

Neue Messungen an Schallplatten

Mitteilung aus dem Heinrich-Hertz-Institut für Schwingungsforschung

Von

Gerhard Buchmann

Die starke Entwicklung der Schallplattentechnik in den letzten Jahren hat auch die Aufmerksamkeit auf die Meßmethoden dieses Gebietes gelenkt.

Bei den modernen elektrischen Aufnahmegegeräten, die allenthalben die alten mechanischen Apparate verdrängt haben, kann man drei wesentliche Bestandteile unterscheiden: das Aufnahmemikrophon, den Verstärker und den elektromagnetischen Schreibapparat. Meßverfahren zur Untersuchung von Aufnahmemikrophonen sowie der Aufnahmeverstärker sind in genügender Zahl bekannt. Dagegen fehlen bisher geeignete einfache Methoden zur Festlegung der Eigenschaften des Schallschreibers, d. h. des Apparates, der unter dem Einfluß der an ihn angelegten Wechselspannungen Furchen in die Wachsaufnahmeplatte eingräbt.

Will man die Frequenzabhängigkeit eines Schreibers messen, so muß man an ihn eine für alle Frequenzen konstante oder wenigstens eine bekannte sinusförmige Wechselspannung anlegen und die zugehörigen Amplituden auf der Wachsplatte bzw. nach dem Kopierprozeß auf der „schwarzen“ Schallplatte ausmessen. Eine solche Platte mit bekannten Amplituden für die einzelnen Frequenzen ist auch notwendig, um die Frequenzabhängigkeit der Wiedergabegeräte, der elektrischen oder mechanischen Sprechmaschinen, zu bestimmen. Die Meßverfahren sowohl der Aufnahme- wie der Wiedergabetechnik laufen also darauf hinaus, die Größe von Amplituden auf Schallplatten zu ermitteln.

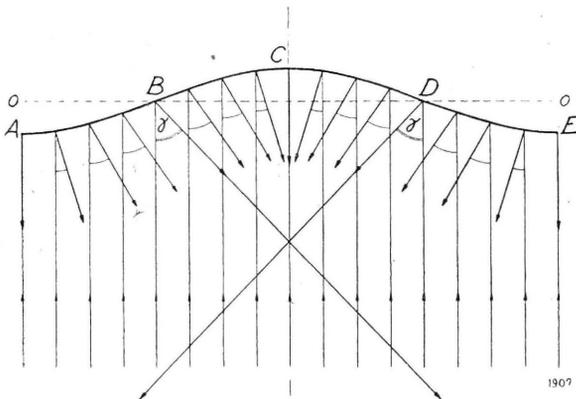


Abb. 1.

Die älteste und dabei gebräuchlichste Methode ist die mikroskopische; sie liefert direkt die Amplitude, bereitet allerdings wegen der Kleinheit der Amplitude, vor allem für die hohen Frequenzen, ziemliche Meßschwierigkeiten. Die für die Schallplattentechnik wesentliche Größe ist nämlich nicht die Amplitude selbst, sondern das Produkt: Amplitude mal Frequenz, d. h. die Geschwindigkeitsamplitude. Ein idealer

elektrischer Schreiber soll bei Erregung mit konstanter Wechselspannung für alle Frequenzen eine konstante Geschwindigkeitsamplitude aufzeichnen; die Amplitude selbst nimmt daher bei wachsender Tonhöhe umgekehrt proportional mit der Schwingungszahl ab.

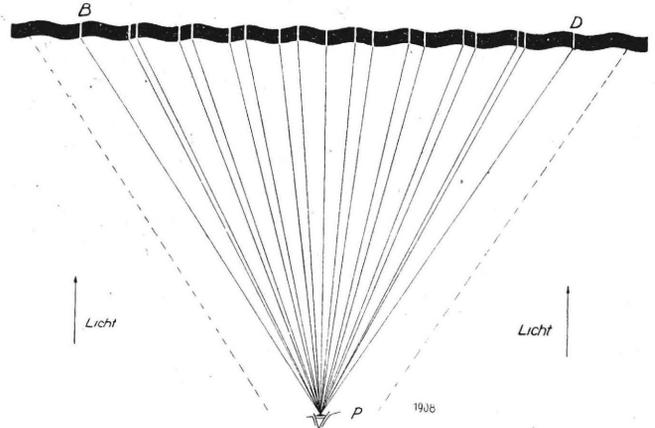


Abb. 2.

