

Kapitel 8

Justage eines neuen Tonabnehmers, Vergleich der Verzerrungen von Plattenabtastung und Tonband 2003-2004

8.1. Neuer Tonabnehmer

LP's überzeugten mit phantastischer Originaltreue im Mittenbereich, am unteren Übertragungsende fehlte hingegen Volumen und Druck, am oberen Ende schien gegenüber CD's die Brillanz durch Verzerrungen etwas diffus aber auch manchmal metallisch spitz zu sein. Oder war es die Auflösung, die durch die Diamantabnutzung schlechter geworden ist?

Es wurde eine Wiedergabekurve des Tonabnehmers von einer DIN Testplatte mit DAT aufgenommen. Es zeigte sich eine Überbetonung um 11kHz um 1,5 bis 3dB je nach Kanal, davor war eine Präsenzenke und danach war ebenfalls eine Abschwächung von bis zu -3 bis -5dB bei 20kHz zu sehen. Für die neue Boxenmodifikation wurde ein neues Tonabnehmersystem erforderlich.

Aber ach, alle Testzeitschriften lieferten bei MM wie bei MC Hochtonüberhöhungen im Bereich zwischen 8kHz und 20kHz und Präsenzenken, selbst die teuersten machten keine Ausnahme. Nur eines wurde in der „STEREO“ mit „dunkel timbriert“ charakterisiert, leider war kein Messschrieb dabei. Erst im Internet konnte man sich unter [2] exakt informieren. Das Shure V15Vmxr wies einen geraden Frequenzgang auf, bis zu 25kHz blieb es unter 0,5dB Abweichungen. Nach 4 Wochen konnte der Messschrieb mit einigen seltsamen Begleitumständen nachvollzogen werden. Die Antiskating Einstellung stimmte nicht mit der Auflagekraft überein. Hier kommt es eben auf den Nadelschliff an, wie im Kapitel 2 an dem DUAL 1019 zu erkennen war. Und der Nadelschliff versprach kleinste Verrundungsradien und damit höchste Wiedergabetreue, außerdem eine extrem niedrige Auflagekraft von 1p bei hoher Abtastrfähigkeit und damit geringem Verschleiß. Eine Bornadel wäre vielleicht von der Schallgeschwindigkeit her noch besser gewesen, was eine höhere Resonanzfrequenz erlaubt hätte als 25kHz. Aber Bor lässt sich schlechter bearbeiten und ein besonders leichter Microwall-Nadelträger, der eine kleine dynamische Masse hat, wäre nicht machbar gewesen

Tabelle 1: Tonabnehmer Datenblätter

Herstellerprospekt	GOLDRING	SHURE
Typ	EROICA LX	V15V xMR
System	MC	MM
Nadel	GYGER 2	micro ridge Mäsar
Verrundung (µm)		3,8x75
Nadelträger	Al	Be
Frequenzgang (Hz)	10-30000	10-25000
Auflagekraft (mN)	17	10
Induktivität (mH)	0,012	425
vert. Spurw.	20°	?
Ausgangsspannung 1kHz	0,5mV 5cm/s	3,0mV 5,6cm/s
Compliance µm/mN	18	25
Abschlusswiderstand	100Ω	47kΩ
Abschlusskapazität	100-500pF	250pF
Nadelmasse (mg)	0,35	
Besonderheiten		Stabilisator

8.1.1. Bewertung des Eroica im Granat 227-1 Laufwerk

Das EROICA LX hatte die Brummeinstreuung stark vermindert. Der Klang selbst war jedenfalls nicht besser als das des ELAC, im Gegenteil. Das System lief auch schon einige Jahre und mit 17mN war die Auflagekraft schon deutlich größer als die des ELAC 796 HSP Jubilee. Im Kapitel Recherche ergab sich, dass der GYGER 2 Schliff doch nicht so gut wie der des ELAC war. Die Einstellung der Antiskating mit einer rillenlosen Platte war schon lange nicht mehr aktuell.

Der SHURE schien ein Abtaster mit einem guten Schliffkompromiss zu sein, nicht zu spitz wie der VAN DEN HUL und nicht zu stumpf.

Darüberhinaus war der Radius so herausgearbeitet worden, dass bei geringer Abnutzung die Feinabtastung konstant bleibt.

Der erste Blick unter dem Mikroskop zeigte beim EROICA leichte Abnutzungserscheinungen im Profil. Es schien etwas verkippt zu sein, wie die Übersichtsaufnahme andeutete. War das eine Folge eventuell falsch eingestellter Antiskating? Der GYGER 2 Schliff sollte einen gleichmäßig zur Spitze hin sich verjüngenden abgeflachten Kante haben. Das Mikroskopbild offenbarte etwas anderes. Bei dieser hohen Vergrößerung war es nicht einfach 3-D Objekte zu beurteilen. Über die Höhenfokussierung konnte man die Form dieser Kante abtasten. An der Spitze war eine Verbreiterung der Kante zu erkennen. Sie maß 11,3µ Länge. Das Grundmaß vor der Abnutzung schien bereits 6µm gewesen zu sein, denn eine Verjüngung über Kantenlänge war nicht zu erkennen gewesen. Auf der anderen Seite war das Grundmaß 4,7µm, was wohl eher das Zielmaß gewesen war. Damit war der Abtaster neu im Schliff bereits unsymmetrisch und eine Azimut-Nadelverkippung gar nicht so unwahrscheinlich.

Abb.1: Querprofil EROICA LX - Abnutzung



Abb.2: seitliche Nadelverkippung EROICA

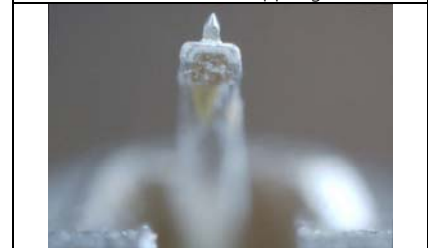


Abb.3: GYGER 2 Schliff nach Abnutzung



Starke Auslenkungen bei 20kHz waren mit dieser Nadelspitze ab dem halben Plattenradius schon nicht mehr abtastbar (s. Abb.4).

Bei den Ergebnissen wurde es interessant, welche reale Form der Nadelspitze beim SHURE auszumachen ist, stimmt die mit dem REM-Bild aus dem Prospekt überein?

Das Mikroskopbild offenbarte mehr Ähnlichkeit mit der Patentskizze (Kapitel 2), wo die Kante in Abtastrichtung angefasst wurde. Die Herausarbeitung der Spitze lässt allerdings nicht so viel Abnutzungsreserven zu und gleicht eher dem REM-Bild. Der herausgefräste Radius unterschreitet allerdings die Angaben von SHURE mit $3,8\mu\text{m} \times 75\mu\text{m} = r \times R$, wobei r mit $2,7\mu\text{m}$ gemessen wurde. Die scheinbare Brutto-Durchmesser von $5,33\mu\text{m}$ erlaubt also nach Abb.4 eine 20kHz Abtastung in der innersten Rille. Die Seitenkanten der Nadel waren r von $1\mu\text{m}$ messerscharf, viel schärfer als im REM-Muster.

Abb.4: Abhängigkeit der halben Wellenlänge von 20kHz in Abhängigkeit vom Rillenradius

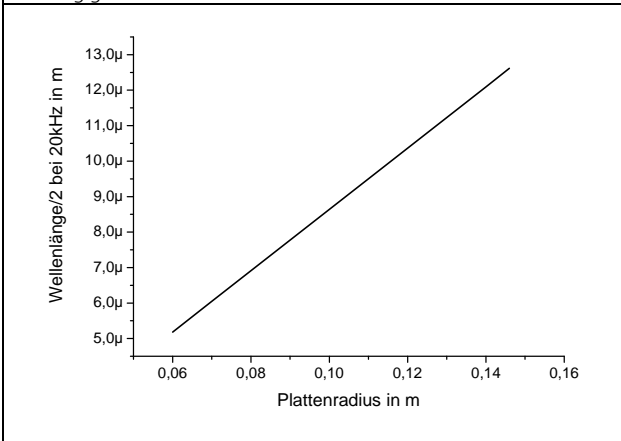


Abb.5a: Mikroskop Obj.20



Abb.5b: REM SHURE



Abb.6a: Kante SHURE Obj.50



Abb.6b: Spitze SHURE Obj.100

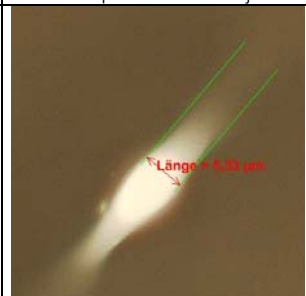


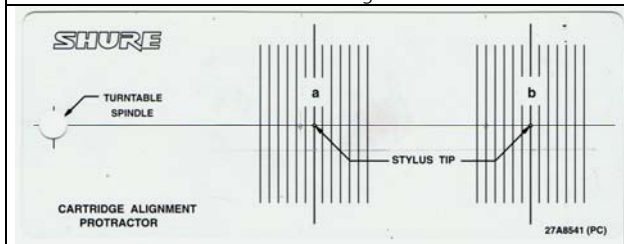
Abb.8: V15VxMR mit 5mm Distanzscheibe



8.1.2. Tonabnehmerjustage

SHURE legte eine Justierschablone mit in die Verpackung, nebst Schrauben und Schraubenschlüssel. Der Abstand zwischen den Punkten a und b betrug 5,47cm.

Abb.7: Schablone für Lateraleinstellung



Für die Justage des vertikalen Spurwinkels wurde mit einer 3mm Filzmatte als Plattentellerauflage noch ein 5mm Distanzblättchen benötigt, damit der Tonarm sich waagrecht einstellte (s. Kapitel 2). Eine wahre Erleichterung im Vergleich zum EROICA LX war, dass die Nadel durch den herabklappbaren Stabilisatorbügel gut während der Montage geschützt werden konnte. Das alte 3mm Distanzblättchen

für das ELAC reichte also nicht. Von einem Rest 5mm MDF wurde ein solches angefertigt. In den Prospektunterlagen war keine Angabe zum vertikalen Spurwinkel. Heute, zu dieser Zeit sollte eine internationale Normung wohl gelungen sein. Es war überall üblich, das System so einzustellen, auch in STEREO, wo das System getestet worden war, dass der Tonarm bei der Abtastung waagrecht liegt. Später wurde das System auch in STERPLAY getestet, ebenfalls mit waagerechten Tonarm.

Nach Montage des Abtastsystems mit heruntergeklappten Schutz wurde der Tonarmreiter zur Auflagekräfteeinstellung auf „0“ gestellt und das Ausgleichsmassestück am anderen Ende des Tonarmes soweit herausgedreht, dass der Tonarm in Schwebelage und schließlich in Waage gebracht werden konnte. Dann wurde der Reiter soweit verschoben, dass sich der Tonarm stabil auf eine Unterlage gesenkt werden konnte. Die Antiskatingkraft wurde vorerst noch mit der rillenlosen Fläche eingestellt.

Die Eingangskapazität am THEL-Entzerrervorverstärker wurde auf 200pF gestellt, da der Kapazitätsbelag von 50cm des Koaxialkabels zum Tonabnehmer 47pF betrug. Die Verstärkung wurde um Faktor 10 zurückgenommen.

Für den lateralen oder horizontalen Spurwinkel wurde die Schablone benötigt. Laut Prospektanleitung sollte zunächst auf den innere Punkt a justiert werden. Dazu lieferte SHURE 2 Gummikeile mit, damit der Plattenteller ruhig gestellt werden konnte, wenn die Nadel auf a abgesenkt wird. Sollten die Seiten des Abtasters parallel zu den Linien ausgerichtet werden, was optisch nicht so einfach war. Leichter war die Einstellung nach der Anleitung von AUDIO, Kapitel 2, wo eine dünne Bleistiftmine an die Front geklebt wurde. Hier wurde ein kleines Stück dauerplastische Abdichtmasse genommen, die gut klebte, aber reversibel. Dafür wurde dann eine parallele Linie auf der Schablone gezogen. Nachdem Punkt a anvisiert wurde, musste festgestellt werden, dass sich das System wegen der fixen Schraublöcher im Headshell nicht drehen ließ, um die vollständige Parallelität zu erreichen. Deshalb wurden die Öffnungen am Abtaster länglich mit einer Schlüsselfeile ausgefeilt. Eine leichte Drehung war dann möglich. Die Differenz resultierte daraus, dass der vom Hersteller ZIPHONA vorgesehene MS 25 SD eine etwas kürzere effektive Tonarmlänge verursachte.

Ein horizontale Ausrichtung war nun auch mit Punkt b möglich geworden, gerade so ausreichend.

Bei dieser Gelegenheit wurden nochmal die magnetischen Eigenschaften der Anschlusschrauben geprüft, da nun die sensible Montage mit dem Schraubenwechsel beendet sein sollte, denn die Azimutjustage kann mit Einlegescheiben entweder an der einen oder anderen Seite feinjustiert werden. Das Ergebnis der Schraubenprüfung war schon verwunderlich. Es wurden keine Schrauben gefunden, von keinem der bisher genutzten Tonabnehmerhersteller, die völlig frei von magnetischer Anziehungskraft waren. Also mussten extra entsprechende Edelstahlschrauben beschafft werden.

