

# Tonarmresonanz

Einige Plattenliebhaber kennen wahrscheinlich das Phänomen, daß der Tonabnehmer bei bestimmten Platten in heftige Schwankungen versetzt wird, die Membran des Basslautsprechers wilde Hubbewegungen ausführt, wobei nicht das Geringste zu hören ist. Der Grund ist hierbei in einer schlechten Abstimmung des Systems Tonabnehmer/Tonarm zu suchen, welches dann durch geeignete Stimuli leicht in Resonanz gebracht werden kann. In leichten Fällen kann dabei ein An- und Abschwellen des Tones gehört werden, in schweren Fällen springt der Abnehmer regelrecht aus der Rille, was zu permanenten Beschädigungen der Platte führen kann.

Wird ein System zur Resonanz bei z.B. 5 Hz angeregt, wird sich das System mit dieser Frequenz auf und ab bewegen, wobei die Auflagekraft bei der Aufwärtsbewegung abnimmt, was zu Fehlabtastung, bei der Abwärtsbewegung hingegen zunimmt, was zu erhöhtem Verschleiß von Abspieldiamant sowie Platte führen kann.

Ein Phänomen, das bei Resonanz mit bloßem Auge unter Umständen beobachtet werden kann, ist eine Schrubb-Bewegung in Richtung der Rille. Dies führt dazu, daß Relativgeschwindigkeit zwischen Nadel und Platte periodisch steigt und sinkt, es kommt zu Tonhöhen-schwankungen, wie sie z.B. durch Schwankungen der Drehgeschwindigkeit erzeugt werden sind. Werte von 2% sind typisch [1].

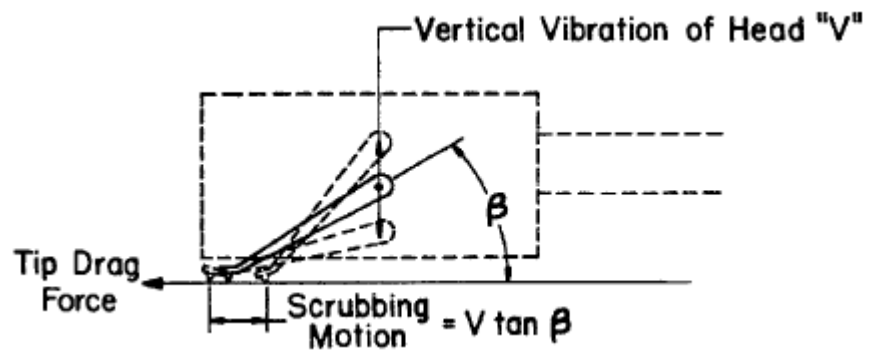


Abb.1 aus [1]

Die Wahrnehmungsschwellen hängen von der Art der Musik ab, und liegen für Klavier bei 0,14%, für Symphoniekonzerte bei 0,4%, für Sprache bei 0,86%. Die Werte, an denen die Schwankungen als störend eingestuft werden, liegen jeweils ca. doppelt so hoch [2]. Tonhöhen-schwankungen von 2% sind also deutlich im wahrnehmbaren, und vermutlich sogar im störenden Bereich.

Auch in der horizontalen Ebene kann Resonanz auftreten, in der Regel durch Platten-Exzentrizität, diese ist aber auf Grund der niedrigen Frequenz von 0,55 Hz unschädlich [1].

Tonarmresonanz wird durch die effektive Masse des Tonarms + Tonabnehmer sowie durch die Nachgiebigkeit des Nadelträgers bestimmt. Es handelt sich hier um einen speziellen Fall des elastischen Pendels (Masse  $M$  an einer Schraubenfeder mit Federkonstanten  $D$ ). Die Eigen- oder Resonanzfrequenz (ungedämpfte Schwingung) des Systems ergibt sich aus

$$F_{res} = \frac{1000}{2\pi\sqrt{(M_1 + M_2) \cdot C}}$$

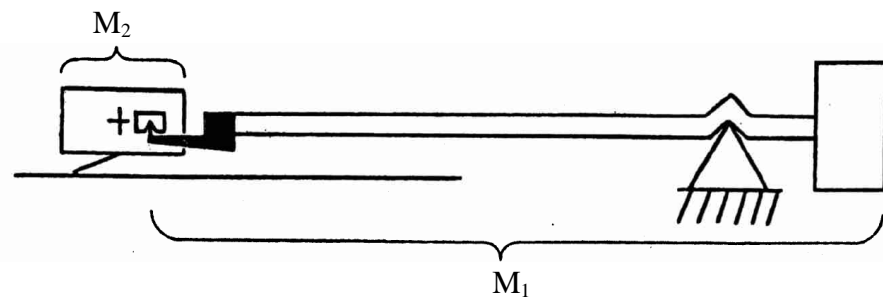
mit

$M_1$  = effektive Masse Tonarm in Gramm

$M_2$  = Masse Tonabnehmer in Gramm

$C = 1/D$  = Nadelträgnachgiebigkeit in mm/N

Abb.2 aus [3]



