## Verschleißerscheinungen bei der Schallplattenabtastung

Ing. GERHARD HOHMUTH

Mitteilung aus dem VEB Deutsche Schallplatte

Beim Abtasten von Schallplatten führt der mechanische Kontakt zwischen Nadel und Rille bei beiden zu einem Verschleiß an den Berührungsstellen. Über die dabei auftretende Plattenabnutzung existieren nur wenige Untersuchungsberichte, und im allgemeinen wird die tatsächlich auftretende Plattenabnutzung überschätzt. In Ergänzung zu früheren Untersuchungen [1] wurde auch der Einfluß des Aufzeichnungsdurchmessers und damit der Wellenlänge bei gleicher Frequenz untersucht. Gleichzeitig wurden auch Nadeln eingesetzt, die vom sphärischen Schliff abweichende Formen aufweisen.

Nach [1] waren beim häufigen Abtasten von Gleitfrequenzaufzeichnungen auf Meßplatten (Seitenschrift, 45 U/min) bei damals üblichen Stereoabtastern teilweise beträchtliche bleibende Anhebungen des Plattenpegels festgestellt worden. Bei hochwertigen Abtastern wurden dagegen nur Pegelanhebungen bis etwa 1 dB bei der den Übertragungsbereich begrenzenden Rillen-Nadel-Resonanz (oder in deren Nähe) beobachtet.

Bei der Wiederholung der Messungen diente als Meßplatte die Gleitfrequenzaufzeichnung der LB 210 (VEB Deutsche Schallplatten, Flankenschrift, 33½ U/min) [2]. Als Abtaster wurden Exemplare des magnetischen Abtasters MS 27 (VEB Nachrichtenelektronik Leipzig) eingesetzt, ausgerüstet mit serienmäßigen Diamantnadeln mit sphärischem Schliff, Verrundungsradius ≈ 15 μm, Auflagekraft 20 mN.

Alle in diesem Bericht für Vergleichszwecke angegebenen Übertragungskurven wurden unter einheitlichen Meßbedingungen ermittelt: Abschlußwiderstand der Abtaster 47 kΩ||220 pF, Meßplatte LB 210. Der Verlauf zwischen 20 kHz und 27 kHz wurde durch Abtastung der LB 210 mit 45 U/min ermittelt.

Bei einem Nadelträger, dessen obere Resonanz über 20 kHz lag (Bild 1), wurde nach 30 aufeinanderfolgenden Abtastungen ein Pegelanstieg von maximal 0,8 dB bei 20 kHz beobachtet. Bei einem anderen Nadelträger mit einer für diesen Abtastertyp nicht charakteristischen Resonanz bei 16 kHz (Bild 2) trat nach 30 Abtastungen eine Anhebung von etwa 1 dB bei Reso-

Fortsetzung von Seite 529

## Literatur

- Krüger, H.-H.: Integrierte Schaltnetzteilansteuerschaltung B 260 D und ihre Einsatzmöglichkeiten. radio fernsehen elektronik, Berlin 31 (1982) 2. S. 71–75
- [2] Wagner, R.: B 260 D. Halbleiterinformationen 181. radio fernsehen elektronik, Berlin 31 (1982) 2, S. 99–102
- [3] Schlenzig, K.: Symmetrischer Triac-Nullspannungsschalter, radio fernsehen elektronik, Berlin 31 (1982) 12, S. 805–810
- [4] Bläsing, K.-H.; Schlenzig, K.: Timerschaltkreise B 555 D und B 556 D. Berlin: Militärverlag der DDR 1984

Im vorliegenden Beitrag werden Ergebnisse neuerer Untersuchungen zur Abnutzung von Schallplatten und Veränderung der Nadelgeometrie mitgeteilt. In die Untersuchungen einbezogen wurden neue Meßschallplatten und moderne Abtaster mit Nadeln, die auch vom sphärischen Schliff abweichende Formen aufweisen.