Ein zweites Verfahren, entwickelt von E. Meyer¹⁾, benutzt einen elektrischen Tonabnehmer. Die Frequenzabhängigkeit des Tonabnehmers wird ausgeschaltet, indem man durch entsprechende Veränderungen der Umdrehungszahl der Schallplatte stets dieselbe Frequenz erzeugt. Das Verfahren ist verhältnismäßig kompliziert, außerdem liefert es auch nur die Amplitude und erst durch Umrechnung die Geschwindigkeitsamplitude.

Im folgenden soll nun ein sehr einfaches, optisches Verfahren²⁾ beschrieben werden, das gestattet, unmittelbar die Geschwindigkeitsamplitude auf der Schallplatte in absolutem Maße abzulesen. Die Methode ist nichts weiter als die quantitative Auswertung der allgemein bekannten Lichtreflexe an einer Grammophonplatte; sie geht auf folgende Erscheinungen zurück.

Auf der Schallplatte sei ein sinusförmiger Ton bestimmter Amplitude und Frequenz aufgezeichnet; Kurve AE der Abb. 1 stelle einen Normalschnitt einer Seitenwand der eingegrabenen Furche auf einem kurzen Kurvenstück (einer Wellenlänge) dar. Die Seitenwand sei als lichtreflektierend vorausgesetzt. Auf die Kurve AE falle paralleles Licht auf. Der Winkel, den die reflektierten Strahlen mit der Einfallrichtung bilden, ist von dem Reflexionspunkt abhängig. Er variiert von der Größe 0 bei den Extremwerten A, C und E bis zu einem Grenzwinkel γ an den Wendepunkten B und

¹⁾ Erwin Meyer und Paul Just: Frequenzkurven von elektrischen Tonabnehmern und mechanischen Grammophonen. ENT 6. S. 264. 1929.

²⁾ Ausführlich siehe G. Buchmann und E. Meyer. ENT. S. 147, Band 7. Eine neue optische Meßmethode für Grammophonplatten.

D, die Schnittpunkte der Sinuskurve mit der Nulllinie 00 sind. Wesentlich ist, daß die Größe des Winkels γ von der Steilheit der Sinuslinie an dieser Stelle, d. h. von dem Differentialquotienten und damit von der Geschwindigkeitsamplitude abhängt. Geht man nun zu mehreren Wellenlängen über, so sieht ein Beobachter in P (Abb. 2) eine Reihe von Lichtpunkten, deren äußerste B und D durch die stärkste Ablenkung bestimmt sind. Die Ablenkung ist aber am stärksten an den Wendepunkten der Sinuslinie; folglich ist die Entfernung BD durch die aufgezeichnete Geschwindigkeitsamplitude gegeben. Legt man mehrere solcher Sinuslinien übereinander, so erhält man ein Lichtband, wie es

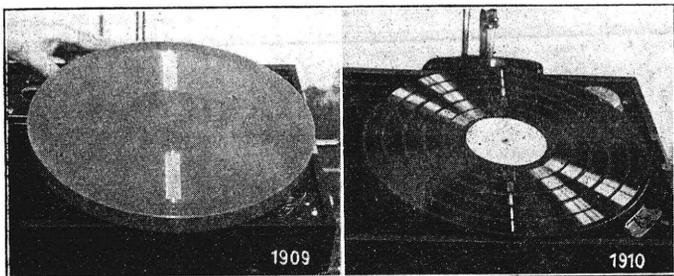


Abb. 3.

Abb. 4.

Abb. 3 an einer Wachsaufnahmeplatte zeigt. Die Platte wurde mit einem reinen Ton konstanter Frequenz (600 Hz) und konstanter Amplitude beschrieben.

Anfang und Ende der Platten enthalten einige Leerlauf-
rillen, d. h. Rillen, die nicht beschrieben sind. Als Licht-
quelle diente die Sonne; die Wachsplatte wurde so geneigt,
daß die Rillenkante möglichst lichtstark nach dem photo-
graphischen Apparat zu reflektierte. Die Platte wurde bei
der Aufnahme etwas bewegt, so daß die einzelnen Licht-
punkte zu einem Lichtband verschmelzen. Das Lichtband
ist, wie auch die Reproduktion noch zeigt, ganz scharf
begrenzt und kann sehr einfach ausgemessen werden.

Es ist zunächst verwunderlich, daß das Lichtband auf der
ganzen Platte trotz der verschiedenen Krümmungen der
einzelnen Rillen eine konstante Breite hat. In der Ableitung
ist bisher vorausgesetzt worden, daß die Aufzeichnung längs
einer Geraden, nicht längs eines Kreises geschieht, wie es
in Wirklichkeit der Fall ist.