Die effektive Tonarmmasse lässt sich mit Hilfe des Satzes von Steiner bestimmen. Dazu werden zuerst die einzelnen Trägheitsmomente  $\Theta_n$  der verschiedenen Einzelmassen (Armrohr, headshell, Gegengewicht etc.) bezogen auf das Rotationszentrum des Systems, dem Armlager bestimmt:

$$\Theta_n = m_n \cdot a_n^2$$

mit

$\Theta_n$  = Massenträgheitsmoment

$m_n$  = Einzelmasse

$a_n$  = Abstand der Masse  $m_n$  vom Rotationszentrum

Diese Momente werden aufsummiert. Das resultierende Gesamtmoment wird durch den Abstand  $L_m$  (Armlager - Auflagepunkt) geteilt und ergibt so die effektive Masse des Arms. Man kann sich dies so vorstellen, als ob der gesamte Arm (d.h. die "beweglichen" Teile Armrohr, Gegengewicht etc.) durch eine virtuelle Einzelmasse  $M_1$  mit Abstand  $L_m$  vom Armlager ersetzt würde. Zu dieser Masse addiert wird die Masse  $M_2$  des Tonabnehmers. Diese virtuelle Gesamtmasse ist über die "Feder" Nadelträger an die Platte gekoppelt.

Jede Schwingungsquelle, deren momentane “Arbeitsfrequenz” mit der Resonanzfrequenz des Systems zusammenfällt, regt das System zu Resonanz an. Schwingungsquellen, die in diesem Zusammenhang in Frage kommen sind

Platten-Exzentrizitäten : 0,55 Hz  
Plattenunebenheiten : 0,55 - 10Hz  
Plattenspielerabhängung : 3,5 - 10Hz  
Musiksignale : 15 Hz (Kirchenorgel)

Da die Resonanz des Masse-Feder-Systems systemimmanent ist, also nicht eliminiert werden kann, sollte die Frequenz in einen Bereich gelegt werden, wo die Wahrscheinlichkeit einer Anregung gering ist.

1976 untersuchte Shure Schallplatten auf Unebenheiten. Insgesamt wurden 67 Platten von 30 verschiedenen Herstellern geprüft. Bestimmt wurden Auslenkung (Amplitude) und Frequenz der Unebenheiten [4].

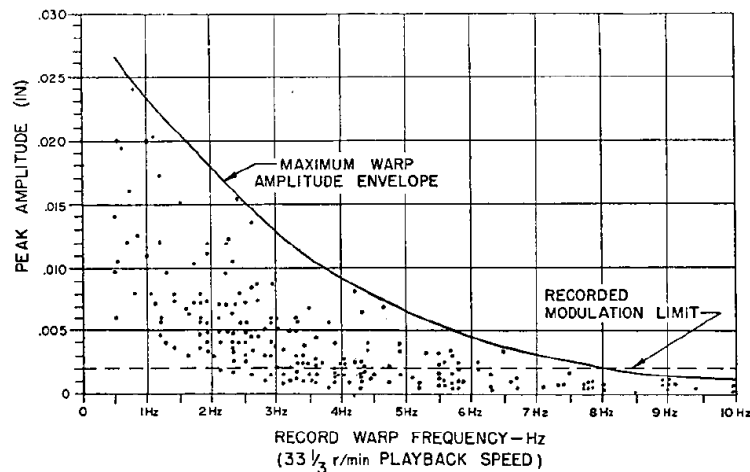


Abb.3 aus [4]

Etwa 70% aller Unebenheiten ist unterhalb von 5 Hz, etwa 95% unterhalb von 8 Hz, mit einem Verteilungmaximum bei 2 Hz.

Daraus ergibt sich, daß die Resonanzfrequenz des Systems oberhalb von 8 und unterhalb von 15 Hz liegen sollte. Als Faustregel gilt: hart aufgehängte Tonabnehmer mit schweren Armen, weich aufgehängte Tonabnehmer mit leichten Armen kombinieren. Da hart und weich, leicht und schwer keine absoluten Begriffe sind, sollte man sicherheitshalber zum Taschenrechner greifen. Man braucht lediglich die effektive Masse der Arms, sowie Gewicht des Tonabnehmers sowie Nachgiebigkeit des Nadelträgers. Eine Schwierigkeit hierbei ist, daß nicht alle Hersteller die erforderlichen Daten angeben.

