

VTA und SRA: wichtig, unwichtig?

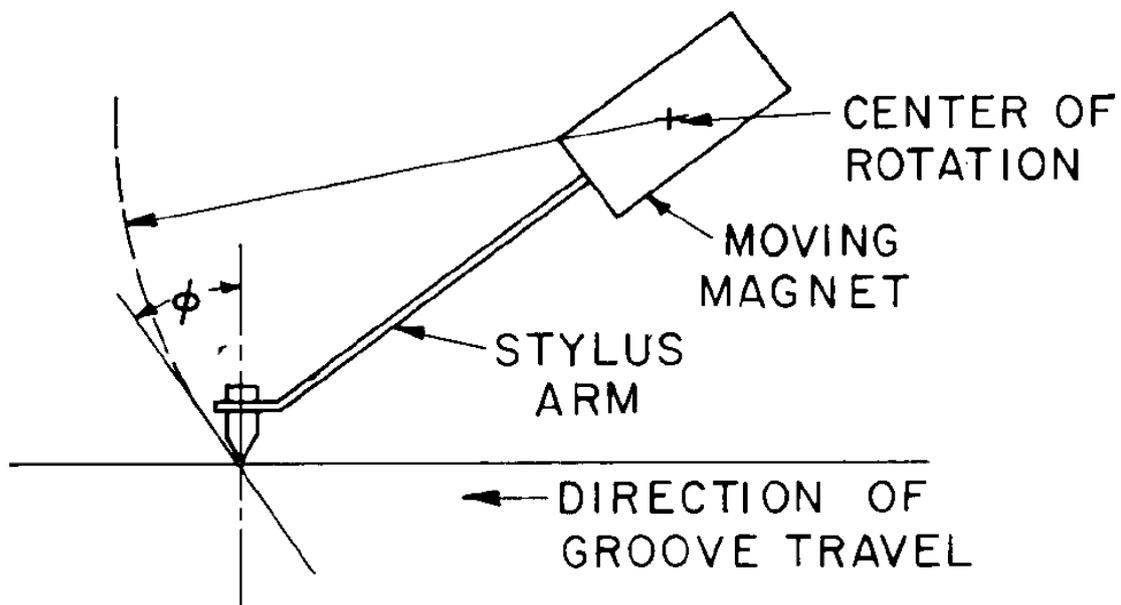
In der Analog 03.12 erschien ein Artikel mit dem Titel „SRA – das Maß aller klanglichen Dinge?“, in dem auf den Vortrag von Wally Malewicz beim kurz davor stattgefundenen Analog-Forum eingegangen wird.

In diesem Vortrag wurde gesagt, daß Wally durch zahlreiche Experimente und Messungen gemeinsam mit Michael Fremer (Mitarbeiter bei der US-Audiozeitschrift „Stereophile“) festgestellt habe, daß auf SRA-Fehler zurückzuführende Verzerrungen sich als deutlich hörbarer zeigten als VTA-bedingte. Nach diesen ausgiebigen Forschungen solle die Abtastspitze nicht exakt senkrecht stehen, sondern in einem Winkel von 92° zur Plattenoberfläche.

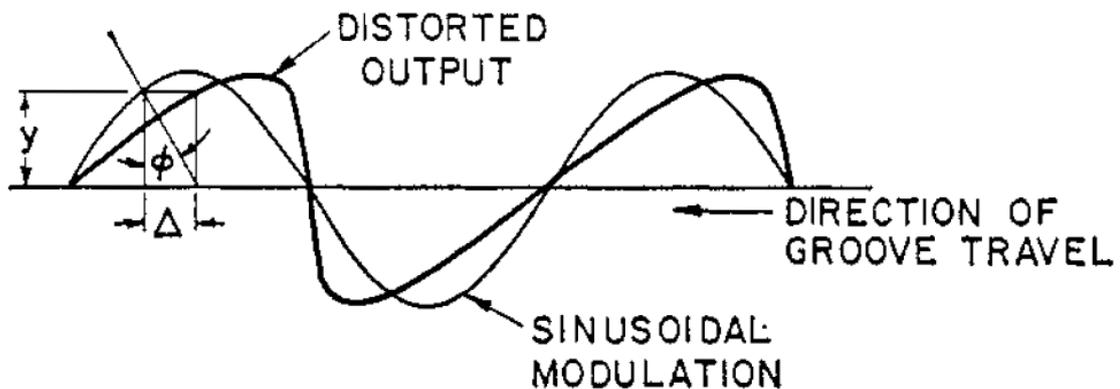
VTA

VTA = Vertical Tracking Angle (vertikaler Abspielwinkel)

Der Nadelträger mit Abspieldiamant rotiert während des Abspielens um das Nadelträgerlager, der Diamant führt also in der vertikalen Ebene eine Kreisbewegung aus. Legt man im Berührungspunkt zw. Diamant und Platte eine Tangente an diesen Kreis, wird VTA als Winkel ϕ zw. dieser Tangente und der Vertikalen definiert (Abb.1).



