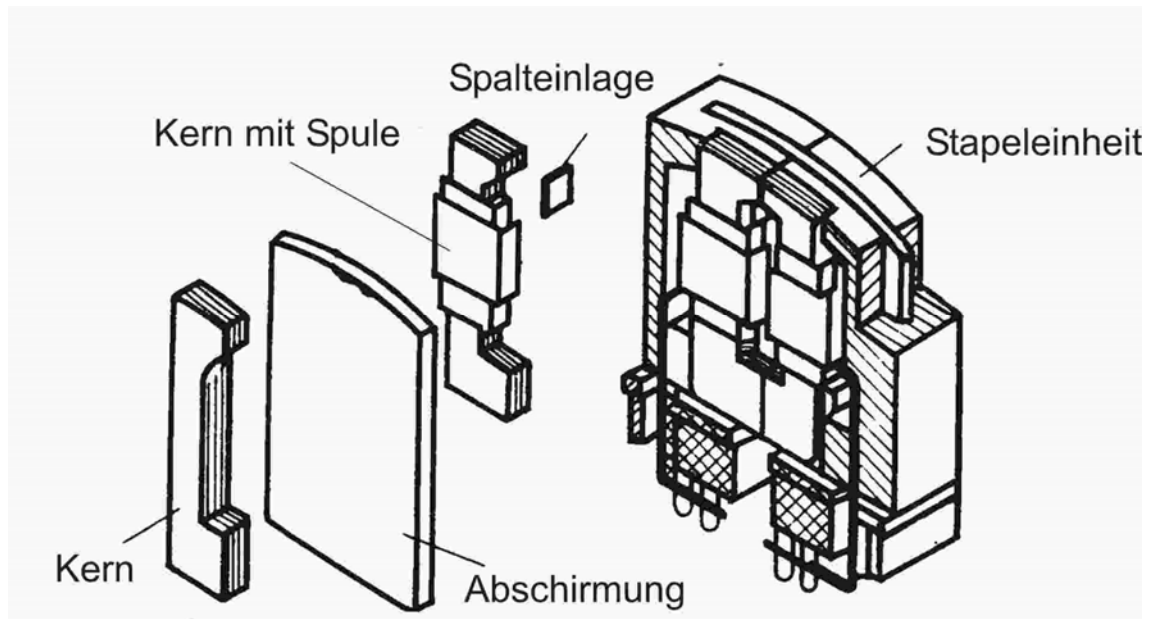


Abbildung 3: Schematischer Aufbau eines Systems

Die zwischen den einzelnen Systemen befindlichen Abschirmeinheiten bestehen aus magnetisch und elektrisch wirksamen Komponenten. Sie sind wie die Kernpakete mit einer Genauigkeit von $\leq 10 \mu\text{m}$ der Dicke bearbeitet und garantieren damit beim Aufbau die Einhaltung der geforderten Maße.

Der Magnetkopf besteht aus drei Hauptbaugruppen - rechte und linke Halbschale und dem Mittelstück. Die beiden Halbschalen enthalten neben den Spurabschirmungen die Teile des Kernkreises, die die Wicklung tragen. Das Mittelstück besteht aus den beiden sog. U-Stücken, die die kleinen Kernpakete und die zugehörigen Spurabschirmungen tragen, und der Mittelabschirmung. Letztere dient der Verringerung des Übersprechens von der Aufzeichnungs- zur Wiedergabeseite.

Der Kernkreis ist als unsymmetrischer magnetischer Kreis ausgeführt. Das große C-förmige Kernpaket trägt die Wicklung, das kleine I-förmige Kernpaket schließt den Kreis. Dabei entstehen nach der Montage zwei Unterbrechungen des Magnetkreises, einmal auf der vorderen dem Magnetband zugewandten Seite und zum anderen auf der Rückseite.

Der vordere Spalt ist der Arbeitsspalt, der durch die Beilage einer Folie definiert, im μm -Bereich, gestaltet wird. Der hintere Spalt ist montagebedingt, er soll bei Datenspeicherköpfen minimal sein. Bei Köpfen zur Analogspeicherung wird ebenfalls definiert ausgebildet und dient durch Scherung des Magnetkreises zur Linearisierung des magnetischen Widerstandes.

Als Kernmaterial wird ein Material eingesetzt, an das folgende Forderungen gestellt werden

- es muss abriebfest sein, um eine hohe Standfestigkeit des Kopfes zu gewährleisten
- es muss eine hohe Anfangspermeabilität (für Wiedergabeköpfe) haben
- es muss eine hohe Sättigungsmagnetisierung (für Aufzeichnungsköpfe) haben
- es muss eine kleine Leitfähigkeit ρ haben, und damit geringe Wirbelstromverluste aufweisen
- es soll weitgehend unempfindlich gegenüber mechanischer Beanspruchung sein

- es soll sich gut verarbeiten lassen
- aus Sicht der Devisenlage der DDR musste es devisenfrei beschaffbar sein.