Als nächstes sollte die Azimuteinstellung erfolgen. Ein Abgleich mit dem in AUDIO beschriebenen Geodreieck schien so nicht exakt zu funktionieren. Das festgeklebte Headshell ließ sich ja nicht drehen. Obwohl die MDF-Platte planparallele Ebenen hatte, war der Abnehmer zu sehr zum Plattenzentrum hingeneigt, als würde er wie ein Motorrad um die Kurve fahren. Da bisher alles gestimmt hatte, lag es nahe, dass die Zittauer ZIPHONA-Leute sich damals dabei etwas gedacht hatten. Der Plattenspielerpreis entsprach einem gehobenen Ingenieursgehalt zu DDR-Zeiten. Laut Recherche gab es

elektromesstechnische Möglichkeiten die Azimutneigung zu kalibrieren, nämlich z.B. über die Übersprechdämpfung. Die sollte dann für beide Kanäle maximal werden, wenn der Winkel stimmt. Für die Messtechnik musste also erst die empfohlene Auflagekraft von 10mN + 5mN (Stabilisator) geprüft und eingestellt werden. Dazu wurde eine preiswerte ORTOFON-Tonarmwaage genutzt, einfach um mal die Auflagekräfteeinteilungen am GRANAT Tonarm zu prüfen und um sicherzugehen. Im Labor wurde die Richtigkeit der Tonarmwaage mit kleinen geeichten Massestücken für Laborwaagen geprüft. die Abweichung des ORTOFON betrug immerhin 10%. Das musste nicht sein, denn der Tonarmwaagebalken konnte leicht am Gewichtsende, wo es aufschlägt, abgeschliffen werden bis die Anzeige unter 1% Fehler war. Die danach resultierende Gewichtseiterstellung am GRANAT Tonarm stimmte ebenfalls mit 1%iger Genauigkeit mit dem korrigierten ORTOFON überein!

Bevor das Azimut des Systems an dem festen Headshell überprüft und justiert werden kann, muss Subchassis+ Plattenteller+Platte austariert sein, also exakt in der Waage sein. Dazu wurde eine Dosenlibelle von ORTOFON (Wasserwaage) genutzt.

Die Libelle wurde an einem geeichten Wägetisch in einem Chemielabor überprüft. Es stellte sich heraus, dass die Libelle exakt misst, man brauchte also diesmal nichts wegschleifen.

Der GRANAT 227-1 besitzt ein Subchassi, was an 3 mit Schrauben verstellbaren Federn aufgehängt ist. Auf dem Subchassi ist der Plattenteller und die Tonarmeinrichtungen. Die Schrauben werden so gedreht bis der Plattenteller in Waage ist.

Wie mussten nun die Schrauben gedreht werden, damit an dieser Stelle das Chassi nach oben gedrückt werden kann? Bei dem ersten Plattendrehtests zeigte sich, dass 180g Platten zu schwer waren, es war ein schleifendes Geräusch zu hören. Die normal schweren Platten lagen nicht in Waage. Die Libelle zeigt mit der Blase in die Richtung, die am höchsten ist. Durch Rechtsdrehen der Schrauben wird eine Metalllasche angezogen, die die Feder stärker spannt und damit diese Position anhebt, wenn der Plattenspieler wieder richtig steht.

Leider sind die Stellschrauben nicht in der Normalposition zugänglich. Es musste die mit Bitumen getränkte textile Bodenplatte abgeschraubt werden. Schrauben gelang nur in Senkrechtstellung des Plattenspielers.

Zuerst wurde der Plattenteller in Waage gebracht. Dann wurde mit einer normal schweren Platte die Waage nachkontrolliert und mit einer seltenen 180g Platte verglichen. Dabei zeigte sich, dass die Schallplattenebenen unterschiedlich in der Waage waren. Daraufhin wurden eine Reihe bereits wegen Kratzern oder anderen Unliebsamkeiten aussortierte Platten untersucht. Für die Ermittlung der Planarität vom Labelkett bis zum Plattenrand wurde ein „Geodreieck“ benutzt. Und es kam erstaunliches und zugleich deprimierendes heraus. Die absolut ebenste Platte war die Testschallplatte der DDR, die LB211. Die DHFI Nr.2 war an einer Seite dünner. Die „HIFI NEWS & Rec. Test Record“, eine neue Testschallplatte für die bevorstehende Feinkalibrierung, war nicht konvex wie die meisten anderen sondern konkav. Die LB211 kann aber nicht als mechanisches Testvehikel genutzt werden.

Um die hochwertigen Musikschaallplatten mechanisch nicht zu beschädigen, wurden die 100 Platten im Lager geprüft, die die klanglichen Qualitäten nicht befriedigten und die nicht verschrottet werden mussten, wegen Kratzern oder ähnlichem. Die TELDEC Pressung „Udo Lindenberg und das Panikorchester“ war noch die ebenste der Platten, das heißt, die regelmäßig unebenste, mit exakter Zentralsymmetrie. Die Libelle musste an 4 Punkten (hinten, vorn, links und rechts) aufgesetzt werden, und die Blase musste in die jeweilige Richtung nach außen an die Markierung zeigen, das Label selbst war plan und in Waage. Vom Label ab zum Plattenrand ging es abwärts, d.h. die Platte wurde dünner und der 5mm Plattenrand selbst war etwas dicker. Der Fehler betrug allgemein $\pm 1^\circ$ bzw. 2° als Toleranzintervall. Die Fehler der anderen Platten war ähnlich, aber unregelmäßig und insgesamt bis 3° gehend. Die praktische Übersprechdämpfung zufällig gewählter Platten unterlag also einem relativ großem Fehler.

Nun jedenfalls wurde die Lindenberg Platte als Vergleichsnormal genommen und die Schrauben gedreht, bis das Label in Waage war und die Rillenbereiche den gleichen Fehler aufwiesen. Die Schrauben mussten nach rechts gedreht werden, damit der Plattenteller sich an der Stelle anhob, oder eben nach links zum Absenken. Dann wurden alle Schrauben gleichzeitig nach rechts gedreht bis die erste auf

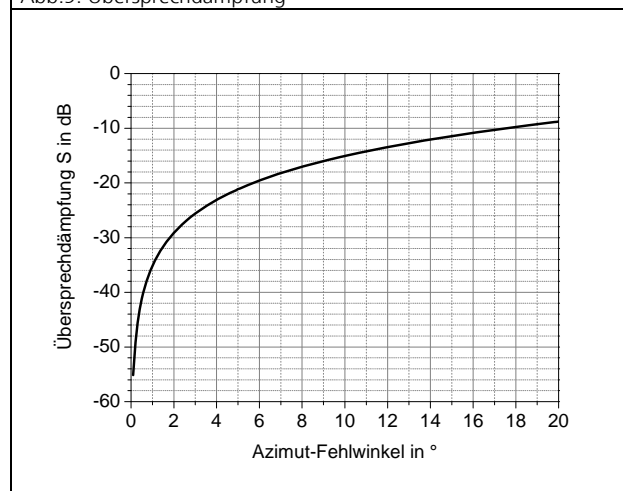
Anschlag war. Nach einer Prüfung und Restkorrektur mit der Lindenberg konnte die 180g Platte ohne Geräusch zum Drehen gebracht werden, nur durfte man nicht allzusehr mit der Carbonbürste aufdrücken, dann war es wieder da. Zu DDR-Zeiten gab es keine 180g Platten, denn dann hätten andere Federn sein müssen. Die schraubenförmigen Federn erhielten neue Schaumgummistreifen in ihrer Mitte, damit sie keine Resonanzgeräusche erzeugen konnten.

Tabelle 2: Inhalt „HIFI NEWS & Rec. Test Record“

Seite 1		signal	
Band 1		voice	channel identification
Band 2		voice	in phase, out of phase
Band 3	channel balance	pink noise	-20dB L+R
Band 4		pink noise	-20dB L channel
Band 5		pink noise	-20dB R channel
Band 6	tracking ability	300Hz	L+R +12dB
Band 7			L+R +14dB
Band 8			L+R +16dB
Band 9			L+R +18dB
Seite 2			
Band 1	tracking ability	300Hz	L+R +15dB
Band 2	lateral resonance	25...5Hz	pilot tone1kHz
Band 3	vertical resonance	20...6Hz	
Band 4	tracking ability	300Hz	L+R +15dB
Band 5	azimuth	300Hz	vertical L-R +6dB
Band 6	system noise	no tone	unmodulated
Band 7	full range check	20...20kHz	L+R - 5dB
Band 8	tracking ability	300Hz	L+R +15dB

Die elektrische Justagemöglichkeit des Azimuts erfolgt mittels Testplatte, die eine Tonspur enthält, wo LINKS und RECHTS gegenphasig sind, also sich im Mono auslöschen würden. Die „HIFI NEWS & Rec. Test Record“ hat eine solche Tonspur von 300Hz im Pegel von +6dB und die Platte war zentralsymmetrisch in der Planarität. Die +6dB reichten aus, um am DAT die erforderliche Verstärkung einstellen zu können, so dass auch die Präzision mit einem 1dB Anzeigegenauigkeit kommt.

Abb.9: Übersprechdämpfung



Bernhard Krieg gibt in seinem Buch [1] eine Formel zur Berechnung der Übersprechdämpfung S aus dem Abtastfehlwinkel α an: $S = 20 \log(\tan \alpha)$. Daraus wurde das Diagramm Abb.9 entwickelt. In diesem Diagramm der Übersprechdämpfung ist erkennbar, dass die Schwankung der Plattenqualität über alle Platten nicht mehr als -26dB zulässt. Die Werbung für ein System mit weit größerer Übersprechdämpfung, scheitert einfach an der Praxis. Es sei denn, die einzige Schallplatte, die genutzt wird, ist eine Messschallplatte oder eben vielleicht eine des Systemherstellers. Aber -25dB sollten praktisch erreichbar sein.

Am Granat-Tonarm war zwar laut Service Anleitung der Tonkopf drehbar, aber die zugehörige Schraube war ohne Spezialwerkzeug nicht drehbar. Einfacher schien es durch Einbringen von dünnen Plastik- oder Edelstahlscheiben zwischen MDF und Headshell an der Vorder- oder Rückseite, eine Art Azimutschaukel zu realisieren, die etwa von -15 bis +15° reichte. Bei der Azimutschaukel stellte sich jedenfalls heraus, dass das Übersprechen z.B. vom rechten Kanal in den linken immer kleiner wird, wenn die Schaukel systematisch in eine Richtung bewegt wurde, aber irgendwann wurde dabei aber das Übersprechen vom linken in den rechten wieder schlechter. Es ist also erforderlich immer beide Kanäle zu kontrollieren. Die Optimierung resultierte in einer sichtbaren Schiefstellung, so wie das Headshell in etwa geneigt ist. Ist die scheinbare Fehljustage des GRANATs doch sinnig? Bei den Versuchen überraschte der Eindruck, dass obwohl 2° an der 180° Winkelskala des Geodreiecks in der Neigung sehr wenig aussah, die Neigung von 2° am System doch schon deutlich zu sehen ist. Von der Neigung der Plattenoberfläche durch die Abdünnung nach außen von ca. -0,5...+1° bis zu Neigung des Systems von etwa +1,5 bis 2° würde sich je nach Platte eine Schwankung der Kanaltrennung ergeben, die den Stereoeindruck beeinflusst.

Ungeachtet der Plattenparallelität ließ sich die Kanalgleichheit auf 1-2dB an der „HIFI NEWS & Rec. Test Record“ annähern, wenn die Neigung des Systems mit der dünnsten Einlegescheibe von 0,22mm noch verstärkt wurde. Die maximale Übersprechdämpfung, die zu erreichen war, betrug bei 300Hz -25dB. Bei 10kHz waren die Kanalunterschiede größer. Beeindruckend war die Schaltung auf MONO, die den 300Hz Ton auf den ersten Eindruck fast stumm schaltete, denn den 300Hz Ton als solchen konnte man nicht so laut ertragen.

Wie lässt sich dieser Effekt der Abweichung von der Plattenparallelität erklären? [3] schreibt „Der Pressvorgang einer Schallplatte dauert ca. 30 Sekunden: Eine dosierte Menge Rohmaterial wird, zusammen mit den Etiketten, zwischen die beiden Pressmatrizen gebracht und bei einem Druck von ca. $8 \cdot 10^6$ Pa (etwa 80Kg/cm²) und einer Temperatur von etwa 150°C gepresst. Nach einer kurzen Abkühlphase, in der die Matrizen mit Wasser gekühlt werden, wird der überstehende Quetschrand abgeschnitten und die Presse geöffnet.“

Wir haben es also mit einem relativ kurzen Aufheiz- und Abkühlvorgang unter Druckbeaufschlagung und Entspannung zu tun. Die PVC/PVA Polymere haben einen relativ hohen Ausdehnungskoeffizienten von etwa $80 \times 10^{-6}/K$ und eine niedrige Wärmeleitfähigkeit von 0,15W/mK, die Metallpressmatrizen wie Nickel dagegen eine 6x niedrigere Ausdehnungsfähigkeit $13 \times 10^{-6}/K$ und eine viel höhere Wärmeübertragungsfähigkeit mit 90W/mK. Durch diese Konstruktion wird in der genannten Zeit ein Temperaturgradient mit Ausdehnungsgradient von der Schallplattenoberfläche zum -kern aufgebaut. Im Zusammenspiel mit dem Trennmittel zwischen Plattenmasse und der Pressmatrize könnte es zu einem Verkippfen der V-Grubensymmetrie der Rille um ca. 2° kommen.

Das Phänomen ist bei den getesteten verschiedenen Herstellern gleich, es betrifft sowohl die Testplatte DHFI No.2 von 1984 wie auch die „HIFI NEWS & Rec. Test Record“ von 2002. Dass es mit dem Prinzip Schallplattenpressung selbst zu tun hat, liegt nahe. Ein weiteres Indiz kommt daher, dass die Leute von Funkwerk Zittau das offensichtlich wussten, denn so schief kann man gar nicht gucken, ohne dass es auffällt. Ein Abgleich des Azimuts des Tonarmkopfes beim Verkleben mit Tonarmrohr mit Epoxid wäre mit einer Keilschablone möglich.

Als letztes wurde die Antiskating-Kraft eingestellt, nachdem überall die Grundeinstellungen vorgenommen waren. Auf der Testschallplatte Nr.2 des DHFI befinden sich auf der B-Seite ein Band mit Tönen zur Abtastfähigkeit der Lateralauslenkung. Es beginnt mit 20,6µm Auslenkung und erhöht sich in 11 bis 12µm Stufen. Ab einer bestimmten Auslenkung kommt es zur deutlich hörbaren Verzerrungen der 300Hz Sinustöne. Wird der linke Kanal eher verzerrt als der rechte, dann ist die Antiskating zu verringern bis beide Kanäle gleichzeitig anfangen zu verzerrten. Ist der rechte eher verzerrt, dann muss die Antiskating entsprechend erhöht werden.