Bei der Wachsplatte wird bei konstanter Frequenz die
Wellenlänge infolge der geringeren Umfangsgeschwindigkeit
nach dem Mittelpunkt zu immer kleiner. Infolgedessen wird
die Steilheit bei gleicher Amplitude größer. Das Lichtband
müßte also zur Mitte hin breiter werden. Dies wird jedoch
durch die stärkere Kreiskrümmung gerade kompensiert,

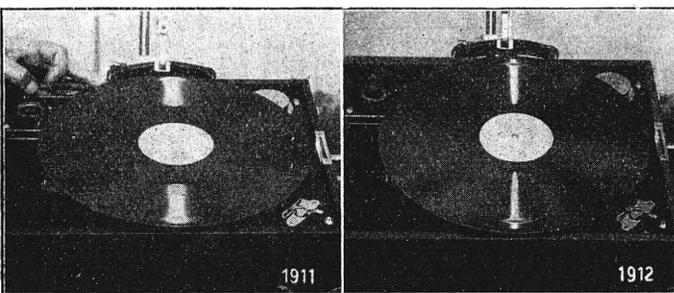


Abb. 5a.

Abb. 5b.

wenigstens solange die Bandbreite klein zum Radius der
Plattenrille bleibt.

Abb. 4 zeigt ein weiteres Beispiel: den Ton 435 Hz in
verschiedenen Stärkestufen. Die Amplituden wurden bei
der Aufnahme wie 1:2:4:8:16 variiert, was auch die
Ausmessung von Abb. 4 bestätigt. Die Aufnahme ist an einer
„schwarzen“ Schallplatte mit einer künstlichen Lichtquelle,
einer Wolframpunktlichtbogenlampe, ausgeführt. Da die
Erscheinung der Lichtbänder außerordentlich lichtstark ist
und die Punktlichtlampe zur Allgemeinbeleuchtung der
Platte nicht hinreicht, wurde zur Vermeidung von zu star-
ken Kontrasten noch Tageslicht zur Beleuchtung heran-
gezogen.

Auf dieses Tageslicht, das durch zwei Fenster in den
Aufnahmeraum einfiel, gehen die beiden schräg liegenden
Lichtstreifen zurück. Daß diese Lichtstreifen so verwaschen
sind und nicht die Intensitätsunterschiede zeigen, beruht
auf dem diffusen Lichteinfall des Tageslichtes.

Zur scharfen Ausbildung der Lichtbänder ist, wie oben
besprochen, paralleles Licht erforderlich; je besser die
Parallelität der Lichtstrahlen, um so schärfer sind auch
kleine Amplituden und kleine Amplitudenunterschiede noch
erkennbar. Begrenzt wird allerdings die Randschärfe außer
durch die Art der Lichtquelle noch durch eine andere Er-
scheinung, nämlich die Tatsache, daß die Rillenkanten nicht
rein geometrisch, sondern zum großen Teil diffus reflek-
tieren. Diese diffuse Reflexion bewirkt, daß z. B. die Leer-
lauf-
rillen (siehe Abb. 3) keinen unendlich feinen Strich, son-
dern eine endliche Ausdehnung selbst bei guter Parallelität
der Lichtstrahlen hervorrufen.

Diese Ausdehnung des Lichtstreifens bei unbesprochener
Platte ist abhängig von der Rauigkeit des Materials und
dürfte mit dem Nadelgeräusch in engem Zusammenhange
stehen. Tatsächlich tritt beim Abspielen der in Abb. 4 ge-
zeigten Platte der Ton kleinster Lautstärke kaum noch aus
dem Nadelgeräusch hervor.

Um, wie eingangs erwähnt, den Grammophonschreiber zu
prüfen, erregt man ihn mit konstanter Wechselfrequenz, die
kontinuierlich alle Frequenzen des zu prüfenden Bereiches
durchläuft. Die Lichterscheinung auf der Platte gibt dann
bei bekannter Frequenzverteilung sofort die Frequenzkurve
an. Abb. 5a und 5b sind auch hierfür Beispiele; die Fre-
quenz variiert von der Mitte nach dem Rand von etwa
100 bis 6000 Hz bzw. 50 bis
10 000 Hz. Abb. 5a stellt
die bekannte und an dieser
Stelle schon früher be-
sprochene³⁾ Meßplatte des
Reichspostzentralamtes dar.
In Abb. 5b fällt besonders
die stark ausgeprägte Re-
sonanzstelle bei höheren
Frequenzen (6400 Hz) auf.
Die Aufnahmen sind zwar
an fertigen Schallplatten
aufgenommen, doch zeigen
auch die ursprünglichen
Wachs-
aufnahmen (vgl. Abb. 3) die gleiche Lichterscheinung,
ein besonderer Vorteil des hier beschriebenen Verfahrens,
da der Schallplattenschneideapparat ohne Vervielfältigungs-
arbeit und damit ohne Zeitverlust und ohne Kosten geprüft
werden kann. Aus der Breite des Lichtbandes folgt auch
durch wenige Messungen die absolute Größe der Geschwin-
digkeitsamplitude.