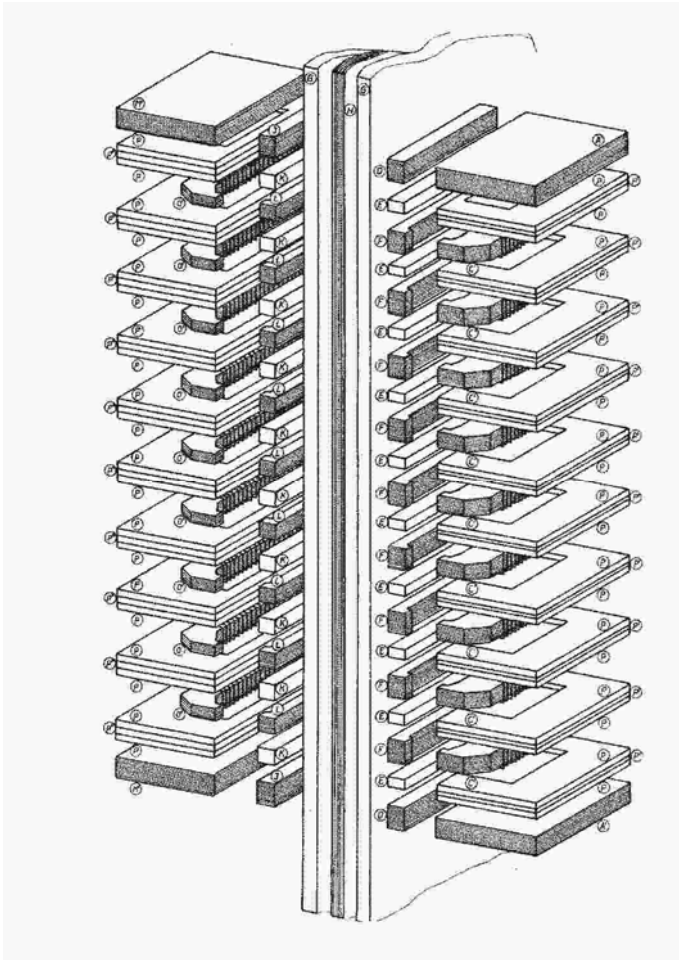


Abbildung 4: Aufbau eines 9-Spur Magnetkopfes

Diese Forderungen widersprechen zum Teil einander, die Materialwahl konnte deshalb nur ein Kompromiss sein. Für die Magnetköpfe für das NRZI - Aufzeichnungsverfahren wurde aus den o.g. Gründen MU-Metall (Muniperm) festgelegt. Dieses Material war aus DDR-Aufkommen problemlos beschaffbar.

Für die Magnetköpfe für das PE- Aufzeichnungsverfahren wurde wegen der höheren zu verarbeitenden Frequenzen, gemeinsam mit dem ZFW Dresden und dem VEB Halbzeugwerk Auerhammer Aue ein Material entwickelt, das eine höhere Abriebfestigkeit und eine kleinere Leitfähigkeit hatte. Es wurde unter dem Namen „Titan-Permalloy“ bezogen und hatte ähnliche Eigenschaften wie „Vacodur“ oder „Alfenol“ der Firmen Vakuumschmelze Hanau oder Krupp.

Zur Verringerung der Wirbelstromverluste und damit der Verbesserung der Übertragung mussten die Kernbleche und teilweise auch die Abschirmbleche lamelliert werden. Um die gewünschten Eigenschaften zu erreichen, wurden 50 µm dünne Bleche eingesetzt. Da die Kernpakete auf eine definierte Dicke geläppt werden mussten, wurden als Deckbleche 0,1mm dicke Bleche eingesetzt. Damit war garantiert, dass diese nicht „durchgeläppt“ wurden, was einmal hohe elektrische Verluste und zum anderen die Gefahr des Abblätterns der Reste bei der Weiterbearbeitung zur Folge gehabt hätte. Außerdem bestand die Gefahr des Entstehens von Gratkanten am späteren Kopfspiegel, was zu Bandbeschädigungen geführt hätte.

An die Ausführung der Wicklungen werden wegen des geringen zur Verfügung stehenden Wickelraumes sehr hohe Anforderungen gestellt. Es sind, um eine akzeptable Höhe der Wiedergabespannung zu erreichen und die Forderungen hinsichtlich der Impedanz des Kopfes zu erfüllen, ca. 200 Windungen auf der Wiedergabeseite erforderlich. Auf der Aufzeichnungsseite sind ca. 50 Windungen notwendig, um den Aufzeichnungsstrom in Grenzen zu halten und ebenfalls die erforderliche Impedanz zu erreichen.

Eine weitere Schranke ist beim Aufzeichnungskopf durch die Stromdichte gegeben. Der fließende Aufzeichnungsstrom darf den verwendeten Leiter nicht zu stark erwärmen. Bei der Ausführung von Wicklungen mit Mittelanzapfung erhöht sich die Anzahl der Windungen auf das Doppelte, außerdem erfordert der zusätzliche Anschluss weiteren Raum. Auf der Aufzeichnungsseite bringt eine Wicklung mit Mittelanzapfung Vorteile bei der Dimensionierung der Aufzeichnungsverstärker.

Die genannten Windungszahlen sind durch das zur Verfügung stehende Kernmaterial bedingt. Der mögliche Wickelraum hat einen Querschnitt von ca. 7 mm x 0,1 mm.

Die verwendeten Drahtdurchmesser betrugen für die Wiedergabe 0,04 mm und für die Aufzeichnung 0,07 mm. In diesem Wickelraum mussten außerdem die Isolierungen der Wicklungen gegen die metallische Umgebung untergebracht werden. Aus diesen Ausführungen ist zu ersehen, dass auch die Herstellung der Wicklungen äußerste Sorgfalt und Spezialausrüstungen erforderte.

Die Abschirmungen haben zwei Funktionen zu erfüllen:

mechanisch:

- Realisierung definierter Abstände zwischen den Kernpaketen der Kopfsysteme
- Realisierung des vorgeschriebenen Abstandes zwischen dem Aufzeichnungs- und dem Wiedergabekopf

elektrisch:

- Verringerung der Störspannungen verursacht durch
- Übersprechen der Wiedergabesysteme untereinander (Nebenspürstörspannung)
- Übersprechen von den Aufzeichnungssystemen zu den Wiedergabesystemen
- (Verbundstörspannung)

Sie sind lamelliert aus magnetisch und elektrisch wirksamen Komponenten aufgebaut. Die magnetisch wirksamen Komponenten bestehen, wie die Kernpakete, aus MU-Metall bzw. aus Ti-Permalloy. Die elektrisch wirksamen Komponenten müssen aus einem möglichst gut leitenden Material bestehen. Dabei gilt es jedoch zu beachten, dass die Abschirmungen zwischen den Kernpaketen im Betrieb mit dem Band in Kontakt sind und deshalb ähnliche Abriebeigenschaften wie das übrige Material aufweisen müssen. Falls hier, was optimal wäre, Kupfer eingesetzt werden würde, käme es im Betrieb zu unerwünschten Auswaschungen des Kopfspiegels. In der Folge wäre dadurch der Band-Kopf-Kontakt gestört, was wiederum Datenfehler verursacht. Deshalb wurde hier eine abriebfeste Berylliumbronzelegierung eingesetzt. Mit diesem Kompromiss wurden sowohl die mechanischen als auch die elektrischen Forderungen erfüllt.