nanzfrequenz auf. Bei beiden Abtastern wurden die Veränderungen mit fallender Frequenz geringer und waren unterhalb 10 kHz nicht mehr nachweisbar. Diese Ergebnisse entsprechen den in [1] formulierten Erkenntnissen, wonach bei in der Übertragungskurve erkennbaren Resonanzen (oder in deren Nähe) merkbare Pegelanhebungen der Platte als Folge häufigen Abtastens auftreten. Die bei den neuen Meßplatten übliche Drehzahl von 331/3 U/min im Gegensatz zu den früher üblichen 45 U/min bedeutet wegen der bei gleicher Frequenz kürzeren Wellenlänge eine Verschärfung der Beanspruchung, die aber offensichtlich durch die Weiterent-

wicklung der Abtaster kompensiert wird.

Damit bestätigen diese Ergebnisse bei dem

untersuchten Abtastertyp eine für normale

Wiederaabezwecke ausreichend geringe

Diesen günstigen Ergebnissen standen je-

doch andere Beobachtungen gegenüber.

Wiederholt wurden bei Untersuchungen an

Meßaufzeichnungen mit Einzelfrequenzen

(MeBdauer > 5 s, Pegel um 30 mm s<sup>-1</sup>) im

Gebiet oberhalb 10 kHz nicht eindeutig re-

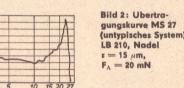
Beanspruchung der Rillenwand.

Bild 1: Ubertra

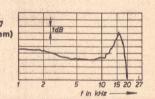
FA = 20 mN

gungskurve MS 27 LB 210, Nadel holungen beobachtet. Nach Voruntersuchungen konnten diese Abweichungen nicht den Meßplatten angelastet werden. Deshalb erfolgten Abnutzungsversuche mit veränderten Meßbedingungen. Als Meßplatte wurde die Platte TP 335 eingesetzt, die bei zwei verschiedenen Durchmessern (280 und 140 mm) ausgewählte Festfrequenzen von 1 kHz bis 20 kHz in Flankenschrift enthält (1; 2; 4; 8; 10; 12,5; 16; 20 kHz, I und r jeweils 8 s,  $\hat{v} = 32 \text{ mm s}^{-1}$ ). Die Anwendung von Festfrequenzen ermöglicht eine exakte Pegelauswertung und gestattet die Frequenztransponierung zur Trennung der frequenzabhängigen Ein-

produzierbare Meßergebnisse bei Wieder-



finkHz -



Wellenlängen der Aufzeichnungen der TP 335

	≈ 280 mm Ø	≈ 140 mm Ø
20 kHz	24,6 µm	12,7 µm
16 kHz	30,5 µm	15,7 μm
12,5 kHz	38,3 µm	19,8 μm
10 kHz	48,2 µm	24,4 µm
8 kHz	59,3 µm	30,1 µm
4 kHz	118 µm	59 μm
2 kHz	232 µm	117 µm

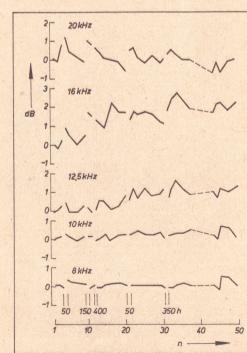


Bild 3: Veränderungen des Pegels der TP 335 beim Abtasten mit dem System nach Bild 2

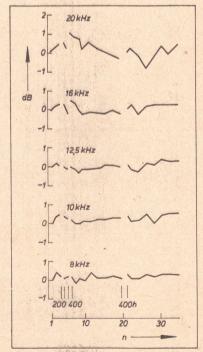


Bild 4: Veränderungen des Pegels der TP 335 beim Abtasten mit dem System nach Bild 2 bei n = 16<sup>2</sup>/<sub>3</sub> U/min.

Die tatsächlich während der Abtastung aufgetretenen Frequenzen betragen die Hälfte der angegebenen Werte flüsse (im wesentlichen vom Abtaster herrührend) vom wellenlängenabhängigen Zusammenspiel der geometrischen Daten von Rille und Nadel [3].

