

# 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  $\mu\text{m}$  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 Nadelschliffes 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.

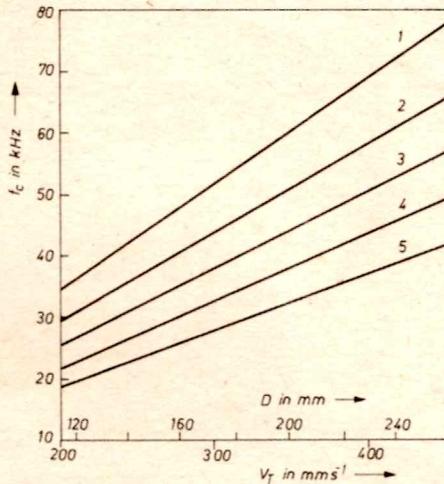
Die Nadelverrundung beeinflusst die Übertragungskurve eines Schallplattenabtasters. Die Grenz- oder Auslöschungsfrequenz  $f_c$  ergibt sich nach [3] zu

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

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-

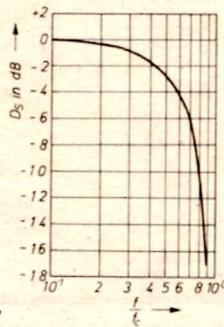


**Bild 2:** Grenzfrequenz  $f_c$  als Funktion der Rillengeschwindigkeit  $v_T$  bei der Wiedergabe einer Kunststoffplatte:

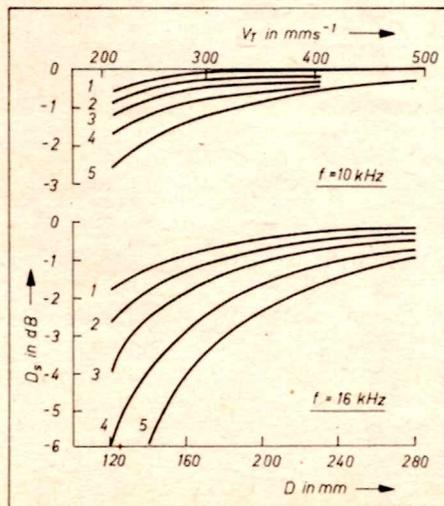
Abtastdaten als Parameter

- 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



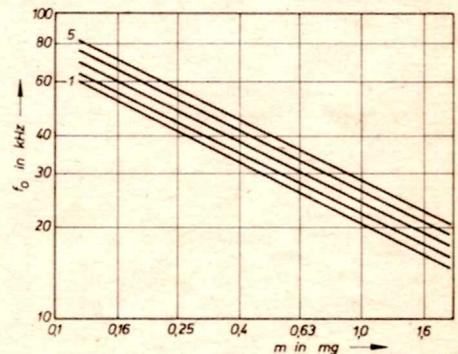
**Bild 4:** Statischer Abspielverlust  $D_s$  als Funktion des Aufzeichnungsdurchmessers für 10 und 16 kHz. Kurven 1 bis 5 Parameter wie Bild 2



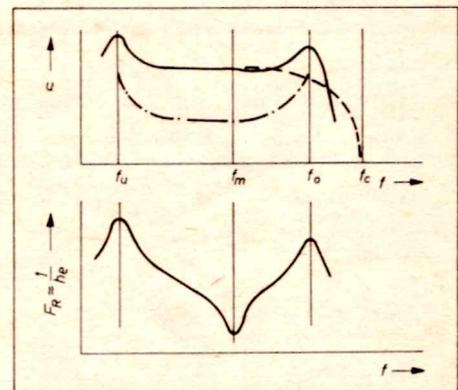
Im Zusammenhang mit den Bemühungen zur Verbesserung der Übertragungsqualität beim Schallplattenverfahren mußten Festlegungen und frühere Entscheidungen immer wieder unter Berücksichtigung neuester technischer und technologischer Erkenntnisse und Möglichkeiten überprüft und überarbeitet werden. Das führte 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

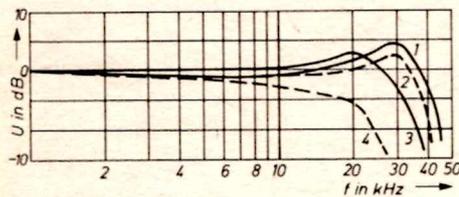


**Bild 6:** Amplitudenfrequenzgang und Frequenzgang des Eingangsmittanges bzw. der Rückstellkraft eines Schallplattenabtasters