Es gibt den Zusammenhang zwischen Auflagekraft und Abtastbarkeit, die zueinander proportional sind. Die Auflagekraft sollte nicht höher als unbedingt erforderlich sein, weil sonst die Nadelabnutzung zu hoch ist und die Lebensdauer des teuren Systems verkürzt. Die Auflagekraft sollte aber auch nicht zu gering sein, damit die überproportional ansteigenden und unkontrollierten Nadelauslenkungen ebenfalls Platten und Nadel vorzeitig verschleiben. Welche

Größe ist also sinnvoll? Dazu müssten viele Platten durchgehört und z.B. am DAT gemessen werden, damit der sicher abzutastende Spitzenpegel bekannt ist. „HIFI NEWS & Rec. Test Record“ bietet vielleicht nicht ohne Grund den 15dB-Pegel auf 3 verschiedenen Radien der Platte an. Bekannt ist ja, dass die Skatingkraft nicht ganz konstant über den Radius ist. Vermutlich ist damit die Abtastfähigkeit über den gesamten Plattenradius abzusichern.

Die Auflagekraft stand bei den 10mN. Nun musste mittels DHFI 2 die Antiskating-Kraft durch die Federkrafteinstellung von 2 Skalenteilen immer mehr erhöht werden, da der rechte Kanal immer zuerst verzerrte. Der Gleichstand wurde bei 3,5 Skalenteilen erreicht. Das entsprach zwar funktional den Angaben von DUAL für seinen 1019, aber ist relativ deutlich größer. Möglich, dass dafür noch andere Größen eingehen. Im folgenden wurden dann die Stufen +12, +14, +16dB von der „HIFI NEWS & Rec. Test Record“ benutzt. Bis +14dB klang der Ton sauber, bei +16dB verzerrte das Signal deutlich. Aus den +15dB Rillen, Innen, Mitte und Außen, kam nur im Untergrund eine leise Verzerrung, die in der Innenrinne am stärksten war. Damit gab es wieder eine Überraschung. Die Plattenabtastung verzerrte fast genau so sprunghaft wie die Digitaltechnik an 0dB! Damit war überhaupt nicht gerechnet worden.

Tabelle 3:

300Hz	Amplitude	Schnelle	Pegel	DAT
	µm	cm/s	dB	dB
DHFI 2	67	6,73	14,5	-0,5
HiFi News	70	7,55	15	0
LB211	15,7	1,69	2	-13

Im folgenden wurden ca. 30 Schallplatten aus Klassik, Schlager, Rock/Pop angehört und mittels DAT nebenbei der Spitzenpegel gemessen. Sobald hörbar Verzerrungen auftraten, wurde die Auflage um 0,2-0,3mN erhöht, was einige Male geschah und es wurde die 0dB Einstellung am DAT immer entsprechend nachgestellt.

Nach weiteren 5 bekanntlich besonders lauten Platten wurde die 0dB Marke am DAT nicht mehr überschritten, was bedeutete, dass im OSTEN wie im WESTEN Deutschlands vor der Wende gleiche Spitzenpegel zugelassen worden sind, nämlich +16dB im Maßstab von „HIFI NEWS & Rec. Test Record“ Von den +16dB Spitzenpegel gab es 20 Ereignisse, allerdings gab es auch 2 mal „over“ mit nachgemessenen +18dB, die aber keine Störsignale waren und nur extrem kurze Pegelspitzen darstellten. Die „HIFI NEWS & Rec. Test Record“ hatte auch zum Ende einen +18dB Schnitt, dieser Aufwertung konnte aber der Nadel gefährlich werden. **Der gesuchte Maximalpegel, der noch sicher abzutasten sein sollte, war +15dB oder 70µm Amplitude bei 300Hz.** Bei Absetzen der Nadel, auf die bekannte rillenlose Fläche der DHFI 2, glitt dann der Tonarm aber schnell nach außen, daran erkennt man wie falsch diese Methode war.

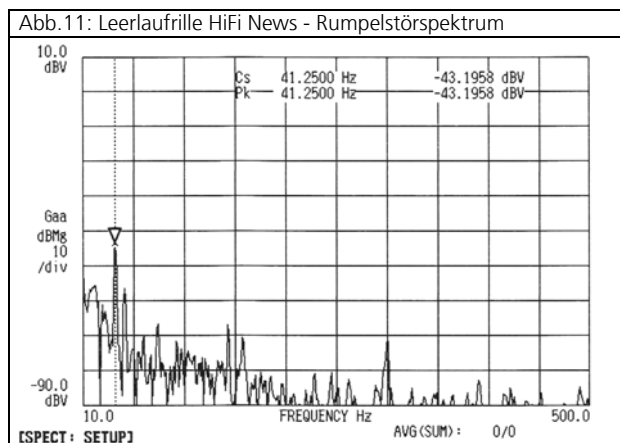
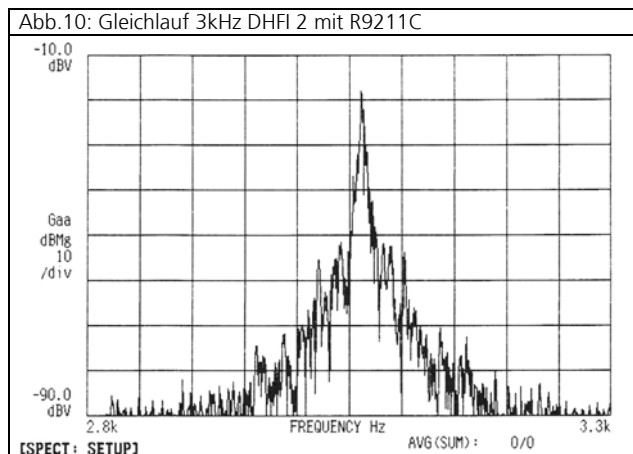
8.1.3. Laufwerkeigenschaften

Zum Schluss wurde der Gleichlauf und der Leerlauf geprüft. Dafür standen nur die Dauertonsignale der LB211 mit 2 oder 4kHz bzw. 3kHz der DHFI 2 zur Verfügung. Üblich ist es 3,125kHz zu nutzen. Dazu wurde die StroboskopEinstellung justiert. Leider rundet die Angabe im Display des R9211C die 2,75kHz und 3,25kHz auf, obwohl die Frequenz stimmt (Abb.10).

Eine Nachprüfung der Abtastsicherheit, nachdem die 35 Schallplatten gelaufen waren, ergab jetzt für +16dB das gleiche Verhalten wie vorher bei 15dB. Die Abtastfähigkeit des Systems dehnte sich bei (11+5)mN auf ca. 80µm Amplitude aus. Das war das Einspielverhalten. Wahrscheinliche Ursache war der Lagergummi des Nadelträgers.

Bekannt war die Brummfeldeinstreuung des Netztesiles für die Vorverstärker-Entzerrerplatten, wenn ein MM-System genutzt wurde. Deshalb war von Anfang an das Netzteil für die Vorverstärker-Entzerrernetzwerkplatten aus dem Spielergehäuse ausgelagert. CONRAD bot eine ausreichende Auswahl von geeigneten Gehäusen an. Der Erfolg wog den Aufwand auf. In Abb.11 wurde das Störspektrum aufgezeichnet. Der Peak bei 41Hz wird durch den Motor induziert. Das Netzbrumm liegt 12dB tiefer. Die 41Hz sind als Störton noch nicht bemerkt worden. Die DIN 45539 Rumpelgeräuschspannung-Bewertungskurve ergibt für die Messung ca. -70dB. ZIPHONA gab für den Rumpelgeräusch-

spannungsabstand >57dB an. Die Standards waren hierfür im Osten wie im Westen gleich.



Zur Prüfung, ob Tonarm und Abtaster gut mechanisch harmonieren, wurden die Tonarmtieferesonanzen erfasst. In der „HiFi News“ sind geeignete Rillen für die Erfassung der lateralen und vertikalen Tieferesonanz vorhanden. Nach [1] liegt die optimale Resonanz bei 7,5Hz. Betrachtet man Resonanzpeaks im Spektrum, dann sind deren Amplitudenverläufe symmetrisch, wenn die Zeitachse logarithmisch ist. Daran gemessen, passt der SHURE Tonabnehmer sehr gut mit dem GRANAT zusammen.

Tabelle 4: Tonarmresonanzen

Aufzeichnung	Tonarmresonanz
lateral	7Hz
vertikal	8Hz

Aus diesem Verhalten kann die Tonarmmasse des Granat 227_1 bestimmt werden. Wenn c die Compliance in $\mu\text{m}/\text{mN}$, m die Masse in g und f die Frequenz in Hz in folgende Gleichung [11] eingesetzt wird, kann die dynamische effektive Tonarmmasse errechnet werden. Dabei war Tonabnehmermasse 6,6g, die Schrauben und das MDF-Distanzstück 0,5g. So wurde die Tonarmmasse zu 11g bestimmt, was einem mittelschweren Tonarm entspricht.

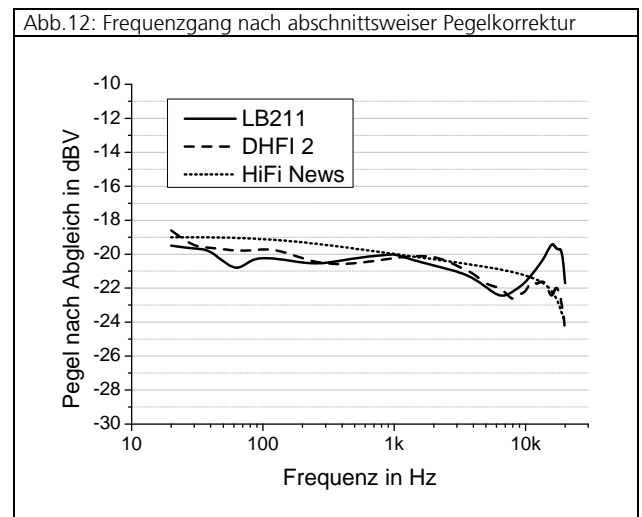
$$m_{\text{Tonarm}} = \frac{159^2}{f^2 \cdot c} - m_{\text{Schrauben}} - m_{\text{Cartridge}}$$

8.1.4. Elektrische Anpassung und Frequenzgang

Die Eingangskapazität betrug 200pF. Jede der Mess- und Testschallplatten ging maximal nur bis 20kHz. Die Klangbalance war

im Vergleich der CD zur LP bei Sting „nothing like the sun“ equivalent. Die Einstellung mit 150pF erhöhte den Brillianzeindruck, es klang zu spitz. Ein Prüfung mit anderen Musikschrallplatten bestätigte die gewisse Überbetonung für metallische Anschläge und Verfärbungen bei Ausschwingvorgängen. Der Mittelweg mit 175pF schien dagegen ausgeglichene Musikwiedergabe für alle gestesteten Platten zu bieten. Die Vorverstärkung wurde so eingestellt, dass für +16dB Schnitt am ADVANTEST R9211C +4dBV mit maximal $\pm 0,5\text{dBV}$ angezeigt wurden. Bei +18dB würde sich dann der CD übliche Ausgang von 2V ergeben. Das wurde durch die LP (DDD) von Sting „nothing like the sun“ bestätigt. Die LP wie die CD hatte einen Headroom 0 bis -12dB und war damit hörbar sehr dynamisch, nur ein +18dB Ereignis trat auf, so kurz, dass er als solcher kaum zu hören war. LP und CD waren so direkt vergleichbar.

Beim Schneiden der Langspielplatte wurde früher in den 80ern (LB211, DHFI 2) niedrige Frequenzen gegenüber höheren bei einer geringeren Dämpfung aufgezeichnet, so das bei der LB211 20Hz bis 1kHz -11dBV herauskam und bei 1kHz bis 20kHz -21dBV. Die DHFI 2 hingegen zeichnete gleich bei -13,5dBV auf ging aber bis 10kHz und senkte dann erst den Sollpegel um -6dB. Die „HiFi News“ 2002 hält den Pegel für alle Frequenzen gleich niedrig, auf etwa -20dBV und entsprach damit den Messgewohnheiten der Tonbandeinmessung. In der Abb.12 wurden alle Pegel auf -20dBV 1kHz normiert, damit die Übersicht gewahrt bleibt und die Pegelsprünge zwischendurch nicht den Gesamtrend unübersichtlich machen. Den größten Höhenverlust hat die DHFI 2, obwohl deren Aufzeichnung am Plattenbeginn liegt. Ihr Aufzeichnungsfehler wird mit $\pm 1\text{dB}$ bis 10kHz und über 10kHz mit 0 bis -2dB benannt. Wahrscheinlich trifft letzteres mit -2dB zu, damit wurde korrigiert. Es ergab sich eine vernünftige und im Vergleich sinnvolle Kurve. Ebenfalls am Plattenbeginn liegen die Frequenzen bei der LB211, ihr durchschnittlicher Verlust beträgt von 20Hz bis 20kHz ca. -2dBV, wobei eine Brillanzüberhöhung zustande kam. Die „HiFi News“ hat noch den geradesten Gang, wobei der Brillanzverlust hervorsteht, ihre Signale stammen vom Radius 80mm, wo $\lambda/2$ 20kHz bei 7 μm liegt, das heißt die Amplitudentreue wird mit einer Kante von 5,3 μm bereits begrenzt. Insgesamt könnte aber der starke Hochtonabfall, den [4] mit -8dB von 10kHz bis 20kHz bestimmt hat, nicht bestätigt werden. Vergleicht man die Ergebnisse mit denen in Kapitel 1 vom MS25SD, so sah dieser DDR-Abtaster frequenzgangmäßig gar nicht so schlecht aus.

