

Schallplattentechnik

Teil 1: Historischer Überblick

Ing. GERHARD HOHMUTH

Mitteilung aus dem VEB Deutsche Schallplatten

Vor 60 Jahren begann die Einführung elektroakustischer Geräte bei der Schallplattenaufzeichnung. Über viele Zwischenstufen wurde der heutige technisch-technologische Stand erreicht. Zur Verdeutlichung und zur Würdigung des Erreichten soll die Zeittafel (Tafel 1) dienen. Sie enthält ausgewählte internationale Eckdaten und ordnet wichtige Etappen der DDR-Entwicklung ein.

Da seit der zweiten Hälfte der vierziger Jahre der eigentlichen Plattenaufzeichnung allgemein eine Aufzeichnung auf Magnetband vorausgeht, sind die aus der Sicht der Schallplattenherstellung bedeutungsvollen Zeitpunkte der Magnetbandtechnik

Die Einführung des neuen Labels Eterna DMM/Digital beim VEB Deutsche Schallplatten soll Anlaß sein, den aktuellen Stand der Schallplattentechnik zu analysieren. Das erscheint um so berechtigter, als sich die Schallplatte gegenwärtig den Markt nicht mehr allein mit der Magnetbandkassette teilt, sondern als weiterer Konkurrent die Compact Disk CD auf dem Weltmarkt angeboten wird. Während sich die Schallplatten- und Magnetbandtechnik anfänglich gegenseitig ergänzten und befruchteten, tritt in den letzten Jahren die Magnetbandkassette als Konkurrent auf, wodurch Teile des Marktes von der Schallplatte zur Kassette übergegangen sind (unabhängig davon, daß die Kassette völlig neue Anwendungsgebiete erschloß).

Weitere Anteile des (begrenzten) Marktes werden in absehbarer Zeit an die CD übergehen. So kann man sicher davon ausgehen, daß die Langspielplatte den Höhepunkt ihrer weltweiten Marktbedeutung überschritten hat. Nicht zuletzt auf Grund der bisherigen weiten Verbreitung der LP ist jedoch eine vollständige Ablösung in naher Zukunft auch auf dem Weltmarkt nicht möglich, so daß zur Erfüllung der gestiegenen Anforderungen alle Möglichkeiten einer Qualitätssteigerung ausgeschöpft werden sollten. Über Schritte in dieser Richtung wird in diesem dreiteiligen Beitrag berichtet.

in der Tafel 2 zusammengefaßt. Daraus wird die enorme Befruchtung der Schallplattentechnik durch Anwendung des Magnetbandes deutlich. Letztlich ist der kommerzielle Erfolg der Langspielplatte nur durch die vorherige Bandspeicherung möglich geworden. Auf Grund der langen Nutzungsdauer der Archive war die Schallplattenindustrie stets an einem hohen Entwicklungsstand der Bandtechnik interessiert. Das wird u. a. dadurch dokumentiert, daß die Einführung des Kompandersystems Dolby A zuerst bei den Schallplattengesellschaften erfolgte und hier nach außerordentlich kurzer Zeit zum Standard für den Bandaustausch erhoben wurde.

Ganz ähnlich war es mit der digitalen Bandspeicherung. Bereits seit 1972 wurden bedeutende Aufnahmen mit labormäßigen, nicht käuflichen Digitalgeräten gespeichert, am Anfang zusätzlich zu den herkömmlichen analogen Bandgeräten. Ihre heutige Verbreitung und die mit dieser Technik erreichbare Qualität der Urbänder rechtfertigt die Bekanntgabe dieser aufnahmetechnischen Besonderheiten. „Digital Recording“ oder kurz „Digital“ auf der Plattentasche oder dem Etikett vermittelt diese Information.

Einem ähnlichen Wandel unterlag die im Aufnahmestudio eingesetzte Technik: die Mikrofone, Verstärker und Lautsprecher.

Tafel 1: Zeittafel zur Entwicklung der Schallplattenaufzeichnung

ab 1925	Anwendung elektroakustischer Geräte für die Plattenaufzeichnung, wesentlicher Qualitätsfortschritt. Herausbildung einer „Norm“ für Schallplatten: 78 U/min, 25 cm Ø und 30 cm Ø (3½ min bzw. 4½ min Spieldauer)	Einführung der Aufzeichnungskennlinie mit Tiefenabsenkung und Höhenanhebung zur Reduzierung der Störgeräusche	1949	Mikrorillenplatte mit 17 cm Ø und 45 U/min (RCA)	1969	erste Quadroschallplatten nach verschiedenen nicht genormten Verfahren
1931	Bluemlein (Decca) entwickelt den Zweikomponentenschreiber für die Stereoaufzeichnung in einer Rille	1950	erste Anwendung der pegelabhängigen Steuerung des Rillenabstandes zur Verlängerung der Spieldauer. Frühe Markennamen „Variable Micrograde“ (DGG) und „Füllschrift“ (Teldec)	1970	Nachdem seit einigen Jahren viele LP-Neuerscheinungen beim VEB Deutsche Schallplatten gleichzeitig in einer Mono- und in einer Stereofassung erschienen, werden nun alle wesentlichen LP-Neuerscheinungen nur noch in Stereo herausgebracht. Als Vorlauf hat die Geräteindustrie seit 1960 Stereogeräte oder auf Stereo umrüstbare Geräte produziert. Der Diamant hat sich als Abtastnadel durchgesetzt. Alle Singles beim VEB Deutsche Schallplatten erscheinen nur noch in Stereo	
1936	magnetischer Tonabnehmer TO 1000 (Telefunken) als vorläufiger Höhepunkt der Entwicklung. Übertragungsbereich bis 10 000 Hz, Auflagekraft ≈ 0,3 N, Saphirnadel. Es wird erkennbar, was die Schallplatte bei Konzentration auf die elektrische Wiedergabe leisten kann	1952	Einführung gegengekoppelter Schallfolien-schreiber. Ausweitung des Übertragungsbereiches bis 15 kHz, vernachlässigbarer Klirrfaktor	1979	Vorstellung von Mustern digitaler Dichtspeicherplatten (Micro-Disk und Compact-Disk)	
ab 1945	Anwendung des Magnetbandverfahrens als Zwischenspeicher für die Schallplattenaufzeichnung anstelle des „Direktschnittes“ schafft die Voraussetzung für eine wesentliche Qualitätssteigerung der Schallplatten	1958	erste internationale Norm für Normalrillen- und Mikrorillenschallplatten durch die IEC zur Sicherung der weltweiten Austauschbarkeit des Trägers Schallplatte	1981	Vorstellung des speziell für Schallplatten entwickelten Kompandersystems CX (CBS)	
ab 1948	Ablösung des Wachses bei der Aufnahme durch mit Nitrozelluloselack überzogene Aluminiumscheiben, sog. Folien	1958	Beginn der Einführung der Stereoschallplatte mit Zweikomponentenschrift	1981	Vorstellung und erste Anwendung der Metallschnitttechnik DMM (Direct Metal Mastering) für die Aufzeichnung der Stereoschallplatten (Teldec)	
1948	Vorstellung der Mikrorillenlangspielplatte auf PVC-Basis mit 33⅓ U/min und 30 cm Ø (CBS). Entwicklung neuer Abspielgeräte (Reibrad- oder Riemenantrieb, Auflagekraft des Abtasters ≈ 0,1 N). Grundsätzliche Verwendung einer Saphirnadel. Schnelle weltweite Verbreitung der Langspielplattentechnik	1961	Einstellung der Fertigung der Normalrillenschallplatten N 78 beim VEB Deutsche Schallplatten. Dieser Maßnahme voraus ging seit 1956 die Fertigung von Plattenspielern mit drei Drehzahlen und umschaltbaren Abtastern	1983	Markteinführung der digitalen Compact Disk in Westeuropa (Philips, Sony).	
		ab 1966	teilweise Anwendung des Tracing-Simulators (Teldec) bei der Plattenaufzeichnung zur Vorkompensation der bei der Abtastung entstehenden Abtastverzerrungen			
		1964	Überarbeitung der internationalen IEC-Norm für Schallplatten unter Einbeziehung der Stereoschallplatte			
		1966	ständige Weiterentwicklung der Geräte-			

Tafel 2: Zeittafel einiger für die Schallplattentechnik bedeutungsvoller Entwicklungsphasen der Magnetbandtechnik

1935	Erste öffentliche Vorstellung eines Magnetbandgerätes mit 6,5 mm breitem Band. Bandgeschwindigkeit 77 cm/s (AEG, BASF)
1941	Anwendung der HF-Vormagnetisierung durch v. Braunmühl und Weber. Damit wird die Anwendung des Magnetbandverfahrens für die Zwecke der Musikaufzeichnung möglich
ab 1945	Magnetband als Zwischenspeicher für die Schallaufzeichnung
1950	erste Magnetbandgeräte für die Anwendung im Heim, Zweispurbetrieb mit 19 cm/s
ab 1958	Übergang zur Stereoaufzeichnung bei den Schallplattenfirmen. Allmählicher Übergang zur Bandgeschwindigkeit 38 cm/s
ab 1962	Mehrspurtaufzeichnung mit vier, später sechs und acht Spuren auf 1-Zoll-Band als Zwischenspeicher in der Aufnahme- und Reproduktion
1963	Einführung der Kassettenteknik für die Heimanwendung
ab 1966	Anwendung des Kompressorsystems Dolby A zur Verbesserung der Störspannungsverhältnisse. Zuerst Anwendung für die Schallplattenproduktion
ab 1975	Anwendung von Vierspur-Magnetbandgeräten mit 1/2 Zoll Bandbreite für Quadraufzeichnungen in der Schallplattenindustrie
ab 1972	Anwendung von 2-Zoll-Magnetband mit 16, später 24 und 32 Spuren als Zwischenspeicher in der Aufnahme- und Reproduktion für populäre Musik
ab 1972	Anwendung digitaler Magnetbandspeicher, wiederum als erstes für Schallplattenaufnahmen.

Etwa Mitte der sechziger Jahre waren die Regiepulte für große Produktionen bereits für 40 Eingangskanäle ausgelegt, d. h., es konnten bis zu 40 Mikrofone gleichzeitig angeschaltet werden. In diesen Bereich spielen natürlich viele künstlerische und ästhetische Fragen mit hinein. Als Beispiel für den großen Spielraum der Auffassungen seien zwei Extreme gegenübergestellt, mit denen heute hochwertige Aufnahmen möglich sind:

- zwei Mikrofone mit Speicherung auf zwei Kanälen
- 48 Mikrofone und Speicherung auf 48 Kanälen, nachträgliche Abmischung auf zwei Kanäle.

Der Übergang von der Elektronenröhre zum Transistor und von diesem wiederum zum integrierten Schaltkreis brachte zwar bedeutende technologische Veränderungen in den Studios, für den Hörer waren diese Umstellungen jedoch nicht hörbar. In der Geschichte der „Platte“ gibt es ein alles überragendes Ereignis: die Einführung der Langspielplatte. Das betraf weniger die damit mögliche Qualitätssteigerung als vielmehr den völlig neuen Gebrauchswert durch die verlängerte Spieldauer. Damit wurde die vollständige Erschließung der Musikliteratur durch einen bequem handhabbaren Tonträger zu ökonomisch günstigen Bedingungen möglich. Die mit der Einführung der LP erforderliche Umrüstung der Abspielgeräte wurde sicher nicht zuletzt aus diesem Grunde in einer erstaunlich kurzen Zeitspanne bewältigt. In die noch laufende Umrüstung fiel die Einführung der Stereophonie. Die frühzeitige, weitsichtige internationale Nor-

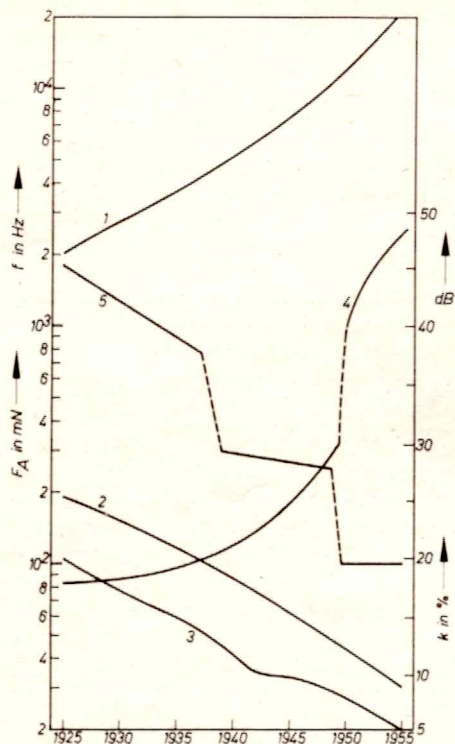


Bild 1: Die Entwicklung wesentlicher Parameter der Schallplattenwiedergabe im Zeitraum 1925-1955 ([1], ergänzt v. Autor). 1 Wiedergabe hoher Frequenzen; 2 Wiedergabe tiefer Frequenzen; 3 Klirrfaktor; 4 (Wiedergabe)-Dynamik; 5 Auflagekraft

mung der entscheidenden Parameter erlaubte einen nahtlosen Übergang von der Mikrorillen- zur Stereotechnik, so daß die Stereoschallplatte historisch als vervollkommnete Variante der Mikrorillenplatte angesehen werden kann. Die beiden Kanäle der Stereoschallplatte können sowohl für eine raumbezogene Übertragung (Wiedergabe über Lautsprecher) als auch für die kopfbezogene Übertragung (Aufnahme mit Kunstkopf, Wiedergabe über Kopfhörer) ausgenutzt werden.

Nicht alle angebotenen Fortschritte wurden vom Markt akzeptiert. Dazu gehört bisher die Quadrofonie, die ohne Zweifel eine weitere Steigerung des Hörerlebnisses bewirken kann. Andere Meilensteine – wie die Einführung der Lackfolie (ab 1948) und des Tracingsimulators (nach 1966) wurden in den letzten Jahren durch die Einführung der Metallschnitttechnik überholt. Als fester

Begriff ist heute dafür DMM (Direct Metal Mastering) eingeführt.