Die Abschirmung zwischen dem Aufzeichnungs- und dem Wiedergabekopf, die Mittelabschirmung, ist ein Teil des Abschirmsystems zur Verringerung des Übersprechens von der Aufzeichnungs- zur Wiedergabeseite und hat im Betrieb keinen Kontakt zum Magnetband. Deshalb kann hier das optimale reine Kupfer eingesetzt werden. Zur Verbesserung der Klebeeigenschaften wurde hier sauerstofffreies Kupfer eingesetzt.

Bei der gewählten konstruktiven Lösung werden die drei Hauptbaugruppen des Magnetkopfes miteinander verklebt und verschraubt. Die entstandene Einheit ist auf der Vorderseite, dem Kopfspiegel, feingeschliffen, um die geforderte Oberflächenqualität zu erreichen.

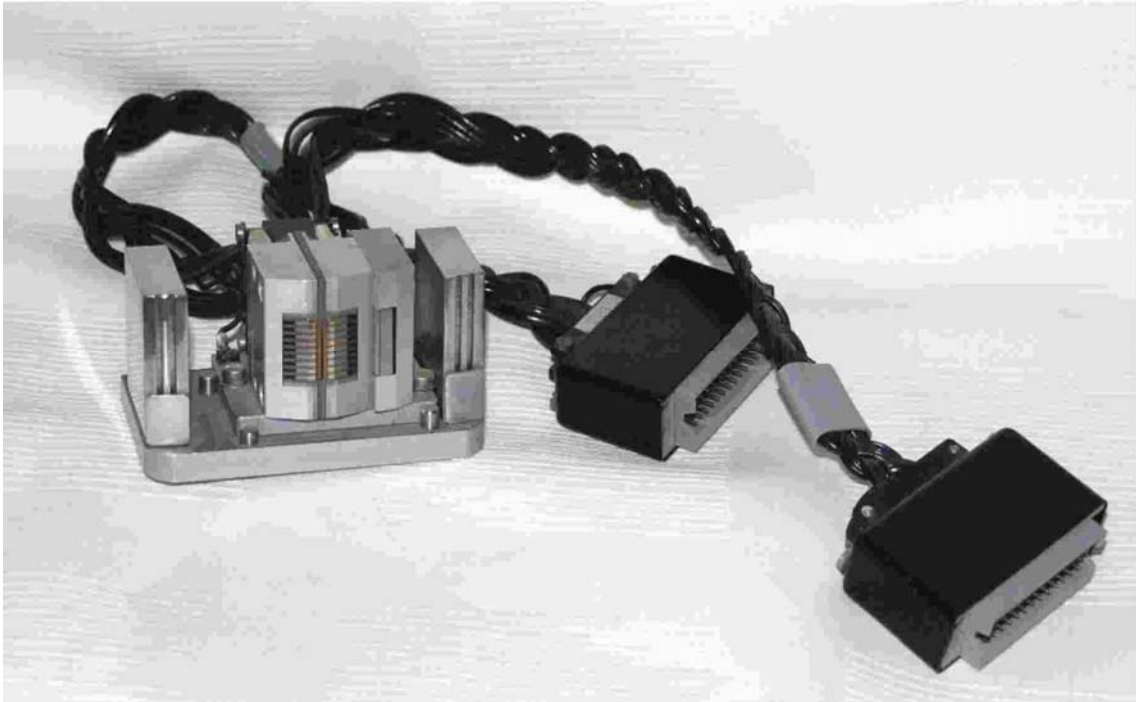


Abbildung 5: Foto Magnetkopfeinheit

Zum Kopfspiegel wird die Grundfläche in einem definierten engtolerierten Winkel bearbeitet. Nachdem die Anschlusskabel angelötet sind, wird der Kopf auf die sog. Zwischenplatte montiert. Diese Zwischenplatte besteht aus nichtmagnetischem Chromnickelstahl, die mit hoher Genauigkeit planparallel geläpft wurde. Dadurch war gewährleistet, dass der Kopf bei der weiteren Montage nicht verspannt wurde.

Versuche haben gezeigt, dass die Gefahr sehr groß ist, dass durch unsachgemäße Montage Spannungen auftreten, die z.B. den Arbeitsspalt deformieren und aufweiten können. Die Größenordnung der gefährdeten Maße liegt im Bereich der Spaltabmessungen, also im μm -Bereich.

Zur definierten Gewährleistung der Spaltweiten, die ein wesentliches Kriterium für die Funktionsfähigkeit des Magnetkopfes sind, wurden Kunststofffolien in Stärken von 6 μm bei Wiedergabe und 12 μm bei Aufzeichnung in den vorderen Teil des jeweiligen Kopfes beigelegt. Diese Werte gelten für den Magnetkopf AW56/ ZMK 3209 für NRZI – Aufzeichnungsverfahren.

Die entsprechenden Werte für den Kopf ZMK 6309 für das PE- Aufzeichnungsverfahren sind: Aufzeichnungsseite 6 μm und Wiedergabeseite 2 μm . Für die Wiedergabeseite war die erforderliche 2 μm starke Folie nicht verfügbar. Deshalb wurde bei diesen Köpfen die Spaltbeilage nach einem speziell dafür entwickelten Verfahren durch Aufdampfen einer Siliziumschicht hergestellt. Diese Schicht hatte den Vorteil, dass der Spalt beim Schleifen nicht „zugeschmiert“ wurde. Das passierte bei der - mit der im Vergleich zu den umgebenden harten Materialien - weichen Kunststofffolie. Der Kopfspiegel wurde im Rundschliff quer zum Spalt hergestellt.

In Ermangelung entsprechender Maschinen war es nicht möglich, den Kopfspiegel längs zum Spalt herzustellen. Eine weitere Möglichkeit diesen Effekt zu vermeiden, war die Beilage einer metallischen Folie, z.B. Berylliumbronze. Diese Lösung schied jedoch

aus, da über die Spaltbeilage eine Verkopplung der Systeme entstand, was die Störspannungen unzulässig erhöhte.

Die zum Magnetkopf gehörende Dämpfungseinheit hat die Aufgabe, die durch die Aufzeichnungssysteme erzeugten Störfelder so zu minimieren, dass die in den Wiedergabesystemen induzierten Spannungen auf vernachlässigbare Werte herabgesetzt werden.