Im Gegensatz zu [1] lag das Schwergewicht der Untersuchungen diesmal nicht in der Benutzung vieler Abtastertypen und auch nicht bei der Anwendung besonders häufiger Abspielungen. Statt dessen sollte versucht werden, an hochwertigen Abtastern weiterführende Zusammenhänge zu erkennen. Die eingesetzten Abtaster wurden willkürlich ausgewählt. Auf Grund der Vorgeschichte der Abtaster konnten bei den Nadeln Restrauhigkeiten vom Herstellungsprozeß ausgeschlossen werden.

Alle mitgeteilten Ergebnisse beruhen auf Relativmessungen, wobei der Pegelwert der ersten Abtastung jeder Aufzeichnung einer Platte mit dem zu untersuchenden Nadelträger als Bezugswert diente. Alle Meßwerte wurden aus Pegelschrieben abgelesen. Soweit nicht anders angegeben, beziehen sich die Meßwerte auf die Abtastung der Aufzeichnungen im Bereich um 280 mm ∅ der TP 335 mit 33⅓ U∤min.

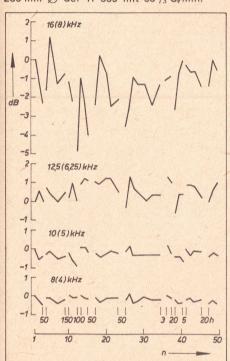


Bild 5: Veränderungen des Pegels der TP 335 beim Abtasten mit dem System nach Bild 2, jedoch Abtastung der Aufzeichnung bei 140 mm Ø

Im Bild 3 sind die Pegelveränderungen beim Abtasten der TP 335 mit dem Abtaster nach Bild 2 für Frequenzen > 8 kHz aufgetragen. Dieser Abtaster erschien durch seine Resonanz bei 16 kHz für weitere Untersuchungen besonders geeignet. Die Veränderungen sind wesentlich ausgeprägter als im ersten Teil der Untersuchungen bei gleichen Betriebsbedingungen des Abtasters. Die Messungen wurden durch Pausen sehr unterschiedlicher Länge (50...350 h) unterbrochen, deren Einfluß gering ist. Die Abtastung eines anderen Exemplares mit n/2 (16<sup>2</sup>/<sub>3</sub> U/min) lieferte die im Bild 4 dargestellten Ergebnisse. Die Streuung der Pegelwerte nimmt zwar mit abnehmender Wellenlänge zu, die Meßwerte pendeln aber um die Null-Linie, es ergeben sich also keine Veränderungen an der Platte. Das ist ein Beweis dafür, daß die im Bild 3 ausgewiesenen

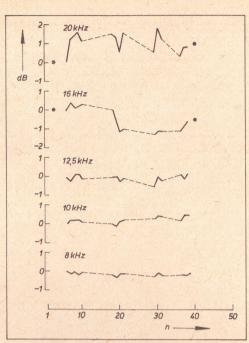


Bild 6: Veränderungen des Pegels der TP 335 beim Abtasten mit dem System nach Bild 1

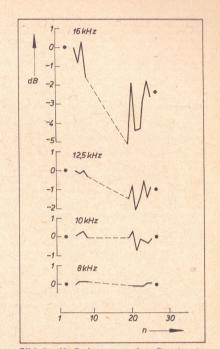


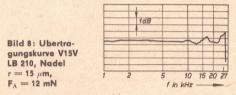
Bild 7: Veränderungen des Pegels der TP 335 beim Abtasten mit dem System nach Bild 1, jedoch Abtastung der Aufzeichnung bei 140 mm

lenlänge bei konstanter Frequenz. Für die

Untersuchung dieser Einflußgröße wurde

Veränderungen (besonders bei 12,5 kHz und 16 kHz) durch das Verhalten des Abtasters bei diesen Frequenzen hervorgerufen wurden.