Weicht der vertikale Winkel des Tonabnehmers von dem des Schneidstichels ab, ist die Bewegung des Abspieldiamanten nicht mehr sinusförmig (sinusoidal), sondern verformt (distorted) (Abb.2).



Die so entstehenden Phasenverschiebungen Δ führen zu harmonischen und Differenztonverzerrungen, deren Betrag sich mit dem Abstand der Rille von der Plattenmitte ändert. VTA-bedingte Verzerrungen werden unabhängig vom Nadelschliff erzeugt, also auch bei konischen/sphärischen Nadeln. Ein weiterer Effekt einer Winkelabweichung ist Kanalübersprechen (Jakobs 1971)

SRA

SRA = Stylus Rake Angle (Nadel-Neigungswinkel)

An den seitlichen Kontaktpunkten des Abspieldiamanten mit der Rillenwand entsteht durch elastische Deformation der Wand eine Kontaktfläche, die je nach Nadelschliff eine andere Form hat (Abb.3).

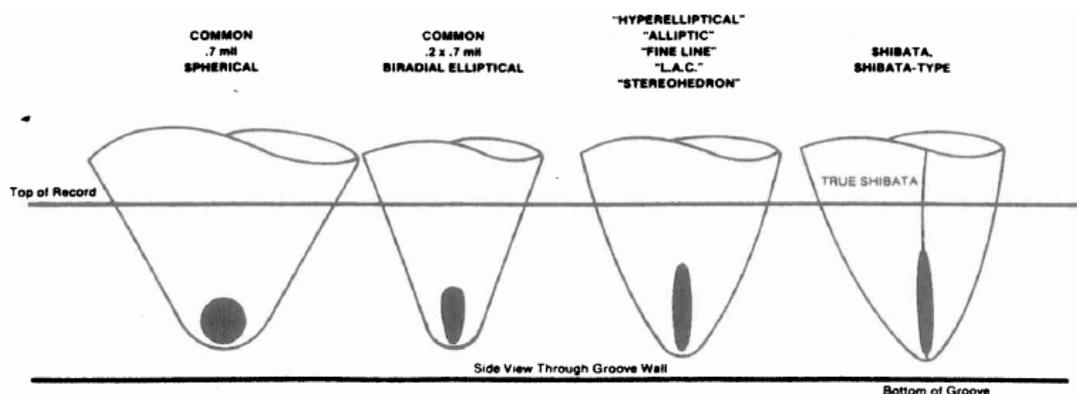


Abb.3

Der Winkel zw. der vertikalen Achse dieser Kontaktfläche und der Plattenoberfläche wird als SRA bezeichnet. Die beiden Winkel SRA und VTA stehen in einer festen Beziehung miteinander, jede Änderung des einen hat eine gleichgroße Änderung des anderen zur Folge.

Während sich die einschlägige Fachliteratur recht ausgiebig mit dem Thema VTA beschäftigt hat und diesen Parameter geometrisch und mathematisch exakt beschreibt, wodurch sich die Folgen einer Fehlanpassung (Tonabnehmer – Schneidstichel) genau berechnen lassen, wird das Thema SRA, soweit dies ermittelt werden konnte, in dieser Fachliteratur mit keinem Wort angesprochen.

Es gibt demnach anscheinend lediglich die beiden unten aufgeführten Artikel in der Konsumentenpresse, die sich mit diesem Thema beschäftigen. In diesen beiden Artikeln wird allerdings keine genaue und nachvollziehbare geometrische Analyse vorgestellt, es wird vermutet, theoretisiert, Hypothesen werden aufgestellt:

1. Eine Abweichung vom Sollwinkel solle zu einer Vergrößerung der Kontaktfläche in horizontaler Richtung führen, was möglicherweise scanning loss zur Folge habe.