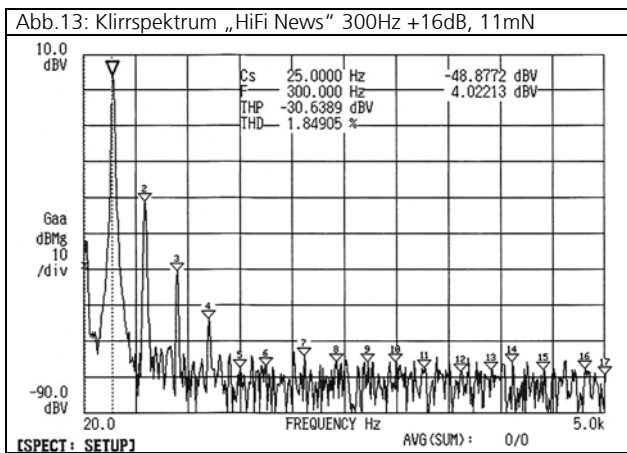


Wenn schon die Messschallplatten so große Abweichen von der Linearität haben, was kann man erst von Musik-LP's erwarten? Der Trend, der sich hier zeigt, ist aber, dass der Pegel zu den Höhen hin stetig sinkt. Bei mehr Anhebung, z.B. auch mit dem Equalizer, wird die Balance bereits aber als zu spitz empfunden. Welchen Grund gibt es für die verfälscht empfundene Klangbalance, auf die vor allem die meisten weiblichen Hörer sehr empfindlich reagieren?

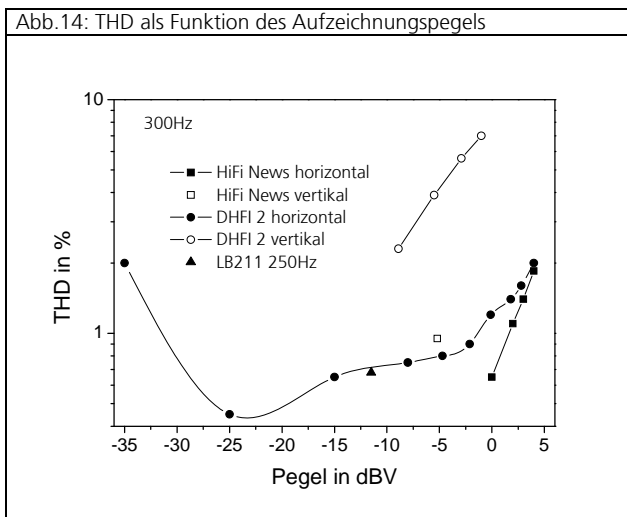
Bekannt ist, dass die Schallplattenwiedergabe harmonische Verzerrungen und Intermodulationsverzerrungen produziert. Da es ein passives System ist, wird die Energie für die Oberwellen dem Originalsignal entwendet. Die Abtastnadel ist nicht in der Lage die

Schneidstichelspur exakt zu folgen, die entstehenden Wege über und unter der Ideallinie bilden so Töne ab, deren Wellenlänge kürzer als die der abzutastenden Grundwelle ist. Da es eine Annäherungskurve ist, bilden sich Oberwellen entsprechen einer mathematischen Folge aus, eben harmonische Verzerrungen mit immer kleiner werdenden Amplitude, je kürzer die Oberwellenlänge ist. Bei lateraler Abtastung entstehen horizontale Abtastverzerrungen. In Abb.13 ist das Klirrspektrum der Schallplattenvollaussteuerung von der neuen Messplatte „HiFi NEWS & Rec. Test Record“ dargestellt.

Der Signalpegel des Grundtones liegt bei 4dBV. Das Spektrum zeigt eine „schönen harmonischen Abfall des Pegels“. Das war nicht immer so (s.u.). k_2 liegt bei -35dB, was deutlich hörbar sein sollte. In der Tat ist der 300Hz Ton ziemlich stark verzerrt. Als THD wurde 1,85% gemessen. Der Wert entspricht den Angaben in Kapitel 2 aus der Fachliteratur. Durch das Vorhandensein von 3 Spuren mit gleichem Signal kann die 2-Punktkalibrierung des Horizontalwinkels mit der Shure-Schablone, die laut der „HiFi-News“ für 9“ Tonarme gilt, über den Radius geprüft werden (Abb.15). In Anbetracht dessen, dass die inneren Rillen die höchsten Verzerrungen aufweisen sollen, ist die Lateralkalibrierung ausgewogen.

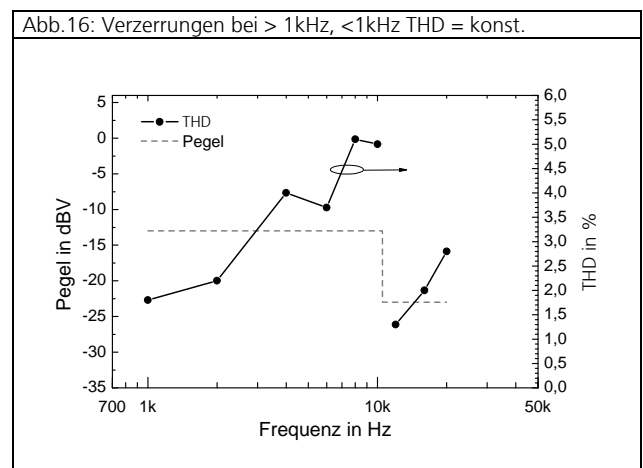
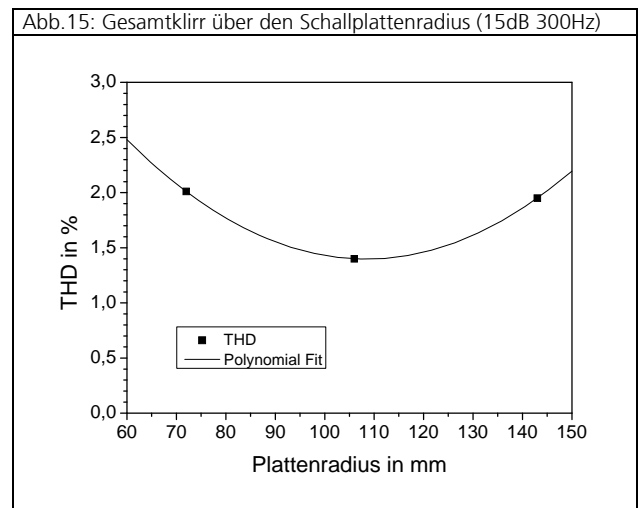


Der Träger der Stereo-Information, wie man sie auf Musikkassettentapes seit 1958 finden konnte, ist die Modulierend der vertikalen Abtastung. Aber gerade sie, wie auch aus der Literatur bekannt ist, verursacht viel größere Verzerrungen als die der lateralen Abtastung, was in Abb.14 bestätigt wird. Einige Prozent Verzerrungen liegen im deutlich hörbaren Bereich. Die Abnahme der Grundtonenergie und die Zunahme der Obertonenergie beeinflusst auf diese Weise deutlich die Klangbalance. Anhand der geprüften Messplatten wird aber auch erkennbar, dass die Verzerrungen von Hersteller zu Hersteller sehr verschieden sein kann.



Aus der Literaturrecherche (Kapitel 2) ist bekannt, dass die Verzerrungen steigen, wenn die Tonfrequenzen anwachsen, was auch einen Beitrag für die Klangbalance liefern kann. So steigen die harmonischen Verzerrungen der DHFI 2 bei -10dB bis 10kHz bis über 5% an, was sehr viel ist und deutlich in das Klanggeschehen eingreift, was in Abb.16 dargestellt ist. Eine Anhebung der hohen Frequenzen auf das Level der anderen, würde die 12kHz auf das Niveau von 4% bringen. Da ja die Verzerrungen mit dem Pegel stärker als linear anwachsen, können die 5% wieder erreicht werden. Auf alle Fälle verfärbt die k_2 von 8kHz mit 5% den Klang, was die Ursache für die schlechtere Klangbalance sein kann. Zu bemerken ist hier, dass die Verzerrungen, die hier gemessen wurden aus der vertikalen Abtastung resultieren, da die Kanäle getrennt angespielt wurden, der jeweils andere Kanal sollte kein Signal, außer dem Übersprechen, liefern.

Das Einschleifen eines SILMIC-Elektrolytkondensators im Verstärker anstelle des eingebauten AUDYN MKP-QS 630VDC bringt einen subjektiven Verlust bei 16kHz, der sich bei Korrektur mit einem Equalizer auf fast -1dB bemessen lässt. Die Verzerrungen eines SILMIC sind geringer als die der Schallplattenabtastung, deshalb wird vermutlich die -2dB Dämpfung bei 16kHz als ausgleichend empfunden werden.



8.1.5. Stabilisator

Der Stabilisator mit der Bürste (s. Abb.8) verringert die resultierende Auflagekraft im Vergleich zum angehobenen Zustand um 5mN, deshalb wird die Auflagekraft mit ihm erhöht. Bisher war immer im Betrieb, außer beim Start der Abtasterjustage. Ein Vergleich wurde schnell machbar, als die Markierungen am Auflagereritor entsprechend angebracht wurden. Es wurde zwar häufig von einem lebendigerem und freiem Klangbild gesprochen, wenn der Stabilisator nicht aktiv war, was für den ersten Höreindruck gut nachvollzogen werden konnte, aber es schienen resonanzartige

Ausschwingverzögerungen aufzutreten. Die FFT-Analyzermessung verdeutlichte, dass ohne dem Stabilisator die durchschnittlichen harmonischen Verzerrungen um 10% zunahmen und vor allem tauchten größere Verzerrungsspitzen auf, die möglicherweise für die subjektiven Dissonanzen verantwortlich sind. In Tabelle 4 wurden die Messdaten gelistet.

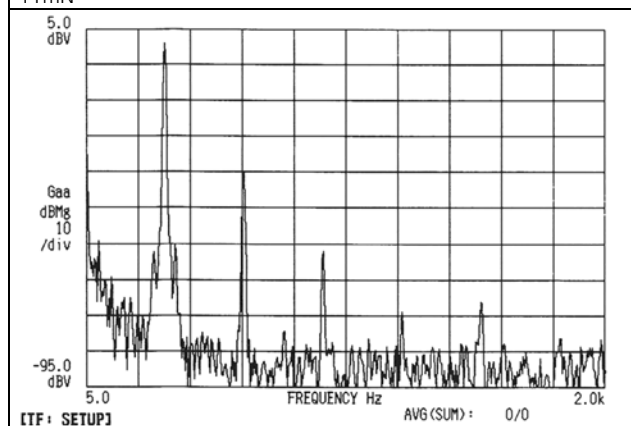
Tabelle 5: HiFi News +12dB 300Hz

Stabilisator	Auflage	Pegel	THD	σ
aktiv	16mN	-0,06dBV	0,44-0,54%	0,5%
passiv	11mN	-0,06dBV	0,48-0,77%	0,6%

8.1.6. Inbetriebnahmeverhalten

Weiter oben wurde erwähnt, dass der schöne harmonische Abfall des Klirrspektrums nicht immer so gewesen war. Insbesondere nach Neueinbau eines Tonabnehmers klingt es harsch bei höheren Wiedergabepegeln. Selbst bei „nur +12dB“ (Abb.17), war noch eine zusätzliche Harmonische im Spektrum zu sehen, obwohl die Verzerrungen kaum noch hörbar waren. Eine weitere k_6 , etwa gleich groß wie k_5 , tauchte dann an der Innenrinne auf. Bei höheren Pegeln vergrößern sich die höheren Harmonischen. Die Folge dieses Verhaltens war, dass die Auflagekraft zum Beginn des Einspielens höher eingestellt werden musste als es später erforderlich war. Der Lagergummi des Nadelträgers ist ein Polymer und zeigt wie Sicke und Zentrierspinne im Lautsprecher-Chassis ein Thixotropie. Die mechanischen Eigenschaften ändern sich durch Schwingungsbelastung. Diese Eigenschaften können je nach konkretem Material teilweise oder völlig wieder zum Ausgangszustand zurückkehren, wenn längere Ruhephasen auftreten. Es genügte hier pro Woche eine Schallplatte abzuspielen, um keinen Negativtrend zu erhalten. Aber mehrere Monate ohne Abspielvorgang reichten aus, um wieder die Verzerrungen zunehmen zu lassen. Kompensiert werden konnten die subjektiven Verzerrungsintensitäten durch eine leichte Erhöhung der Auflagekraft, was zu einer Senkung der THD führte, aber die höheren Harmonischen $> k_4$ verschwinden erst immer durch häufigen Betrieb.

Abb.17: Klirrspektrum „HiFi News“ 300Hz +12dB, uneingespielt, 11mN



Zum Schluss wurden die RFT MKP 400VDC (mit höchsten Gütesiegel der DDR: Q), die als Hochpass- und Koppelkondensatoren zwischen den Vorverstärker-Entzerrerplatten des Plattenspielers und dem MARANTZ PM80 Eingang gegen Audyn 630V VDC Typen ausgetauscht. Hiernach war eine weitere Steigerung der Präzision festzustellen.

Zusammenfassung

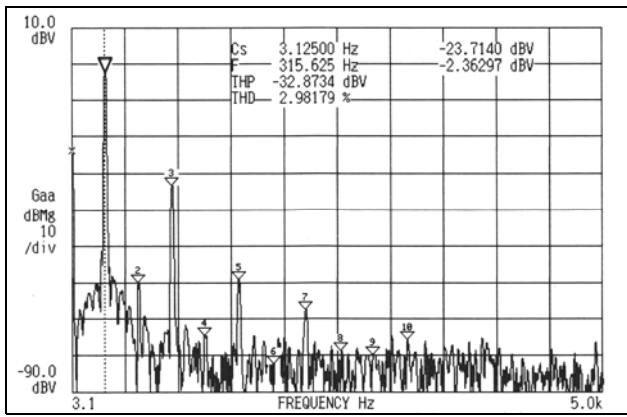
Die in den HiFi-Zeitschriften ausgewiesenen Hochtonverzerrungen von 0,1 bis 0,3% gelten nur für einen Sonderfall messtechnischer Bewertung (Kapitel 1.9.3) und beschreiben nicht die wahren, weit höheren Verzerrungen der Tonabnehmer, wie sie auch in der Fachliteratur (Kapitel 2) ausgewiesen worden sind. Gut eingespielte Tonabnehmer erzielen Klirrcharakteristiken ähnlich wie Röhrenverstärker. Diese Verzerrungen sind jedoch nur mit statischen

Messmethoden ermittelt worden, d.h. mit Dauertönen und charakterisieren deshalb ein Musikwiedergabesystem nur teilweise.