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

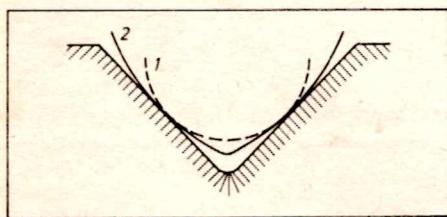
wegen der sich damit zwangsläufig erhöhenden Beanspruchung von Rille und Nadel und des damit zu erwartenden höheren Verschleißes umstritten. Wesentliche Impulse für praktische Fortschritte auf diesem Gebiet lieferten die Entwicklungsarbeiten für das Quadrosystem CD-4, bei dem Frequenzen bis zu 45 kHz 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.

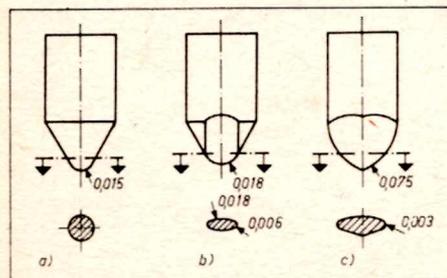


**Bild 7:** Einfluß des Nadelschliffs auf die Übertragungskurve

- 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) biradieller Schliff (elliptische Nadel);
- c) multiradieller Schliff (Shibata-Nadel)

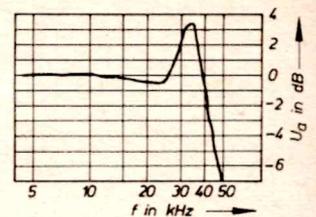
Verschiedene Firmen bieten Abtaster mit unterschiedlichen Nadeln an. Hier sind interessante Vergleiche möglich. Bild 10 zeigt die Übertragungskurven eines Systems mit einer sphärischen ( $15 \mu\text{m}$ ) und einer sog. hyperelliptischen Nadel ( $38 \mu\text{m} \times 5 \mu\text{m}$ ). Die Übertragungskurven 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)

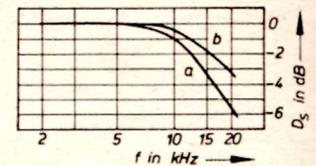
$$a_{\text{max}} = \frac{v_T^2}{r^*} \quad (3)$$

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

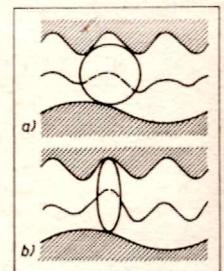


**Bild 10:** Übertragungskurve Abtaster V 15 V. LB 210 mit erhöhter Drehzahl,  $F_A = 12,5$  mN. Mit Kugel  $r = 15 \mu\text{m}$  und Hyperellipse  $5 \mu\text{m} \times 38 \mu\text{m}$  gleiche Kurve



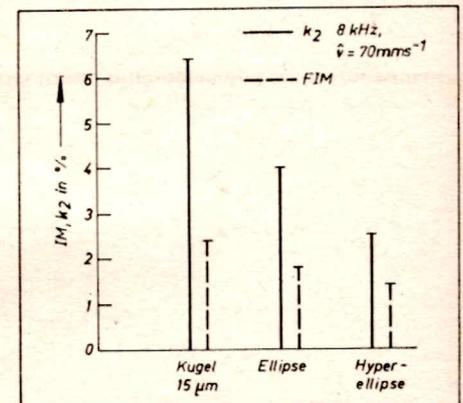
**Bild 11:** Abweichung der relativen Übertragungskurve beim  $\varnothing 140$  mm zur Übertragungskurve  $\varnothing 280$  mm.

- 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 kurzweiliger 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 Schnellfähigkeit, bereitet keine Probleme, so daß auf eine Prüfung verzichtet wird. Bei der Beurteilung der Auslenkfähigkeit  $A_E$  wird die Auflagekraft  $F_A$  ermittelt, die mindestens erforderlich ist, um 315-Hz-Aufzeichnungen definierter Auslenkung ( $50 \mu\text{m}$ ) ohne Verlust des Nadel-Rillenkantaktes abzutasten. Es wird auch mit konstanter Auflagekraft bei variabler Auslenkung mit praktisch gleicher Aussage gearbeitet. Bei der Bestimmung der Auslenkfähigkeit  $A_E$  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 3 150 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 Neudurchdenken 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 Wandlervverzerrungen zu erfassen.