Im Bild 1 wird eine Übersicht über die Entwicklung einiger Parameter nach einer Einschätzung aus dem Jahre 1955, d. h. vor Einführung der Stereophonie, gegeben. Dieses Bild vermittelt den Eindruck, als seien bereits zu diesem Zeitpunkt die Grenzen der Nadeltechnik erreicht worden. Letztlich stellten die angegebenen Parameter aber nur die Spitzenwerte dar, eine Umwandlung dieser zu Normalwerten erfolgte erst allmählich. In [2] sind Meßwerte erhalten, die diese Aussage bekräftigen. Die Einführung der Stereophonie bewirkte bei einigen Parametern einen Rückschritt, mußten doch in einer Rille zwei getrennte Informationen untergebracht werden. Das war zunächst nur durch Kompromisse bezüglich der Störgeräusche, der Übertragungskurve, der Spieldauer usw. möglich. Erst im Laufe der Zeit wurde der maximale Stand der Monophonie bei den Parametern wieder erreicht und schließlich beträchtlich überboten.

Die im Interesse einfacher Wiedergabegeräte genommene konstante Winkelgeschwindigkeit führt zur Benachteiligung der Wiedergabequalität im inneren Bereich einer Schallplatte. Gerade in diesem Bereich sind die Fortschritte der Aufzeichnungs- und Wiedergabetechnik in den letzten Jahren besonders deutlich zu belegen.

Die Anerkennung und Würdigung des technischen Fortschrittes darf aber nicht vergessen lassen, daß bei jeglicher Schallspeicherung der Technik letztlich eine dienende Funktion zukommt. Mit Hilfe der Technik soll für den Hörer das Geschehen aus dem Aufnahme- und Wiedergabebereich so übertragen werden, daß eine optimale Erfüllung der Hörerwartungen erfolgt.

Wird fortgesetzt

Literatur

- [1] Slot, G.: Vom Mikrofon zum Ohr. Eindhoven: Philips Technische Bibliothek, 1955
- [2] Hohmuth, G.: Die historisch-technische Entwicklung der Schallplattenaufnahme- und Wiedergabetechnik. Radio und Fernsehen, Berlin 4 (1957) 8, S. 235-238

Aus dem VEB Verlag Technik

Grundlagen der elektrischen Meßtechnik

Von W. Richter

380 Seiten, 321 Bilder, 38 Tafeln
Ganzleinen, 19,- Mark
Bestellnummer 553 470 0

Neben einer gründlichen Darstellung von Kenngrößen und Kennfunktionen für Meßeinrichtungen sowie der gesamten Fehlerproblematik enthält das Buch vor allem die für die moderne elektrische/elektronische Meßtechnik typischen Funktionseinheiten, Meßgeräte und -systeme bis hin zu Sensoren und mikroprozessorgesteuerten Meßeinrichtungen. Das Darstellungsniveau ist auf die Verwendung als studienbegleitende Literatur in der Aus- und Weiterbildung von Ingenieuren technischer Disziplinen zugeschnitten. Die vielen Beispiele geben Hinweise für eine direkte Nutzung in der meßtechnischen Praxis.

Schallplattentechnik

Teil 2: Wiedergabetechnik

Ing. GERHARD HOHMUTH

Geometrie der Abtastnadel

In der gegenwärtig noch gültigen IEC-Publikation 98, Ausgabe 1964, ist für die stereofone Abtastung eine sphärische Nadel mit einem Verrundungsradius von 13 bis 18 μm vorgeschrieben. In der Neufassung dieser Publikation, die sich gegenwärtig in der Endabstimmung befindet, ist dagegen festgelegt, daß die Nadelspitze einen Abstand zum Rillengrund von $\geq 2 \mu\text{m}$ einhalten und den Rand der Rille nicht berühren soll. Weitere Angaben zur Gestalt der Nadelspitze werden nicht gemacht. Damit signalisiert die Neufassung einen bemerkenswerten Wandel, denn jetzt ist die Wahl der Form des Nadelanschliffes dem Hersteller des Abtastsystems freigestellt. Das aber bedeutet, daß – zumindest für die hochwertige Wiedergabe – den nicht-sphärischen Nadelschliffen international eine bestimmende Rolle beigemessen wird. Die Wahl des Nadelschliffes ist ein Kompromiß zwischen verschiedenen, sich teilweise widersprechenden technischen Bedingungen und ökonomischen Gesichtspunkten. Optimale Schallplattenabtastung erfordert an der Berührungsstelle mit der Rille eine Nadel mit

- möglichst kleinem Radius in Laufrichtung der Rille
- möglichst großem Radius in der Richtung der Rillenauslenkung, wobei weder der Rillengrund noch der Rand der Rille berührt werden darf.

Diese Bedingungen sind nur mit einer Nadel mit mehreren Radien zu erfüllen, so daß die oben zitierte IEC-Festlegung den technischen Zusammenhängen Rechnung trägt.

Die Nadelverrundung beeinflusst die Übertragungskurve eines Schallplattenabtasters. Die Grenz- oder Auslöschungsfrequenz f_c ergibt sich nach [3] zu

$$f_c = c_1 k v_T \left(\frac{1}{F_A r_N} \right)^{1/3} \quad (1)$$

die Rillen-Nadel-Resonanz f_0 zu

$$f_0 = c_2 k \frac{(F_A r_N)^{1/6}}{m^{1/2}} \quad (2)$$

Zur besseren Übersicht wurden verschiedene Faktoren und die Eigenschaften des Plattenmaterials in den Konstanten c_1 , c_2 und k zusammengefaßt. v_T ist die Rillengeschwindigkeit. Neben dem großen Einfluß der Masse m des schwingenden Elements bleiben die Auflagekraft F_A und die Nadelverrundung r_N in gegenläufigen Abhängigkeiten die bestimmenden Größen. Hier wird eine Nadel mit mehreren unterschied-

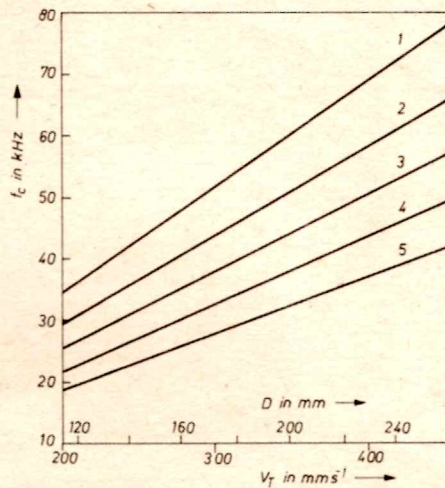


Bild 2: Grenzfrequenz f_c als Funktion der Rillengeschwindigkeit v_T bei der Wiedergabe einer Kunststoffplatte:

Abtasterdaten als Parameter

- 1 $r_N F_A = 100 \mu\text{m mN}$, $\lambda_c = 5,8 \mu\text{m}$
- 2 $r_N F_A = 160 \mu\text{m mN}$, $\lambda_c = 6,8 \mu\text{m}$
- 3 $r_N F_A = 250 \mu\text{m mN}$, $\lambda_c = 7,9 \mu\text{m}$
- 4 $r_N F_A = 400 \mu\text{m mN}$, $\lambda_c = 9,2 \mu\text{m}$
- 5 $r_N F_A = 630 \mu\text{m mN}$, $\lambda_c = 10,8 \mu\text{m}$

Bild 3: Statischer Abspielverlust D_s , normierte Darstellung

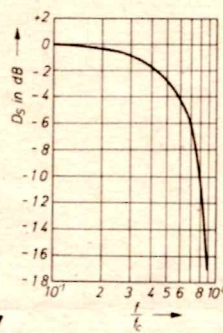
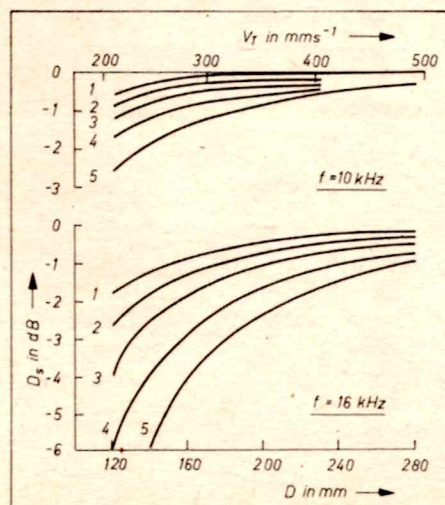


Bild 4: Statischer Abspielverlust D_s als Funktion des Aufzeichnungsdurchmessers für 10 und 16 kHz. Kurven 1 bis 5 Parameter wie Bild 2



Im Zusammenhang mit den Bemühungen zur Verbesserung der Übertragungsqualität beim Schallplattenverfahren mußten Festlegungen und frühere Entscheidungen immer wieder unter Berücksichtigung neuester technischer und technologischer Erkenntnisse und Möglichkeiten überprüft und überarbeitet werden. Das führte in den letzten Jahren zu bemerkenswerten Ergebnissen, auf die im folgenden eingegangen wird.

lichen Radien als optimale Variante erkennbar. Bild 2 enthält Kurvenscharen für ausgerechnete Varianten zur Bestimmung der Auslöschungsfrequenz f_c . Unterhalb f_c stellt sich ein Abfall ein, der für jede Frequenz mit Hilfe des im Bild 3 dargestellten Verlaufs bestimmt werden kann. Bild 4 zeigt für zwei ausgewählte Frequenzen die Werte des statischen Abspielverlustes D_s . Dem Bild 5 ist für die im Bild 2 genannten Abtasterdaten 1 bis 5 die sich als Funktion der Masse m einstellende Rillen-Nadel-Resonanz zu entnehmen. Bild 6 verdeutlicht das Zusammenwirken des statischen Abspielverlustes unterhalb f_c mit der Rillen-Nadel-Resonanz f_0 .

Lange Zeit war die Abkehr von der Kugel und die Hinwendung zur Ellipse (nur diese wurde zunächst als Alternative diskutiert)

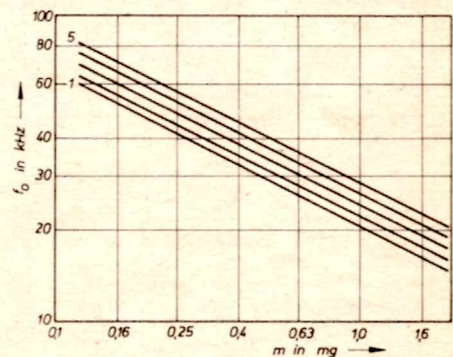


Bild 5: Rillen-Nadel-Resonanz f_0 in Abhängigkeit von der Masse m . Massen der bewegten Teile des Abtasters auf die Nadelspitze reduziert. Kurven 1 bis 5 Parameter wie Bild 2

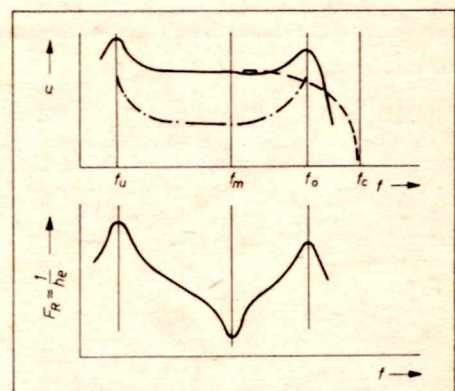


Bild 6: Amplitudenfrequenzgang und Frequenzgang des Eingangsmittanges bzw. der Rückstellkraft eines Schallplattenabtasters

- aus dem statischen Abspielverlust D_s unterhalb f_c abgeleitete theoretische Grenze für einen Bewegungswandler,
- realer Amplitudenfrequenzgang des Wandlers,
- - - Übersprechsignal bei einem Stereoabtaster

wegen der sich damit zwangsläufig erhöhenden Beanspruchung von Rille und Nadel und des damit zu erwartenden höheren Verschleißes umstritten. Wesentliche Impulse für praktische Fortschritte auf diesem Gebiet lieferten die Entwicklungsarbeiten für das Quadrosystem CD-4, bei dem Frequenzen bis zu 45 kHz abzutasten sind [4]. Die dafür entwickelte multiradiale Shibata-Nadel lieferte im Zusammenwirken mit sehr massearmen Abtasterkonstruktionen günstige Ergebnisse. Bild 7 veranschaulicht den Gewinn, der damit im Vergleich zu einer elliptischen Nadel zu erzielen ist. Bild 8 macht deutlich, wie die weiterentwickelten Nadelschliffe die Berührung zwischen Nadel und Rille von der Punkt- zur Linienberührung verändern. Bild 9 zeigt die Querschnitte einiger Nadeltypen. Darüber hinaus entstanden weitere Sonderformen. Neben dem Hauptnachteil, den hohen Fertigungskosten, die zum Teil reduziert wurden, verbleibt eine gegenüber der Kugel kritischere Montage. Die Anwendung von Nadelschliffen mit so kleinen Radien ist nur durch die Fortschritte der Abtaster- und Laufwerkfertigung möglich geworden. Als charakteristisches Merkmal hierfür ist der sichere Betrieb (siehe „Abtastfähigkeit“) eines Abtasters mit Auflagekräften um $F_A \approx 15$ mN zu nennen.

Einzelne Hersteller fertigen Nadeln mit Radien (in Laufrichtung der Rille) um $2 \mu\text{m}$, die aber nur unter besonderen Vorsichtsmaßnahmen angewendet werden können.

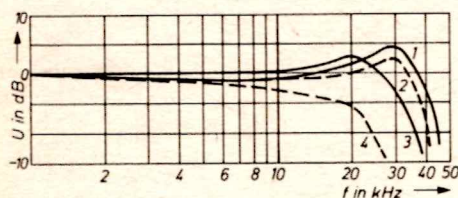


Bild 7: Einfluß des Nadelschliffs auf die Übertragungskurve

- 1 Shibata-Nadel, Außenrillen
- 2 Shibata-Nadel, Innenrillen
- 3 elliptische Nadel, Außenrillen
- 4 elliptische Nadel, Innenrillen

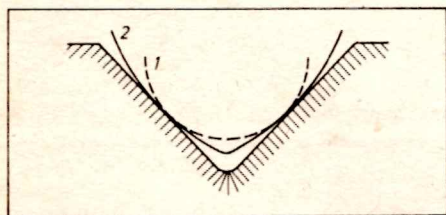


Bild 8: Nadelprofil in der Rille. 1 Nadel mit Punktkontakt (Kugel, Ellipse); 2 Nadel mit Linienkontakt (Shibata, Hyperellipse)

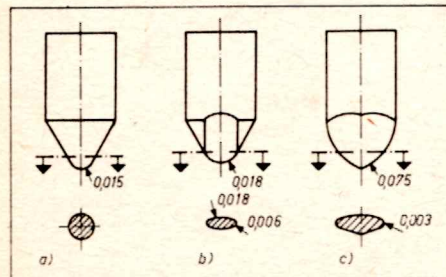


Bild 9: Geometrie verschiedener Abtastnadeln.