8.2. Verzerrungen durch Tonbänder

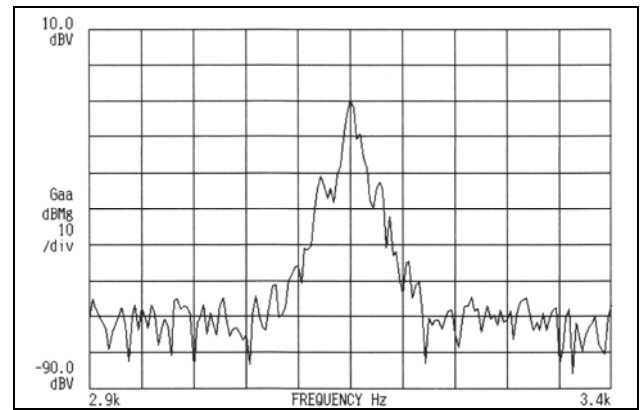
Im Kapitel 1 wurden die Frequenzgänge von einem Spulentonbandgerät und einem Kassettonbandgerät dargestellt. Darüberhinaus wurden von der größten harmonischen Verzerrungskomponente k_3 Kurven von verschiedenen Spulentonbändern und Kassettonbändern dargestellt. In Kapitel 2 konnte für ein Spulentonbandgerät an Hand eines Klirrspektrum bei 0dB die k_3 Dominanz von 0,39% mit Normalbändern (Eisenoxid) nachgewiesen werden. Weiter waren k_2 und k_5 deutlich erkennbar. Höhere sind auf Grund des logarithmischen Maßstabs der Frequenz kaum noch direkt ablesbar. k_4 war gerade noch erkennbar. In den HiFi- und Test-Zeitschriften wurden harmonische Verzerrungen von Kassettonbandgeräten nie dargestellt. Unbekannt ist auch ob sich die Verzerrungen mit der Frequenz ändern, so wie das bei der Plattenabtastung erfolgt. Die ausgewiesenen k_3 gelten nur für die Standardfrequenz 315Hz. Auch von Kassettonbändern werden nur in seltenen Fällen wie die von FUJI der Klirr als Funktion des Pegels dargestellt. Was waren gute Bänder, außer in den häufig ausgewiesenen 10kHz Abtastigkeit, Modulationsrauschen, Gleichlauf und den Frequenzgangparametern, sowie Kopierdämpfung und Brummdämpfung, deren Abweichungen vom Ideal auch als Verzerrungen gewertet werden könnten. Bei der Leistungsfähigkeit von Tonbändern galt der MOL (Maximale Ausgangspegel) bei 3% k_3 . Ist diese Bewertung ausreichend genug? In Kapitel 1 hatte zwar das LH131 einen sehr niedrigen MOL aber dafür im normalen Aussteuerungsbereich einen sehr niedrigen k_3 , was sich mit einem besonders präzisen Klangbild offenbarte, wenn die Spitzenpegel wirklich nur bis maximal MOL reichten. Der am meisten belegte Musikpegel lag bei guten Analogaufnahmen bei -12 bis -8dB bezogen auf die absoluten Spitzen. Nur extrem kurze und seltene Spitzen erreichen dem MOL und sind als verzerrungsreich kaum zu erkennen. Die häufigeren Spitzen kommen auf -3dB, wo dann die Erkennbarkeit wegen der größeren Dauer ansteigt aber k_3 bereits auf 1,5% gesunken ist. Das ist ein Niveau den viele analoge Geräte bereits in der Aufnahme im hohen Aussteuerungsbereich erreichen, wo der Hörsinn wegen der Erfahrung elektronischer Wiedergabe bereits toleranter wird. Im häufigen Pegelbereich von -6dB wurden bereits 0,5% erreicht, das heißt die Grenze der Verzerrungen von Lautsprechern wird im Praxisfall unterschritten. Im Dauerpegelbereich von -8dB, wo bereits das „Bauchgefühl“ mit entscheidet, war das Band nicht mehr verzerrungsauffällig. Das Rauschen des Bandes ist subjektiv eher vom Abstand zum Lautsprecher abhängig. Bei einigen wenigen Metern wurde es bereits praktisch unbedeutend. Wie sieht das Verzerrungsverhalten von Kassetten aus? Gibt es ähnliche Beispiele wie bei den Spulentonbändern oder liegen Verzerrungen wegen der kleinen Geschwindigkeit viel höher? Zuerst sollte das harmonische Verzerrungsspektrum betrachtet werden, um die Bedeutung des k_3 bei der Messung der THD abschätzen zu können. In Abb.18 ist das Klirrspektrum kurz vor Vollaussteuerung der MAXELL XLIIS dargestellt. Es ist in seiner Dimensionalität typisch für das Teac 6030S. k_5 ist dem k_2 gleichwertig und mit k_7 entsteht im Gegensatz zum Plattenspieler ein ungerader Klirrabfall. k_3 ist so dominant, dass sein Pegel 27dB höher als k_2 und k_5 ist, damit beträgt k_3 2,7%. Somit kann der gemessene THD in erster Näherung tatsächlich als k_3 betrachtet werden.

Abb.18: Klirrspektrum Vollaussteuerung Maxell XLIIS



In Abb.18 war der Hub im Rauschen unter dem Grundton auffällig. Wie sah das Rauschspektrum einer billigen Normalkassette aus? Zu hören war erst mal überraschend wenig, die Messung mit 1600 Linien bestätigt im Groben den niedrigen Rauschgrund von -75dBV von 500Hz bis 20kHz. Abgezogen werden mussten noch die -8dBV für den 0dB Bezugspegel des Teac, was -67dB Betriebsrauschen ergab. Unter 500Hz erhöhte sich das Rauschen sehr stark, was den Herstellerdaten von -60dB widersprach.

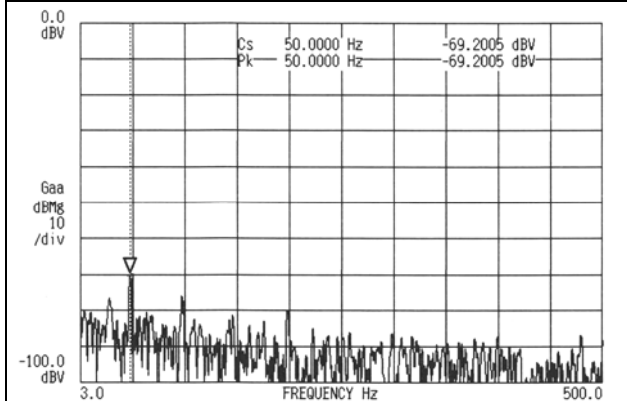
Deshalb wurde der Messbereich in den tieferen Frequenzbereich gelegt. Wieder erschien links ein hoher Peak. Damit bestätigte sich, dass dies ein Messgeräteproblem oder ein Problem der Einstellung war und nicht des Probanden. Mit -61dB entsprach der Messwert nun den Herstellerangaben. Zu sehen waren k_2 bis k_4 des Netzbrumms. -60dB war praktisch ein ausreichender Wert.



In Kapitel 1 konnte aus dem FUJI Prospekt die Pegelabhängigkeit von k_3 abgelesen werden, ebenso aus den Datenblättern der Spulentonbänder LH131 und LH114. Die Hörbarkeit erfolgt jedoch im logarithmischen d.h. im Dezibel-Maßstab. Demzufolge wurde THD bzw. k_3 -Pegel hier mal logarithmisch dargestellt. Zur besseren Übersicht sind die Kurven aus Kapitel 1 mit einzeichnet worden. Im Vergleich zu den eigenen Messungen am FFT Analyzer über das moderne TEAC 6030S schneiden die alten Messungen schlecht ab. Nur das LH131 zeigt in den niedrigen Pegelbereichen vergleichbare Ergebnisse. Die k_3 Verzerrungen aller vermessenen Normalbänder verhalten sich pegelabhängig ähnlich. Das alte Sony HF zeigte tatsächlich die niedrigsten Normalaussteuerungsverzerrungen. Die Farben der Bänder, altes und neues Sony HF Band, unterschieden sich sehr deutlich: 1990 schwarzbraun, 2000 hellbraun.

Die ersten Hörerfahrungen mit Chromdioxidbändern in den 80'ern waren eher unbefriedigend, da der Klang etwas zu grell war. Anders ausgedrückt mit zuviel Klirr belegt waren. Die Messungen schienen das zu bestätigen, mit einer Ausnahme. Aber nicht die TDK SA-X ist die Ausnahme sondern die Maxell XLIIS mit Black Magnetite, kein CrO_2 sondern Fe_3O_4 eingebettet, wie in $CoFe_2O_4$. Durch die extrem feinen Magnetpartikel wurde die Höhenempfindlichkeit sehr groß. Dadurch konnte der Vormagnetisierungspegel erhöht werden, was den k_3 verringerte. Dieser Fall war nicht einmalig. Kassetten dieses Typs aus verschiedenen Jahren zeigten reproduzierbar gleiche Ergebnisse. Unterstützt wird dieses klirrarmer Veralten durch einen Publikation bereits aus dem Jahre 1978 [6], wo ein $CoFe(II)Fe(III)$ -Oxid Material bereits unter 1/3 des normalen Klirrfaktors kam. Die vorhandenen XLIIS waren älter und noch nicht mit Co-Fe-Mischoxid beschichtet.

Abb.20: Brummabstand Sony HF mit linearer Frequenzskala



Die Peakfußverbreiterung des 315Hz-Tones könnte noch ein Gleichlaufproblem darstellen. Gleichlaufüberprüfung erfolgt meist mit 3,15kHz. In Abb.21 ist das Messergebnis dargestellt. Der Gleichlauf war ausreichend und entsprach anderen guten Kassettenlaufwerken.

Abb.21: Gleichlauf 3,15kHz Sony HF, 50Hz/Skalenteil

Abb.22a: Pegelabhängigkeit k_3 Normalband Typ I

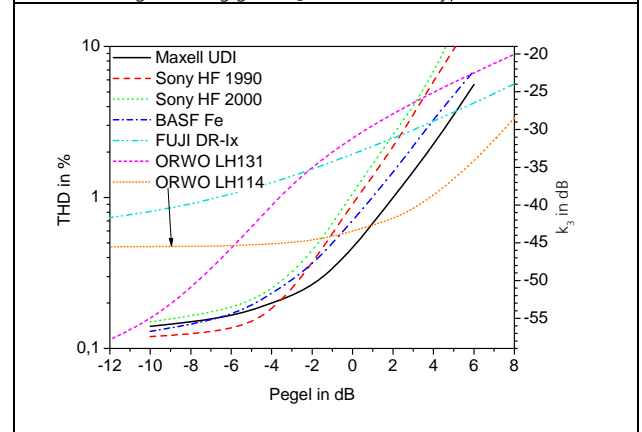
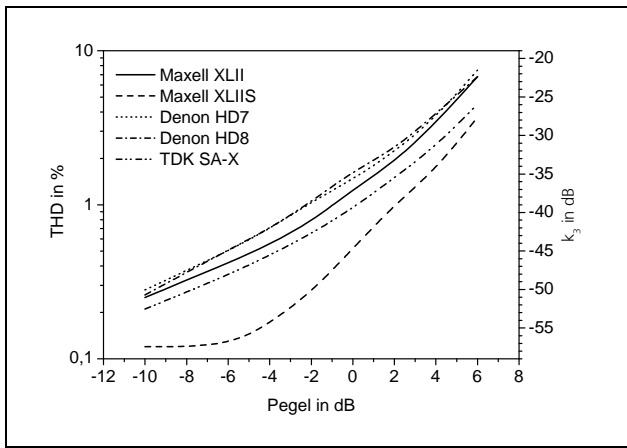
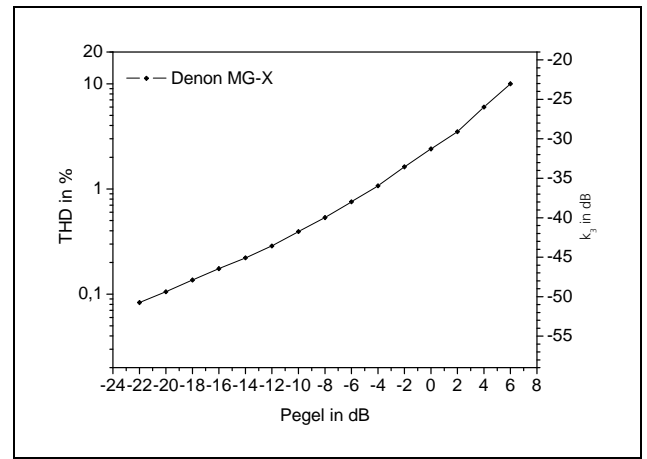


Abb.22b: Pegelabhängigkeit k_3 „Chromband“ Typ II

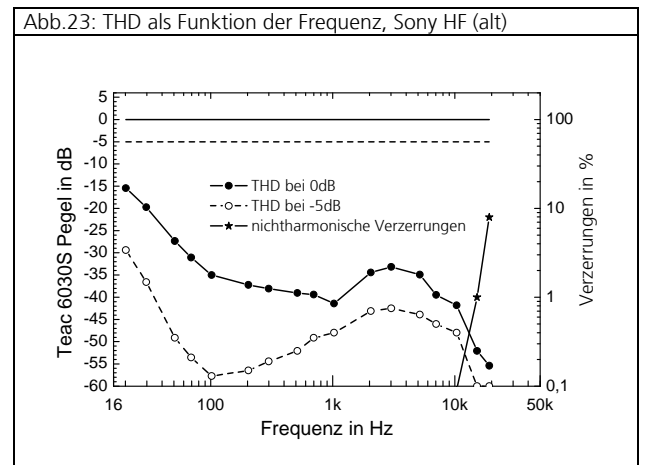


Die später entwickelten Metallbänder klangen wärmer als die Typ I Bänder und waren dennoch im Hochfrequenzbereich bei häufigen Abspielbetrieb langzeitstabiler als die Typ I Bänder. Die Gruppe der klirrärsten Bänder (in Abb. 22c: kl markiert) waren Sony Metal Master, TDK MA-XG, Fuji Z, Maxell MXS, Denon HDM, Maxell MX. Trotz Keramik-Verbundgehäuse wies die Denon MG-X extreme Verzerrungen auf.

