

Technische Erläuterungen zum Plattenspieler 751 von aie.de

MICHAEL ALTMANN*
Altmann Industrieelektronik GmbH
ma@aie.de

17. Oktober 2020

Zusammenfassung

Informationen über einige bei der Konzeption des Plattenspielers 751 zugrunde gelegten technischen und physikalischen Betrachtungen sowie ausgewählte technische Details zu den verbauten Komponenten.

I. KONZEPT



Der Plattenspieler 751 ist für den auf Perfektion bedachten Heimanwender ausgelegt, der ohne Kompromisse Schallplatten in bester Qualität anhören will. Praktisch jeder relevante technische Parameter des Plattenspielers liegt um eine Größenordnung über dem, was mit Vinyl-Schallplatten selbst möglich ist.

Das Ergebnis ist eine unverfälschte Wiedergabe der Schallplatte ohne wahrnehmbare Artefakte oder Eigenklang durch die Abspielanlage. Zielgruppe sind Musikhörer, die einen optimal zusammengestellten Plattenspieler auspacken, anschließen und dann direkt ohne weitere Experimente Musik in optimaler Wiedergabequalität hören wollen.

Im Marktumfeld hochwertiger Komplett-Plattenspieler hat der Interessent mit diesem Angebot die Möglichkeit, innerhalb der gleichen Preisklasse neben dem Riemen- oder Reibradantrieb jetzt auch einen Plattenspieler mit Direktantrieb zu wählen.

Hinzu kommt das Erlebnis, mit einem kostbaren historischen Laufwerk, welches unbenutzt im Neuzustand in seiner Werksverpackung die Zeit bis zur Inkarnation in dem Plattenspieler 751 von aie.de überdauerte, unvergesslichen Musikgenuss zu zelebrieren.

Eine Abdeckhaube aus 6 mm starkem Acrylglas schützt den Plattenspieler bei Nichtbenutzung. Die besondere Formgebung von Chassis und Haube mit

überstehenden Seiten und zurückgezogenen Auflagekanten fixiert die Haube selbsttätig und ohne anfällige Mechanik in ihrer Position.

II. CHASSIS



i. Aufbau

Rundfunklaufwerke werden üblicherweise in Konsolen eingebaut, weshalb sie als reine Laufwerke ohne Tonarm und mit der Möglichkeit zur hängenden Verschraubung mit einer Konsolenplatte angeboten werden.

Bei dem von uns verbauten Rundfunklaufwerk Technics SP-10 Mk II fällt auf, dass in den Boden Dämpfungselemente eingelassen sind, welche alternativ die Aufstellung auf dem Laufwerksboden erlauben.

Die Ergebnisse langer Versuchsreihen mit dieser Aufstellung lieferten so gute klangliche Ergebnisse, dass wir uns entschlossen, den Plattenspieler auf dem Laufwerksboden mit starr gekoppeltem, am Laufwerk hängenden Chassis aufzustellen.

Der Vorteil von Masselaufwerken besteht darin, dass sie im Gegensatz zu Subchassis-Konstruktionen keine Eigenresonanz im Bereich von ≈ 2 Hz haben. Der isolierende Effekt der Subchassisaufhängung wird bei Masselaufwerken durch deren Anregungen von außen entgegenwirkenden großen Masse ersetzt. Daher der Name Masselaufwerk.

*Geschäftsführender Gesellschafter

ii. Isolierung von der Aufstellfläche

Das verbaute Technics-Laufwerk ermöglicht durch seine Laufruhe eine so hohe Dynamik, dass eine zusätzliche Körperschalldämpfung vorgesehen wurde, damit dessen Dynamik auch bei Aufstellung auf diesbezüglich ungünstigen Untergründen zur Geltung kommen kann.