Scanning loss: der Kontakt zw. Abspieldiamant ist nicht punkt- sondern flächenförmig (Abb.4) zw. den Punkten z_1 und z_2 . Diese Fläche kann mit dem Spalt eines Tonkopfes verglichen werden, durch den das magnetische Feld des Tonbandes gelesen wird.

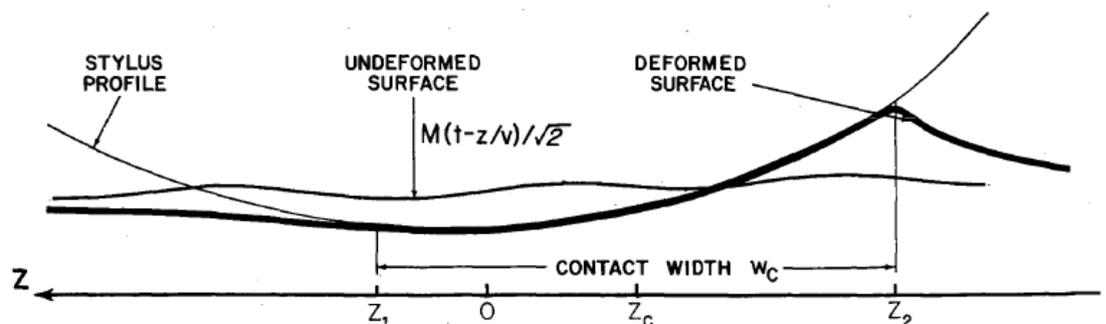
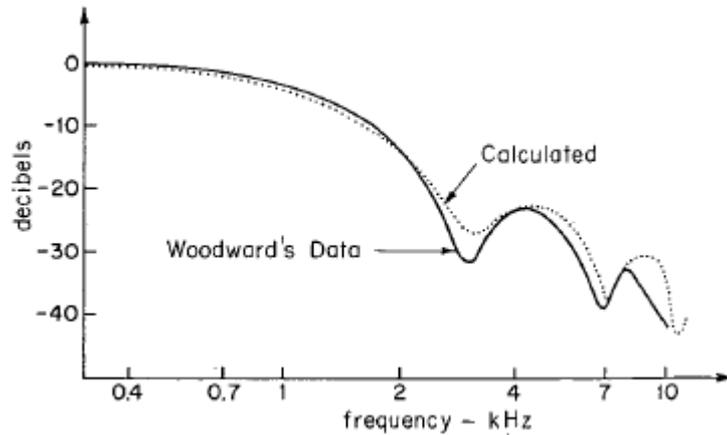


Abb. 4

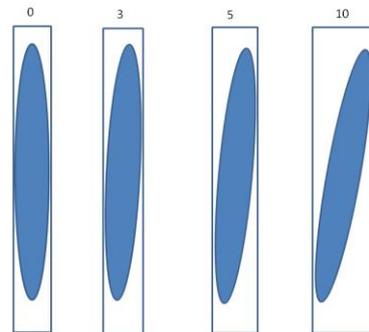
Wenn die Wellenlänge der Rillenmodulation in den Größenbereich der Abmessungen dieser Kontaktfläche bzw. des Verrundungsradius des Abspieldiamanten kommt, was in Abb. 4 angedeutet ist, wo mehrere Rillenmodulationen/Wellenlängen (undeformed surface) innerhalb der Kontaktzone W_c liegen, kann scanning loss auftreten. Die Höhen und Täler dieser Rillenmodulationen erzeugen eine in ihrer Größe fluktuierende resultierende Kraft auf die Nadel. Als Folge nimmt der gemessene Ausgangspegel des Tonabnehmers im Höhenbereich sowie zur Plattenmitte hin ab (zur Plattenmitte hin nimmt bei gleicher Frequenz die Wellenlänge = Abstand der Scheitelpunkte der Rillenmodulation ab), wobei sich Höhen und Senken in der Pegelkurve zeigen (Abb. 5). Die konstruktive Gegenmaßnahme ist, die Kontaktfläche möglichst klein zu halten, was durch geringe Verrundungsradien des Abspieldiamanten und geringe Auflagekräfte erreicht werden kann.

Abb. 5



Auf LPs betragen die Scheitelabstände/Wellenlängen bei 20 kHz in der Aussenrinne 0,025 mm (25 Mikrometer), in der Innenrinne 0.01 mm (10 Mikrometer).