Die Dämpfungseinheit wurde in zwei Varianten ausgeführt:

- als Ferritplatte vor dem Aufzeichnungssystem, wie beim Magnetkopf AW 50 für den Speicher ZMB 30
- als Fortsetzung der Mittelabschirmung zwischen dem Aufzeichnungs- und dem Wiedergabesystem wie beim ZMK 3209 /AW56 für die Speicher ZMB 51(EC 50169, ZMB 61, EC 5017.02 sowie beim ZMK 6309 für den Speicher EC 5002.03.

Diese Mittelabschirmung musste sich in möglichst geringem Abstand vor dem Kopf befinden. Zur Justierung war sie in Bandlaufrichtung verschiebbar angeordnet, sie wurde mittels einer Feder mit definiertem Abstand gegen den Kopf gedrückt. Ein Kanal für das Band war eingeschliffen.

Die Dämpfungseinheit war beim ZMK 6309 mit dem Löschkopf kombiniert. Der Löschkopf wirkte von der Rückseite des Bandes. Er war von einem Gleichstrom durchflossen und magnetisierte das Band in die vom Standard vorgeschriebene Richtung bis zur Sättigung.

Damit wurden alle vorher vorhandenen Informationen überschrieben. Der Aufzeichnungskopf fand immer gleiche Verhältnisse vor. Nach dem Standard war die Magnetisierung so vorgeschrieben, dass der Bandanfang immer ein „nordsuchender Pol“ ist.

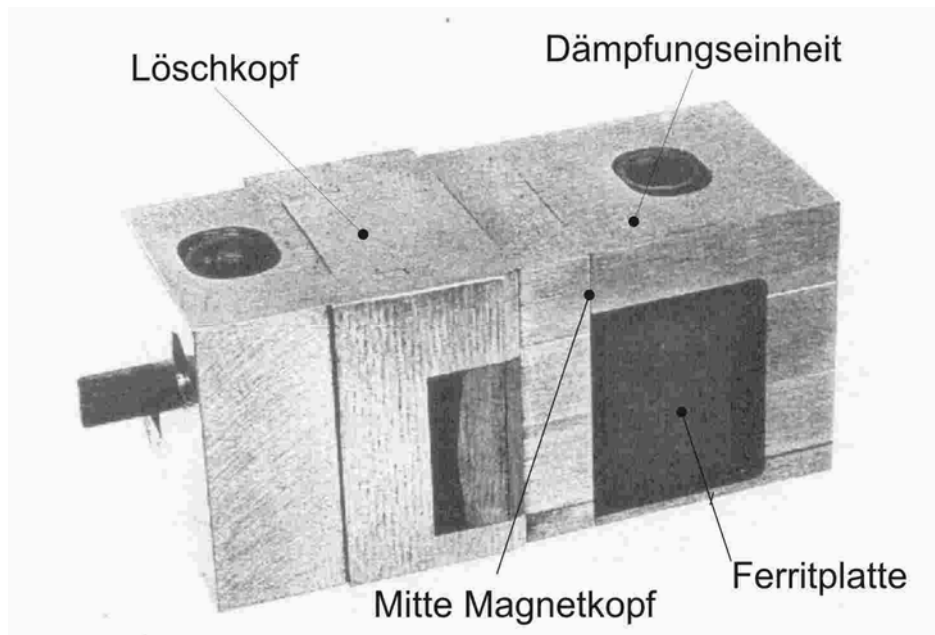


Abbildung 6: Dämpfungseinheit (Entwicklungsmuster)

Beim Magnetkopf ZMK 6309 war der Löschkopf konstruktiv verkleinert worden, so dass er zusammen mit dem AW-Kopf auf der Zwischenplatte montiert werden konnte (s. a. Anlage 3). Vorteil dieser Lösung war, dass die geometrischen Bedingungen bezüglich des Abstandes Löschkopf-Band besser definiert waren und der elektrische Anschluss über den Steckverbinder des Aufzeichnungskopfes erfolgte.

2. Magnetkopftechnologie

Der technologische Ablauf zur Herstellung der Magnetköpfe ist schematisch in Bild 7 dargestellt. Das Ausgangsmaterial für alle Kern- und Abschirmbleche waren Bänder in den entsprechenden Dicken- und Breitenabmessungen. Vor dem Stanzen der einzelnen Teile wurden die Abmessungen kontrolliert.

Bei den magnetisch wirksamen Materialien wurden zusätzlich Probestreifen entnommen, die nach dem Permeabilitätsglühungen auf ihre magnetischen Werte, Anfangspermeabilität und Koerzitivfeldstärke untersucht wurden. Die Werte wurden protokolliert bevor die Freigabe für die Weiterverarbeitung erfolgte.

Die gestanzten Kern- und Abschirmbleche wurden in Magazine eingebracht. In diesen Magazinen wurden sie mittels Ultraschall in Perchlorbädern von den beim Stanzen verwendeten Schmierstoffen gereinigt, um bei den sofort weiterzuverarbeitenden Teilen, Cu- bzw. Bronzeabschirmungen, fettfreie Oberflächen für die folgenden Klebearbeitgänge zu garantieren sowie bei den im Weiteren erforderlichen Glüharbeitsgängen ein „Zusammenbacken“ der einzelnen Bleche zu vermeiden. Dieser Vorgang stellte ein großes technologisches Problem dar, besonders bei den Ti-Permalloy Blechen.

