

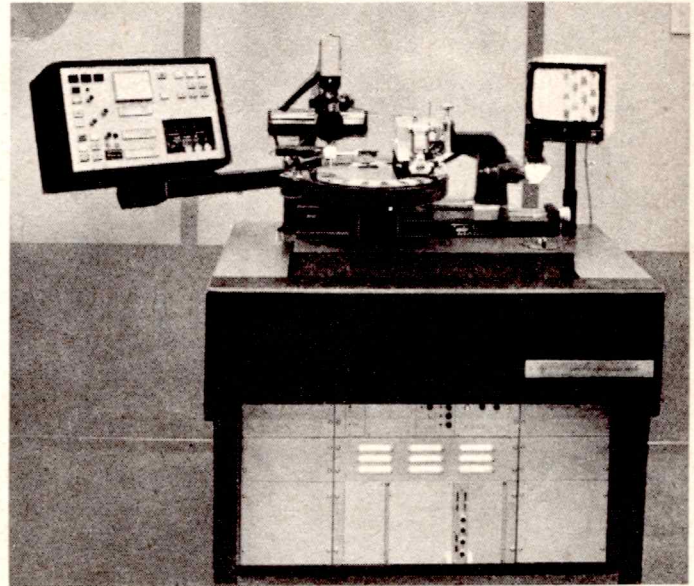
# Schallplattentechnik

## 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.



Schallplattenaufzeichnungsanlage der DMM-Technologie Foto: H. Mirschel

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 Verfahrensweise 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, Gleichlaufschwankungen
- 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

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. Gleichlaufschwankungen 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

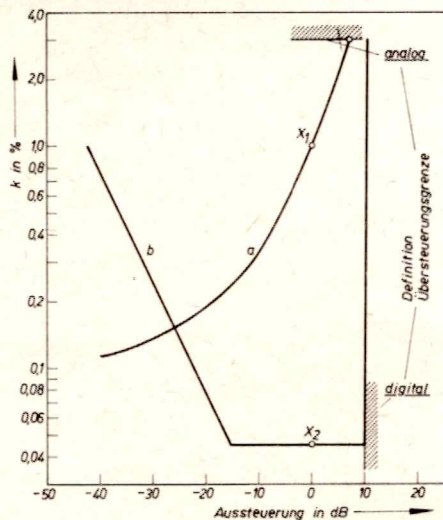


Bild 22: Aussteuerungsverhalten unterschiedlicher Systeme. Kurve a – analoge Magnetbandanlage; Kurve b – digitale Magnetbandanlage; X<sub>1</sub> – Vollaussteuerung bei analoger Aufzeichnung; X<sub>2</sub> – Vollaussteuerung bei digitaler Aufzeichnung. Abstand zwischen X<sub>2</sub> und Aussteuerungsgrenze: Headroom

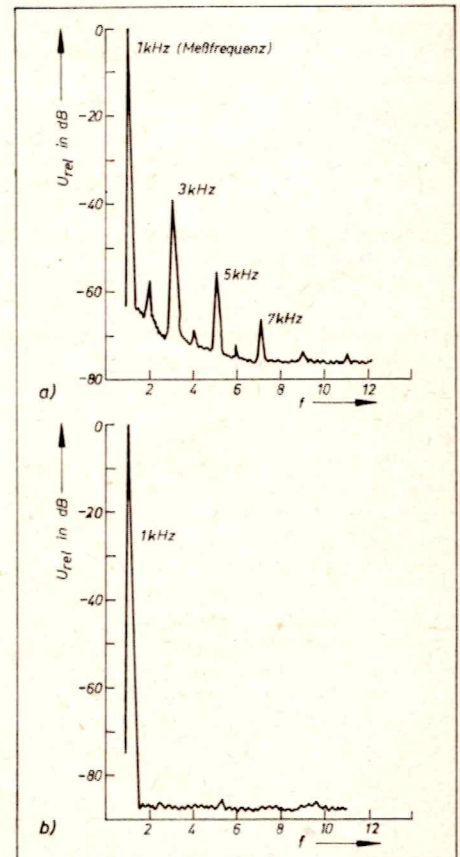


Bild 23: Charakteristischer Verlauf der nichtlinearen Verzerrungen. a) analoge Studiomagnetbandanlage; b) digitale Magnetbandanlage (PCM)