Eine Ortofon Fine-Line von 8/40 Mikrometer hat, da sie wohl kaum zur Gänze in die Rillenwand einsinken wird, eine Kontaktfläche von vielleicht maximal 8 Mikrometer Breite. Würde nun die Nadel um 5 Grad gekippt, wäre die neue Breite der Kontaktfläche 8,03 Mikrometer, also eine Änderung von 0,004%, vermutlich kaum der Rede wert.



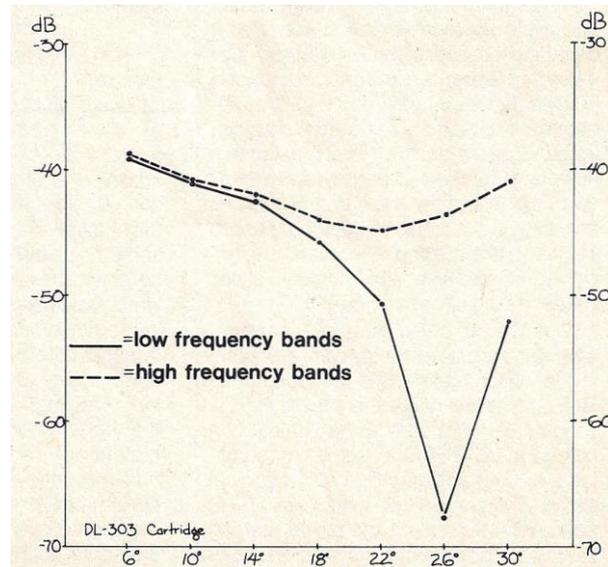
Eine MicroRidge-Nadel, wie sie von Shure oder Dynavector verwendet wird, hat eine Seitenverrundung von 3,8 Mikrometer, eine Gyger-I Nadel 5 Mikrometer, eine Shibata 6 Mikrometer, eine scharfe van den Hul 2 Mikrometer. In keinem dieser Fälle ist scanning loss zu erwarten, wie groß die Abweichung des SRA von Sollwinkel auch sein mag.

2. Es wird im folgenden die Hypothese aufgestellt, daß bei inkorrekt justierten Shibata-Nadeln die Rillenmodulation die seitlichen Kontaktflächen quasi festhält, dann wieder losläßt, wodurch die Nadel verdreht werde, was Schockwellen im Nadelträger erzeugen sollte. Diese Hypothese wird jedoch durch keinerlei Versuche überprüft. Nichtsdestotrotz ist es dieser Mechanismus, der von Analog-Guru Michael Fremer als allgemeingültige, d.h. für alle Nadelschliffe vom Typ line-contact geltende Ursache deklariert wird.

3. Weiterhin werden zum Nachweis der Einflusses des SRA Messungen durchgeführt.

a. DIN 45-542 Testplatte, Testsektionen mit Kombinationstönen (1,85 kHz/3,15 kHz sowie 370 Hz/630Hz), die einen Differenzton von 5 kHz bzw. 1 kHz erzeugen. Denon DP 80 Plattenspieler mit DA-401 Tonarm, MC-Tonabnehmer mit modifizierter elliptischer Nadel. Gemessen wird die Differenztonverzerrung in Abhängigkeit vom vertikalen Abspielwinkel (Abb. 6).

Abb.6



Die Minima sind unterschiedlich ausgeprägt und treten bei anderen Winkeln auf, welches der Fall sein sollte für jeden Nadeltyp, bei dem SRA eine Rolle spielen könnte, d.h. zum Zeitpunkt der Veröffentlichung des Artikels elliptisch und Shibata. Es wird in Folge die Theorie aufgestellt, daß es die Abweichung des SRA vom Sollwinkel ist, die dafür verantwortlich zu machen sei.

Nun ist es so, daß andere Faktoren wie unterschiedliche Geometrien von Schneidstichel und Abspieldiamant (Woodward 1963) sowie Radius (d.h. Abstand der Rille von der Plattenmitte) und Modulationspegel (Woodard 1984) für diese Unterschiede verantwortlich sein könnten, dies wurde jedoch nicht nachgeprüft, obwohl auf ersteren hingewiesen wird.

b. Da eine Nadel mit konischem Schliff keine SRA-bedingten Differenztonverzerrungen kennt, wurden Messungen mit einem Moving Coil Tonabnehmer auf einer Testschallplatte (400 Hz + 4 kHz) durchgeführt, welche mit einem VTA von 16,5 Grad geschnitten wurde (Abb.8). Abbildung 7 zeigt, wie ein solches Testsignal auf dem Schirm eines Oszilloskops aussieht.