Eine charakteristische Eigenheit der Schallplattenaufzeichnung und -wiedergabe ist die Radiusabhängigkeit der Wel-



die zweite Aufzeichnung der TP 335 bei 140 mm Ø abgetastet. Der statische Abspielverlust [3] nimmt bei diesem Durchmesser oberhalb 10 kHz beträchtliche Werte an. Bei einer Nadel mit einem Verrundungsradius r = 15 µm und einer Auflagekraft FA = 20 mN beträgt er etwa 4 dB bei 16 kHz und etwa 7 dB bei 20 kHz. Bei der Auswertung der Abnutzungsversuche wurde dieser Pegelabfall durch die im Interesse einer besseren Übersicht angewendete Methode der Relativmessungen nicht berücksichtigt. Das Bild 5 weist aus,

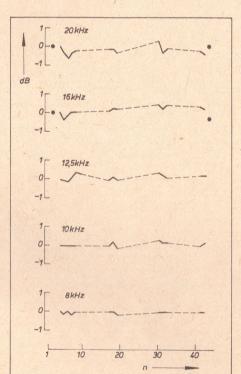


Bild 9: Veränderungen des Pegels der TP 335 beim Abtasten mit dem System nach Bild 8

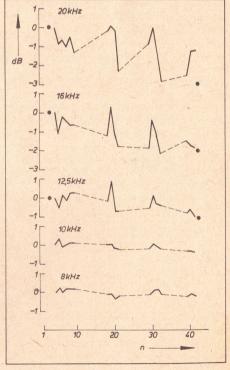


Bild 10: Veränderungen des Pegels der TP 335 beim Abtasten mit dem System nach Bild 8, jedoch Abtastung der Aufzeichnung bei 140 mm Ø

daß ab 12,5 kHz beträchtliche sprunghafte Veränderungen des Pegels auftreten. Zusätzlich zu den hohen Kräften des untersuchten Abtasters in der Resonanz bei 16 kHz - die ja von der Rille aufgenommen werden müssen und im Außenbereich der Platte zu den Pegelanhebungen führen - nähert sich bei dieser Aufzeichnung der Krümmungsradius der Auslenkungen dem Krümmungsradius der Nadel, so daß die korrekte Abtastung gestört wird ([3] Bilder 10.134 und 10.141). Die Pegel der TP 335 liegen bei hohen Frequenzen an der Grenze der mit einer Nadel mit r = 15 um abtastbaren Pegel. Die Unstetigkeiten der Abtastung wirken sich gehörmäßig hauptsächlich als nichtlineare Verzerrungen aus. Die Ergebnisse der Abnutzungsversuche an der TP 335 mit dem MS 27 nach Bild 1 sind in den Bildern 6 und 7 zusammengefaßt. Die Verschiebung der oberen Resonanz über den Übertragungsbereich hinaus verschiebt die Veränderungen an der Platte zu höheren Frequenzen. Die Probleme im inneren Bereich der Platte werden nur wenig verbessert.

Bild 8 enthält die an einem System V15V (Fa. Shure, USA) gemessene Übertragungskurve. Das System war ausgerüstet mit einer sphärischen Nadel 15 um, Auflagekraft bei der Messung 12 mN. Die hohe Resonanzfrequenz des Abtasters wirkt sich günstig auf die Plattenabnutzung aus (Bild 9). Dagegen sind die Auswirkungen des Zusammenspiels der Geometrie von Rille und Nadel bei kleinem Aufzeichnungsdurchmesser mit denen des MS 27 zu vergleichen, wie aus den Bildern 7 und 10 abgelesen werden kann. Vom Abtastsystem V15V stand ein Nadelträger mit einer elliptischen Nadel zur Verfügung (sog. Hyperellipse 38  $\mu$ m  $\times$  5  $\mu$ m). Bild 11 zeigt die Übertragungskurve, sie läßt keine Unterschiede zur Kugel erkennen. Die Ergebnisse der Abnutzungsversuche sind überzeugend, bei einem Aufzeichnungsdurchmesser von 140 mm werden 20 kHz völlig problemlos und störungsfrei abgetastet (Bild 12 und Bild 13). Bei diesen Versuchen wurde die eingesetzte Platte (ebenso wie bei einer Reihe anderer Versuche) vor und nach dem eigentlichen Abnutzungsversuch mit dem für den Versuch eingesetzten Abtaster bei n/2 abgetastet. Die dabei ermittelten Pegelwerte sind in den Bildern 6, 7, 9, 10, 12, 13, 18, 19 mit einem eingetragen. Damit werden die an den Platten erfolgten Veränderungen mit befriedigender Übereinstimmung bestätigt. Zur Untermauerung der Feststellungen mit dem System V15V wurde ein System V15IV gleichfalls mit hyperelliptischer Nadel herangezogen. Die Bilder 14 bis 16 belegen, daß dieses System trotz der gegenüber dem V15V deutlich ungünstigeren Übertragungskurve fast das Abtast- und Abnutzungsverhalten des V15V mit Hyperellipse erreicht.