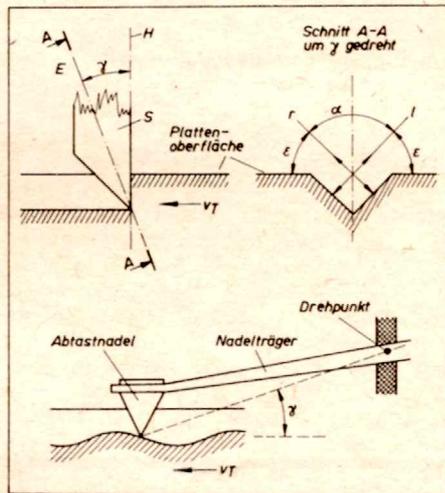
Die Kanaltrennung spielt bei der stereofonen Wiedergabe eine wichtige Rolle. Bei einem Übersprechdämpfungsmaß  $> 25 \text{ dB}$

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  $f_u$  und  $f_o$  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  $3^\circ$  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  $90^\circ$  und der Komponentenwinkel mit  $45^\circ$  nicht verändert, Bild 15. Dagegen wurde der Sollwert des vertikalen Spurwinkels von  $15^\circ$  auf  $20^\circ$  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  $30^\circ$  auftreten [11], wohingegen die heutigen Winkeldifferenzen  $5^\circ$  nicht viel überschreiten dürfen. Dieser Aussage ist ein Spurwinkel  $\gamma$  gegenwärtiger Aufzeichnungen von  $22^\circ$  zugrunde gelegt.

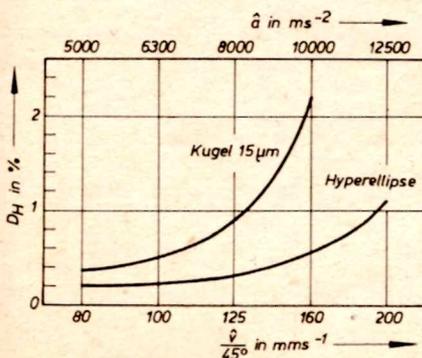
Die aus Spurfehlwinkeln  $\gamma_F$  (engl. Tracking) resultierenden nichtlinearen Verzerrungen betragen

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

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 Zusammenreffen 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.

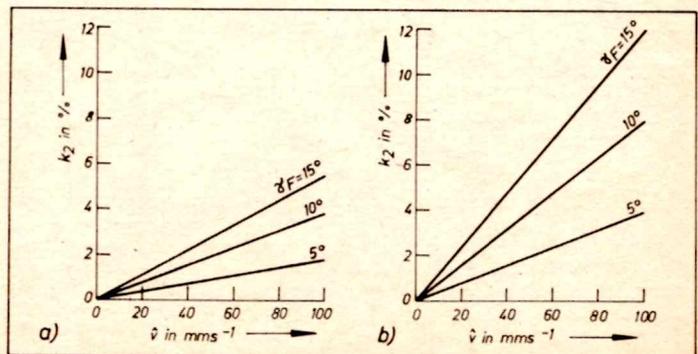


**Bild 15: Winkel bei der Stereoschallplatte.**  
E effektive Bewegungsebene des Stiches; H Senkrechte zur Plattenoberfläche;  $\alpha$  Achsenkreuzwinkel ( $90^\circ$ );  $\gamma$  vertikaler Spurwinkel ( $20^\circ$ );  $\epsilon$  Komponentenwinkel ( $45^\circ$ );  $v_T$  Bewegungsrichtung der Rille; 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 Spurfehlwinkel  $\gamma_F$  entstehende zweite Harmonische.**  
a) Aufzeichnungsdurchmesser 290 mm;  
b) Aufzeichnungsdurchmesser 120 mm



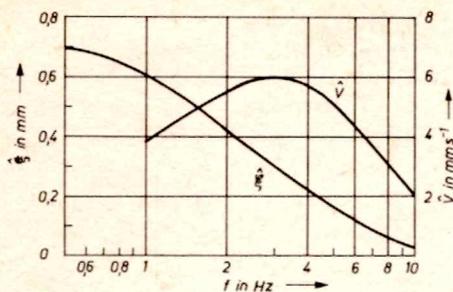


Bild 17: Hüllkurve der gemessenen Maximalwerte des Ausschlages  $s$  infolge des Höhengschlages von Schallplatten, auf Schnelle  $\dot{v}$  umgerechnet

Da ein Schallplattenabtaster bei der sich aus dem Zusammenwirken der Gesamtmasse des Abtasters (einschließlich Tragarm) und der Nachgiebigkeit der Nadel Lagerung einstellenden unteren Resonanz  $f_{II}$  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 Höhengschlages (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 $\Omega$ .