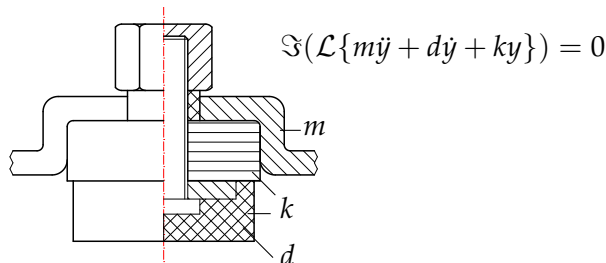


Abbildung 1: Fuß im Halbschnitt

Um dabei das Konzept des Masselaufwerkes (keine Eigenschwingungen des Laufwerkes) nicht zu verletzen, wurden die federnden Füße aperiodisch gedämpft (Pol der Laplace-transformierten Differentialgleichung auf der σ -Achse der s -Ebene). Erreicht wurde das durch von aie.de entwickelte Füße mit passender Federkonstante und Dämpfung in Reihe mit den von Technics verbauten Dämpfungselementen.

iii. Kopplung der beiden Lager

Jede Relativbewegung zwischen Tellerlager und Tonarmlager erzeugt Signale, welche auf der Schallplatte nicht vorhanden und deshalb unerwünscht sind. Um eine steife Verbindung der beiden Lager zu erreichen, besteht die Chassisplatte aus massivem Aluminium von 20 mm Stärke, welche *ohne Tonarmbasis* direkt mit dem Tonarm verschraubt wird.

iv. Schwerpunkt

Damit Restschwingungen des Untergrundes den Plattenspieler nicht zu Taumelbewegungen anregen können, wird das Gewicht des Gerätes gleichmäßig auf die vier Füße verteilt. Weil die Füße symmetrisch zum Tellerachse angeordnet sind, wurde der horizontale Schwerpunkt des Plattenspielers mit einer massiven Gewichtsstange aus Messing auf die Position der Tellerachse gelegt.

v. Doppelte Erdung gegen Brummen

Eine Besonderheit des Plattenspielers 751 ist das doppelte Erdungssystem: Die Erdung von Chassis und Tonarm wird über zwei separate Leitungen zu dem Verstärker geführt. Gegenüber herkömmlichen Konstruktionen mit nur einer gemeinsamen Erdung

werden dadurch Brummstörungen vermindert und der Klang verbessert.

III. LAUFWERK TECHNICS SP-10 Mk II

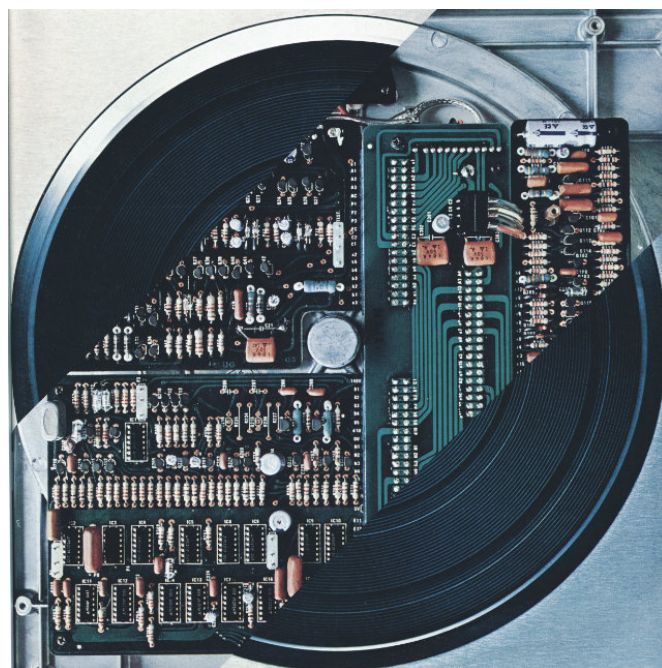


Abbildung 2: Schrittbild des Laufwerkes¹

i. Historisches

Für einen extrem ruhigen Plattenspieler-Antrieb ist eine Konstruktion notwendig, die die Anzahl der erforderlichen Lager minimiert. Konsequenterweise führt das zu einem Direktantrieb mit nur einer gemeinsamen Achse für Motor und Plattenteller. Ein mit dem Plattenteller auf einer gemeinsamen Achse sitzender Gleichstrom-Langsamläufer führt dazu, dass das ganze System nur ein einziges bewegliches Teil mit einem für die Laufruhe günstigen, großem Trägheitsmoment aufweist.

Technics stellte 1969 mit dem Rundfunklaufwerk SP-10 den ersten Direktantrieb im Plattenspielerbau vor. Dieses Laufwerk verfügte über eine elektronische Drehzahlregelung, die den Motorstrom mit einem Signal steuerte, welches aus dem Vergleich der von dem im Motor ingetrierten Tachogenerator gelieferten Spannung mit einer der Soll-drehzahl entsprechenden Spannung gewonnen wurde.