In Weiterführung der Untersuchungen erfolgten orientierende Abnutzungsversuche mit einem auf eine elliptische Nadel (16  $\mu$ m  $\times$  6  $\mu$ m) umgerüsteten Abtaster MS 27. Weniger die Übertragungskurve (Bild 17) als die Ergebnisse der Abnutzungsversuche (Bilder 18 und 19) zeigen die Grenzen einer einfachen "Umrüstung" auf. Die bei diesem Versuchssystem vorhandene hohe Plattenbeanspruchung ist

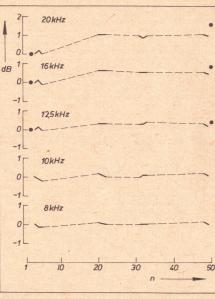


Bild 12: Veränderungen des Pegels der TP 335 beim Abtasten mit dem System nach Bild 11

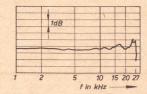


Bild 11: Ubertragungskurve V15V LB 210, Nadel 38  $\mu$ m  $\times$  5  $\mu$ m (Hyper ellipse) F<sub>3</sub> = 12 mN

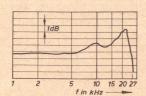


Bild 14: Ubertragungskurve V15IV LB 210, Nadel Hyperellipse,  $F_{\rm A}=$  12 mN

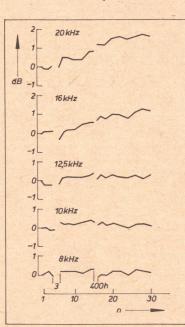


Bild 15: Veränderungen des Pegels der TP 335 beim Abtasten mit dem System nach Bild 14

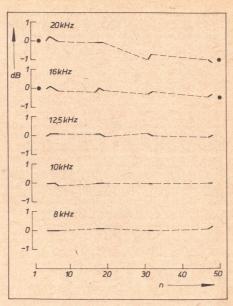


Bild 13: Veränderungen des Pegels der TP 335 beim Abtasten mit dem System nach Bild 11, jedoch Abtastung der Aufzeichnung bei 140 mm ⊘

bereits bei der eingangs geschilderten einfachen Versuchsdurchführung mit Gleitfrequenzen nachweisbar (Bild 20). Auf alle Fälle bestätigen aber diese Versuche, daß durch Veränderung des Nadelschliffes auch bei unvollkommener Übertragungskurve die Abtastung im inneren Bereich einer Schallplatte deutlich stabilisiert werden kann. Im Rahmen eines Optimierungsprozesses sollte die Linearisierung der Übertragungskurve, verbunden mit einer Reduzierung der Plattenbeanspruchung, möglich sein.

Unklar ist, weshalb manche Abtaster keine Pegelveränderungen beim Abtasten von Gleitfrequenzaufzeichnungen hervorrufen, die bei längeren Aufzeichnungen mit einer Frequenz aber nachzuweisen sind.