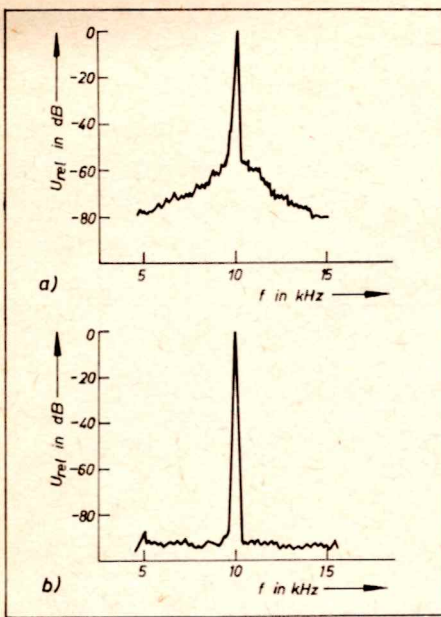


Bild 24: Charakteristische Modulationsspektren. a) analoge Studiomagnetbandanlage; b) digitale Magnetbandanlage (PCM)

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  $\dot{\epsilon}_{\max} = 0,1 \text{ mm}$  bei Frequenzen bis 350 Hz und Schnellen von  $\dot{v} = 200 \text{ mm/s}$  (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-

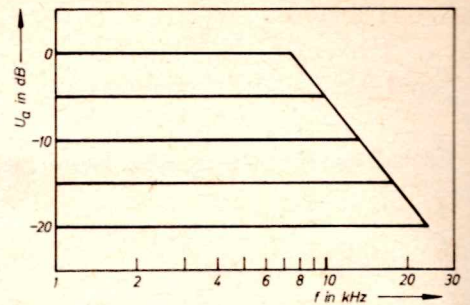


Bild 25: Wirkung eines Beschleunigungsbegrenzers (konstantes Eingangssignal als Parameter). Der eingestellte Grenzwert beträgt  $\dot{\epsilon} \approx 8 800 \text{ m/s}^2$

schleunigungsbegrenzer (Ansprechzeit erste Stufe  $5 \mu\text{s}$ , 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  $r = 15 \mu\text{m}$ . Mit einem Abtaster, dessen vertikaler Spurwinkel mit der Aufzeichnung übereinstimmt, sind z. B. bei 3 150 Hz und  $\dot{v} = 80 \text{ mm s}^{-1}$  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

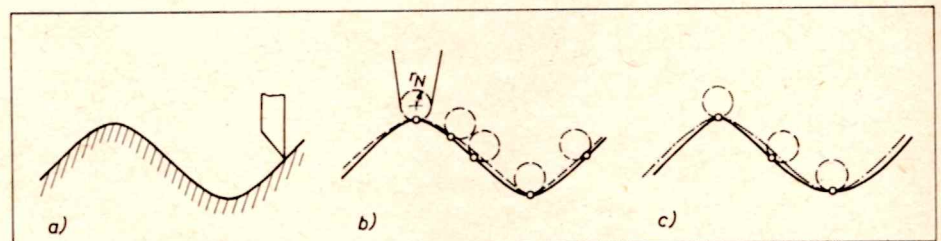


Bild 26: Zur Entstehung der Spurverzerrungen [17]: a) Schnitt mit einem scharfen Stichel, die Rille entspricht dem Eingangssignal; b) Nadel gleitet auf der Rille nach a). Durch  $r_N$  weicht der Verlauf des Mittelpunktes der Kugel von dem der Rille ab. Die gestrichelte Kurve gibt den tatsächlichen Verlauf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