Ein Tachogenerator kann aber erst dann ein Regelsignal erzeugen, wenn sich die konstant zu haltende Drehzahl bereits minimal geändert hat. Um die Drehzahlkonstanz noch weiter zu verbessern, stellte Technics knapp 10 Jahre später eine Weiterentwicklung des Laufwerkes vor: Das Laufwerk SP-10 Mk II.

¹Technics-Pressbild

Dieses Laufwerk besaß eine zusätzliche Phasenverriegelung zwischen der Drehung des Plattentellers und einem quarzkonstanten Referenzsignal. Eine solche Regelschaltung spricht bereits an, wenn zwischen Drehposition des Plattentellers und dem Referenzsignal nur ein geringer Phasenfehler auftritt.

Das Rundfunklaufwerk Technics SP-10 Mk II hat einen der kräftigsten jemals verbauten Antriebe. Der Plattenteller läuft in 0,25 s auf die Nenndrehzahl von $33\frac{1}{3}$ U/Min hoch und stoppt innerhalb von 0,3 s. Selbst ein Bürsten der Platte während des Abspielens langsamer Klaviermusik bleibt ohne hörbaren Einfluss auf die Tonhöhe.

aie.de hat vor Jahrzehnten eine kleine Menge werksverpackter Laufwerke eingelagert und baut jetzt aus diesem Bestand den Plattenspieler 751. Dabei werden einige alterungskritische Bauteile des Laufwerks ausgetauscht, die gesamte auf sieben² Leiterplatten verteilte Elektronik wird durchgemessen und neu abgeglichen.

ii. Arbeitsweise des Laufwerkes

Das Laufwerk basiert auf einem Servomotor, bestehend aus einem Gleichstrommotor mit integriertem Frequenzgenerator, dessen drehzahlproportionales Signal phasenstarr über eine PLL-Schaltung mit der Motorsteuerung verriegelt ist.

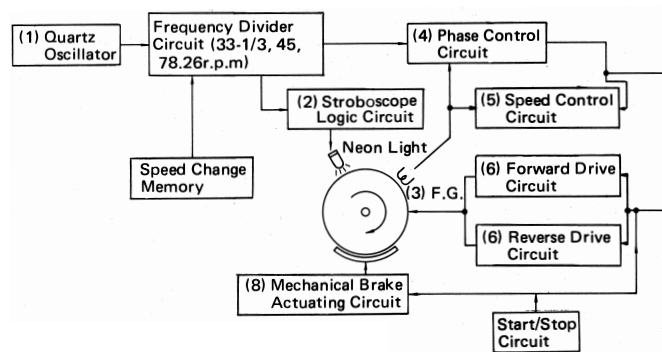


Abbildung 3: Blockscheema der Motorsteuerung³

1. Quarzoszillator als Referenzsignal

Der Quarzreferenzsignalgenerator liefert ein Referenzsignal, das den Betrieb des SP-10 Mk II steuert. Dazu wird die Schwingung eines Quarzkristalls verwendet. Diese Schwingung ist stabil, sehr genau und wird nicht durch Temperatur und andere Änderungen wie z. B. Spannungsschwankungen oder die Drift der Netzfrequenz beeinflusst.

Durch die genaue Synchronisierung der Drehung des Plattentellers mit dem Referenzsignal wird die

²Zwei davon sind in der externen Stromversorgungseinheit Technics SH-10E verbaut.

Geschwindigkeitsdrift des SP-10 Mk II auf $\pm 0,002\%$ begrenzt. Dies bedeutet, dass bei einer Aufnahme mit einer Spieldauer von 30 Minuten die gesamte Variation der Spielzeit nicht mehr als 0,036 Sekunden betragen kann. Unter normalen Betriebsbedingungen wie in einem Hörraum beträgt die Drift sogar nur $\approx \pm 0,0001\%$ während einer Stunde.

Das vom Referenzsignalgenerator erzeugte Signal wird vom Frequenzteiler entsprechend der gewählten Geschwindigkeit in die entsprechende Frequenz aufgeteilt. Der Frequenzteiler wird vom Geschwindigkeitswähler an der Vorderseite des Geräts programmiert. Die ausgewählte Geschwindigkeit wird in einem digitalen Speicher abgelegt.