## Beispiele

### 1. SME 309 mit Shure V15VxMR.

Effektive Armmasse 9,5 g

Gewicht Tonabnehmer 6,6 g,  $C = 30 \text{ mm/N}$

Es ergibt sich eine Resonanzfrequenz von 7,2 Hz, also im gefährlichen Bereich. Allerdings hat das Shure den büstenförmigen "Dynamic Stabilizer": dieser erhöht die Resonanzfrequenz des Systems um 2 Hz auf sichere 9,2 Hz [5].

### 2. SME 309 mit Denon DL103

Gewicht Tonabnehmer 8,5 g,  $C = 10 \text{ mm/N}$

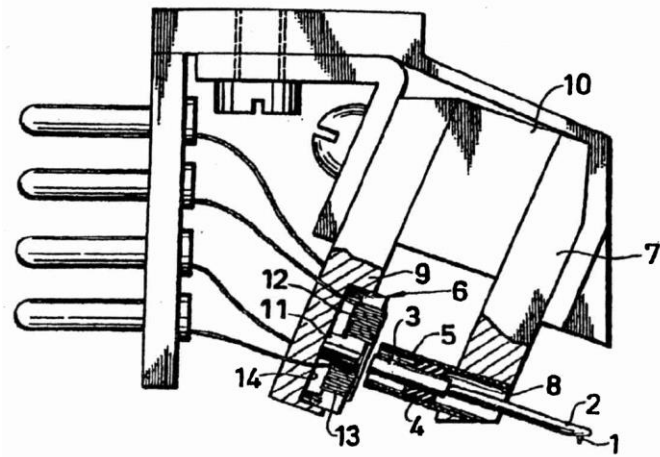
Es ergibt sich eine Resonanzfrequenz von 11,85 Hz, also im sicheren Bereich.

Anders sieht es aus, wenn man diese beiden Tonabnehmer an einem Tonarm der schweren Kategorie montiert, z.B. dem Fidelity Research FR64s, effektive Masse 30,7 g.

Es ergeben sich Frequenzen von 4,7 Hz (Shure) und 8 Hz (Denon). Zumindest beim Shure sind Probleme zu erwarten.

Man muss zwischen statischer und dynamischer Nachgiebigkeit unterscheiden. Bestimmende Faktoren sind Form und Material des Nadelträgers (2, 3 in Abb.4) sowie Typ und Material der Nadelaufhängung (4 in Abb.4).

Abb.4 aus US Patent 4.011.417 (Onkyo)



Die dynamische Nachgiebigkeit ist frequenzabhängig und beträgt etwa 10 - 40 % der statischen Nachgiebigkeit. Zur Bestimmung der Resonanzfrequenz (Frequenzbereich 0 - 20 Hz) ist der unter statischen Bedingungen ermittelte Wert ausreichend.

Sieht man sich mit dem Problem Armresonanz konfrontiert, kann man die Resonanzfrequenz durch Änderung der effektiven Armmasse verschieben. Eine schwereres Gegengewicht führt zu einer Verringerung der effektiven Masse und somit zu einer höheren Eigenfrequenz. Eine Erhöhung der Masse von Tonabnehmer oder Armrohr führt zu einer geringeren Eigenfrequenz.

Eine weitere Möglichkeit, das Problem anzugehen, ist Dämpfung am Tonarmlager. Dadurch wird die Amplitude der Resonanz herabgesetzt. Verschiedene Tonarme sind dafür eingerichtet (Wannen am Armlager zur Aufnahme von Dämpfungsöl).

- [1] Anderson, "A vibration stabilizer system for phonograph reproduction",  
Audio Engineering Society preprint 1356 (1978)
- [2] Sakai, "Perceptibility of wow and flutter",  
J. of the Audio Engineering Society 1970, S.290
- [3] Nakai, "Dynamic damping of stylus compliance/tone arm resonance"  
J. of the Audio Engineering Society 1973, S.555
- [4] Happ et al., "Record warps and system playback performance"  
J. of the Audio Engineering Society 1976, S.630
- [5] Taylor, "Measurement of spectral content of record warps"  
J. of the Audio Engineering Society 1980, S.859
- [6] Kogen et al., "Trackability 1973"  
Audio Magazine, Aug. 1973, S.16
- [7] Kates, "Tone arm outrigger damping devices"  
J. of the Audio Engineering Society 1983, S.714
- [8] Rother, "The aspects of low-inertia tone arm design"  
J. of the Audio Engineering Society 1977, S.550
- [9] Obata et al., "A hi-fi moving magnet cartridge using recent technology"  
J. of the Audio Engineering Society 1984, S.123
- [10] Barlow, "Notes on pickup design and response"  
J. of the Audio Engineering Society 1971, S.222