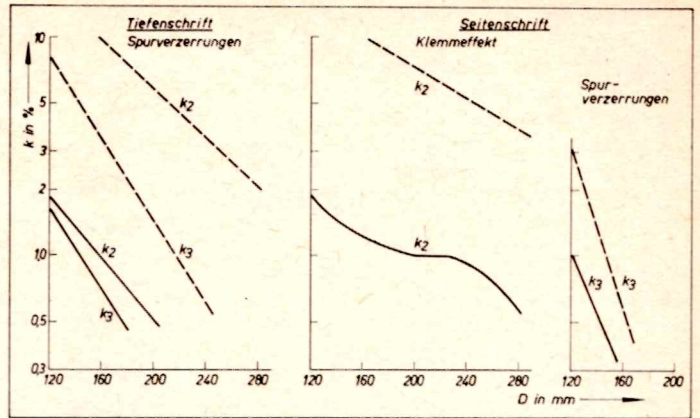
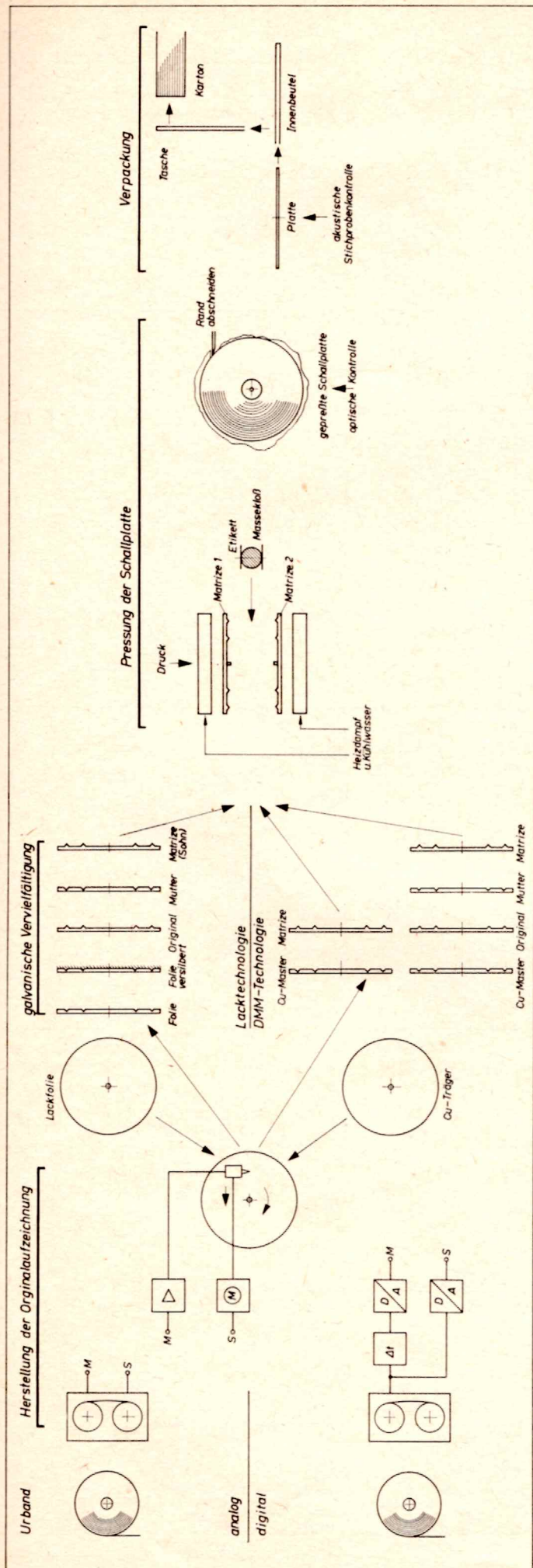


Bild 27: Gemessene geometrische Abtastverzerrungen.  $\hat{v} = 100 \text{ mm/s}$ ,  $f = 3150 \text{ Hz}$ ,  $n = 33\frac{1}{3} \text{ U/min}$ ,  $r_N = 15 \mu\text{m}$ .  
 — Aufzeichnung mit Tracing-Simulator; - - - Aufzeichnung ohne Tracing-Simulator

Bild 28: Fertigungsprozeß der Schallplatte

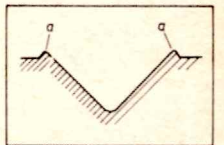


Bild 29: Aufwerfungen a – sog. Hörnerübergangsbereich Rille-Steig beim Schnitt im Lack

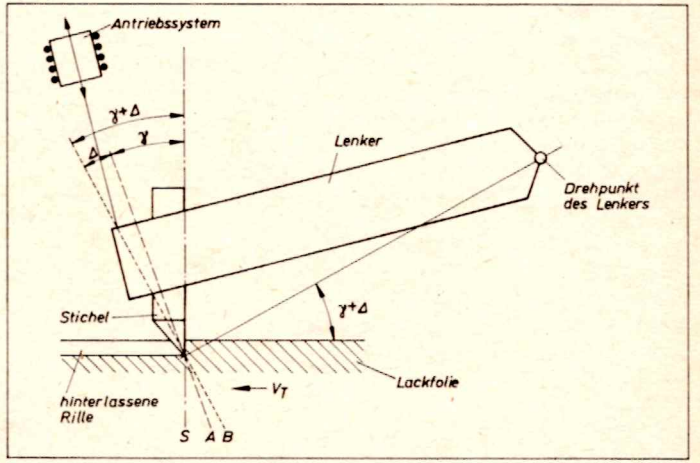


Bild 30: Geometrie beim Schnitt in Lack.  
 S Senkrechte zur Plattenoberfläche; A aus der hinterlassenen Rille herauslesbare Bewegungsrichtung mit Spurwinkel  $\gamma$ ; B Bewegungsebene der Stichelspitze;  $\Delta$  Winkelverschiebung durch Rückfederungseffekt