Um herauszubekommen, ob die asymptotische Klirrabenkung durch das Rauschen verursacht wurde oder ob das dem Bandverhalten zuzuordnen ist, wurde die Denon MG-X noch einmal präzise bis zu tieferen Pegeln durchgemessen, da dort die Kurve weiter verfolgt werden konnte. Und als k_3 im Rauschen zu versinken drohte, wurde Dolby S zugeschaltet. In Abb.22d wurden die Messdaten eingetragen. Unter -22dB war k_3 so klein, dass trotz Dolby S die Messdatenerfassung wegen der schwankenden Werte und der Rauschspitzen zu ungenau wurde. Wichtig ist, dass höchstwahrscheinlich alle Asymptotenfunktionen real keine sind und der Klirr logarithmisch linear mit dem Pegel in dB weiter absinkt. Das bedeutet, das die meisten Typ I Bänder und vor allem die der normalen Spulentonbänder, wie sie für professionelle Aufnahmen genutzt wurden, außerordentliche verzerrungsarme Musik aufnehmen konnten, wenn die Aussteuerung richtig durchgeführt wurde. Unter der Voraussetzung, dass alle bekannten Einflüsse der Bänder, der Köpfe und der Vorverzerrer- sowie Entzerrer, und nicht nur die Zeitkonstanten sondern auch die Verstärkungsschaltungen richtig kalibriert und optimiert waren, konnten so absolut naturgetreue analoge Aufnahmen realisiert werden.



Die k_3 Verzerrungen galten immer nur für die Referenzfrequenz von 315Hz. Beim Plattenspieler vergrößerte sich THD sowie seine Hauptkomponente k_2 proportional zur Frequenz oberhalb von 1kHz. Wie ist das beim Tonband?



Die Messung, Abb.23, erfolgte bei Vollaussteuerung 0dB Teac Pegel wie bei der Schallplatte. Während die Verzerrungen bei der Platte zu den tiefen Tönen hin nahezu konstant bleiben, steigen diese beim Tonband zu den ganz tiefen Tönen hin besonders stark an. Bei Schallplatten wuchsen die Verzerrungen exponentiell mit der Frequenz über 1kHz an, während beim Tonband diese im Präsenzbereich ein lokales Maximum zeigen. Wenn dies auch für Spulentonbandsystem wie für Studiotonbandsystem gilt, dann ist eine Präsenzsenske bei Tonabnehmern der Plattenabtastung der alten Aufnahmen gar nicht so verkehrt. Das Absinken oberhalb des Präsenzbereiches ist dann auf die zunehmende Bandsättigung zurückzuführen. Im Brillanzbereich werden dann sogar Geistertöne unterhalb des Messsignals als nicht harmonische Verzerrungen sichtbar. In Abb.24 wurden diese Geistertöne als Subverzerrungen dargestellt. Das ist ein Grund, warum bei Aufnahmen vom UKW-Stereoprogramm der Piloton 19kHz mit einem Polfilter schaltbar ausgeblendet werden sollte. Diese Subverzerrungen verschwinden unterhalb von 11kHz. Subverzerrungen führen zu Verfärbungen, Dynamikeinschränkungen und bei sehr hohen singulären Tönen bis zu Zwitschertönen.

Abb. 25 zeigt die Pegelabnahme eines 10kHz Tones oberhalb -6dB, der Bandsättigung zur Selbstlöschung führt, so wie die Vormagnetisierung bei 5x höherer Frequenz und viel höheren Pegel Bandlöschung bewirkt.

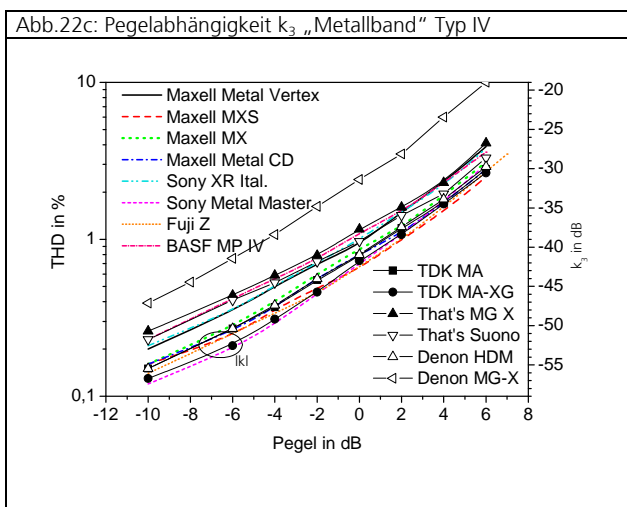


Abb.22d: Denon MG-X Präzisionsvermessung

Abb.24: Subverzerrungen 19,16kHz Vollaussteuerung

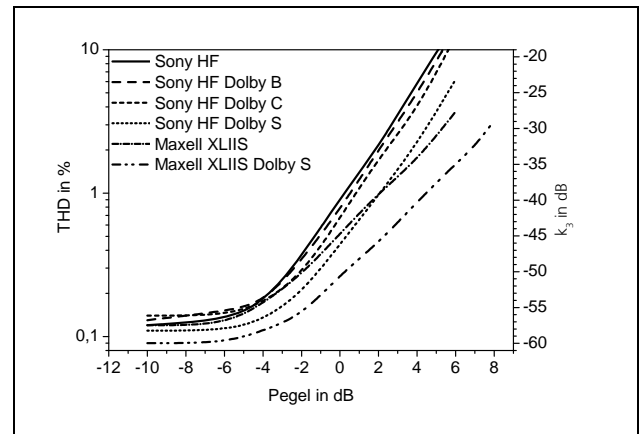
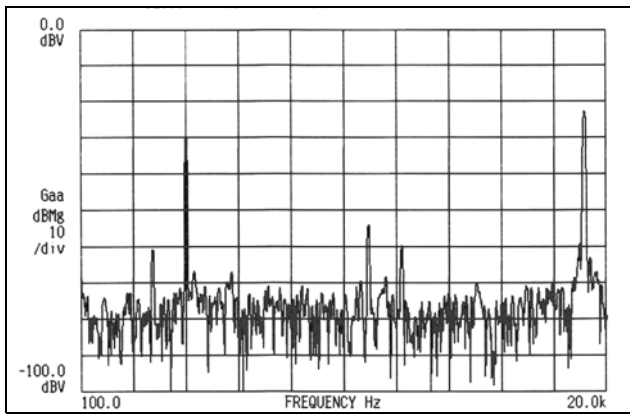


Abb.25: Sättigungsverhalten 10kHz Sony HF

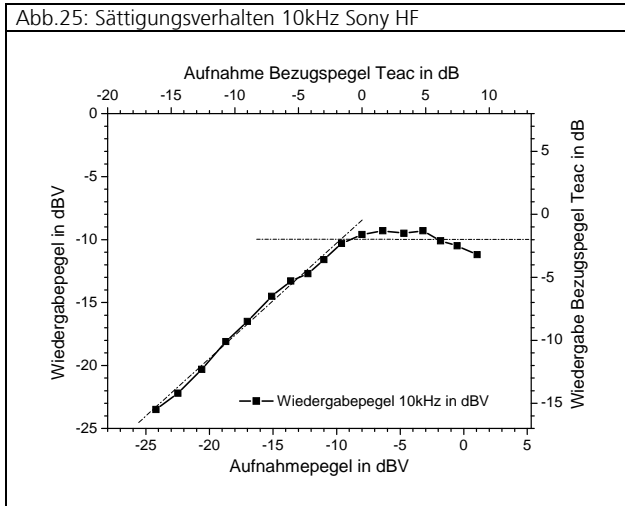
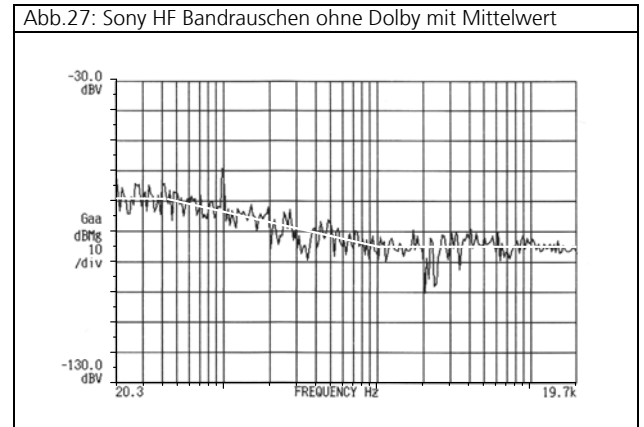
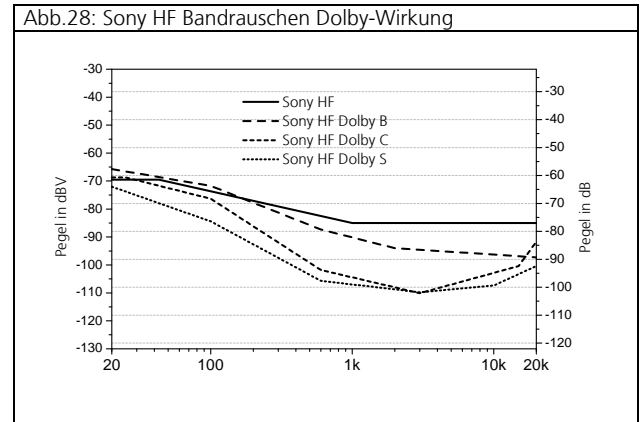


Abb.27: Sony HF Bandrauschen ohne Dolby mit Mittelwert



Bei der Beantwortung der Frage nach den harmonischen Verzerrungen entstand auch das Interesse nach der Messbarkeit des Rauschspektrums des Bandrauschens auch mit den verschiedenen Dolby-Rauschminderungssystemen B, C und S und deren Einflüsse auf das THD-Level. In Abb.26 wurde das Verzerrungsverhalten in Abhängigkeit vom Rauschminderungssystem aufgezeichnet. Dolby B und C verringerten nicht die Verzerrungen im Musikdurchschnittspegel, sie überzeugten auch klanglich nicht wirklich. Entscheidende Verbesserungen kamen erst mit Dolby S. Mit noch weniger Klirr kam das Maxell XLIIS Band, fraglos das beste Niveau, was erreichbar war.

Abb.28: Sony HF Bandrauschen Dolby-Wirkung



Eine Veränderung der Vorverzerrer- und Entzerrerkreise für einen besseren Frequenzgang des TEAC war kaum möglich, da bereits die SMD-Technik auf dem Vormarsch und die Schaltungstechnik nicht mehr so diskret und platzverschwendend wie beim M2405S. Sie war auch nicht sinnvoll, da die Bandqualität über die Jahre nicht so konstant blieb wie z.B. in den 70er oder 80er Jahren.

Die 5dB mehr Rauschabstand für die Typen II und IV wurden durch einen Hörvergleich bewertet. Zumindest dieser Wert konnte für den frequenzabhängigen Hörempfindlichkeitsmaximum 3...4kHz gehörmäßig bestätigt werden, wenn etwas lauter gedreht wurde. In der Praxis geht dieser Abstand in seiner Bedeutung eher unter, wenn wie hier ein modernes hochwertiges Tonbandgerät verwendet wird.

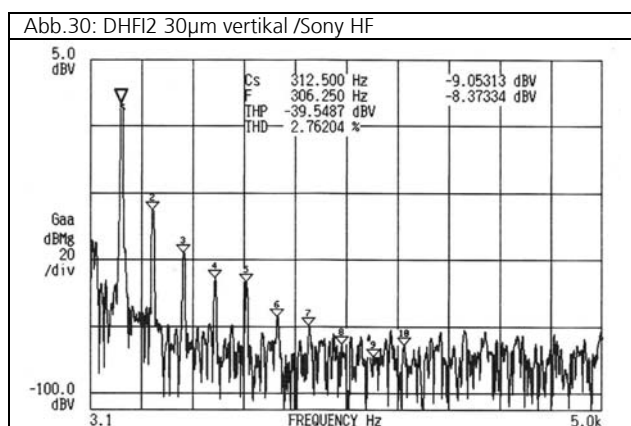
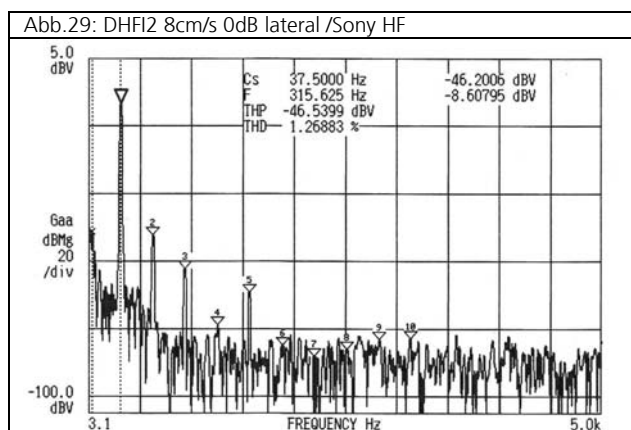
In Abb.27 ist das Rauschspektrum vom Sony HF Band über das TEAC dargestellt. Darüber wurde im Origin die Durchschnittsgeraden gelegt, um in dem anderen Diagramm Abb.26 die Kurven übersichtlich zu kombinieren. Wo die 100Hz Spitze herkommt, war unklar geblieben, denn im hochaufgelösten Linearspektrum kam diese nicht vor, aber andererseits stimmte die Aussagen von -60dB Fremdspannungsabstand immer noch. In Abb.26 wurden die Durchschnittsgeraden für die Wiedergabe-Rauschspektrums dargestellt, die nach den verschiedenen Dolby-Einstellungen aufgenommen worden waren. Der Rausch-Signal-Abstand wurde mit Dolby S unter Berücksichtigung der Rauschspitzen im Gehörsensiblen Bereich so groß wie mit der CD.