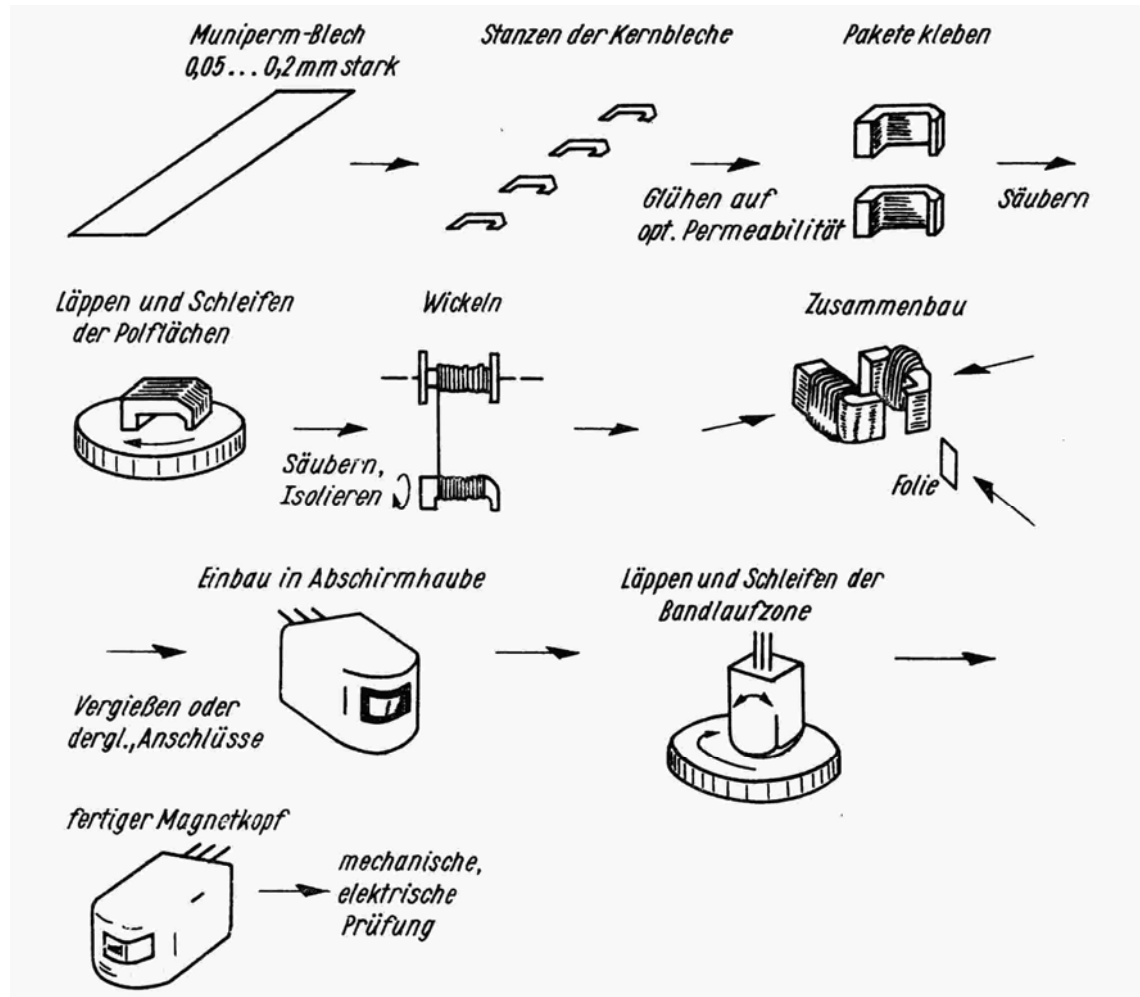


Abbildung 7: Technologischer Ablauf Magnetkopffertigung

Die magnetisch wirksamen Bleche (Mu-Metall bzw. später Ti-Permalloy) mussten danach „auf optimale Permeabilität“ geglüht werden. Das ist erforderlich, da als Material für die Kernbleche eine Legierung mit möglichst hoher magnetischer

Leitfähigkeit verwendet wird. (große Permeabilität: $\mu_a = 8.000 \dots 25.000$). Die Kernbleche werden in der Regel durch Stanzen mechanisch stark beansprucht. Das hat ein Absinken der Permeabilität zur Folge, die um so größer ist, je höher der Permeabilitätswert des Bleches vor dem Stanzen war.⁽⁸⁾ Deshalb wurden sie in einem speziell entwickelten Verfahren unter Wasserstoff-Schutzgasatmosphäre so wärmebehandelt, dass die durch das Stanzen entstandenen Spannungen und Permeabilitätsverluste rückgängig gemacht wurden. Danach wurden die erreichten magnetischen Werte festgestellt, ehe die Weiterbearbeitung erfolgte. Die Glühung erfolgte in sog. Glühschienen. Diese Glühschienen fassten ca. 1000 Bleche. Sie waren ebenfalls aus Mu-Metall hergestellt, um unerwünschte Wechselwirkungen mit dem Glühgut zu vermeiden.

Die Bleche wurden danach zu Kernpaketen bzw. Abschirmeinheiten weiterverarbeitet und dazu in spezielle Klebevorrichtungen eingelegt, wobei die geforderten Dickenmaße zu beachten waren. Die Vorrichtungen und die zwischen den einzelnen Einheiten eingelegten Trennstücke bestanden aus Teflon, um ein Festhaften der Klebeeinheiten zu unterdrücken.

Die Kern - bzw. Abschirmeinheiten wurden nun mit einem heißhärtenden Epoxydharz getränkt und unter Vakuum die eventuell vorhandene Luft aus den Klebespalten entfernt. Klebefugen verursachen beim späteren Bandbetrieb einen hohen Verschleiß des Bandes durch Auswaschen des Klebers aus der Oberfläche an den entstehenden scharfen Materialkanten. Deshalb mussten die Klebeeinheiten in spezielle Vorrichtungen gespannt werden, um minimalste Klebefugen zu erreichen. Danach erfolgte die Aushärtung mit der für das Harz vorgeschriebenen Temperatur. Abschließend wurden die aus den Klebevorrichtungen entnommenen Kernpakete bzw. Abschirmeinheiten von anhaftenden Kleberresten befreit.

Die geklebten Einheiten, Kernpakete und Abschirmeinheiten wurden anschließend auf die entsprechenden Dickenmaße geläppt. Zur Minimierung des dabei erforderlichen Aufwandes waren schon beim Kleben bestimmte Toleranzen einzuhalten. Um gleichmäßige Ergebnisse zu erreichen wurden beim Einlegen in die Läppmaschinen bestimmte Dickengruppen beachtet.

Das Läppen musste bei den magnetisch wirksamen Baugruppen sehr schonend vorgenommen werden, um die durch die Bearbeitung erzeugten Materialspannungen so klein wie möglich zu halten. Die nach dem Glühen entstandenen Spannungen waren danach nicht mehr zu beseitigen.