- a) kugelförmiger Schliff;
- b) biradialer Schliff (elliptische Nadel);
- c) multiradialer Schliff (Shibata-Nadel)

Verschiedene Firmen bieten Abtaster mit unterschiedlichen Nadeln an. Hier sind interessante Vergleiche möglich. Bild 10 zeigt die Übertragungskurven eines Systems mit einer sphärischen ($15 \mu\text{m}$) und einer sog. hyperelliptischen Nadel ($38 \mu\text{m} \times 5 \mu\text{m}$). Die Übertragungskurven beider Nadeltypen lassen unter standardisierten Meßbedingungen z. B. mit der LB 210 [5] bis 20 kHz und darüber hinaus keine Unterschiede erkennen. Als Folge der massearmen Konstruktion und Auflagekräften um 10 mN liegen die Resonanzfrequenzen bei beiden Nadeltypen oberhalb 30 kHz (wie üblich im Außenbereich einer Schallplatte gemessen). Bild 11 zeigt, daß dagegen im inneren Bereich die Übertragungskurven durch die Nadelausführung sehr wohl beeinflusst werden. Die reale Übertragungskurve mit Hyperellipse weist beim Durchmesser 140 mm einen statischen Abspielverlust D_s von etwa 2 dB bei 16 kHz aus. Dieser Wert liegt praktisch an der Grenze der Wahrnehmbarkeit. Es ist daher an der Zeit, für die Beurteilung hochwertiger Abtaster Zusatzangaben einzuführen, die das Verhalten eines Abtasters im inneren Bereich einer Schallplatte für den interessierten Anwender offenlegen. Dafür ist z. B. eine Darstellung entsprechend Bild 11 mit Ausweis des statischen Abspielverlustes bei 140 mm $\varnothing$ im Verhältnis zu 280 mm $\varnothing$ geeignet.

In Veröffentlichungen zu den Vorteilen von bi- oder multiradialen Nadeln wird häufig auf die Verbesserung der Höhenabtastfähigkeit entsprechend Bild 12 verwiesen. Das ist eine zeichnerische Darstellung für die Grenze der durch die Nadel abtastbaren Beschleunigung, da nach Gl. (3)

$$a_{\max} = \frac{v_T^2}{r^*} \quad (3)$$

der Krümmungsradius der Rillenwand in der Berührungsebene mit der Nadel größer als der Radius r^* der Nadel in dieser Ebene sein muß. Geht man von bestimmten Aufzeichnungsdaten aus, so liegt der kritische Bereich bei kleinen Aufzeichnungsdurchmessern, und die abtastbare Beschleunigung steigt mit fallendem Nadelradius (betrachtet in der Bewegungsrichtung der Rille). Diese Zusammenhänge sind seit langem bekannt, sie spielten auch bei der Festlegung der Daten für die Mikrorillen- und Stereoplatten eine wesentliche Rolle.

Charakteristisch für das Schallplattenverfahren ist das Schneiden der Rille mit einem scharfkantigen Stichel und das Abtasten mit einer verrundeten Abtastnadel. Unter der Annahme, daß die Aufzeichnung in ein Material mit ausreichend geringer Elastizität geschnitten und die Grenzaussteuerung nicht erreicht wird (s. a. Teil 3) entspricht die Rille den Bewegungen des Stichels (und damit dem anliegenden Eingangssignal). Bei einer verrundeten Abtastnadel entspricht jedoch die Bewegung der Nadel, die bei der Wiedergabe für die vom Wandler abgegebene Spannung maßgebend ist, nicht dem Verlauf der Rille. Es entstehen nichtlineare Abtastverzerrungen, auch als Spur- oder Tracingverzerrungen bezeichnet [3]. Bei der Betrachtung des Einflusses der Nadelgeometrie auf diese Verzerrungen können einige Daten in Konstanten zusammengefaßt werden, so daß unterschieden werden kann zwischen

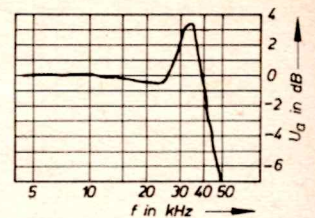


Bild 10: Übertragungskurve Abtaster V 15 V. LB 210 mit erhöhter Drehzahl, $F_A = 12,5$ mN. Mit Kugel $r = 15 \mu\text{m}$ und Hyperellipse $5 \mu\text{m} \times 38 \mu\text{m}$ gleiche Kurve

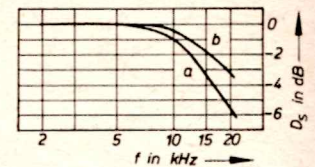


Bild 11: Abweichung der relativen Übertragungskurve beim $\varnothing 140$ mm zur Übertragungskurve $\varnothing 280$ mm.

- a) Kugel, $F_A = 12,5$ mN, Abtaster V 15 V;
- b) Hyperellipse, $F_A = 12,5$ mN, Abtaster V 15 V

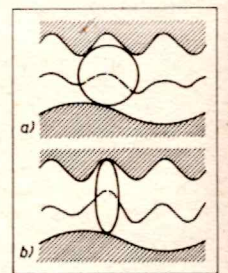


Bild 12: Rille mit kurzwelliger Aufzeichnung (nach [8]).

- a) sphärische Nadel ist nicht in der Lage, der Aufzeichnung zu folgen;
- b) elliptische Nadel kann die Aufzeichnung abtasten

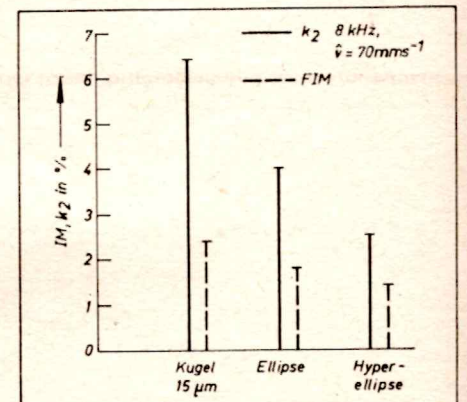


Bild 13: Verzerrungen für verschiedene Abtastnadeln (nach [6])

Spurverzerrungen der Tiefenschrift

$$u_2 = c_1 \frac{u^2}{v_T^2} r_N \quad (4)$$

$$u_3 = c_2 k_1 \frac{u^3}{v_T^4} r_N^2 \quad (5)$$

Spurverzerrungen der Seitenschrift

$$u_3 = c_2 k_2 \frac{u^3}{v_T^4} r_N^2 \quad (6)$$

Verzerrungen aus dem Klemmeffekt bei Seitenschrift

$$u_2 = c_1 \frac{u^2}{v_T^2} r_N \quad (7)$$

Als kritischer Bereich einer Schallplatte wird wieder der innere Teil ausgewiesen. Der Übergang von einer Kugel mit $15 \mu\text{m}$ Radius auf eine elliptische Nadel mit einem wirksamen Radius von $6 \mu\text{m}$ (Bild 12) reduziert die Verzerrungen dritter Ordnung auf $1/6$. Damit werden sie bedeutungslos.

Die Verzerrungen zweiter Ordnung vermindern sich theoretisch auf weniger als die Hälfte ($\approx 0,4$), ganz zweifellos eine beträchtliche Reduzierung. Die Fa. Shure nennt die im Bild 13 angegebenen Zahlenwerte, die die vorstehenden Aussagen belegen. Der Komplex der Spurverzerrungen wird im Teil 3: Aufzeichnungstechnik noch einmal beleuchtet.

Wie [7] zu entnehmen ist, müssen die Abtastkonstruktion und die Betriebsbedingungen auf die modernen Nadelschliffe abgestimmt sein. Das ist offensichtlich so gut möglich, daß keine nachteiligen Auswirkungen auf die Abnutzung der Schallplatten auftreten. Die Literatur enthält nur wenige Angaben über das Abnutzungsverhalten von Nadeln mit bi- oder multiradialen Schliffen. Bei zweckmäßig gewählten Daten sind hohe Betriebszeiten zu erreichen [8].

Übertragungsparameter des Abtasters

Die Beurteilung der Abtastfähigkeit eines Abtasters, d. h. seiner Fähigkeit, einer vorgegebenen Aufzeichnung weitgehend verzerrungsfrei folgen zu können, erfolgt üblicherweise für zwei Bereiche. Die denkbare dritte Bestimmungsgröße, die Schnellefähigkeit, bereitet keine Probleme, so daß auf eine Prüfung verzichtet wird. Bei der Beurteilung der Auslenkfähigkeit A_z wird die Auflagekraft F_A ermittelt, die mindestens erforderlich ist, um 315-Hz-Aufzeichnungen definierter Auslenkung ($50 \mu\text{m}$) ohne Verlust des Nadel-Rillenkontaktes abzutasten. Es wird auch mit konstanter Auflagekraft bei variabler Auslenkung mit praktisch gleicher Aussage gearbeitet. Bei der Bestimmung der Auslenkfähigkeit A_z spielen Fragen der Nadelgeometrie keine Rolle. Die entscheidende Größe ist die Nachgiebigkeit der Nadelträgerlagerung. Die Anwendung der LB 238 [5] zeigt, daß unter Betriebsbedingungen moderne Abtaster erheblich größere Auslenkungen als $\xi = \pm 50 \mu\text{m}$ bei 315 Hz abtasten können. Wie noch gezeigt wird, müssen die aus Gründen der Reproduzierbarkeit an möglichst ebenen Schallplatten ermittelten Meßwerte mit einem Sicherheitsfaktor bewertet werden, um die Abspielbarkeit realer Platten zu sichern. Für die Prüfung der Beschleunigungsfähigkeit wird die Messung der Höhenabtastfähigkeit D_H herangezogen. Hierbei werden Impulspakete 10 000 Hz abgetastet und die mit der Impulsfolgefrequenz von 250 Hz entstehenden Modulationsprodukte ins Verhältnis zum Ausgangssignal 10 000 Hz gesetzt. Bei Anwendung dieses Verfahrens unter den üblichen Meßbedingungen wird die Unterlegenheit der sphäri-

schen Nadel nur bei sehr großen, auf Platten selten anzutreffenden Aussteuerungen erkennbar, Bild 14. Auch hier trifft das über die standardisierte Messung der Übertragungskurve Gesagte zu: die Messungen sollten zusätzlich bei kleinen Aufzeichnungsradien durchgeführt werden, um die Spurführungseigenschaften unterschiedlicher Nadelschliffe unter realen Bedingungen deutlich zu machen. Diese Problematik wurde im Rahmen von Abnutzungsversuchen an Schallplatten bei kleinen Aufzeichnungsdurchmessern trotz der dabei angewendeten relativ groben Meßmethode deutlich sichtbar [7].

Im mittleren Frequenzbereich wird die Bestimmung der FIM-(Frequenz-Intermodulations) Verzerrungen mit 3150 und 315 Hz angewendet. Die Aufzeichnung der LB 202 [5] erfolgte mit Vorkompensation der bei der Wiedergabe mit einer Nadelverrundung von $15 \mu\text{m}$ entstehenden Spurverzerrungen (Tracingverzerrungen). Die geschilderten Veränderungen in der angewendeten Nadelgeometrie erfordern ein Neu-durchdenken dieses Komplexes und möglicherweise auch den Ersatz vorhandener Meßplatten. Die Anwendung dieses Meßverfahrens war eine große Unterstützung für die Annäherung der vertikalen Spurwinkel von Platten und Abtastern. Diese Aufzeichnungen sind auch geeignet, um als Amplitudenmodulation auftretende Wandlerverzerrungen zu erfassen.

Die Kanaltrennung spielt bei der stereofonen Wiedergabe eine wichtige Rolle. Bei einem Übersprechdämpfungsmaß $> 25 \text{ dB}$

im mittleren Frequenzbereich (Meßwert bei 1 000 Hz) erreicht die wahrnehmbare Kanaltrennung den Maximalwert. Diese 25 dB werden heute von vielen hochwertigen Abtastern erreicht und überschritten. Die Kanaltrennung reduziert sich bei f_H und f_L auf sehr kleine Werte. Die heute übliche Lage dieser Resonanzen außerhalb des Übertragungsbereiches sichert ausreichend hohe Werte der Kanaltrennung im gesamten Übertragungsbereich, Bild 6. Zu berücksichtigen ist, daß jede Winkeldifferenz zwischen den Komponentenwinkeln von Platte und Abtaster die erreichbare Kanaltrennung verschlechtert. Bereits 3° Winkeldifferenz begrenzen die Kanaltrennung auf Werte $< 25 \text{ dB}$. Die Komponentenwinkel eines Abtasters werden auch durch seinen vertikalen Spurwinkel und damit z. B. auch von der Auflagekraft beeinflusst [3] [9]. Im Verlaufe von fast drei Jahrzehnten wurden die Nennwerte des Achsenkreuzwinkels mit 90° und der Komponentenwinkel mit 45° nicht verändert, Bild 15. Dagegen wurde der Sollwert des vertikalen Spurwinkels von 15° auf 20° vergrößert, was über die geschilderten Zusammenhänge eine veränderte Auslegung der Abtastsysteme erforderte. Wenn auch die meßtechnische Bestimmung des Absolutwertes eines beliebigen Spurwinkels bisher [10] noch etwas unsicher war, so steht außer Zweifel, daß sich die Annäherung von Platte und Abtaster ständig verbessert hat. Aus den sechziger Jahren liegen Meßergebnisse vor, bei denen zwischen Abtastern und Platten Differenzen der Spurwinkel von über 30° auftraten [11], wohingegen die heutigen Winkeldifferenzen 5° nicht viel überschreiten dürfen. Dieser Aussage ist ein Spurwinkel γ gegenwärtiger Aufzeichnungen von 22° zugrunde gelegt.

Die aus Spurfähwinkel γ_F (engl. Tracking) resultierenden nichtlinearen Verzerrungen betragen

$$u_2 = k \gamma_F u^2 \frac{1}{v_F} \quad (8)$$

Bild 16 enthält errechnete Werte für ausgewählte Aufzeichnungsdaten. Damit wird unterstrichen, daß die Angleichung der Spurwinkel zu einem klareren, verzerrungsärmeren Klangbild führt. Bei der Entwicklung der Abtaster ist sicherzustellen, daß die Abtastung der Grenzwerte der Aufzeichnung (s. Teil 3) auch beim Zusammen-treffen mit unvermeidlichen Unebenheiten der Schallplatte gewährleistet ist. Bedeutungsvoll ist der aus den Unebenheiten resultierende Höhengschlag während des Abspielvorganges. Im Bild 17 sind Meßwerte aus einer umfangreichen Untersuchung [12] dargestellt.