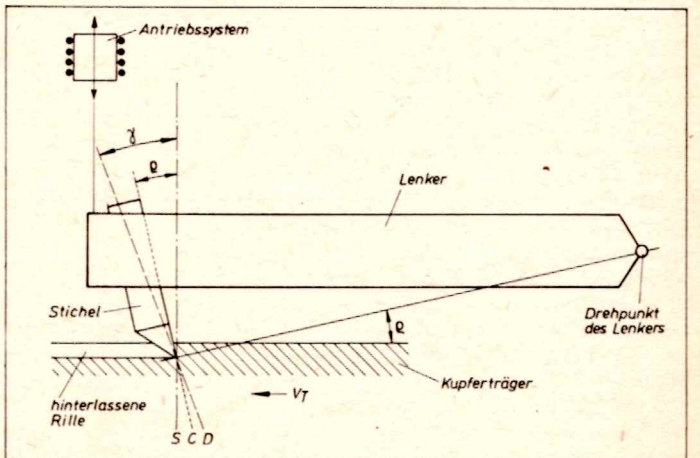


Bild 31: Geometrie beim Schnitt in Kupfer.  
 S Senkrechte zur Plattenoberfläche; C konstruktiv bestimmte Bewegungsebene der Stichelspitze; D durch elektrische Beeinflussung erzwungene, aus der Rille herauslesbare Bewegungsrichtung mit Spurwinkel  $\gamma$



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 durchsichtiger, 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 Ohr 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 Sticheltemperatur beeinflusst. Allein die der Messung kaum zugängliche Sticheltemperatur 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 absplittende 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  $\gamma$  gegen die Senkrechte geneigt, angestrebt werden Spurwinkel um 20°. Tatsächlich ist aber als Folge des elastischen Verhaltens des Lacks die aus der hinterlassenen Rille herauslesbare Neigung der Bewegungsrichtung um  $\Delta$  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.

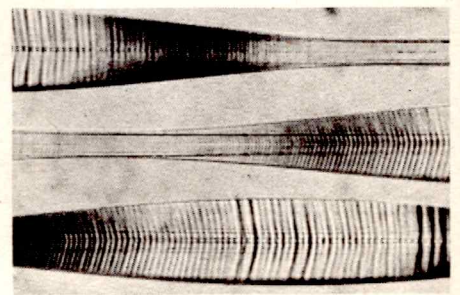
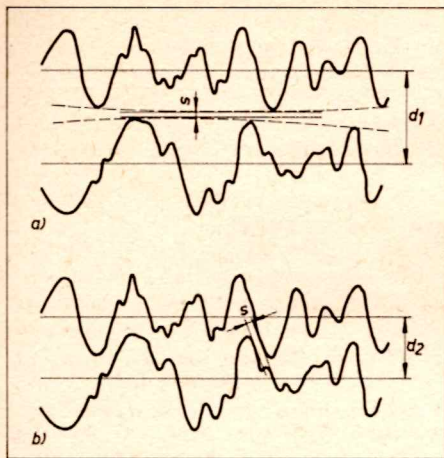


Bild 32: Tiefenschriftaufzeichnung, geschnitten in DMM-Technologie. Die „Sprossen“ quer zur Laufrichtung signalisieren den Ultraschall. Frequenz des aufgezeichneten Signals 315 Hz





**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 Stichel 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  $90^\circ$ .)

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 Vorabtastköpfen 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 Rillenan-schnitte, 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

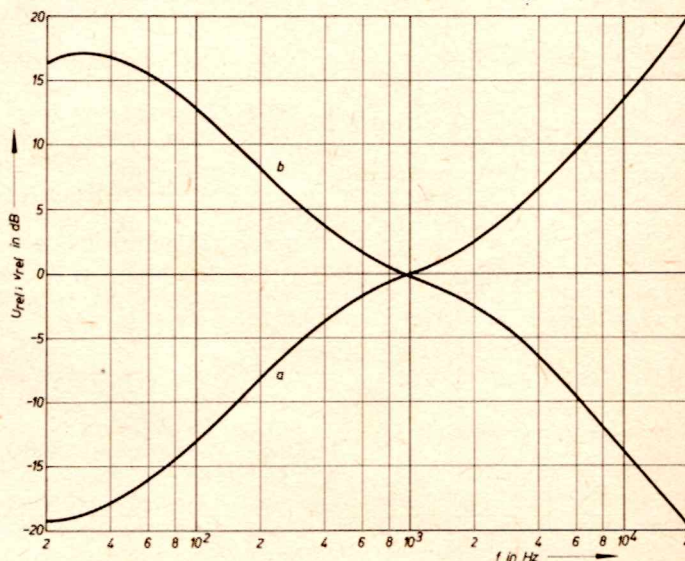
üblich Mütter und Matrizen folgen. Die auf den Kupfermaster folgende galvanische Vervielfältigung arbeitet mit den gleichen technischen Einrichtungen und Verfahren wie bisher auf der Basis der Nickelabscheidung.

Die DMM-Technologie bietet bei hohen Investitionsaufwendungen Vorteile für die Fertigung. Die Erschließung ihrer Vorteile (dazu gehört auch die Ausschußenkung) 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 Spurlinien 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 Spurlinienwinkels 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, Mühlheim/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