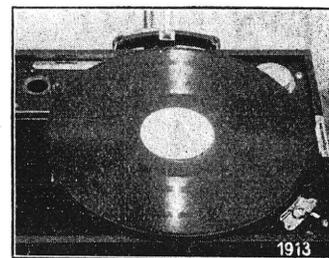


Abb. 6.

Wenn a die Amplitude, ω die Kreisfrequenz, b die Band-
breite, u die Drehzahl der Schallplatte in der Sekunde (ge-
wöhnlich 78/80) ist, so folgt für die Geschwindigkeits-
amplitude

$$a \cdot \omega = b \cdot \pi \cdot u \quad (1)$$

und damit für die Amplitude

$$a = \frac{b \cdot u}{2n} \quad (2)$$

wenn n die Frequenz in Hertz ist. Vorausgesetzt ist
bei diesen Formeln, daß b klein zum Plattenradius und
zur Entfernung des Beobachters ist. Formel (2) wurde
experimentell bei großen Amplituden durch Vergleich mit
direkter mikroskopischer Ausmessung (vgl. Einleitung) ge-
prüft; es ergab sich innerhalb weniger Prozente eine gute
Übereinstimmung.

Daß schließlich das Verfahren sich auf handelsübliche
Sprach- und Musikplatten ausdehnen läßt, zeigt Abb. 6, die
die Photographie einer Orgelplatte darstellt. Hier kann
man aus der Breite des Lichtbandes die Geschwindigkeits-
amplitude an den betreffenden Stellen schätzen.

Falsch wäre die absolute Ausmessung oder gar ein Rück-
schluß auf Plattenfehler, Güte der Aufnahme oder dgl. Es
sei hier nochmals betont, daß das hier angegebene Ver-

³⁾ Paul Just „Eine einfache Prüfung von Elektroschall-
dosen“. „Funk-Bastler“ Heft 40, S. 643, 1929. Im gleichen
Aufsatz ist auch die Frequenzkurve angegeben, die nach dem
elektrischen Verfahren von E. Meyer ermittelt wurde.

fahren in seinem ganzen Ausmaße nur bei sinusförmiger Erregung des Schreibers anwendbar ist.

Zum Schluß wollen wir noch auf einen Vergleich der bisher bekannten Verfahren mit dem hier beschriebenen eingehen. Die mikroskopische Ausmessung liefert unmittelbar die Bewegungsamplitude auf der Grammophonplatte; die neue Methode ergibt unmittelbar die Geschwindigkeitsamplitude. Beide Verfahren sind ohne weiteres miteinander vergleichbar, wie auch die Prüfung von Gl. (1) bzw. (2) bestätigt hat. Das in der Einleitung erwähnte elektrische Verfahren dagegen ermittelt eine etwas andere Größe. Es wird hier nicht die Amplitude optisch mit einem feinen Lichtstrahl, sondern mechanisch mit der groben Nadelspitze der Grammophonabnahmenadel abgetastet und gemessen. Ist die Abrundung der Nadelspitze in der Größenordnung vergleichbar mit der Krümmung der aufgezeichneten Kurve, so folgt sie nicht mehr genau der Rille, sondern führt kleinere Bewegungen aus.

Daß diese Anschauung richtig ist, zeigt Abb. 7, in der an Platten, ähnlich Abb. 5a und 5b, das optische und elektrische Verfahren bei einer handelsüblichen Stahlnadel normaler Stärke und einer amerikanischen Holznadel (Bambusfaser) verglichen sind. Als Abszisse sind in Abb. 7 die Frequenzen, als Ordinaten die Quotienten Q der aus dem elektrischen und optischen Verfahren ermittelten Werte aufgetragen. Die Holznadel (Kurve b) mit der breiten Spitze ergibt einen sehr viel stärkeren Abfall bei den höheren Frequenzen als die Stahlnadel (Kurve a), was der allgemein bekannten Tatsache entspricht, daß Holznadeln eine weiche, d. h. an hohen Frequenzen ärmere Wiedergabe ergeben.