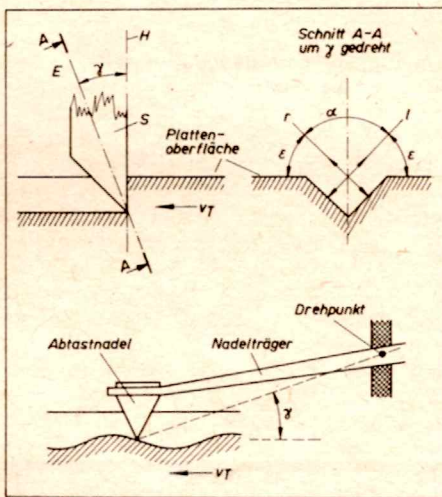


Bild 15: Winkel bei der Stereoschallplatte. E effektive Bewegungsebene des Stiches; H Senkrechte zur Plattenoberfläche; α Achsenkreuzwinkel (90°); γ vertikaler Spurwinkel (20°); α Komponentenwinkel (45°); v_T Bewegungsrichtung der Rille; N Abtastnadel; L Nadelträger; D Drehpunkt

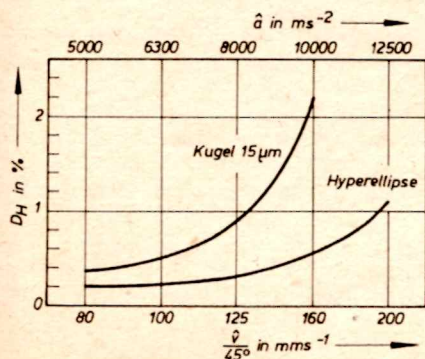
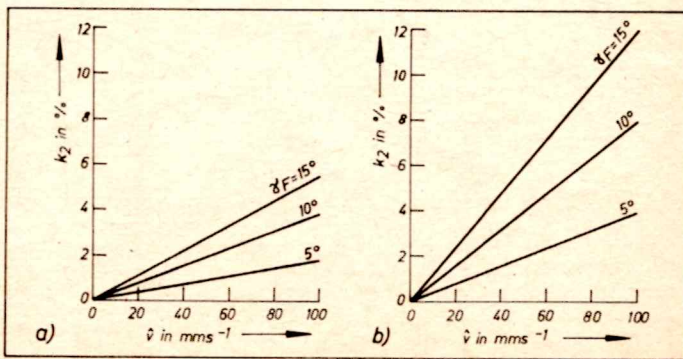


Bild 14: Verzerrungen D_H , gemessen mit LB 237 und Abtaster V 15 V. Aufzeichnungsdurchmesser $> 260 \text{ mm}$

Bild 16: Durch den Spurfähwinkel γ_F entstehende zweite Harmonische. a) Aufzeichnungsdurchmesser 290 mm; b) Aufzeichnungsdurchmesser 120 mm



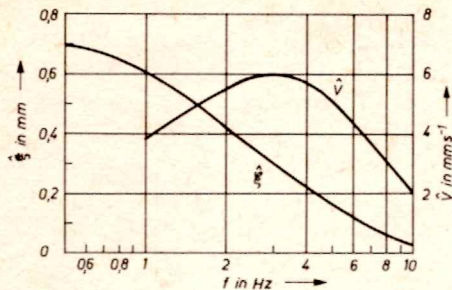


Bild 17: Hüllkurve der gemessenen Maximalwerte des Ausschlages s infolge des Höhenschlages von Schallplatten, auf Schnelle v umgerechnet

Da ein Schallplattenabtaster bei der sich aus dem Zusammenwirken der Gesamtmasse des Abtasters (einschließlich Tragarm) und der Nachgiebigkeit der Nadel-lagerung einstellenden unteren Resonanz f_u einen Maximalwert der Rückstellkraft aufweist, ist der Lage dieser Resonanz besondere Bedeutung beizumessen, Bild 6. Sie muß unterhalb der niedrigsten Signalfrequenz (20 Hz) und oberhalb der höchsten Störfrequenz des Höhenschlages (6 Hz) liegen, um die Abtastung der Signalfrequenzen zu sichern und die Spurführung durch die Störungen nicht zu verlieren. Damit wird deutlich, daß ein Abtaster nicht losgelöst vom Gerät betrachtet und bewertet werden kann, es kommt vielmehr auf die optimale Abstimmung von Abtastsystem, Tragarm und Laufwerk an.

Zur Unterstützung der Abtastfähigkeit bei Abtastern geringster Auflagekraft (10 mN) werden in einigen Fällen dynamische Stabilisatoren angeordnet, die z. B. in Form spezieller Bürsten mit dem System verbunden sind. Sie stellen neben der Nadel eine zusätzliche Verbindung zwischen Abtastsystem und Plattenoberfläche her. Sie entlasten die Nadel, ihre Lagerung und die Rille zumindest teilweise von Führungskräften. Durch Ausrüstung mit leitfähigen Borsten wird zusätzlich die optimale Ableitung elektrostatischer Aufladungen ermöglicht.

Alle vorgenommenen Betrachtungen gelten unabhängig vom Wirkungsprinzip des Wandlers. In der Gruppe der hochwertigen Abtaster bestehen unterschiedliche Bauarten nebeneinander, die dem dynamischen oder dem magnetischen Wirkprinzip zuzuordnen sind. Einige charakteristische Beispiele sind in den Bildern 18, 19 und 20 stark vereinfacht dargestellt. Keine dieser Bauarten besitzt derartige Vorteile gegenüber einer anderen, daß sie allein deshalb für eine Anwendung favorisiert wäre. Das ist aus einem Vergleich der Übertragungsparameter unterschiedlicher Abtastertypen abzulesen. Es kommt auf die zweckmäßige Auslegung aller Bestandteile und der Sicherung eines optimalen Zusammenspiels an. Allen hochwertigen Systemen ist gemeinsam, daß sie außerordentlich geringe, auf die Nadelspitze bezogene Massen m des schwingenden Elements zur Sicherung einer ausreichend hohen oberen Resonanz f_0 aufweisen, s. Bild 5. Die schwingenden Bauteile dürfen keine Teilresonanzen aufweisen. Als ein Beispiel für angewendete Detailoptimierung sei auf das Zusammenspiel der Übertragungskurve des Wandlers, dessen Innenwiderstand und Abschlußwiderstand verwiesen, Bild 21. Die kapazitive

Belastung führt zu einer starken Höhenabsenkung im Zusammenwirken mit dem hohen induktiven Anteil des Innenwiderstandes. Damit wird die in der Rillen-Nadel-Resonanz f_0 vorhandene starke Höhenanhebung des Wandlers wirksam unterdrückt. Die sich bis in den Übertragungsbereich erstreckenden Auswirkungen werden durch die stark bedämpfte elektrische Parallelresonanz der Abtasterinduktivität mit der Zusatzkapazität ausgeglichen. f_c wurde als deutlich oberhalb von f_0 , bei mindestens 60 kHz liegend angenommen, so daß der statische Abspielverlust D_s bei diesen Betrachtungen vernachlässigt werden konnte. Als Zahlenbeispiel sei auf das bereits erwähnte System V 15 V verwiesen, dessen Übertragungskurve Bild 10 zeigt. Die Rillen-Nadel-Resonanz liegt bei etwa 32 kHz, die elektrische Resonanz bei etwa 15 kHz ($L = 500$ mH, $C_A = 200$ pF). Der Anschlußwiderstand beträgt 47 k Ω .

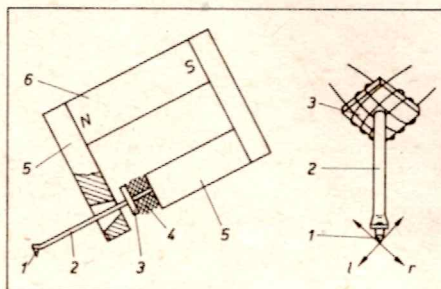


Bild 18: Prinzip eines dynamischen Schallplattenabtasters (bewegte Spule). 1 Nadel; 2 Nadelträger; 3 Spulenträger; 4 Elast; 5 Polschuhe; 6 Magnet; 7, 8 Wicklungen

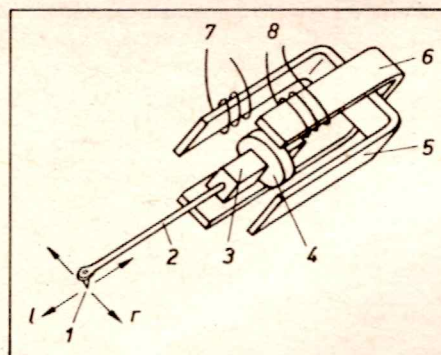


Bild 19: Prinzip eines magnetischen Schallplattenabtasters (bewegter Magnet). 1 Nadel; 2 Nadelträger; 3 Magnet; 4 elastische Lager; 5, 6 Polschuhe; 7, 8 Wicklungen

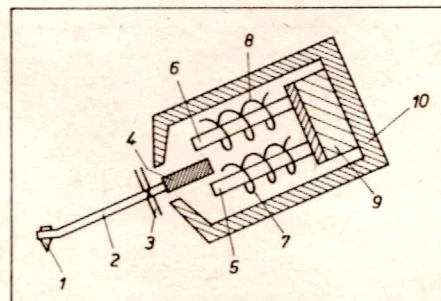


Bild 20: Prinzip eines magnetischen Schallplattenabtasters (variabler magnetischer Widerstand), nur ein System dargestellt, in die Senkrechte gedreht. 1 Nadel, 2 Nadelträger, 3 elastisches Lager, 4 Weicheisenanker, 5, 6 Polstäbe, 7, 8 Wicklungen, 9 Magnet, 10 magnetischer Rückschluß, Abschirmung

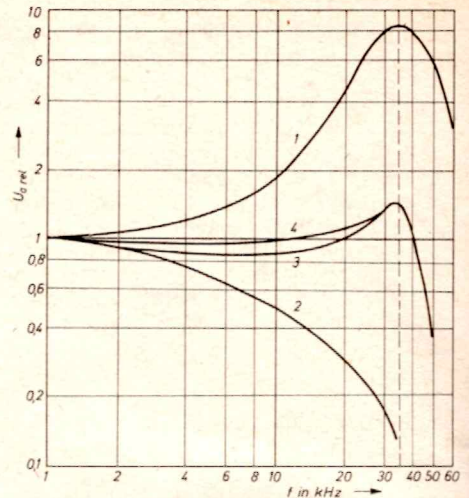


Bild 21: Zusammenwirken zwischen Wandlerübertragungskurve, Innenwiderstand und Abschlußwiderstand. 1 Übertragungskurve des Wandlers im Leerlauf; 2 Spannungsteilung zwischen Innenwiderstand und Abschlußwiderstand; 3 Reduzierung der Leerlaufspannung durch die Spannungsteilung; 4 resultierende Übertragungskurve einschließlich elektrischer Resonanz

Daten des Beispiels:

$R = 1400 \Omega$, $L = 0,5$ H, $R_A = 47$ k Ω , $C_A = 200$ pF

Internationale Normung

Sie hat die Sicherung der freizügigen Austauschbarkeit des Tonträgers Schallplatte zum Ziel. Die IEC-Publikation 98 enthält deshalb keine Qualitätsforderungen und Toleranzen, nur soweit, wie diese zur Sicherung der Austauschbarkeit erforderlich sind. Deshalb sind auch nur wenige Parameter festgelegt. Bedeutsam für die Wiedergabe sind insbesondere die Platten- und Rillenabmessungen einschließlich der für eine korrekte Stereowiedergabe erforderlichen Winkel, die erwähnten Eckdaten für Nadeln und die Wiedergabekennlinie. Auf letztere wird im Zusammenhang mit der Aufzeichnungskennlinie im Teil 3 eingegangen.

Zusammenfassung

Die Entwicklung der Schallplattenwiedergabetechnik ist seit etwa 15 Jahren durch eine stetige Vervollkommenung gekennzeichnet. In diesem Teil des Beitrages wurde versucht, die sich aus dem Zusammenwirken von Rille und Nadel ergebenden Wechselwirkungen zu erläutern und zu deuten. Es sollte klar werden, daß der eigentliche Wandler nur Signale umsetzen kann, die ihm von der Rille über die Nadel übermittelt werden. Die bei der Abtasterentwicklung erzielten Ergebnisse wurden selbstverständlich gestützt durch die Fertigung hochwertiger Antriebe und Tragarme, die letztlich erst die praktische Benutzung hochwertiger Abtaster ermöglichen. Wenn bei einer späteren Gelegenheit Meßergebnisse mitgeteilt werden, so wird deutlich werden, daß durch diesen Prozeß der zeitweise vorhandene Qualitätsvorsprung der Schallplatte bald eingeholt war, insbesondere stellte der Parameter Rumpelgeräusch für die Weiterentwicklung der Plattentechnik eine große Herausforderung dar. Ohne daß grundlegend neue Verfahren oder Systeme angewendet werden, unterscheidet sich die heutige Spitzenwiedergabequalität und auch die als

Fortsetzung auf Seite 727

HiFi-Qualität bezeichnete sehr deutlich von jener der sechziger Jahre. Auffällig sind die Fortschritte hinsichtlich der Abtastbarkeit hochausgesteuerter Platten, die beachtliche Minderung linearer und nichtlinearer Verzerrungen im Außenbereich einer Schallplatte. Das war im Detail nur möglich durch neue Werkstoffe (Magnetmaterialien, Materialien für Nadelträger, Elaste als Lagerwerkstoffe). Nachdem der eigentliche Wandler optimiert war, konnte die nächste Grenze nur durch Veränderung der Nadelgeometrie, durch die Anwendung bi- bzw. multiradialer Nadelschliffe, überschritten werden. Das Ergebnis der Kombination aller Maßnahmen ist nun schließlich die so starke Reduzierung der Radiusab-

hängigkeit des Amplitudenfrequenzganges und der nichtlinearen Verzerrungen, daß diese praktisch nicht mehr wahrnehmbar sind. Das hatte Folgen für die Aufzeichnung und war auch der Grund dafür, daß das Zusammenwirken von Rille und Nadel im Vordergrund der Betrachtung stand.