Im nächsten Arbeitsgang wurden die Wicklungen aufgebracht, das geschah auf speziellen Wickelmaschinen, unter Beachtung der minimalen Drahtstärken.

Aus den entstandenen Baugruppen, Kernpakete und Abschirmeinheiten, wurden die Stapel aufgebaut, dazu die 9 Spurpakete, die zugehörigen Abschirmungen und die zwei äußeren Blindpakete zu einem Stapel so zusammengefügt, dass die geforderten Maße der Spuren zueinander eingehalten wurden. Auch diese wurden danach geklebt, allerdings diesmal mit kalt klebendem Harz, da die nun vorhandenen Wicklungen keine hohen Temperaturen vertrugen. Außerdem sollten Spannungen vermieden werden. Auch hier war auf minimale Klebefugen zu achten.

In einer weiteren Vorrichtung wurden die Anschlusseinheiten angebracht und die Wickelenden der Spulen angelötet. Danach wurden in einer Vorrichtung die elektrischen Daten, Durchgang, Schluss und Zuordnung, geprüft. Die Stapel mussten danach in die Aluminiumhalbschalen eingesetzt und mit kalt härtendem Epoxydharz geklebt werden.

Bei den nun entstandenen vollständigen Halbschalen wurden die Spalt- und die Außenseite parallel geläppt. Bei den Spaltseiten mussten alle Spaltflächen der Systeme vollständig bearbeitet sein, denn damit wurde die Genauigkeit der Spalt-

dimension über die Lebensdauer bestimmt, die Spaltweite betrug $2\text{ }\mu\text{m}$ im Minimum und musste mit einer Toleranz von $0,5\text{ }\mu\text{m}$ eingehalten werden. Bei der Wiedergabehalbschale wurden außerdem die Spalt - und die Außenseite eng toleriert planparallel bearbeitet, da die Außenseite später die Basis der weiteren Bearbeitung bildete.



Abbildung 8: Magnetkopffertigung

Die Mittelstücke wurden sinngemäß wie die Schalen montiert. Allerdings wurden hier die Stapel nicht gesondert aufgebaut, sondern es wurden die Stapel sofort in die - den Schalen entsprechenden - U-Stücke eingelegt und geklebt. Die U-Stücke wurden planparallel auf Maß geläpft und mit der ebenfalls aus den einzelnen Abschirmblechen aufgebauten und bearbeiteten Mittelabschirmung zum vollständigen Mittelstück montiert. Auch diese Einheiten wurden mit heiß härtendem Harz geklebt.

Abschließend wurde auch diese Baugruppe nach den für Schalen geltenden Vorschriften planparallel geläpft. Von der Genauigkeit dieses Arbeitsganges hing später die Einhaltung der Werte für die sog. Zeitverschiebung (skew) ab.

Die drei Baugruppen Wiedergabehalbschale, Mittelstück, Aufzeichnungshalbschale wurden nun zum Magnetkopf zusammengefügt. Bei diesem Arbeitsgang wurde die Spaltbeilage eingelegt, nachdem die Baugruppen mit den vorgesehenen Schrauben lose zusammengefügt waren. Danach wurden die Schrauben mit definiertem Drehmoment angezogen. Sie mussten so fest sitzen, dass die notwendige Stabilität gegeben war, aber sich die Schalen noch nicht verzogen und es dadurch zu einer Aufweitung des Spaltes kam.

Dieser Arbeitsgang erforderte äußerste Sauberkeit. Die Kopfinnenseite mussten gründlichst gereinigt werden, da schon Partikel mit einer Größe weniger als $1\text{ }\mu\text{m}$ zu einer unerwünschten Aufweitung des Spaltes führten.

Abschließend wurden die Hinterseite und mehrere Kanäle des Kopfes mit Epoxydharz ausgegossen. Dieser Arbeitsgang entfiel später als durch die Montage mit Passstiften eine eventuelle Demontagemöglichkeit gegeben war.

Nach der Kopfmontage wurden die weiteren Funktionsflächen durch Schleifen bearbeitet.

- Die Grundfläche wurde im rechten Winkel zur Außenfläche der Wiedergabeschale geschliffen, gleichzeitig wurde das Maß Grundfläche - Spur 1 der Aufzeichnung (ISO - Standard) bearbeitet.
- Der Kopfspiegel wurde nun ebenfalls bearbeitet. Dazu waren folgende Arbeitsgänge notwendig:
 - Die Bearbeitung des Mittelprofils formte die Gestalt des Kopfspiegels zwischen den Aufzeichnungs- und den Wiedergabeköpfen. Sie wurde mit einer speziell profilierten Flachsleifmaschine ausgeführt.
 - Die Bearbeitung der eigentlichen Bandberührungszone erfolgte auf einer hochgenauen Rundschleifmaschine. Die übrigen Flächen des Kopfspiegels wurden in Fräs- und Flachsleifarbeitsgängen hergestellt.

Im letzten Montagearbeitsgang wurden die Kopfkabel angelötet und die Zwischenplatte montiert. Danach erfolgte eine erste elektrische Prüfung auf Masseschluss, Schluss der Spuren untereinander, Spurvertauschung und richtige Polarität der Anschlüsse.

Im Lauf der Produktion des Magnetkopfes zeigte es sich, dass der Kopfspiegel mit den zur Verfügung stehenden Mitteln nicht so genau bearbeitet werden konnte, dass die optimalen Eigenschaften, Höhe der Wiedergabespannung, sofort erreicht wurden. Deshalb wurde anfänglich vor der Endprüfung ein sog. Bandeinlauf mit normalem Magnetband eingefügt. Das war sehr zeitaufwändig. Deshalb wurde in Zusammenarbeit mit VEB ORWO Wolfen ein mit Lappmittel beschichtetes Magnetband für diesen Einlauf entwickelt und eingesetzt. Damit verkürzte sich die Einlaufzeit auf wenige Minuten.



Abbildung 9: Magnetkopffertigung

Bei der mechanischen Endprüfung wurden

- die funktionsbestimmenden Maße des Kopfspiegels
- die Spurlage - Abstand Grundfläche zur Spur 1 der Aufzeichnungsseite
- Rau- und Profiltiefe des Kopfspiegels

festgestellt.