Abb. 7

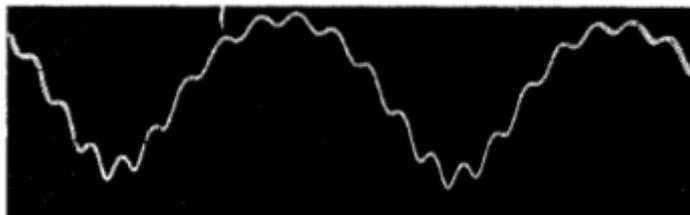
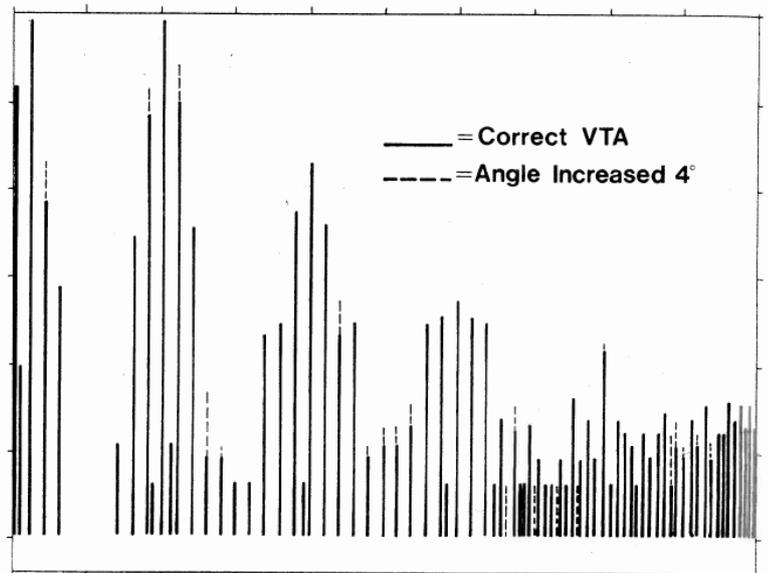


Abb. 8

Abszisse: Frequenz, 0-20 kHz
Ordinate: Pegel, -85 bis -25 dB

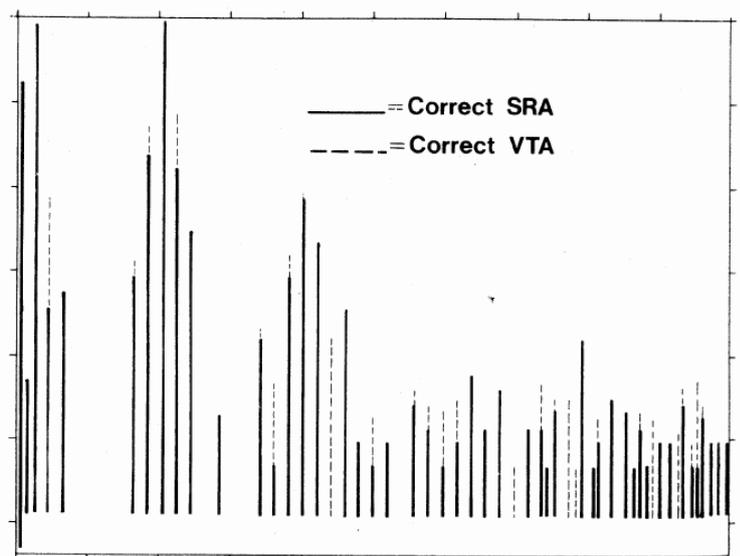


Die durchgezogenen Linien zeigen die Werte für einen VTA des Tonabnehmers von 16,5 Grad. Wurde dieser Wert um 4 Grad auf 20,5 erhöht, ist bei einigen Stellen eine Erhöhung der Werte zu sehen (gestrichelt dargestellt).