Wird fortgesetzt

Literatur

- [3] Taschenbuch Akustik. Kapitel 10.6. Nadelton-technik. Berlin: VEB Verlag Technik 1984
- [4] Hohmuth, G.: Das „CD-4“-Vierkanal-Schallplattensystem. radio fernsehen elektronik, Berlin 22 (1973) 8, S. 247–250
- [5] Anton, O.: Aktuelle Meßschallplatten. radio fernsehen elektronik, Berlin 33 (1984) 8, S. 522 bis 523
- [6] Shure High Fidelity. Firmenprospekt
- [7] Hohmuth, G.: Verschleißerscheinungen bei der Schallplattenabtastung. radio fernsehen elektronik, Berlin 34 (1985) 8, S. 530–533
- [8] Loesch, F. A.: Schallplattenwiedergabe hoher Qualität und ihre Probleme. Funkschau, München 46 (1974) 4, S. 106–109
- [9] Hohmuth, G.: Bestimmung der Komponentenwinkel an Abtastsystemen. radio fernsehen elektronik, Berlin 34 (1985) 2, S. 112–114
- [10] Neue Meßmethode für vertikale Spurwinkel. radio fernsehen elektronik, Berlin 34 (1985) 9, S. 547
- [11] Redlich, H.; Klemp, H.-J.: Tracing Simulator – Ein Verfahren zur Schallplattenaufzeichnung für verzerrungsarme Wiedergabe. Internationale Elektronische Rundschau, Berlin (W) 19 (1965) 11, S. 15–20
- [12] Kogan, J.; Jacobs, B.; Karlov, F.: Trackability – 1973. Audio, Philadelphia 57 (1973) August, S. 16–21

Schallplattentechnik

Teil 3 und Schluß: Aufzeichnungstechnik

Ing. GERHARD HOHMUTH

Mitteilung aus dem VEB Deutsche Schallplatten Berlin

Der folgende Beitrag beschäftigt sich mit dem Prozeß der Herstellung der Schallplatte. Ausgangsmaterial ist die auf Magnetband gespeicherte Originalaufzeichnung oder eine Kopie davon. Die Plattenvervielfältigung wird nachfolgend in den Komplex Aufzeichnungstechnik einbezogen.

Entsprechend der „Philosophie“ des VEB Deutsche Schallplatten gilt der künstlerisch gestaltende Prozeß mit der Fertigstellung des Originalbandes als abgeschlossen. Die Umsetzung vom Band auf die Platte erfolgt demzufolge im Regelfall gehörmäßig im Verhältnis 1:1. International wird diese Auffassung jedoch nicht durchgängig vertreten. Andere Firmen beziehen teilweise die Plattenaufzeichnung in den künstlerisch gestaltenden Prozeß mit ein. Die Verfechter dieser Verfahrensweisen verweisen darauf, daß nur so eine maximale Ausnutzung der Kanalkapazität des Nadeltonverfahrens möglich sei. Insbesondere bei der Aufzeichnung sog. klassischen Programmmaterials ist eine derartige Verfahrensweise aber nur in sehr seltenen Fällen korrekt durchführbar, weshalb in unserem Betrieb die o. g. Praxis vorherrscht.

Mit der Einführung des neuen Labels Eterna DMM/Digital ist die Frage aktuell, welche technologischen Veränderungen sich hinter dieser Bezeichnung verbergen und welche Veränderungen oder Verbesserungen der Hörer an einer derartigen Schallplatte wahrnehmen kann. Zur Beantwortung dieser Fragen muß auf spezielle Probleme der Schallplattentechnik eingegangen werden, wobei vorerst auch Einzelheiten der bisher angewendeten Technologie erläutert werden.

Herstellung der Magnetbandaufzeichnung

Die seit Jahrzehnten der Plattenaufzeichnung vorausgehende Speicherung der akustischen Ereignisse auf Magnetband hat einerseits erst die Perfektion der heutigen Langspielplatte ermöglicht, andererseits sind aber die Platten zusätzlich mit den qualitativen Mängeln der Magnetbandaufzeichnung behaftet. Auch die Weiterentwicklung der Bänder und der Einsatz von Rauschminderungssystemen konnte diese Mängel nicht beseitigen, sondern nur reduzieren. Dem analogen Magnetbandspeicher haften folgende negative Effekte an [13]:

- Relativ hohe nichtlineare Verzerrungen, vor allem bei hohen Aussteuerungen

- lineare Verzerrungen
- Modulationsrauschen
- frequenzabhängige Aussteuerungsgrenze (Sättigungseffekte bei kleinen Wellenlängen)
- Zeitbasisfehler, Phasenschwankungen, Gleichaufschwankungen
- Intermodulationsverzerrungen
- Kopiereffekte
- begrenzter Rauschabstand.

Ein Teil dieser Effekte wird erst bei mehrfacher Duplizierung deutlich wahrnehmbar. Da aber die Duplizierung technologisch unumgänglich ist, besitzen gegenwärtig viele Ausgangsbänder für die Plattenaufzeichnung bereits hörbare Qualitätsmängel. Durch den Einsatz digitaler Magnetbandspeicher können diese Qualitätsmängel auch bei häufiger Duplizierung vermieden werden.

Die Bilder 22 bis 24 sollen einige Aussagen unterstützen. Meist erfolgen digitale Originalaufzeichnungen mit 16-bit-Systemen

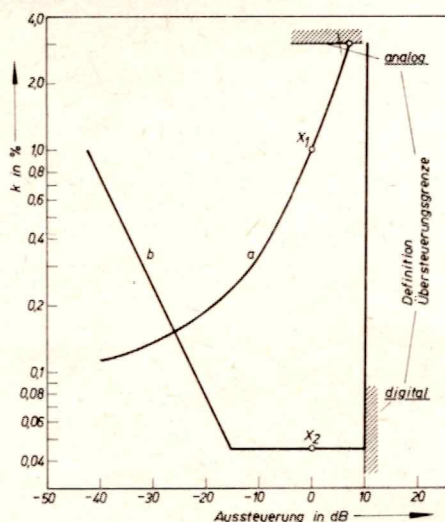
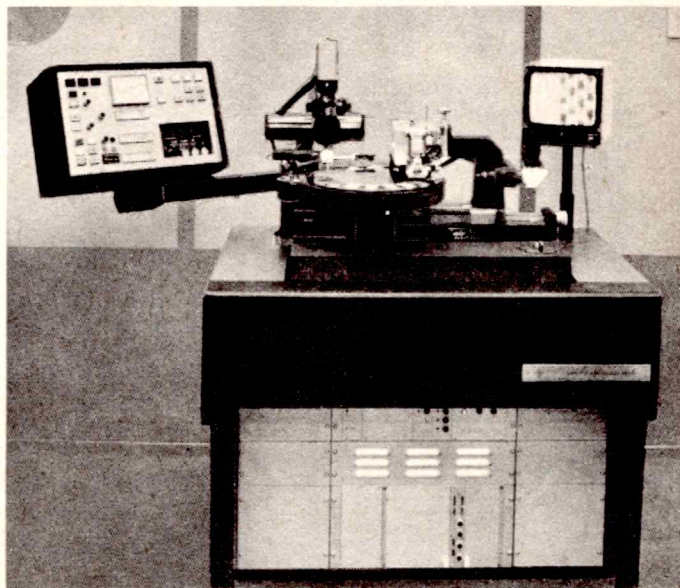


Bild 22: Aussteuerungsverhalten unterschiedlicher Systeme. Kurve a – analoge Magnetbandanlage; Kurve b – digitale Magnetbandanlage; X₁: Vollaussteuerung bei analoger Aufzeichnung; X₂: Vollaussteuerung bei digitaler Aufzeichnung. Abstand zwischen X₂ und Aussteuerungsgrenze: Headroom



Schallplattenaufzeichnungsanlage der DMM-Technologie Foto: H. Mirschel

men mit einer Samplingfrequenz von 44,1 kHz. Damit wird ein Übertragungsbereich von 20...20 000 Hz mit Abweichungen < 0,5 dB realisiert. Störgeräusche sind bei sachgerechter Aussteuerung nicht hörbar. Gleichaufschwankungen sind nicht mehr meßbar. Fehlerkorrektursysteme sichern, daß auch nach mehrfacher Duplizierung die Kopien noch mit der Ausgangsaufzeichnung identisch sind. Damit stehen Urbänder für die Plattenaufzeichnung zur Verfügung, deren Klang sich nicht mehr von dem

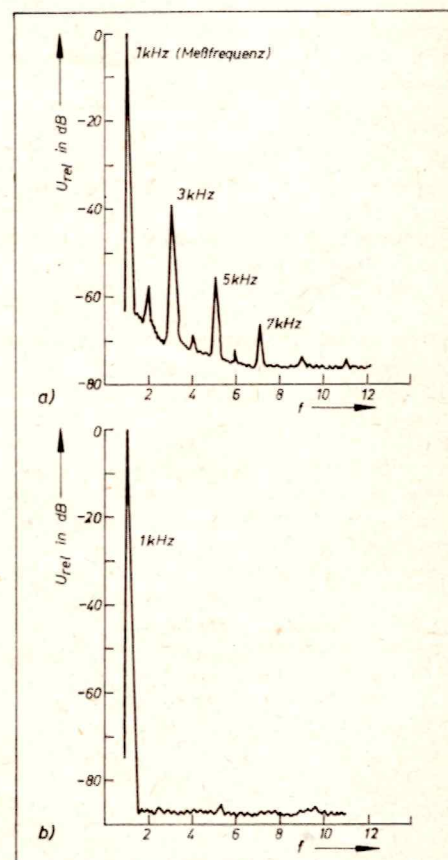


Bild 23: Charakteristischer Verlauf der nichtlinearen Verzerrungen. a) analoge Studiomagnetbandanlage; b) digitale Magnetbandanlage (PCM)

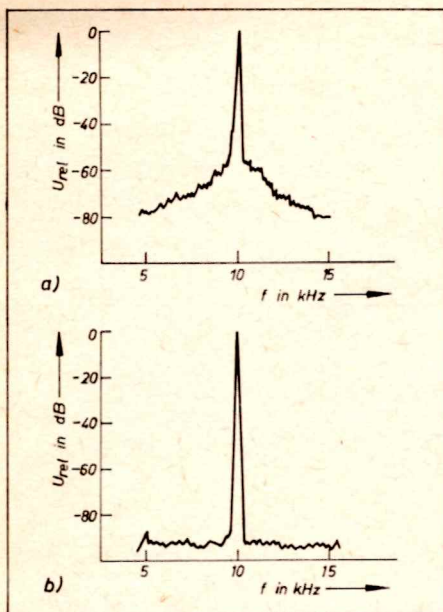


Bild 24: Charakteristische Modulationsspektren. a) analoge Studiomagnetbandanlage; b) digitale Magnetbandanlage (PCM)

im Aufnahmestudio eingestellten Ursprungssignal unterscheidet. Die unmittelbar davon hergestellte Schallplattenaufzeichnung ist verzerrungsärmer und transparenter. Die Umsetzung digitaler Signale in die für die Schallplattenaufzeichnung erforderlichen analogen Signale erfolgt durch D-A-Wandler während der Plattenaufzeichnung.

Der Übergang zur digitalen Speicherung ändert prinzipiell nichts an der Dynamik einer Aufzeichnung. Die Programmdynamik als Bereich zwischen den maximal und minimal auftretenden Spitzenpegeln von Programmsignalen als Ergebnis der klangtechnischen Anpassung der Originaldynamik muß sich an der Wiedergabe über Lautsprecher in Wohnräumen orientieren [14].

Technologien der Schallplattenaufzeichnung

Die Aufzeichnung der Quadroschallplatten CD-4 (mit Frequenzen bis 45 kHz) erfolgte frequenztransponiert bei halber Drehzahl, um herkömmliche dynamische Schallplattenschreiber verwenden zu können [4]. Die Technik der frequenztransponierten Aufzeichnung wurde danach auch für normale Stereoschallplatten propagiert und teilweise auch angewendet, sog. Half-Speed-Recording. Die langsamere Aufzeichnung soll die Konturen der geschnittenen Rille und die Übertragung hoher Frequenzen verbessern. Nach den Erfahrungen beim VEB Deutsche Schallplatten werden bei guter Einmessung und scharfem Stichel (d. h. nicht oder nur mäßig abgenutzter Stichel) bei herkömmlicher Aufzeichnung gute Ergebnisse erzielt. Zum Beispiel wurden viele Meßplatten mit sehr engen Toleranzen bis 20 kHz aufgezeichnet, und nur einmal – bei der LB 204 – wurde die Frequenztransponierung 1:2 angewendet. Aus verschiedenen Gründen erfolgte die Rückkehr zur Aufzeichnung 1:1, und die nach der LB 204 herausgebrachten Platten waren insgesamt besser. Ähnliche Erfahrungen machten auch andere Hersteller, so daß die Technologie der Frequenztransponierung beim Schnitt in Lack auf Sonderanwendungen bzw. einzelne Firmen beschränkt blieb.

Eine andere Entwicklungsrichtung repräsentieren die Direktschnitt-Schallplatten (Direct Disc Recording). Hier wurde versucht, durch den Verzicht auf Zwischenspeicherung auf analogem Magnetband eine technisch hochwertige Schallplatte zu erzeugen. Nachdem erst die Zwischenspeicherung den heutigen Stand der LP ermöglicht hat, sollte nun durch Verzicht auf den Bandspeicher die Qualität verbessert werden? Bei näherer Überlegung verbleiben als rationaler Kern dieses Trends die gleichen Gründe, wie sie für die Einführung der digitalen Magnetbandspeicher genannt wurden. Plattentechnisch bedeutet der Direktschnitt aber den Verzicht auf die pegelabhängige Rillenbreiten- und Vorschubsteuerung und damit Begrenzung der Spieldauer auf etwa 20 Minuten. Direktschnitt heißt aber auch Musizieren ohne nachträgliche Korrekturmöglichkeiten (kein Cuttern). Möglicherweise macht das einen Teil des Wertes dieser Platten aus, zumal auch die Anzahl der von einer Aufzeichnung herstellbaren Platten technisch begrenzt ist. Aus diesen Gründen ist diese Technologie zur allgemeinen Anwendung nicht geeignet. Technisch ist das gleiche Ergebnis mit digitaler Bandspeicherung ohne die, die Spielzeit begrenzenden Nachteile erzielbar.