Aus dem vorliegenden Material können auch andere Ergebnisse abgeleitet werden. Bild 21 soll dafür als Beispiel dienen. Neben der geschilderten Verbesserung der

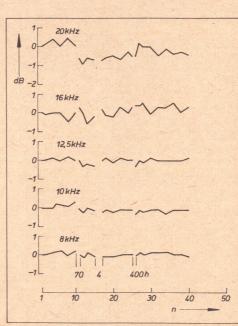


Bild 16: Veränderungen des Pegels der TP 335 beim Abtasten mit dem System nach Bild 14, jedoch Abtastung der Aufzeichnung bei 140 mm  $\varnothing$ 

Abtastung im inneren Bereich einer Schallplatte durch Veränderung der Nadelgeometrie läßt sich auch eine Linearisierung der Übertragungskurve belegen, abgeleitet aus den Abnutzungsversuchen mit den Nadelträgern, deren Übertragungskurven in den Bildern 8 und 11 dargestellt sind. Da-

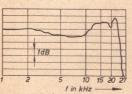


Bild 17: Ubertragungskurve Versuchssystem MS 27 LB 210, elliptische Nadel 16  $\mu$ m  $\times$  6  $\mu$ m,  $F_A=20$  mN

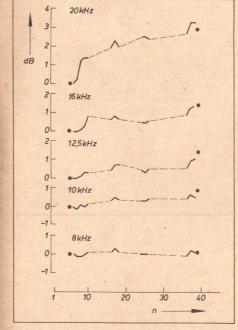


Bild 18: Veränderungen des Pegels der TP 335 beim Abtasten mit dem System nach Bild 17

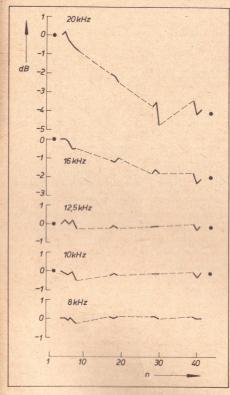


Bild 19: Veränderungen des Pegels der TP 335 beim Abtasten mit dem System nach Bild 17, jedoch Abtastung der Aufzeichnung bei 140 mm ∅

mit sind Aussagen über die Wiedergabequalität eines Abtasters möglich, die mit den üblichen Daten nicht zu belegen sind. Auch bei der Erprobung der LB 237 – diese Platte enthält Impulspakete 10 kHz zur Ermittlung der Höhenabtastfähigkeit von Abtastern (gemäß IEC-Publikation 98-3) – wurde die Überlegenheit biradialer Nadeln gegenüber sphärischen Nadeln festgestellt.

## Zusammenfassung der Erkenntnisse und Schlußfolgerungen

- Der bereits in [1] gefundene Zusammenhang zwischen den in der Übertragungskurve eines Schallplattenabtasters erkennbaren Resonanzen und Veränderungen des Plattenpegels beim wiederholten Abtasten von Aufzeichnungen mit diesen (oder benachbarten) Frequenzen wird bestätigt.
- Bei im Verh