Die elektrische Endprüfung erfolgte anfangs mit einem entsprechend umgerüstetem Serienmagnetbandspeicher in rein manuellem Betrieb. Es wurden die Funktionsdaten

- Wiedergabespannung
- Verhältnis der Wiedergabespannungen bei unterschiedlichen Speicherdichten
- Zeitverschiebung (SKEW)
- Dämpfungswerte
- Löschdämpfung

mit einem Oszillografen festgestellt und manuell protokolliert. Später wurde ein Prüfplatz aufgebaut, bei dem die Prüfwerte automatisch erfasst und protokolliert wurden.

Als Prüfbänder wurden Eigenentwicklungen eingesetzt.

- Die Bänder für Wiedergabespannung wurden aus einer großen Charge ausgesucht, Kriterium war eine konstante Wiedergabespannung über die Bandlänge und von Band zu Band, dabei war die Höhe der erreichten Wiedergabespannung als Mittelwert aus aller bekannten Bänder festgelegt worden.
- Für die Messung der Zeitverschiebung (skew) wurden Bänder eingesetzt, die auf einem speziell entwickelten Gerät aufgezeichnet wurden. Dieses Gerät war mit einem Vollspurkopf bestückt, der exakt senkrecht ausgerichtet war.

Die bei Magnetkopffertigung eingesetzten Fertigungsverfahren entsprachen dem bei Zeiss üblichen Profil, allerdings mit sehr hohen Genauigkeitsanforderungen. Neu war, dass diese hohen Genauigkeiten bei einer großen Serie reproduzierbar verwirklicht werden mussten.

Um diese Ziele zu erreichen war ein sehr großer Aufwand an Vorrichtungen, Werkzeugen, Justier- und Prüfmitteln (VWJP) erforderlich, einmal um die erforderliche Konstanz der geforderten Qualität zu sichern, aber auch um den Arbeitsaufwand in wirtschaftlichen Grenzen zu halten.

Es gelang die Magnetkopfproduktion vorwiegend mit angelerntem Personal durchzuführen.

Zur Herstellung der Magnetköpfe wurde dazu im Werk Göschwitz eine in sich geschlossene Magnetkopffertigung aufgebaut. Das war insofern auch wichtig, damit die teilweise sehr kostenaufwändigen Maschinen in ihrer Qualität und Genauigkeit erhalten blieben, handelte es sich dabei doch im wesentlichen um NSW-Importe, die nur sehr schwer oder gar nicht wieder beschaffbar waren.

Bei diesen Spezialmaschinen handelte es sich im Einzelnen um:

- einen „Bruderer Fein-Stanzautomaten“ Import aus der Schweiz, mit dem die Kern- und Abschirmbleche gestanzt wurden
- zwei Zweiseibenlappmaschinen der Fa. Woldrich BRD mit denen u.a. die Mittelstücke, die Halbschalen und die Zwischenplatten geläppt wurden
- eine „Studer Rundschleifmaschine“, Import aus der Schweiz, die zum Schleifen des Kopfspiegels eingesetzt wurde.

Zur Herstellung des Magnetkopfes ZMK 6309 für das PE - Aufzeichnungsverfahren wurde für die Endmontage ein Reinraumkomplex Klasse 1000 eingerichtet.

In den Anlagen 1 bis 3 sind die technischen Daten der in den Zeiss Magnetbandspeichern eingesetzten Magnetköpfe aufgeführt.

3. Anhang

3.1. Zusammenfassung

Der Aufbau der Magnetkopffertigung im VEB Carl Zeiss Jena erforderte eine spezifische technologische Durchdringung und Gestaltung der dazu erforderlichen Herstellungsprozesse. Durch die Entwicklung spezieller Materialien, die Anwendung klassischer Methoden der Präzisionsmechanik und die Entwicklung spezieller Verfahren, Ausrüstungen, Vorrichtungen, Justier- und Prüfmittel gelang es, die gestellten Anforderungen hinsichtlich Qualität und Wirtschaftlichkeit zu erfüllen. Die Magnetkopffertigung leistete einen wichtigen Beitrag zur Sicherstellung der Magnetbandspeichertechnik.

3.2. Literaturnachweis

- [1] Wehrsdorfer, Klaus-Dietrich: Magnetkopf
Manuskript 2005 / Archiv Gattnar
- [2] Internationale Standards
 - ISO/PMS 1864 unbeschriebene Bänder
 - ISO/PMS 1863 NRZI-Aufzeichnungsverfahren
 - ISO/PMS 3788 PE-Aufzeichnungsverfahren
- [3] Zeiss Archiv WB 1599 : Entwicklungsbericht Magnetkopf AW 56
VEB Goldpfeil Hartmannsdorf
- [4] Koristka, Vajda, Völz: Grundlagen der magnetischen Signalübertragung
Band I / Grundlagen und Magnetköpfe, Akademie-Verlag Berlin 1968
- [5] Fritsch, Straubel, Vajda: Grundlagen der magnetischen Signalübertragung
Band IV / Theorie der Aufzeichnung und Wiedergabe, Akademie-Verlag Berlin 1968
- [6] Scholz, Fritsch, Kubat, Mäder: Magnetbandspeichertechnik, Magnetkopf –
Magnetband – Schaltungen, Verlag Technik Berlin 1969
- [7] Scholz, Christian: Handbuch der Magnetspeichertechnik, Carl Hanser Verlag
München 1980
- [8] [7] ebenda, Seite 217

3.3. Bildnachweis:

- Bild 4, 8, 9: Archiv Carl Zeiss Jena GmbH
- Bild 7 : Scholz „ Magnetbandspeichertechnik“ S.222
- Bild 5, 6, Anlage 1 bis 3: Archiv Wehrsdorfer

3.4. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 : Ursachen der Zeitverschiebungsfehler	5
Abbildung 2: Standard digitale Datenspeicherung auf Magnetband	6
Abbildung 3: Schematischer Aufbau eines Systems	7
Abbildung 4: Aufbau eines 9-Spur Magnetkopfes.....	8
Abbildung 5: Foto Magnetkopfeinheit	10
Abbildung 6: Dämpfungseinheit (Entwicklungsmuster).....	11
Abbildung 7: Technologischer Ablauf Magnetkopffertigung.....	12
Abbildung 8: Magnetkopffertigung	14
Abbildung 9: Magnetkopffertigung	15
Abbildung 10: Magnetkopf AW 50	19
Abbildung 11: Magnetkopf ZMK 3209 (AW 56)	20
Abbildung 12: Magnetkopf ZMK 6309.....	21