Für eine weitere Messung wurde ein Tonabnehmer mit inkorrekt eingebauter Shibata-Nadel benutzt. Wurde dieser auf einen korrekten Wert des SRA eingestellt, wich der VTA um etwas mehr als 4 Grad vom korrekten Wert ab. In einem ersten Messdurchgang wurde die Differenztonverzerrung für korrekt eingestellten SRA gemessen (durchgezogene Linien in Abb.9). Für einen zweiten Durchgang wurde VTA korrekt eingestellt, so daß nunmehr SRA um 4 Grad vom Sollwert abwich. Die nun auftretenden (höheren) Verzerrungen sind in Abb. 9 gestrichelt eingezeichnet. Auf welchen Werte genau der SRA eingestellt wurde, wird nicht gesagt. Da Aussagen von Schneidingenieuren zufolge der SRA des Schneidstichels zw. 91 und 95 Grad liegt, von den Autoren demzufolge ein Winkel von 92 Grad als „ungefähr korrekt“ angesehen wird, kann man vermuten, daß in den Experimenten dieser Winkel eingestellt wurde.

Abb.9

Abszisse: Frequenz, 0-20 kHz
Ordinate: Pegel, -85 bis -25 dB



Der vertikale Fehlwinkel sorgt für eine Amplituden- und Frequenzmodulation der 4 kHz Komponente des Testsignals durch die 400 Hz Komponente (Halter et al. 1964).

Bestimmt werden

1. Frequenzabweichung und Amplitudenmodulation der 4 kHz Komponente,
2. Differenztonverzerrungen erster Ordnung bei 3,6 und 4,4 kHz,
3. harmonische Verzerrungen zweiter Ordnung der 400 Hz Komponente.

Alle anderen gemessenen Verzerrungen oberhalb von 4,4 kHz werden also nicht durch den Fehlwinkel, sondern durch andere Faktoren verursacht wie Rauschen (Risch 1981) oder Abtastfehler (Maier 1980).

Bisher haben wir nur gemessene Werte für die verschiedenen Typen von Verzerrungen, wie aber sieht es mit der Wahrnehmbarkeit aus?

Die Messwerte aus Abb. 9 (in % umgerechnet) sind wie folgt:

VTA korrekt = SRA inkorrekt
Harmonische Verzerrungen: 0,5 %
Differenztonverzerrungen: 1,2 bzw. 1,6%

SRA korrekt = VTA inkorrekt
Harmonische Verzerrungen: 0,1%
Differenztonverzerrungen: 0,9 bzw. 0,7%

Tollerton (2009) hat als Wahrnehmbarkeitsschwelle für horizontalen und vertikalen Fehlwinkel einen absoluten Fehlwinkel von 11,71 Grad bestimmt. Ein vertikaler Fehlwinkel von 4 Grad (Abb.8) würde demnach also voll im nicht wahrnehmbaren Bereich liegen. Vanderkooy (2012) hat mit Musik als Wahrnehmungsschwellen für harmonische Verzerrungen Werte von 5-10% ermittelt. Daraus folgt ebenfalls, daß die in beiden Versuchen gemessenen Werte für harmonische Verzerrungen unterhalb der Wahrnehmungsschwelle liegen.

Was Differenztonverzerrungen angeht, ist es bekannt, daß diese als störender empfunden werden als harmonische Verzerrungen. Aus Versuchen mit Musikmaterial zur Bestimmung der Wahrnehmungsschwellen konnten jedoch keine konkreten Schlussfolgerungen hinsichtlich eines Grenzwertes gezogen werden (Boer 1998).

Für einfache Signale (Sinuston, Zweiton-Signal) wurden Wahrnehmungsschwellen für harmonische und Differenztonverzerrungen von 1-3 % festgestellt (Klippel 2001). Für Differenztonverzerrungen nennt Klippel Werte von 1-5% (Musikmaterial, das künstlich erzeugten Mehrtonkomplexen ähnelt, wie z.B. Querflöte), 10% (komplexes Musikmaterial), >30% (Musikmaterial mit Schlagzeug, synthetisch erzeugten Klängen). Es scheint also bei bestimmten Musikmaterial möglich zu sein, durch inkorrekten SRA erzeugte Differenztonverzerrungen wahrzunehmen, in den meisten Fällen wird dies jedoch wohl nicht der Fall sein, da maskierende Effekte einen Einfluss haben (Cabot 1984).

Man muss sich zum Schluss noch vor Augen halten, daß obige Daten aus einem einzigen Experiment stammen, also nicht durch Experimente mit anderen Tonabnehmern oder Nadelschliffen (elliptisch, van den Hul ähnliche (die seit 1980 in Tonabnehmern verwendet wurden)) bestätigt worden sind. Auch wurde ein Winkel von 92 Grad als der korrekte definiert, wobei es unklar ist, wie die Messungen für andere Werte des SRA ausgesehen hätten.