Bei der Weiterentwicklung der Schallplattenschreiber gelang Ende der sechziger Jahre mit dem SX 68 (Nachfolger SX 74) der große Durchbruch (Fa. Georg Neumann, West-Berlin). Mit diesen Schreibern wurden stabile Verhältnisse erreicht. Erstmals entsprach bei Serienerzeugnissen der vertikale Spurwinkel dem genormten Wert [15]. Die Übertragungskurve wies zwischen 31,5 Hz und 16 000 Hz Abweichungen von maximal 0,5 dB auf, auch außerhalb dieser Grenzen arbeiten diese Schreiber stabil, wie durch Meßplatten belegt wird. Hinzu kommt eine hohe Belastbarkeit und eine gute Betriebssicherheit. Der gegengekoppelte, dynamische Schreiber, die Verstärker und elektronischen Sicherungen bilden eine Funktionseinheit. Mit den Grenzwerten $\dot{x}_{\max} = 0,1$ mm bei Frequenzen bis 350 Hz und Schnellen von $\dot{v} = 200$ mm/s (kurzzeitig bis 720 mm/s) bis 10 000 Hz treten die Grenzen des Schreibers in den Hintergrund. Die sichere Beherrschung impulsbehafteter Signale erfordert eine Verstärkerleistung von 600 W je Kanal. Mit Hilfe spezieller Baugruppen wird unter anderem die Temperatur in den Treibspulen des Schreibers überwacht, um eine thermische Zerstörung des Antriebssystems zu vermeiden. Um zu verhindern, daß Aufzeichnungen geschnitten werden, die nicht mehr abgetastet werden können, wurden schnelle Be-

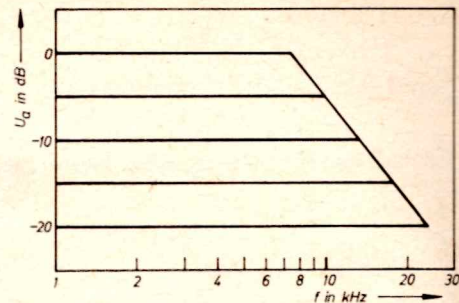


Bild 25: Wirkung eines Beschleunigungsbegrenzers (konstantes Eingangssignal als Parameter). Der eingestellte Grenzwert beträgt $\dot{a} \approx 8\,800$ m/s²

schleunigungsbegrenzer (Ansprechzeit erste Stufe 5 μ s, zweite Stufe 10 ms) in die Verstärkerkette integriert (s. Bild 25). Der Beschleunigungsbegrenzer spricht im allgemeinen so schnell an, daß die vorgenommene Begrenzung gehörmäßig nicht wahrgenommen wird [16]. Für die Aufzeichnung in Lack stellt der SX 74 weiterhin den Höchststand dar und ist sicher gegenwärtig der meist verbreitete Schreiber.

Diese Schreiber bildeten eine Voraussetzung für die Vorkompensation der bei der Abtastung entstehenden nichtlinearen Abtastverzerrungen (s. Bilder 26 und 27) mit einem Tracing-Simulator. Nach [11] [3] [17] bilden Funktionsgeneratoren die Oberwellen zweiter und dritter Ordnung entsprechend den mathematischen Abhängigkeiten nach und fügen sie radiusabhängig mit entgegengesetzter Phasenlage dem Aufzeichnungssignal hinzu. Die Problematik dieser Technik darf nicht unterschätzt werden. Beim Schnitt in ein letztlich elastisches Material sind die Abweichungen zu korrigieren, die später bei der Abtastung mit einem beliebigen Abtaster entstehen. Die serienmäßig gelieferten Geräte kompensieren im Interesse einer stabileren Arbeitsweise und aus ökonomischen Gründen nur die Verzerrungsanteile zweiter Ordnung [17]. Die begrenzte Bandbreite läßt eine Verzerrungskompensation nur bis etwa 8 kHz Grundfrequenz zu. Die Kompensation setzt einen Bezugswert der Nadelverrundung voraus. Entsprechend dem technischen Stand zum Zeitpunkt der Einführung war das eine sphärisch verrundete Nadel mit $r = 15$ μ m. Mit einem Abtaster, dessen vertikaler Spurwinkel mit der Aufzeichnung übereinstimmt, sind z. B. bei 3 150 Hz und $\dot{v} = 80$ mm s⁻¹ bei 220 mm $\varnothing$ Verzerrungsminderungen der zweiten Harmonischen um 8...16 dB nachweisbar (Streuung vor allem vom Stichel beeinflusst). Als Optimalwert wird dabei ein Klirrfaktor von etwa 1 % erreicht. Verzerrungsreduzierungen in

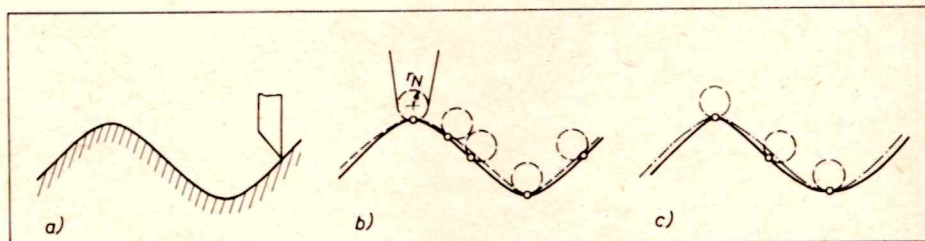


Bild 26: Zur Entstehung der Spurverzerrungen [17]: a) Schnitt mit einem scharfen Stichel, die Rille entspricht dem Eingangssignal; b) Nadel gleitet auf der Rille nach a). Durch r_N weicht der Verlauf des Mittelpunktes der Kugel von dem der Rille ab. Die gestrichelte Kurve gibt den tatsächlichen Verlauf des Mittelpunktes der Kugel an; c) die bei der Aufzeichnung vorverzerzte Rille sichert den korrekten Verlauf des Mittelpunktes von r_N . Der Mittelpunkt der Kugel verläuft nach der strichpunktierten Kurve; diese entspricht dem Verlauf von a)

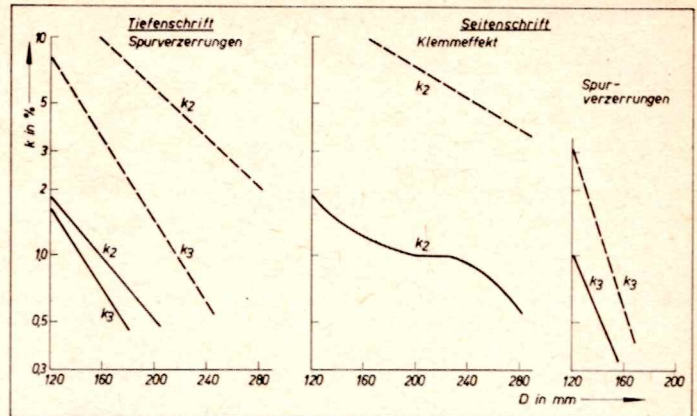
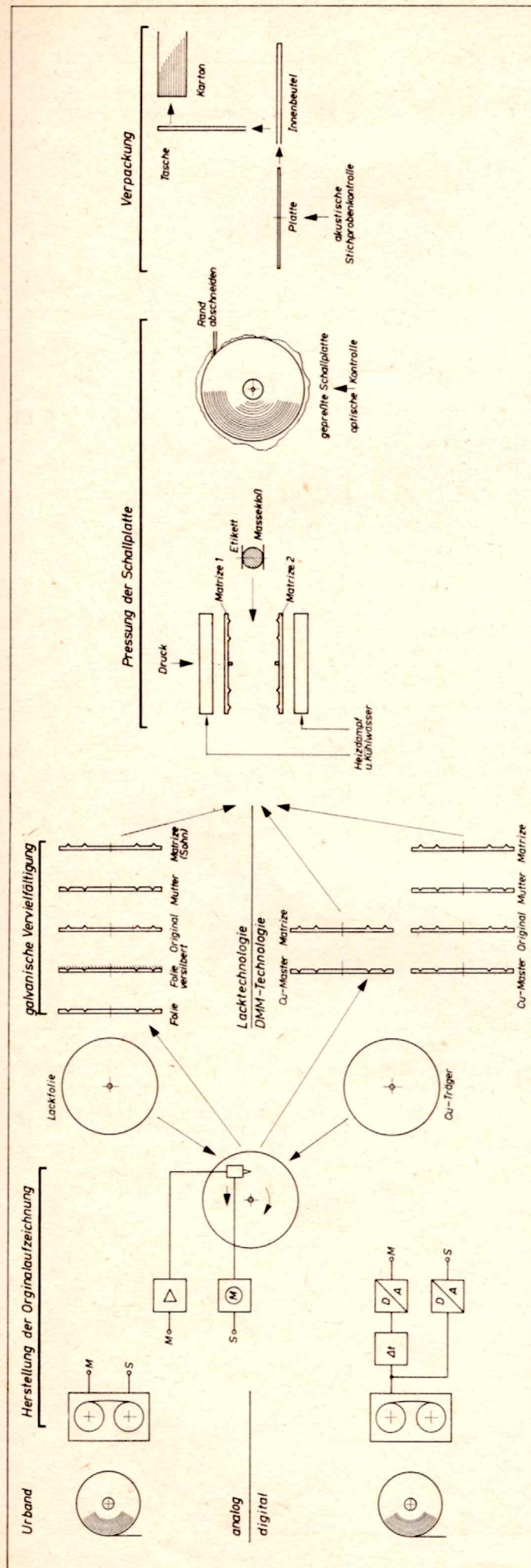


Bild 27: Gemessene geometrische Abtastverzerrungen. $\hat{v} = 100 \text{ mm/s}$, $f = 3150 \text{ Hz}$, $n = 33\frac{1}{3} \text{ U/min}$, $r_N = 15 \mu\text{m}$.
— Aufzeichnung mit Tracing-Simulator; - - - Aufzeichnung ohne Tracing-Simulator

Bild 28: Fertigungsprozeß der Schallplatte

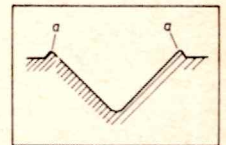


Bild 29: Aufwerfungen a – sog. Hörnerübergangsbereich Rille-Stege beim Schnitt im Lack

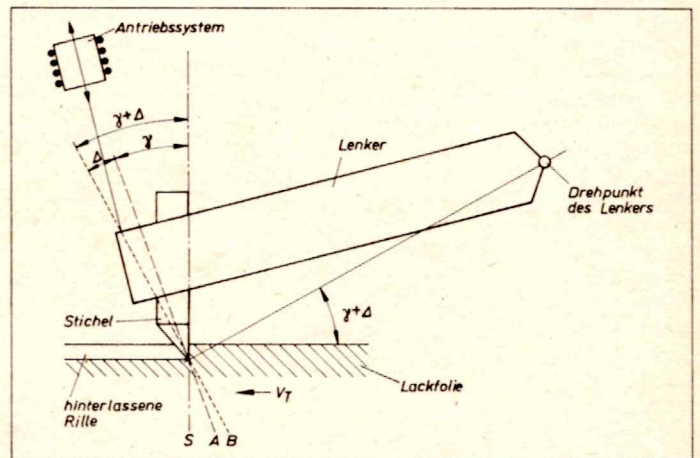


Bild 30: Geometrie beim Schnitt in Lack.
S Senkrechte zur Plattenoberfläche; A aus der hinterlassenen Rille herauslesbare Bewegungsrichtung mit Spurwinkel γ ; B Bewegungsebene der Stichelspitze; Δ Winkelverschiebung durch Rückfederungseffekt

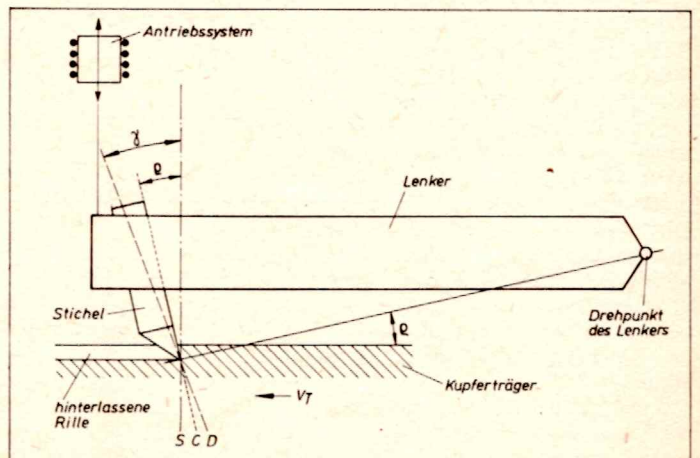


Bild 31: Geometrie beim Schnitt in Kupfer.
S Senkrechte zur Plattenoberfläche; C konstruktiv bestimmte Bewegungsebene der Stichelspitze; D durch elektrische Beeinflussung erzwungene, aus der Rille herauslesbare Bewegungsrichtung mit Spurwinkel γ

ähnlichem Maße werden auch bei der FIM-Messung nachgewiesen. (Im praktischen Betrieb sind die Zahlenwerte der Verzerrung niedriger, weil die angegebenen Werte bei der Einmessung mit linearer Aufzeichnungs-Wiedergabekennlinie gelten. Der Effekt der Verzerrungsminderung ist natürlich gleich.) Die Verzerrungsminderung ist vor allem bei durchsichtigem, kritischem Programmmaterial (Einzelstimme, Chöre, einzelne Bläser) gehörmäßig wahrnehmbar. Trotzdem ist es immer wieder erstaunlich, wie gering die wahrnehmbare Verzerrungsminderung eigentlich ist (oder anders ausgedrückt: wie unempfindlich das Ohr auf quadratische Verzerrungen reagiert [18]). Der Einsatz des Tracing-Simulators bei der Aufzeichnung ist nicht möglich, wenn das Urband bereits hörbare Verzerrungen aufweist. Die Wirkung des Tracing-Simulators wird aufgehoben, wenn der vertikale Spurwinkel des Abtasters von dem der Aufzeichnung nennenswert abweicht. Über die bei Spurfehlern entstehenden Verzerrungen gab Bild 16 (Teil 2) Auskunft. Beim VEB Deutsche Schallplatten wurden trotz der geschilderten gelegentlichen Probleme zwischen 1970 und 1985 der überwiegende Teil der Aufzeichnungen mit Tracing-Simulator geschnitten (weit mehr als 10 000 Plattenseiten). Zum Zeitpunkt der Einführung des Tracing-Simulators gab es zu diesem Gerät keine Alternative. Der Grundgedanke war bestehend: Dieses Gerät bei der Aufzeichnung zusätzlich eingesetzt, ermöglicht die verzerrungsarme Wiedergabe bei Verwendung der unproblematischen, vergleichsweise billigen, betriebssicheren, sphärisch verrundeten Nadel. Trotzdem kam es nicht zu einer generellen, weltweiten Einführung; der Tracing-Simulator fand keinen Eingang in die internationale Normung. Inzwischen ist die Anwendung weiter zurückgegangen. Der Hauptgrund dafür dürfte sein, daß inzwischen bi- und multiradiale Nadeln über hoch- und höchstwertige Abtaster auf dem Weltmarkt eingeführt wurden und damit die Erschließung von Feinheiten der Plattenaufzeichnung gelang, die mit einer sphärisch verrundeten Nadel (und Tracing-Simulator auf der Aufzeichnungsseite) nicht erschlossen werden können. Mit steigenden Fertigungserfahrungen fanden diese Nadeln Anwendung bei einem großen Teil der HiFi-Abtaster, die damit wiederum qualitativ aufgewertet wurden. Die technischen Zusammenhänge wurden im Teil 2 erläutert. Der Einsatz des Tracing-Simulators endete beim VEB Deutsche Schallplatten mit dem Übergang zur DMM-Technologie. Mit dem neuen Label unseres Betriebes wird ein weiterer Teil der Schallplattentechnologie besonders herausgestellt: die durch DMM (Direct Metal Mastering) gekennzeichnete Metallschnitttechnologie. Wie im Bild 28 verdeutlicht ist, tritt damit an die Stelle der seit über drei Jahrzehnten üblichen Technik des Schnittes in eine Lackschicht ein neues Verfahren. Um die mit der Einführung dieser Technologie verbundenen Veränderungen verstehen zu können, werden einige Besonderheiten der herkömmlichen Lacktechnologie erläutert.