Die Erinnerung an die „alten Zeiten“ als noch von Platte aufgenommen wurde, direkt oder über den Rundfunk, besagten, dass die Musik über die 2.Tonbandaufnahme „fetziger“ klang als vom Originaleindruck. Was war da wirklich dran?

In Abb.29 ist ein Wiedergabespektrum vom Band aus der Lateralplattenaufzeichnung und in Abb.30 eine von der Vertikalplattenaufzeichnung dargestellt. Während die Lateralwiedergabe eine kleine harmonische Lücke in k_4 abbildete und nur einen leicht gestörten Röhrenverstärker simulierte, konnte das die Vertikalwiedergabe fast ideal ausloten. Die Vertikalabtastung für links und rechts sollte doch mindestens 50% der Gesamtenergie ausmachen, was dann doch die Erinnerung irgendwie bestätigt. Das galt aber eben nur für „Jugendtanzenmusik“. Die Klassik stellte andere

Abb.26: THD als Funktion der Dolby Schaltungen

Anforderungen. Alle Verzerrungen wurden als nicht angenehm empfunden.



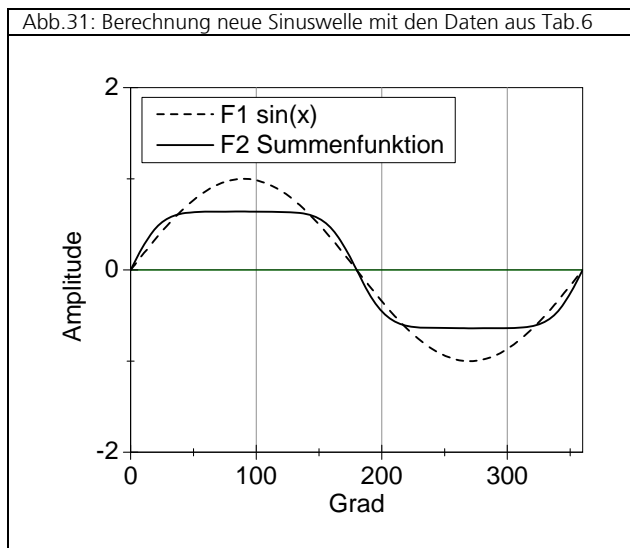
8.2.1. Ursachen der Verzerrungen vom Tonband

Die Verzerrungen in Form der k_3 resultieren hauptsächlich durch die hardmagnetischen Hystereseigenschaften der Tonbandbeschichtung, da Tonkopfmateriale weichmagnetisch sind und keine Speicherfunktion haben sollten. Um zu prüfen, ob tatsächlich nur ungeradzahlige Harmonische eine Rolle spielen, wurde das verzerrungsträchtigste Band Denon MG-X leicht übersteuert und das Verzerrungsspektrum gemessen, dessen Messdaten in Tab.6 gelistet wurde. Dass erst k_3 unter das Niveau der k_2 kommt, war nun wirklich nicht voraussehbar (s.Tab.6).

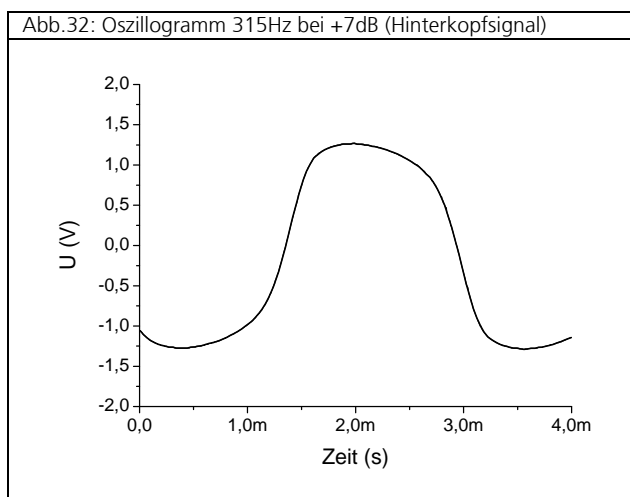
Die noch anschaulichste Beschreibung zur Entstehung der Tonbandverzerrungen liefert [5]. In [5, S.21] sollte die 3. harmonische Sinusoberwelle theoretisch eine symmetrische Bedämpfung der Grundtonsinuswelle bewirken. Danach wurde die entsprechende Sinuskurve berechnet, wobei Grundtonamplitude mit 78% multipliziert und mit den Harmonischen ergänzt wurde (Abb.31).

Tab.6: DENON MG-X Klirrsppektrum bei +7dB

Pegel	Hz	Messwert	
dB		dBV	%
+7dB	315Hz	-1	
	k2	-55	0,175
	k3	-15	16,556
	k4	-65	0,051
	k5	-27	4,338
	k6	-78	0,013
	k7	-41	0,910
	k8	-78	0,012
	k9	-56	0,152
			22,207



Zur Überprüfung der logischen Voraussage wurde die Zunahme der Übersteuerung oszillographisch verfolgt. Ab etwa 1% k_3 wurde eine Verzerrung der Sinuswelle optisch sichtbar. Die Übersteuerung auf +7dB zeigte Abb.32. Das Signal war allerdings asymmetrisch verzerrt. Das Hinterkopfsignal glich jedoch dem Wiedergabesignal. Trotzdem zeigte der FFT-Analyzer eindeutig die ungeraden Harmonischen als stark dominierende Signale an, obwohl ein höherer Anteil der geraden Harmonischen die Asymmetrie bilden könnten.



Die Ursache für k_3 ist laut [5, s.45] die Remanenzkennlinie des Magnetbandes im Koordinatensystem der Flussdichte von der Feldstärke $B(H)$. Im ersten Quadranten ist eine S-Kurve mit Ursprung in 0 zu sehen und dazu eine durch 0 gespiegelte Kurve im 3.Quadranten. Durch die HF-Wechselfeldlöschung durchläuft die Magnetisierung gemäß der Neukurve. Die bleibende Magnetisierungskurve ist jedoch flacher und endet in der Sättigung. Interessant ist, dass dann eine sehr kleine Magnetisierung gar keine Remanenz hinterlässt, da die thermisch bedingte Anregung bei Normalbedingungen der magnetischen Momentorientierungen (Elementarmagnete) diese wieder vollständig löscht. Das HF-Wechselfeld der Vormagnetisierung überspringt diesen Bereich und schiebt den Arbeitsbereich in die lineareren Abschnitte der langgezogenen Doppel-S-Kurve (Wendebereich).

Abgesehen der oben erwähnten Remanenzkurventheorie wird noch eine weitere Theorie wie dem Preisach-Diagramm diskutiert, da die Remanenztheorie nicht erklärt, warum auch dann eine klirrarmer Aufzeichnung gelang, wenn die Vormagnetisierungsfeldstärke über die Sättigungsfeldstärke hinaus ging. Die Elementarmagnete (Weißsche Bezirke) zeigen Rechteckhysteresekurven, die bei realen Kristallstrukturen nicht unbedingt symmetrisch zum Koordinatenursprung $(B;H)$ liegen müssen und auch nicht immer

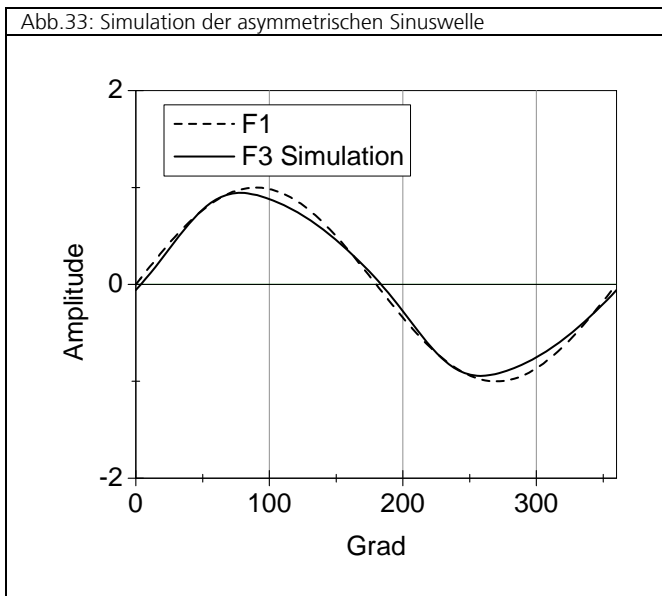
gleichweite Hysteresen haben müssen. Aus dem Preisach-Diagramm ergibt sich ein $k_{GES, \text{minimum}}$ als Funktion der Vormagnetisierungswchselfeld $f(H_{HF})$.

Über die Natur der ungeradzahlgigen Harmonischen wurde nichts gesagt. In einer Fraunhofer Veröffentlichung wurde über die Simulation mit dem „Closed Minor Loop Model“ [7] unter Berücksichtigung der Hysterese Kurven entwickelt, die der gemessenen sehr ähnelte.

Eine Asymmetrie der verzerrten Sinuswelle kann möglicherweise durch Phasenverschiebung der ungeraden harmonischen Oberwellen erklärt werden. Wie aus den Spulenmessungen herauskam, ist eine volle, theoretische Phasenverschiebung von $+90^\circ$ unrealistisch. Durch Probieren kam heraus, dass additive Phasenverschiebungen für k_5 sich günstig auf die Simulation auswirkten. Also wurden für k_3 $+89^\circ$ und für k_5 $+178^\circ$ Phasenverschiebung der Spannung φ für Abb.33 eingesetzt und eine prinzipiell ähnliche Kurve erhalten. Alle anderen Beträge von Phasenverschiebungen sahen in der Kurvenabbildung weniger ähnlich oder sogar prinzipiell anders aus.

Tab.7: Phasenverschiebungen

	k_1	k_3	k_5
φ (°)	0	+89	+178



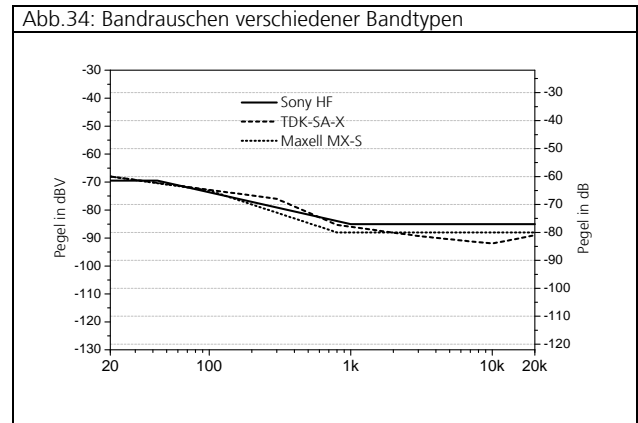
Die Simulation mag noch recht unvollkommen aussehen, zeigt aber den prinzipiellen Gang: Dämpfung des Originalsignals zu Gunsten von phasenverschobenen Oberwellen und damit Verformung sowie zeitliche Dispersion des Originalsignals. Die Ursache soll die Hysterese sein [7] aber leider wurden dort keine Phasendetails erörtert.

Ferromagnetische und hysteresee-behaftete Materialien in Spulen und Widerständen könnten so auf ähnliche Weise die Originalimpulse verfälschen. Bauteile passiver Frequenzweichen sind den Magnetfeldern der Chassis ausgesetzt. Hier könnten die Hysteresen ausgeprägter sein, wenn auch deren Magnete weichere Charakteristiken haben sollten.

Zusammenfassung

Beim Spulentonbandgerät M2405S waren die analogen Drehspulanzeigen vor allem oberhalb 0dB sehr träge. Eine präzise Aussteuerung, hat sich aber gezeigt, ist aber sehr wichtig. Beim Normalband ist überhaupt jedes dB zu vermeiden, das über die Bezugspegelgrenze 0dB geht. Dies wird dann mit sehr verzerrungsarmen Aufnahmen gedankt, wenn man die Eigenverzerrungen von Lautsprechern mit $> 0,3\%$ vergleicht. Mit einem Teac 6030S ist dann bereits mit Normalband eine sehr gute Wiedergabe für normale Zimmerlautstärke machbar, vor allem mit Dolby S, wenn ... , ja wenn nicht die Abrasion der brilliansten Töne wäre. Stereo schrieb zwar „abspielen über rauhen Löschkopf“ aber

das Teac hat eine fein polierte Sendust-Oberfläche und die Köpfe wurden sorgfältig entmagnetisiert. Es muss wohl mit etwas anderem zusammenhängen. Eine dauerhaft stabile Wiedergabe war nur mit einem high Bias Band möglich. Da hätte sich wirklich die Klirrfaktormessung in Abhängigkeit vom pegel gelohnt. Leider hatte das kein offizieller Tester gemacht. Die Ergebnisse der Maxell XLIS waren herausstechend. Bekannt gemacht wurden nur die k_3 der Vollaussteuerungen, signifikant für verzerrungsarme detailgetreue Aufnahmen war jedoch die k_3 -Pegelabhängigkeit unterhalb des Spitzenpegels. Eine erneute Aufnahme mit einem XLIS und Dolby S bis maximal 0dB bestätigte die Messergebnisse mit einem ungewohnt klaren und präzisen Klangbild. Leider kam Dolby S zu spät auf dem privaten Heimtonbandsektor (ab ca. 1990), obwohl die entsprechende Rauschreduktionsleistung in Form von Dolby A bereits seit 1970 in die professionellen Studios eingezogen war.