  ältnis zur Nadelverrundung ausreichend großen Wellenl

  ängen treten diese Ver

  änderungen in Form von Pegelerh

  öhungen auf.
- 3. Bei hochwertigen Abtastern wirkt nur die obere Resonanz fo (Rillen-Nadel-Resonanz). Unterhalb von 0,6 fo sind keine Anzeichen einer Pegelveränderung erkennbar. Eine zur Erzielung einer linearen Übertragungskurve außerhalb des Übertragungsbereiches liegende obere Resonanz schließt also Plattenabnutzung im Übertragungsbereich aus (und sichert hohe Kanaltrennung im oberen Teil des Übertragungsbereiches).
- 4. Im inneren Bereich einer Schallplatte bestimmt die aus den geometrischen Daten von Nadel und Rille resultierende Grenze der Abtastung das Maß des Qualitätsabfalles.
- Bei einer sphärisch verrundeten Nadel wird in diesem Bereich das Verhalten der Wiedergabeeinrichtung überwiegend durch die Geometrie bestimmt. Von Bedeutung ist der statische Abspielverlust ([3], Bild 10.141), dem sich zusätzlich bei Überforderung der Geometrie (wenn auf der Platte größere Schnellen aufgezeichnet sind, als sie die vorliegende Nadel abtasten kann) spontane Pegeländerungen überlagern. Bei der Abtastung von Musikschallplatten werden die aus der Überforderung der Geometrie herrührenden Störungen durch kurzzeitig hohe nichtlineare Verzerrungen hörbar. Die Grenzen der Aufzeichnung liegen oberhalb der durch die Abtastung mit sphärischer Nadel gezogenen Grenzen ([3], Bild 10.135).
- 5. Die unter Punkt 4 geschilderten Zusammenhänge wirken zunächst unabhängig von Abnutzungseffekten, letztere sind aber bei kleinen Wellenlängen sehr wohl vorhanden und führen neben den Qualitätseinschränkungen zur Plattenabnutzung mit bleibenden Reduzierungen des Plattenpegels.
- 6. Die Anwendung von bi- oder multiradialen Nadelschliffen kann die geometrische Grenze der Abtastung zu so kleinen Wellenlängen verschieben, daß bei zweckmäßiger Dimensionierung von Nadel und Wandler die Radiusabhängigkeit der Wiedergabeparameter im Bereich der üblichen Aufzeichnungsdaten nahezu aufgehoben wird (Bild 21). Die damit mögliche Verbesserung der Wiedergabequalität ist

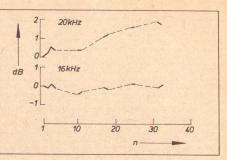


Bild 20: Veränderungen des Pegels der LB 210 (Gleitfrequenzen) beim Abtasten mit dem System

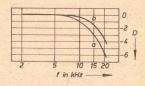


Bild 21: Abweichung der relativen Übertragungskurve beim  $\varnothing$  140 mm zur Übertragungskurve bei  $\varnothing$  280 mm.

a) Kugel 15  $\mu$ m, F $_{\rm A}=$  12 mN; b) Hyperellipse, F $_{\rm A}=$  12 mN.

Hergeleitet aus dem Basismaterial der Bilder 8 bis 13. Gemessen bei 33 U/min. Die Kurven folgen dem theoretischen Verlauf des statischen Abspielverlustes [3]

- für anspruchsvolle Hörer erkennbar. Als offensichtlicher Nachteil verbleibt der höhere Aufwand für eine derartige Nadel bzw. für ein damit ausgerüstetes Abtastsystem.
- 7. Es fehlt ein praktikables Meßverfahren für die Bestimmung der Plattenbeanspruchung durch den Abtaster. Die beschriebene indirekte Methode über die Bestimmung der Veränderungen des Plattenpegels ist sehr aufwendig, sie schließt aber andererseits auch schwer erfaßbare Plattenparameter mit ein. Ihre Anwendung erscheint so als ein tragbarer Kompromiß.
- 8. Bei der Einführung und Beurteilung von speziellen Nadelformen sollte im Zusammenspiel mit den für die Anwendung vorgesehenen Abtastern auf die Durchführung von Tests nach Punkt 7 nicht verzichtet werden.
- 9. Im Zuge der weiteren Verbesserung der Wiedergabequalität sollten die Eigenschaften von hochwertigen HiFi-Abtastern bezüglich der bei der Abtastung im inneren Bereich einer Schallplatte erreichten technischen Parameter stärker in den Vordergrund gestellt-werden.
- 10. Bei Messungen an Aufzeichnungen 10 kHz im inneren Bereich einer Schallplatte sind die Einflüsse der Nadelgeometrie zu beachten. Gleiches gilt auch für die Beurteilung von hochtonreichen Musikaufzeichnungen.

## Literatur

- Hohmuth, G.: Abnutzung von Schallplatten. radio fernsehen elektronik, Berlin 19 (1969) 13, S. 484–487
- [2] Anton, O.: Aktuelle Meßschallplatten. radio fernsehen elektronik, Berlin 33 (1984) 8, S. 522 und 523
- [3] Taschenbuch Akustik, Kapitel 10.6. Berlin: VEB Verlag Technik 1984