Herkömmliche Technologie

Trotz des in Zusammenwirken von Lackfolie (Aufzeichnungsträger aus einer Alumi-

niumscheibe, die mit einer etwa 0,2 mm dicken Schicht aus Nitrozelluloselack überzogen ist) und Schneidtechnik erreichten hohen Standes konnten einige Schwachstellen bisher nicht beseitigt werden. Einer der Gründe dafür ist, daß die für den Schneidvorgang optimierte Lackschicht kein stabiles Material, sondern durch klimatische Einwirkungen (vor allem Temperatur) veränderlich ist, als weitere Einflußgröße wirkt die Zeitspanne zwischen Schnitt und Weiterverarbeitung. Die für das Grundgeräusch der später hergestellten Platte sehr wichtige Güte der Rillenoberfläche wird außer vom Lack durch die Größe und Form der an den Stichelkanten angeschliffenen Facetten und die Stichtemperatur beeinflusst. Allein die der Messung kaum zugängliche Stichtemperatur wiederum wird außer durch die Facetten von der (veränderlichen) Schnittgeschwindigkeit, dem Strom in der zusätzlich angebrachten Heizwicklung und der Kühlung durch den zum Absaugen des Spanes notwendigen Luftstrom beeinflusst.

Beim Schnitt absplitternde kleinste Lackteilchen können an den Schneidkanten des Stichels festbrennen. Dadurch entstehen auf den Rillenflanken sichtbare und hörbare „Mitreißer“. Natürlich ist ein derartiger Schnitt nicht weiterverarbeitbar. Eine große Gefahr bilden auch kleine Lackspäne, die an den Rillenflanken ansintern und zu hörbaren Störstellen führen. Beim Schneiden in Lack bilden sich Aufwerfungen, sog. Hörner (s. Bild 29). Diese Hörner behindern die galvanische und die plastische Abformung. Sie müssen deshalb in einem speziellen Arbeitsgang an jeder Mutter abgeschliffen werden. Die zum Lackschnitt eingesetzten Schneidstichel aus Saphir oder Rubin weisen eine durchschnittliche Standzeit von etwa 15 Stunden auf. Während dieser Zeit unterliegen sie einer ständigen Veränderung. Deshalb wurde versucht, diesen Vorgang durch den Einsatz von Diamanten zu stabilisieren. Einzelne Stichel erreichten Standzeiten von mehreren hundert Stunden. Als Hauptschwierigkeit bei Diamantsticheln hat sich das Entfernen des geschnittenen Spanes von der Folie herausgestellt. Die hohen Herstellungskosten für einen solchen Stichel und die immer wiederkehrenden Rückschläge führten zum Abbruch dieser Versuche. In der sich an den Schnitt anschließenden Verarbeitungsstufe wird die Lackschicht mit einem elektrisch leitenden Überzug versehen. Diese Schicht muß sehr dünn, ohne Fremdeinschlüsse, sehr gleichmäßig und vollständig deckend sein. Die Vorbehandlung (Aktivierung) darf die Lackschicht nicht angreifen. Die Reduktionsver Silberung aus der flüssigen Phase des Silbernitrat hat sich dafür am besten bewährt. Für die Vorbehandlungs- und Reinigungsprozesse werden wässrige Lösungen angewandt, wobei auch mit Unterstützung durch Ultraschall gearbeitet wird. Die galvanische Abformung der Lackfolie ist nur einmal möglich, deshalb ist die galvanische Vervielfältigung zur Herstellung der erforderlichen Anzahl Preßmatrizen notwendig [19]. Geringste innere Spannungen in den auf dem Lack abgeschiedenen Nickelschichten führen zu Rückwirkungen auf die Aufzeichnung in der Lackschicht, so daß die erste galvanische Abformung sehr

wesentlich an der Entstehung der lästigen Echoerscheinungen beteiligt ist [20]. Die Fertigungssicherheit des Prozesses vom Schnitt der Lackfolie zur ersten galvanischen Abformung – dem Original – ist unter anderem aus den angeführten Gründen begrenzt. Ausschußraten im Teilprozeß Schnitt bis Musterplatte um 25 % gelten international als ein gutes Ergebnis.

Der Schnitt der Lackfolie erfolgt mit einem Stichel, dessen Schneidbrust nahezu senkrecht steht (s. Bild 30). Die gewünschte Bewegungsrichtung einer Auslenkung mit Tiefenschrift ist um den Spurwinkel γ gegen die Senkrechte geneigt, angestrebt werden Spurwinkel um 20°. Tatsächlich ist aber als Folge des elastischen Verhaltens des Lackes die aus der hinterlassenen Rille herauslesbare Neigung der Bewegungsrichtung um Δ kleiner als der konstruktive Winkel. Die Größe dieses als Rückfederung bezeichneten Effektes wird experimentell ermittelt und bei der Schreiberkonstruktion berücksichtigt, so daß moderne Lackschreiber ein Antriebssystem aufweisen, das um $\Delta \approx 5^\circ$ mehr als der beabsichtigte Spurwinkel geneigt ist [11] [15].

DMM-Technologie

Die Basistechnologie für den Schnitt der Aufzeichnung für Langspielplatten in Kupfer wurde von Teldec (Hamburg, BRD) entwickelt und ist unter DMM bekannt. Damit steht seit 1981, als Bell und Tainter den Schnitt in Wachs einführen, erstmals ein metallisches Objekt für die galvanische Vervielfältigung zur Verfügung. Die geschilderten Probleme der Lacktechnologie können damit umgangen werden [21] [22] [23], so daß sich andere Schallplattenhersteller zur Übernahme dieser Technologie entschlossen.

Geschnitten wird in eine etwa 0,1 mm dicke mikrokristalline Kupferschicht mit exakt definierten physikalischen Parametern (Härte, Elastizitätsmodul), die hochrein und homogen elektrolytisch auf einem 0,8 mm dicken, nichtmagnetischen Träger abgeschieden ist. Die spezielle Kupferschicht behält die für die Schneidfähigkeit entscheidende mikrokristalline Struktur nur begrenzte Zeit, durch gekühlte Lagerung zwischen Abscheidung und Schnitt kann die Rekristallisation verzögert werden. Der metallische Aufzeichnungsträger setzt dem Schneidstichel einen vielfach höheren Schneidwiderstand als der bisher übliche Lack entgegen. Durch mehrere gleichzeitig angewendete Maßnahmen wird der Schneidwiderstand minimiert: scharfer Schneidstichel, Anstellwinkel des Stichels $> 90^\circ$ (Bild 31), Überlagerung einer Ultraschallschwingung.

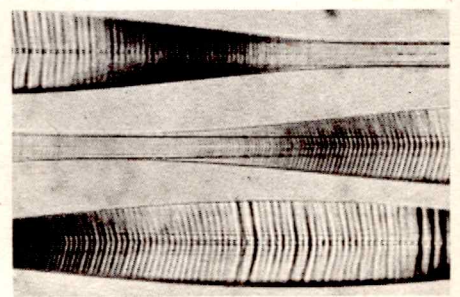


Bild 32: Tiefenschriftaufnahme, geschnitten in DMM-Technologie. Die „Sprossen“ quer zur Laufrichtung signalisieren den Ultraschall. Frequenz des aufgezeichneten Signals 315 Hz

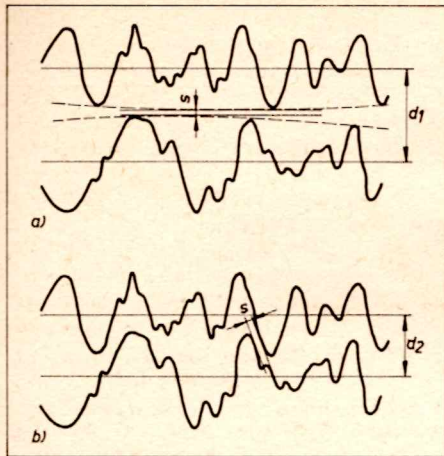


Bild 33: Schematische Darstellung der Auslenkung zweier benachbarter Rillen [24]. a) Vorschubsteuerung nach Hüllkurve; b) Vorschubsteuerung unter Berücksichtigung der Phasenlage. s minimaler Abstand; d_1 , d_2 Rillensteigung

Die erste Maßnahme vermeidet die beim Lackschnitt notwendigen Polierfacetten. Ein positiver Nebeneffekt ist die damit eintretende Verbesserung der Aufzeichnungsbedingungen für sehr kleine Wellenlängen.

Beim Metallschnitt ist der Anstellwinkel des Stichels auf minimalen Schneidwiderstand optimiert. Er weicht um $\approx 13^\circ$ von der Senkrechten ab (s. Bild 31). Zur Minimierung der Auswirkungen von Änderungen des Schneidwiderstandes ist der Drehpunkt möglichst nahe an den Aufzeichnungsträger gelegt. Das bedeutet, daß die konstruktiv bestimmte Bewegungsrichtung der Tiefenschrift des Schreibers nicht mit dem genormten vertikalen Spurwinkel übereinstimmt. Deshalb erfolgt innerhalb der Aufzeichnungsanlage eine elektronische, dynamische Laufzeitkorrektur. Diese sichert, daß die aus der hinterlassenen Rille herauslesbare Bewegungsrichtung der Tiefenschrift dem genormten vertikalen Spurwinkel von $\gamma = 20^\circ$ entspricht. (Der Rillenöffnungswinkel ist unverändert 90° .)

Die dritte Besonderheit ist als Ultraschall mit der Frequenz um 70 kHz in der Rille nachweisbar (Bild 32). Dessen Tiefenschriftamplitude steigt mit zunehmender Rillenbreite an und liegt bei wenigen Zehntelmikrometern. Die Ultraschallschwingung entsteht ohne äußere Anregung im System Kupfer – Stichel – Stichelhalterung. Der insgesamt erreichte Schneidwiderstand liegt etwa eine Größenordnung über dem in der Lacktechnik üblichen Wert.

Für die Aufzeichnung gibt es eine spezielle Anlage VMS 82 (Fa. Georg Neumann, Berlin-West), deren Grundkonzeption auf dem höchsten Stand entsprechender Geräte für den Lackschnitt basiert, die aber insbesondere in dem Antrieb, dem Plattenteller, der Schreiberaufhängung und der Spanabsaugung auf die Besonderheiten der DMM-Technologie ausgelegt ist. Die Schreiber SX 84 arbeiten nach dem vom SX 74 bekannten elektrodynamischen Prinzip. Durch eine überarbeitete Konstruktion ist trotz des höheren Schneidwiderstandes des Kupfers die benötigte elektrische Leistung niedriger als beim Lackschnitt mit dem SX 74. Damit kann auf eine Kühlung der Schreiberantriebssysteme mit Helium verzichtet werden. Der Schnitt in Kupfer verlangt spezielle Diamantschneidstichel. Diese Stichel werden nachgeschliffen. Die Standzeiten

zwischen den Nachschliffen liegen in der gleichen Größenordnung, wie sie von Saphiren beim Lackschnitt bekannt sind.

Die Aufzeichnungsanlage VMS 82 verwendet für die programmabhängige Rillenbreiten- und Vorschubsteuerung die gleichen Steuerelemente wie die entsprechende Anlage für Lackschnitt. Diese Steuerung [24] berücksichtigt die Größe und Phasenlage der Auslenkung der bereits aufgezeichneten Rille und erkennt den Platzbedarf der folgenden Rille (s. Bild 33). Bei Einsatz analoger Bänder sind die Magnetbandgeräte mit Vorabstastköpfen zur Gewinnung der Steuersignale ausgerüstet. Beim Schnitt vom digitalen Band werden in der digitalen Ebene Verzögerungsgeräte eingesetzt, die die korrekten Zeitbedingungen zwischen Steuerung und Modulation sichern. Beim Schnitt in die sehr ebenen Cu-Träger ist die Vorgabe von minimalen Rillenabständen von wenigen Mikrometern möglich, die von der Steuerung korrekt eingehalten werden. Das führt zu exakter Ausnutzung der Plattenoberfläche mit langer Spieldauer, ohne daß Rillenaussetzer oder Rillennachschnitte, wie sie früher zu beobachten waren, auftreten.

Die im Vergleich zur Lackschicht ($\approx 0,2$ mm) geringere Dicke der Kupferschicht ($\approx 0,1$ mm) verlangt die korrekte Überwachung der für die Aufzeichnung bestimmten notwendigen größten Rillentiefe. Hierfür werden spezielle programmgesteuerte vertikale Ausschlagbegrenzer eingesetzt, die im Bedarfsfall den Momentwert des Tiefenschriftanteiles soweit reduzieren, daß die Rillentiefe auf etwa $80 \mu\text{m}$ begrenzt wird. (Beim Lackschnitt wurden zur Reduzierung der Tiefenschriftkomponente niedriger Frequenzen im Bedarfsfall sog. elliptische Entzerrer von Hand zugeschaltet.)