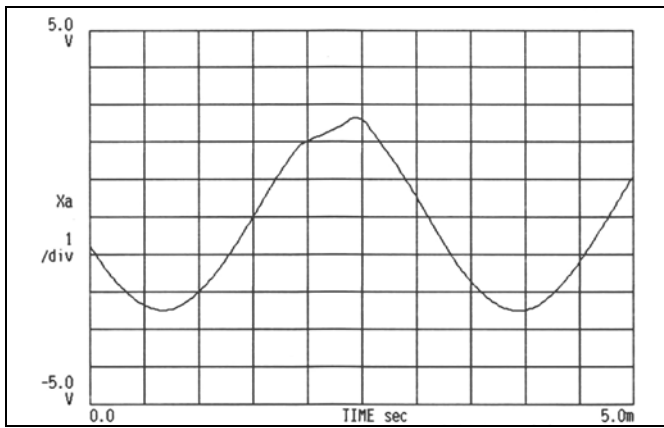


Die Untersuchung der Fragestellung der Ursache für die nichtgeraden harmonischen Oberwellen bei der magnetischen Aufzeichnung warf ein neues Licht und zwar nicht nur auf die allgegenwärtigen ferromagnetischen Materialien und der Frequenzweichenbauteile, sondern in der gesamten Kette, von der Aufzeichnung im Studio bis zur Wiedergabe daheim vom Lautsprecher. Die alten analogen Aufzeichnungen haben es heute noch vielen nicht ohne Grund angetan, sonst wären die vielen Reissues und ständigen „noch besseren“ Auflagen auf den digitalen Tonträgern nicht erklärbar. Das Wissen um die Verzerrungscharakteristik sollte eine wichtige Rolle spielen.

8.3. Sinusverzerrungen von Schallplattenabtastungen

So wie es beim Band möglich war, musste auch bei der Platte herauszubekommen sein, ob und wie die Klirrsignale phasenverschoben sind. Bei der HiFi-News erhöhte sich der Verzerrungsgrad des 300Hz Sinustones von $+16\text{dB}$ auf $+18\text{dB}$ exponentiell und bei der DHF12 erfolgte das bei der Erhöhung der Auslenkung von $77\mu\text{m}$ auf $86\mu\text{m}$. Im Oszilloskop war dann die Wandlung der noch gut geformten Sinuswelle auf ein eckige Form (Abb.35) zu beobachten. Im rechten Kanal war die obere Spitze eckig und im linken die untere. Die Verzerrungssymmetrie ist dem Band entgegengesetzt.

Abb.35: Sinuswelle 300Hz 86µm horizontal DHF12, rechter Kanal



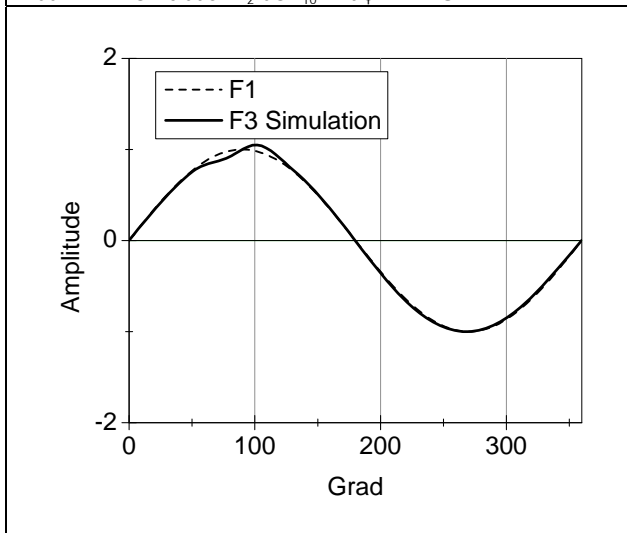
Als Ergebnis wurden im FFT-Spektrum wieder höhere Harmonische gefunden, die in der Größenordnung der normalen Verzerrungen lagen, die in Tab.8 gelistet wurden.

Tab.8: Harmonische bei 86µm DHFI2, rechter Kanal

	k ₁	k ₂	k ₃	k ₄	k ₅	k ₆	k ₇	k ₈	k ₉	k ₁₀
dB	0	-32	-38	-38	-37	-39	-41	-44	-48	-54

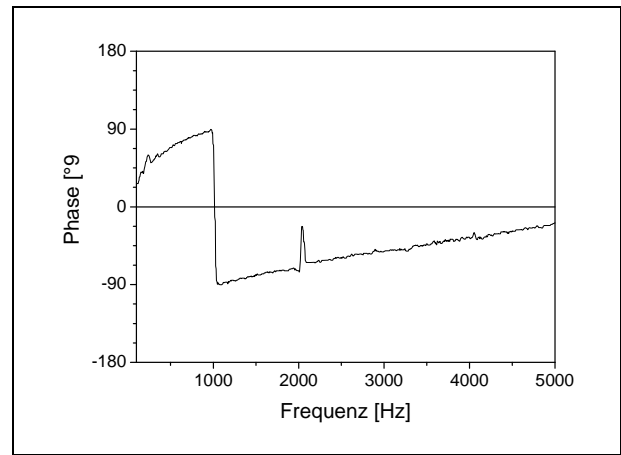
Eine Simulation durch Addition der Klirrsignale analog zum Band konnte mit einer Phasenverschiebung für alle Harmonischen von -90° erfolgreich durchgeführt werden. Nun war es endlich offenbar, dass die Klirrsignale am rechten Kanal phasenverschoben sind. Hoher Klirranteil wird also die Ortung beeinträchtigen. Andere Publikationen sind zum Thema Phasenverschiebungen nicht gefunden worden, außer in [10], wo nur die Kanäle untereinander in der Phase verglichen wurden.

Abb.36: Klirrsimulation k₂ bis k₁₀ mit φ = -90°



Um einen Beweis anzutreten, das die simulierte Phasenbetrachtung prinzipiell sinnig ist, wurde an der neuesten Test-LP, „Ultimate Analogue Test LP“ ein normal ausgesteuerter Testton 1kHz mit dem Analyzer in RECT-Bewertung betrachtet, Abb.37. Die 2.Harmonische zeigt ein völlig anderes Phasenverhalten als der Originalton, nämlich nur mit einer negativen Phase.

Abb.37: Ultimate Analogue Test-LP
1kHz 7cm/s Li, FFT-Analyzer mit RECT-Bewertung

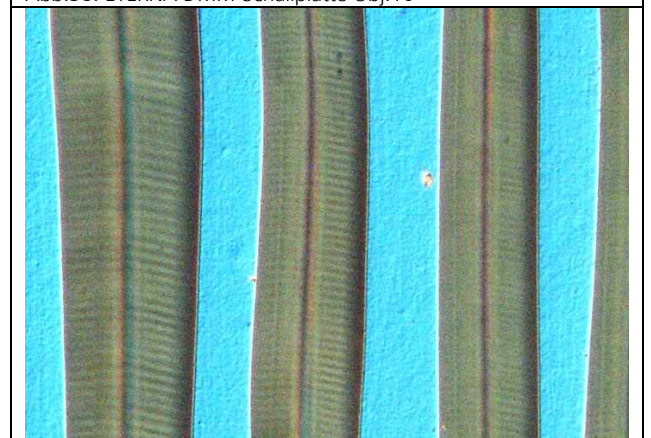


8.4. Nachtrag zu DMM-Schallplatten

Aus den zugänglichen Literaturen gab es noch eine gewisse Unsicherheit: Wurden dem Schneiden beim Direktmetallmastering nun die HF-Signale von ca. 70kHz, wie sie in der Literatur (Kapitel 2) angegeben worden waren, zugesetzt oder stellten diese sich selbst ein? Wenn es 70kHz waren, sollten keine Effekte hörbar gewesen sein. Aber durch was wurden dann die vernommen Verzerrungen (Kapitel 1) verursacht ?

Zur Klärung der Fragen wurden ETERNA-DMM-Platten unter das Mikroskop gelegt. Um die hochfrequenten Modulationen sichtbar zu machen, musste das Hilfsmittel Phasenkontrast eingestellt werden. Eine bessere Sichtbarkeit der 70kHz sollte sich natürlich in der Nähe des Plattenrandes (Abb.37) ergeben. Die normalen Schallplatten zeigten im Vergleich diese feinen Modulationen nicht.

Abb.38: ETERNA DMM-Schallplatte Obj.10

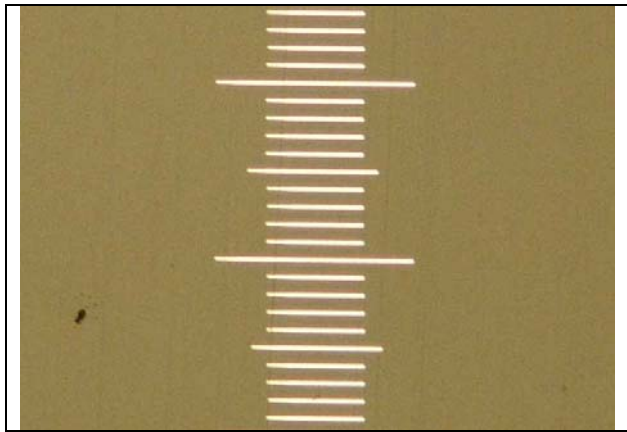


Eindeutig erkennbar ist, das die Frequenz der HF-Modulation sich mit der Amplitude des Pegel verringert. Weiterhin wurde ein bestimmter Winkel zwischen den Modulationen abgebildet. Zur Ausmessung der Wellenlänge wurde ein Eichmaßstab ebenfalls mit dem Objektiv 10 aufgenommen, um nach der Bildbearbeitung der DMM-Platte die Berechnung vornehmen zu können. Der Abstand zwischen den kleinsten hellen Balken betrug 10µm.

Bei 33 1/3 Umdrehungszahlen im Plattenradius von 138mm wird eine Wegstrecke von 28,9m/min zurückgelegt, was in der Sekunde 0,482m sind. Die Wellenlänge bei 70kHz würde dann 6,9µm betragen. Beim Phasenkontrast entspricht der Abstand der z.B. der dunklen Streifen einer Wellenlänge. Daraus ergeben sich 4,7µm in der mittleren Rille der Abb.37 und damit ca. 100kHz, deutlich größer als in der Literatur angegeben. Da aber die Frequenz mit der Amplitude abnimmt, könnten die größten Auslenkungen zu 70kHz führen.

Die Abhängigkeit der überlagerten Ultraschallfrequenz von der Amplitude führte wahrscheinlich dazu, dass mit dem FFT-Analyzer kein Frequenzpeak gefunden werden konnte.

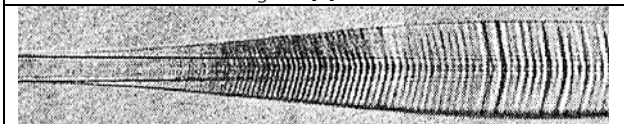
Abb.38: Mikrometermaßstab Obj.10



- [10] D.W.Gravereaux et.al., Phase-shift characteristics of record cutters and pickups, JAES 20 (1972), 1, 15
 [11] http://www.theanalogdept.com/cartridge__arm_matching.htm

Während in [8] nur eine Zeichnung zur Darstellung der Ultraschallfrequenz genutzt wurde, war in [9] ein Mikroskopfoto eines 315Hz Signales zu sehen. Ein Viertel der 315Hz Welle konnte ausgemessen werden, ebenso die größte Wellenlänge des Ultraschalls bei maximaler Auslenkung der 315Hz. Danach betrug das Verhältnis Wellenlänge der Ultraschallfrequenz zu 315Hz wie 2,5 zu 636, was eine Mindestfrequenz von exakt 80kHz ergab. Die Angabe Mindestfrequenz resultiert daher, da auch dort die Wellenlänge mit der kleineren Amplitude auch kleiner wurde. Bei der halben Lateralamplitude halbierte sich die Wellenlänge bzw. verdoppelte sich die Ultraschallfrequenz(!), wie in Abb.40 nach Zerlegung und Zusammensetzung der entsprechenden Tiefenschriftabschnitte aus [9] herauskam. Das bedeutete, dass sich dem eigentlichen Musiksignal ein Ultraschallmusiksignal überlagerte, wobei die Frequenz und die Amplitude durch die Amplitude des Musiksignals moduliert wurde und gerade in den höchsten Abtastamplituden die niedrigste Frequenz und höchste Intensität aufwies. Das könnte die Ursache gewesen sein für die empfundene Mikrorauhigkeit der DMM-Wiedergabe in Kapitel 1. Mechanische Abtastparameter bzw. elektrische Entzerrervorverstärkerschaltungsauslegung waren dafür ungünstig abgestimmt gewesen. Mit dem aktuellen Tonabnehmer und der THEL-Entzerrervorverstärkerschaltung war die „Harschheit“ wie damals (Original Granat und REMA Tocatta) nicht empfunden worden.

Abb.39: Zusammensetzung aus [9]



Die Interferenzlinien im Originalfoto [9] zeigen nach einer präzisen Ausmessung verschiedene Neigungen zur Senkrechten von 9° bis 20°. Aber auch in Abb.38 sind Unterschiede zu erkennen. Dieses Indiz zeigt, dass der vertikale Spurwinkel vielleicht doch nicht so exakt eingehalten werden konnte, wie es beworben wurde. Bei einer Rillentiefe von maximal 80µm maß die laterale Rillenbreite 160µm, etwa doppelt so breit wie die linke Rille in Abb.35. Bei einer linearen Extrapolation der Zunahme der lateralen Rillenbreite auf 160µm käme man überschlagsmäßig auf etwa 35kHz Störfrequenz.

- [1] Bernhard Krieg, Tonaufzeichnung Analog, ELEKTOR 1989, ISBN 3-921608-75-9, S.37
 [2] www.shure.com
 [3] <http://de.wikipedia.org/wiki/Langspielplatte>
 [4] Stereoplay 1997
 [5] Friedrich Engel, Schallspeicherung auf Magnetband, AGFA-GEVAERT AGMarketing-Services, 1.Auflage 1975
 [6] A.R.Corradi, Journal of Magnetism and Magnetic Materials 7, (1978), 299-307
 [7] M.Dotterweich, M.Waszak, F.Weiland, "Berücksichtigung magnetischer Hysterese in der numerischen Feldberechnung", 1999, Fraunhofer IZM,ASE, MYMOSYS
 [8] Bernhard Krieg, Tonaufzeichnung analog, ELEKTOR 1989
 [9] Gerhard Hohmuth, radio fernsehen elektronik 84, Heft 12, 1985