Dieser Abfall bei hohen Frequenzen geht, wie schon erwähnt, darauf zurück, daß die Nadelspitze in ihrer Größe mit dem Krümmungsradius der Rillen bei hohen Frequenzen vergleichbar wird. Von C. Borchardt⁴⁾ wurde gelegentlich die Vermutung ausgesprochen, daß die verminderte Wiedergabe der hohen Frequenzen auch eine andere Ursache haben könnte, nämlich die, daß die Nadelspitze bei den hohen Frequenzen kleiner Amplitude in der Rille keine feste Führung mehr hat, sondern zwischen den Ausbuchtungen beider Seiten hindurchgleiten kann, ohne diesen zu folgen. Ganz besonders sollte das bei den Meßplatten des Reichspostzentramtes mit ihren „exorbitant“ breiten Rillen der Fall sein. Aus diesem Grunde wurden auch hierüber einige Untersuchungen angestellt.

Abb. 8 zeigt die Mikrophotographie eines Radialschnittes durch die Meßplatte. Zum Vergleich wurden auf diese

nach Abspielen der ganzen Platte greift die Nadel durch ihr seitliches Aufsitzen sogar schon stark die Platte an.

Man sieht also, daß die Regel, die Nadel nach Durchspielen einer Schallplatte zu wechseln, ihre Bedeutung hat. Bei starken Nadeln, z. B. den Burchard-Nadeln schwarz für „Starkton-Musik“, liegen die Verhältnisse so, daß schon die ungespielte Nadel die Rille gut ausfüllt. (Abb. 9.) Wenn

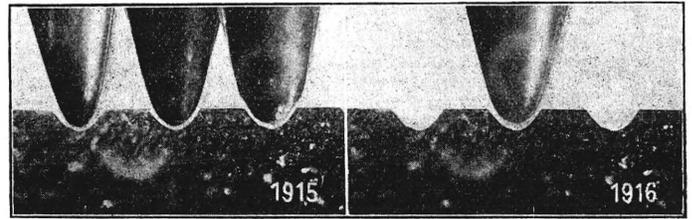


Abb. 8.

Abb. 9.

also starke Nadeln in der Wiedergabe der hohen Frequenzen, wie bekannt, günstiger als dünne Nadeln wirken, so ist das nicht darauf zurückzuführen, daß die letzteren in der Rille nicht richtig geführt werden, sondern darauf, daß sie infolge ihrer großen Nachgiebigkeit die raschen Bewegungen der Nadelspitze nicht in der vollen Größe auf den Anker des Tonabnehmers oder zu der Membran der Grammophondose übertragen.

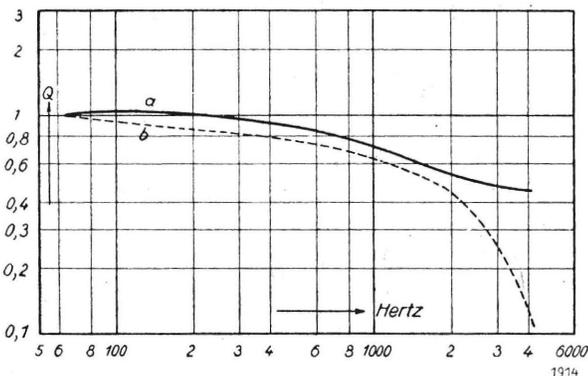


Abb. 7.

Photographie die mit derselben Vergrößerung (56fach) aufgenommenen Bilder der Nadelspitzen eingeklebt. In allen drei Fällen von Abb. 8 handelt es sich um die Burchard-Nadel gelb für „extra zartes Spiel“, also die dünnste Nadel, die den Effekt des Hinundhergleitens am meisten zeigen müßte. Links in Abb. 8 sieht man eine ungespielte Nadel, die mittlere Nadel hat drei Rillen vom Anfang durchlaufen; mit der letzten wurde die Meßplatte ganz durchgespielt. Wie aus der Abbildung hervorgeht, hat sich die Nadel nach drei Umläufen so gut eingeschliffen, daß seitliche Aus schläge auf dem Rillengrund kaum mehr möglich sind, und

⁴⁾ C. Borchardt, Monographien zur Funktechnik Bd. 1, Berlin, Dezember 1929.