4. Anlagen

4.1. Anlage 1 Magnetkopf AW 50



Abbildung 10: Magnetkopf AW 50

Entwicklung:	VEB Goldpfeil Magnetkopfwerk Hartmannsdorf
Technologie / Herstellung:	VEB Goldpfeil Magnetkopfwerk Hartmannsdorf
	Entwicklungsstelle Leipzig
Eingesetzt im Magnetbandspeicher:	ZMB 30
Produktionszeitraum:	1967 bis 1972
Gefertigte Stückzahl:	ca. 3.000 Stück
Technische Daten:	
Aufzeichnungsverfahren:	NRZI
Speicherdichte:	max. 22 bit / mm
Anzahl der Spuren:	8
ESER-kompatibel:	nein
Spurbreite	0,8 mm Aufzeichnung 0,6 mm Wiedergabe
Spaltweite	8 μ m Aufzeichnung 6 μ m Wiedergabe
Abstand Aufzeichnungs-/Wiedergabespalt:	(5,5 / 0,2) mm
Bandgeschwindigkeit:	max. 1,5m/s
Zeitverschiebung (SKEW): 1,5m/s	< 2,5 μ s für Aufzeichnung und Wiedergabe bei 1,5m/s
Aufzeichnungsstrom:	40mA
Wiedergabespannung:	$U_0 \approx 15$ mV bei 22 bit/mm

4. Anlagen

Abfall der Wiedergabespannung
bei 22 Fw/mm gegen 8 Fw/mm:

< 15%

Verbunddämpfung:

> 23 dB

Nebenspurdämpfung:

> 23 dB

Lebensdauer:

> 1000 Bandlaufstunden

Bemerkungen:

Magnetkopf und Dämpfungseinheit bilden eine Einheit, die Dämpfungseinheit ist als eine Klappe ausgebildet.

Es ist kein Löschkopf vorhanden!

4.2. Anlage 2 Magnetkopf ZMK 3209 (AW 56)



Abbildung 11: Magnetkopf ZMK 3209 (AW 56)

Entwicklung:

VEB Goldpfeil Hartmannsdorf

Technologie / Herstellung:

VEB Carl Zeiss JENA

Eingesetzt im Magnetbandspeicher:

ZMB 51 (EC 5016), ZMB 61, EC 5017.02

Produktionszeitraum:

1970 bis 1983

Gefertigte Stückzahl:

ca. 36.000 Stück

Technische Daten:

Aufzeichnungsverfahren

NRZI

Anzahl der Spuren:

9

ESER - kompatibel

ja

Abstand

Aufzeichnungs-/Wiedergabespalt:

< 3.81 mm

Aufzeichnungsspaltweite

- Aufzeichnungskopf

12 µm

- Wiedergabekopf

6 µm

- Löschkopf

200 µm

4. Anlagen

Bandgeschwindigkeit:	max. 2 m/s
Zeitverschiebung (SKEW):	< 1,3 μ s für Aufzeichnung und Wiedergabe
Aufzeichnungsstrom:	NRZI: \approx 40 mA
Löschstrom:	Summe der Aufzeichnungsströme: \approx 350 mA
Löschdämpfung:	> 30 dB
Wiedergabespannung: m/s	NRZI: 32 Fw/mm: $U_0 \approx 15$ mV bei $v_B=2$
Verbunddämpfung:	> 30 dB
Nebenspurdämpfung:	> 30 dB
Lebensdauer:	> 1500 Bandlaufstunden
Transportbedingungen:	Temperatur: -50°C ...+50°C
	Luftfeuchte: 95% bei 30°C

Bemerkungen:

Der Löschkopf war so dimensioniert, dass er von der Summe der 9 Aufzeichnungsströme durchflossen werden konnte. Damit entfiel ein gesonderter Verstärker zur Ansteuerung des Löschkopfes. Außerdem musste die Funktion des Löschkopfes nicht gesondert überwacht werden.

4.3. Anlage 3 Magnetkopf ZMK 6309



Abbildung 12: Magnetkopf ZMK 6309

Entwicklung:	VEB Carl Zeiss JENA
Technologie / Herstellung:	VEB Carl Zeiss JENA
Eingesetzt im Magnetbandspeicher:	EC 5002.03
Produktionszeitraum:	1983 bis 1989
Gefertigte Stückzahl:	ca. 19.000 Stück
Technische Daten:	
Aufzeichnungsverfahren:	PE/NRZI

4. Anlagen

Speicherichte:	NRZI: max. 32 bit/mm
	PE: 63 bit/mm (126 Fw/mm)
Anzahl der Spuren:	9
ESER – kompatibel:	ja
Abstand	
Aufzeichnungs-/Wiedergabespalt:	< 3.81mm
Spaltweite	6 µm Aufzeichnung 2 µm Wiedergabe
Bandgeschwindigkeit:	max. 3 m/s
Zeitverschiebung (SKEW):	< 1,3µs für Aufzeichnung und Wiedergabe
Aufzeichnungsstrom:	NRZI: 75 mA PE: 28 mA
Löschstrom: 250 mA ... □	Summe der Aufzeichnungsströme: 700 mA □
Löschdämpfung:	> 30 dB
Wiedergabespannung:	NRZI: 32 Fw/mm: $U_{\delta} = 20 \text{ mV}$ PE: 126 Fw/mm: $U_{\delta} 8 \text{ mV} =$
Verbunddämpfung:	> 30 dB
Nebenspurdämpfung:	> 30 dB
Lebensdauer:	> 2000 Bandlaufstunden
Transportbedingungen:	Temperatur: -50°C ...+50°C Luftfeuchte: 95% bei 30°C

Bemerkungen:

Die Aufzeichnungswicklung wurde als Wicklung mit Mittellanzapfung ausgeführt.

Der Löschkopf war so dimensioniert, dass er von der Summe der 9 Aufzeichnungsströme durchflossen werden konnte.

Beide Maßnahmen führten zu Vereinfachungen der elektronischen Schaltung.