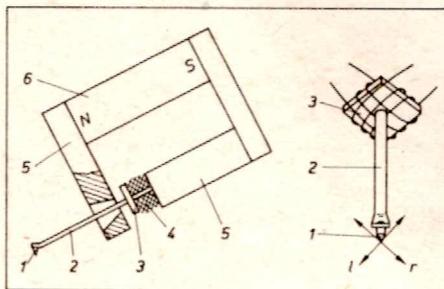


Bild 18: Prinzip eines dynamischen Schallplattenabtasters (bewegte Spule). 1 Nadel; 2 Nadelträger; 3 Spulenträger; 4 Elast; 5 Polschuhe; 6 Magnet; 7, 8 Wicklungen

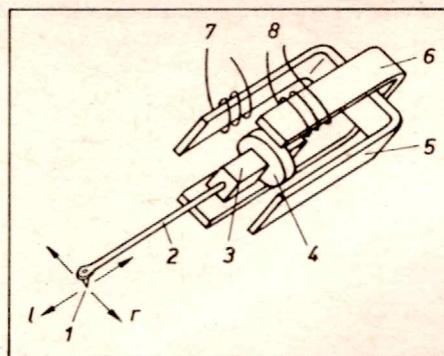


Bild 19: Prinzip eines magnetischen Schallplattenabtasters (bewegter Magnet). 1 Nadel; 2 Nadelträger; 3 Magnet; 4 elastische Lager; 5, 6 Polschuhe; 7, 8 Wicklungen

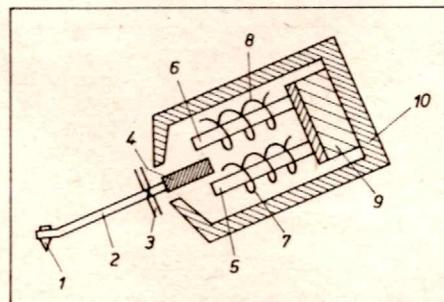


Bild 20: Prinzip eines magnetischen Schallplattenabtasters (variabler magnetischer Widerstand), nur ein System dargestellt, in die Senkrechte gedreht. 1 Nadel, 2 Nadelträger, 3 elastisches Lager, 4 Weicheisenanker, 5, 6 Polstäbe, 7, 8 Wicklungen, 9 Magnet, 10 magnetischer Rückschluß, Abschirmung

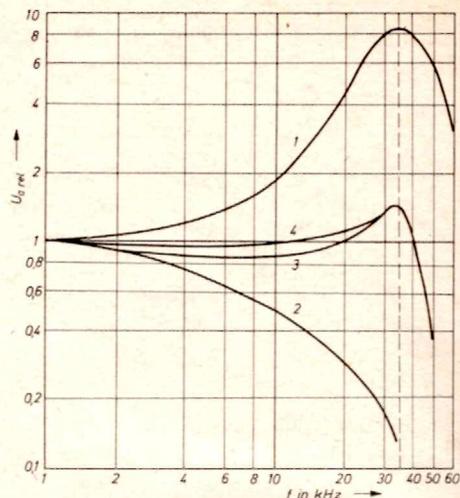


Bild 21: Zusammenwirken zwischen Wandlerübertragungskurve, Innenwiderstand und Abschlußwiderstand. 1 Übertragungskurve des Wandlers im Leerlauf; 2 Spannungsteilung zwischen Innenwiderstand und Abschlußwiderstand; 3 Reduzierung der Leerlaufspannung durch die Spannungsteilung; 4 resultierende Übertragungskurve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

Daten des Beispiels:

$R = 1400 \Omega$ ,  $L = 0,5$  H,  $R_A = 47$  k $\Omega$ ,  $C_A = 200$  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. Bedeutungsvoll für die Wiedergabeseite sind insbesondere die Platten- und Rillenabmessungen einschließlich der für eine korrekte Stereowiedergabe erforderlichen Winkel, die erwähnten Eckdaten für die 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 Vervollkommnung 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] Loescher, 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 Spürwinkel. 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