Mit dem geschnittenen Kupfermaster steht ein der Mutter in der herkömmlichen Technologie entsprechendes Objekt zur Weiterverarbeitung zur Verfügung. Hiervon können sofort Matrizen hergestellt werden, so daß drei Prozeßschritte eingespart werden (Bild 28). Davon wird bei kleinen oder dringenden Auflagen Gebrauch gemacht. Bei hohen Auflagen erfolgt der Übergang zu einer erweiterten Technologie, wobei die Abformungen des Kupfermasters als Originale betrachtet werden, auf die dann wie

üblich Mütter und Matrizen folgen. Die auf den Kupfermaster folgende galvanische Vervielfältigung arbeitet mit den gleichen technischen Einrichtungen und Verfahren wie bisher auf der Basis der Nickelabscheidung.

Die DMM-Technologie bietet bei hohen Investitionsaufwendungen Vorteile für die Fertigung. Die Erschließung ihrer Vorteile (dazu gehört auch die Ausschußsenkung) ist jedoch gebunden an qualitativ höhere Ansprüche an die Materialien und die exakte Arbeitsweise (auch in den nachfolgenden Prozeßstufen). Sicher wird diese neue Technologie mit zunehmenden Erfahrungen noch weiterentwickelt werden.

Für den Hörer ergeben sich hörbare Unterschiede: das Klangbild ist brillanter, auf Grund der geringeren Echos durchsichtiger, transparenter und hat eine geringere Neigung zu Knisterstörungen. Damit ist diese Technologie gut geeignet, die Vorteile der digitalen Bandspeicherung weiterzuvermitteln.

Die DMM-Technologie bildet darüber hinaus die Ausgangsbasis für aufwendige weiterführende Maßnahmen, die insbesondere Arbeitsprozesse in der galvanischen Abformung, der mechanischen Bearbeitung der Preßmatrizen und den gesamten Preßprozeß betreffen. Für den Hörer deutlich erkennbar sind z. B. die aus diesem Problembereich resultierenden verringerten nieder- und mittelfrequenten Störgeräusche (20 bis 2 000 Hz).

Die Anwender der DMM-Technologie haben in einer gemeinsamen Übereinkunft festgelegt, das DMM-Warenzeichen nur dann anzuwenden, wenn das der jeweiligen Platte zugrunde liegende Programmmaterial höchsten technischen Ansprüchen genügt (vorzugsweise Digitalaufnahmen) und die Platten bestimmte technische Parameter einhalten. Dazu gehören Vereinbarungen über den Rauschabstand (da das angewendete Meßverfahren nicht genormt ist, sind Vergleiche von Zahlenwerten nicht möglich), das Rumpelgeräusch und die Exzentrizität. Besonders deutlich sind die Verbesserungen an den beiden letzten Parametern zu erkennen: Die Produktionsplatten sollen einen Rumpelgeräuschspannungsabstand $S > 64$ dB einhalten. Da das Meßverfahren mit TGL 27 617/03, Pkt. 7.4., (bzw. IEC-Publikation 98A und DIN 45 539)

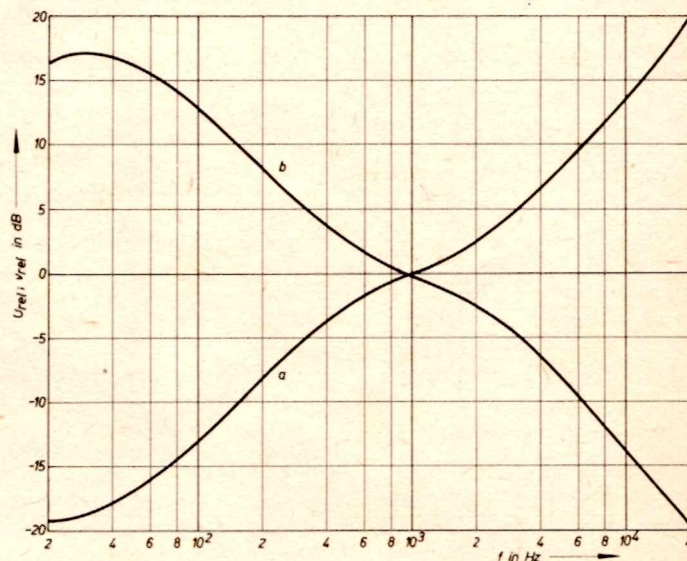


Bild 34: Aufzeichnungskennlinie bei konstantem Eingangssignal (Kurve a) und Wiedergabekennlinie bei konstant anregender Schnelle (Kurve b)

übereinstimmt, ist ein Vergleich zur Gerätetechnik interessant. Die Mindestforderung an ein HiFi-Gerät nach TGL 28 660/03 bzw. DIN 45 500/3 beträgt $S \geq 55$ dB. Für die Messung werden speziell gefertigte Meßplatten eingesetzt.

Die zulässige Exzentrizität der Rillenspirale entsprechend der DMM-Vereinbarung beträgt 0,1 mm. Das ist der halbe Wert, den die TGL 27 620 in Übereinstimmung mit IEC-Publikation 98, DIN 45 547 und anderen nationalen Standards gestattet. Diese Angaben demonstrieren den mit der neuen Technologie erschlossenen Spielraum. Die Platten des Labels Eterna DMM/Digital werden nach den genannten Richtlinien gefertigt.

Internationale Normung

In der Schallplattentechnik hat die internationale Normung in der Zeit nach dem zweiten Weltkrieg eine hervorragende Rolle gespielt. 1958 erschien die erste Ausgabe der IEC-Publikation 98. Hier wurden alle für einen freizügigen Austausch der Platten erforderlichen Parameter genormt. Außer den Drehzahlen und den Abmessungen von Platte und Rille spielten die Aufzeichnungs- und Wiedergabekennlinien eine herausragende Rolle. Noch im Jahr 1955, als obige Norm bereits längere Zeit diskutiert wurde, weist [1] zehn unterschiedliche Wiedergabekennlinien für Platten namhafter Hersteller aus. So war es ein enormer Fortschritt, als die IEC-Publikation 98 nur noch zwei Aufnahme-Wiedergabekennlinien enthielt (je eine für Normal- und Mikrorillenplatten).

Die Problematik derartiger Entscheidungen ist natürlich nicht zu unterschätzen: in den vergangenen 30 Jahren ist nicht nur eine enorme technische Weiterentwicklung zu erkennen, die u. a. zur Ausweitung des ausgenutzten Übertragungsbereiches führte, sondern auch eine Änderung der künstlerischen Auffassung mit starker Betonung hoher Frequenzen. Die Festlegung einer Kennlinie aus heutiger Sicht würde sicher zu geringerer Höhenanhebung führen, womit Pegelanhebungen mit höheren Schnellen und einem Gewinn an Störabstand im gehörmäßig wichtigen mittleren Frequenzbereich möglich wären [25], aber das läßt sich nicht mehr durchsetzen. Die heutige IEC-Aufzeichnungskennlinie (Bild 34) ist identisch mit der des Jahres 1958 für Mikrorillen, die Wiedergabekennlinie wurde bei tiefen Frequenzen zwischenzeitlich geringfügig korrigiert (Tiefenabfall bei 20 Hz: -2 dB; 31,5 Hz: $-1,5$ dB; 63 Hz: $-0,5$ dB gegenüber Aufzeichnungskennlinie). Diese als Erleichterung für die Dimensionierung von Subsonic-Rumpelfiltern bei Wiedergabegeräten gedachte Änderung ist normungstechnisch sicher nicht ganz korrekt.

Für die verzerrungsarme Stereowiedergabe spielen die Richtungsvektoren der Teilkomponenten eine wichtige Rolle. Deshalb sind die Achsenkreuz- und Spurwinkel ebenfalls genormt. Die Bedeutung dieser Festlegungen wurde bereits ausführlich diskutiert.

Komandersysteme in der Schallplattentechnik

Bei der Schallplattentechnik hat sich kein in die Dynamik eingreifendes Geräuschminderungsverfahren einführen können, ganz im Gegensatz z. B. zur Kassettentechnik,

die ohne ein Komandersystem heute undenkbar wäre. Dafür gibt es viele Gründe. Sicher spielt hierbei eine große Rolle, daß lange Zeit alle an einer Aufnahme Beteiligten um eine authentische Wiedergabe beim Hörer gerungen haben und dabei die Unvollkommenheit des Übertragungsmediums Schallplatte beim Umsetzprozeß mit berücksichtigten. In jüngerer Zeit ist diese Einheitlichkeit der Auffassung zunehmend durchbrochen worden, vor allem seit Rauschminderungssysteme bei der Bandaufzeichnung in den Studios eingesetzt werden und erst recht, seit digitale Speicher zur Verfügung stehen. Hinzu kommt, daß auf Grund des Spektrums der Plattenstörgeräusche ein breitbandig wirkendes Komandersystem oder ein Mehrkanalsystem notwendig ist, beide sind technisch schwieriger als Schmalbandsysteme zu realisieren. (Das System Dolby B bei der Kassette ist als Sliding-Band-System den schmalbandig wirkenden Systemen zuzuordnen.) Um diese Begrenzungen zu überwinden, wurde Anfang der siebziger Jahre das dbx-II-Komandersystem für Platten erstmals angeboten. Als linearer Breitbandkompaner reduziert das System die von der Plattenoberfläche herrührenden Störungen um etwa 35 dB, setzt aber speziell kodierte Platten voraus, die wiederum ohne Expander nicht anhörbar sind. Trotz guter Wirkung setzte sich das System nicht durch.

1981 stellte der Plattenhersteller CBS das als kompatibel bezeichnete System CX vor. Hier sollten die aufgezeichneten Platten auch ohne Expandierung anhörbar sein, natürlich mit reduzierter Dynamik. Mit Expander ergibt sich wieder die Ausgangsdynamik mit gleichzeitiger Reduzierung der Störgeräusche. Das breitbandig wirkende System komprimiert um maximal 20 dB. Da diese hohe Kompression in vielen Fällen als unnatürlich empfunden und als Manipulierung erkannt wird, folgten keine Lizenznehmer, so daß CBS die Fertigung dieser Platten nach einigen Jahren wieder eingestellt hat. Als geschlossenes System besitzt CX gute Eigenschaften. CX hat Anstöße für durchaus erfolversprechende Entwicklungsarbeiten geliefert, so daß auf dem Gebiet der komplementären Verfahren mit Dynamikbeeinflussung das letzte Wort möglicherweise noch nicht gesprochen ist.

Zusammenfassung

Im gesamten Entwicklungsweg der Schallplatte ist ein stetiger Optimierungsprozeß in kleineren oder größeren Schritten erkennbar. Als Ziel stand immer die Erzielung einer möglichst vollkommenen Imagination beim Hörer, auch als optimale Originalähnlichkeit umschrieben, häufig – aber fälschlicherweise – sogar als originalgetreue Übertragung bezeichnet.

Als Mittel für die Beurteilung der Wiedergabe eines gespeicherten akustischen Ereignisses dient das menschliche Gehör. Das aber bedeutet auch, daß die Eigenschaften und Grenzen des menschlichen Gehörs zur Verdeckung von Fehlern oder Ungenauigkeiten der unvollkommenen technischen Übertragung mit ausgenutzt werden. Parallelen finden wir bei der Auslegung von Kompressoren und Filtern, aber auch bei der Beurteilung von Lautsprechern. Das erschwert die objektive Erfas-

sung von Kenndaten und macht Vergleiche von Zahlenwerten, z. B. bei der Messung von Speichersystemen mit unterschiedlichen Wirkprinzipien, so schwer. Bei der elektroakustischen Übertragung orientiert sich die Schallplattenaufzeichnung an der Wiedergabe über Lautsprecher in Wohnräumen, wobei es den „Normalwohnraum“ nicht gibt. Für die Herstellung von Massenkopien ist das technologische System der Schallplattenherstellung nach wie vor hinsichtlich der ökonomischen Parameter unerreicht. Der Ablauf der Vervielfältigung in einem statischen Prozeß hat nicht nur technologische Bedeutung, auch wichtige Parameter wie Drop Outs, Frequenzgang, Übersprechen, Klirrfaktor werden in der Phase der Vervielfältigung nicht beeinflusst. Das war sicher auch ein Grund für die Übernahme dieser technologischen Stufen für neue plattenförmige Tonträger. Trotz aller verbleibenden Mängel hat die Technik der Stereolängspielplatte gegenwärtig einen bemerkenswerten Stand erreicht.

Literatur

- [13] Thomson, D.: Digitale Audiotechnik. München: Franzis-Verlag 1983
- [14] Hohmuth, G.: Dynamik in elektroakustischen Übertragungssystemen. radio fernsehen elektronik, Berlin 33 (1984) 8, S. 515 und 516; 538
- [15] Anton, O.: Exakte Bestimmung des vertikalen Spurwinkels und des Schnellepegels von Schallplattenaufzeichnungen. radio fernsehen elektronik, Berlin 25 (1976) 8, S. 253–254; 259
- [16] Kern, O.; Weiss, E.: Essential Equipment for the Transmission of High Peak Levels in the Disk-Cutting System SAL 74/SX 74. JAES, New York 23 (1975) 9, S. 708–711
- [17] Braschoss, D.: Development and Application of a New Tracing Simulator. JAES, New York 19 (1971) 2, S. 108–114
- [18] Haase, H. J.: Jetzt ist es nicht mehr High-Fidelity! Funktechnik, München 37 (1982) 7, S. 279–282
- [19] Hohmuth, G.: Die Herstellung der Schallplatte. radio fernsehen elektronik, Berlin 25 (1976) 12, S. 381–386
- [20] Hohmuth, G.: Echoerscheinung bei Schallplatten. radio fernsehen elektronik, Berlin 17 (1968) 18, S. 567–568
- [21] Direct metal mastering technology. Druckschrift Teldec, Hamburg 1982
- [22] Direct Metal Mastering. Studio, Mülheim/Ruhr 6 (1983) 62, S. 15 und 16; 18
- [23] Reuber, C.: Vom Magnetband in die Kupferplatte. Funktechnik, München 37 (1982) 7, S. 276–278
- [24] Braschoss, D.; Kern, O.: Aspects of Disk Cutting. Vortrag AES-Convention Paris 1977
- [25] Lenk, A.; Bašta, I.: Ein Beitrag zur optimalen Schneidkennlinie beim Nadeltonverfahren. Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Universität Dresden, Dresden 17 (1968) 6, S. 1641–1646