Zusammenfassend lässt sich sagen, daß SRA, und auch VTA, vom Standpunkt wahrnehmbarer Verzerrungen aus, vermutlich kein Problem darstellt, so daß sich eine peinlich genaue Einstellung erübrigt.

Literatur zum Thema „Vertical tracking angle“

- [1] Bauer, “Vertical tracking improvements in stereo recording”, Audio Magazine, Februar 1963, S. 19
- [2] Bauer, “The vertical tracking angle problem in stereophonic record reproduction”, IEEE Transactions on Audio, März/April 1963, S. 47
- [3] Bauer, “15-deg vertical tracking angle – a key to better stereo sound”, Audio Magazine, November 1963, S. 21
- [4] Cooper, “Tracking distortion as phase modulation”, IEEE Transactions on Audio März/April 1963, S. 41
- [5] Cooper, “Vertical tracking distortion in practice”, Audio Magazine, September 1963, S. 40
- [6] Halter et al., “Measurement of distortions due to vertical tracking angle error in stereodisk systems”, J. of the Audio Engineering Society 1964, S. 8
- [7] Howard, “Vertical tracking error explored”, Practical Hi-Fi 1981, S. 54
- [8] Jakobs, “Analysis of crosstalk on stereo test records”, J. of the Audio Engineering Society 1971, S. 280
- [9] Madsen, “Vertical tracking angle – a source of IM distortion”, Audio Magazine, November 1962, S. 21
- [10] Woodard, “Vertical modulation angles of commercial stereo phonograph records”, J. of the Audio Engineering Society 1984, S. 138
- [11] Woodward, “A study of tracking angle errors in stereodisk recording”, IEEE Transactions on Audio, März/April 1963, S. 56
- [12] Woodward, “Reducing distortion in stereo phonograph systems: part 1”, Audio Magazine, Februar 1964, S. 23
- [13] Woodward, “Reducing distortion in stereo phonograph systems: part 2”, Audio Magazine, März 1964, S. 28
- [14] Woodward, “Techniques for measuring the vertical tracking angle of stereophonic phonograph pickups”, J. of the Audio Engineering Society 1965, S. 24

Literatur zum Thema „Stylus rake angle“

- [1] Maier et al., „Phonograph playback: it’s better than you think!“, Popular Electronics, November 1980, S. 48
- [2] Risch et al., “More than one vertical tracking angle”, Audio Magazine, März 1981, S. 21

Literatur zum Thema “Scanning loss”

- [1] Bastiaans, “Factors affecting the stylus/groove relationship in phonograph playback systems”, J. of the Audio Engineering Society 1967, S. 389
- [2] Hunt, “The rational design of phonograph pickups”, J. of the Audio Engineering Society 1962, S. 274
- [3] White, “Mechanical playback losses and the design of wideband phonograph pickups”, J. of the Audio Engineering Society 1972, S. 265
- [4] White, “A theory of scanning loss in phonographs”, J. of the Audio Engineering Society 1973, S. 94

Literatur zum Thema Verzerrungen

- [1] Boer et al., “Audibility of nonlinear distortion in loudspeakers”, Audio Engineering Society preprint 4718 (1998)
- [2] Cabot, “Perception of nonlinear distortion”, AES preprint C1004 (1984)
- [3] Klippel, “Speaker auralization – subjective evaluation of nonlinear distortion”, AES preprint 5310 (2001)
- [4] Tollerton, „Digital simulation of phonograph tracking error“, AES preprint 7924, (2009)
- [5] Vanderkooy, „Another view of distortion perception“, Convention e-brief, 133rd convention of the Audio Engineering Society 2012

Abbildungsnachweis

- Abb.1 - Woodward, “Techniques for measuring the vertical tracking angle of stereophonic phonograph pickups”, J. of the Audio Engineering Society 1965, S. 241
- Abb.2 - Woodward, “Reducing distortion in stereo phonograph systems: part 1”, Audio Magazine, Februar 1964, S. 23
- Abb.3, 6, 8, 9 - Risch et al., “More than one vertical tracking angle”, Audio Magazine, März 1981, S. 21
- Abb.4, 5 - White, “A theory of scanning loss in phonographs”, J. of the Audio Engineering Society 1973, S. 94
- Abb.7 - Woodward, “A study of tracking angle errors in stereodisk recording”, IEEE Transactions on Audio, März/April 1963, S. 56