2. Stroboskop-Logikschaltung

Das Stroboskop beleuchtet die 190 Streifen, die auf dem Plattentellerrand eingraviert sind. Eine Neonlampe blitzt gemäß den Steuerimpulsen der Stroboskop-Logikschaltung. Diese Schaltung erzeugt die Signale digital vom Frequenzteiler. Dies liefert ein scharfes Blitzbild, das unabhängig von der Netzfrequenz ist.

3. Frequenzgenerator

In den Antriebsmotor ist ein Frequenzgenerator integriert. Es handelt sich um eine elektromagnetische Anordnung in Gegentaktausführung, welche so die externe Induktion kompensiert. Sie wandelt die Plattendrehzahl exakt in eine Frequenz um. Der Ausgang des Frequenzgenerators wird den Drehzahl- und Phasenregelkreisen zugeführt.

4. Phasen-Steuerkreis

Die Phasensteuerschaltung erfasst eine Phasendifferenz zwischen dem Referenzsignal und dem Frequenzgeneratorsignal und erzeugt eine Steuerspannung. Diese Schaltung ermöglicht es, die Drehung des Plattentellers gegen ein Referenzsignal zu verriegeln. Es verbessert die Drehzahlstabilität und die Drehzahlregelungseigenschaften für Lastbedingungen im Vergleich zu dem herkömmlichen Direktantriebsmotor mit herkömmlicher Drehzahlregelung erheblich, wie in Abb. 4 und 5 gezeigt.

5. Geschwindigkeitsregelkreis

Die Drehzahlregelschaltung enthält eine Abtasthaltungsschaltung, die den Ausgang des Frequenzgenerators in eine elektrische Spannung umwandelt. Dies ist die Steuerspannung, die die Plattendrehzahl aufrechterhält.

³Diagramm aus der englischen Anleitung

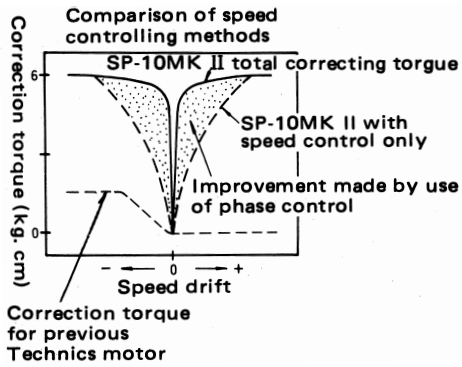


Abbildung 4: Korrekturmoment versus Drift³

Comparison of stability against load variations.

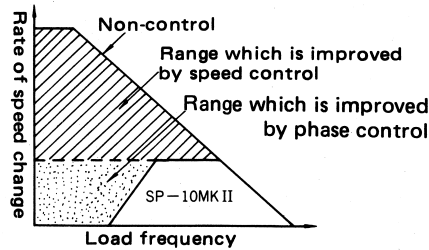


Abbildung 5: Geschwindigkeitsdrift bei Lastschwankungen³

6. Antriebskreis

Die beiden Steuersignale werden zusammengesetzt und an die Antriebsschaltung angelegt, um die Drehung des Motors zu stabilisieren. Die Ansteuerschaltung liefert einen Vollwellenantriebsstrom, der den Wirkungsgrad verdoppelt. Es liefert Antriebsstrom in beide Richtungen für eine symmetrische Drehung in Vorwärts- oder Rückwärtsrichtung beim Bremsen. Der Antriebskreis dreht den Plattenteller mit schneller Reaktion und großem Anlaufdrehmoment.

7. Start/Stop-Schaltung

Wenn das Laufwerk mit der Start-/Stopptaste an der Vorderseite oder über die Fernbedienung gestartet wird, aktiviert die Start/Stop-Schaltung den Vorwärtsantrieb. Wenn das Laufwerk gestoppt wird, aktiviert der Start/Stop-Schaltkreis den Rückwärtsantrieb und den mechanischen Bremsbetätigungskreis, um einen Schnellstopp auszuführen.

8. Mechanischer Bremsbetätigungskreis

Der mechanische Bremsbetätigungskreis betätigt einen Hubmagneten, der ein Bremsband um den inneren Plattenteller anzieht. In Verbindung mit dem Rückwärtsantriebsstrom kann die mechanische Bremse den Plattenteller sehr schnell (0,3 s) zum Stillstand bringen. Die halbe Bremskraft bleibt erhalten, nachdem der Plattenteller angehalten hat, um das genaue Auffinden einer Plattenstelle zu erleichtern.

iii. Messwerte

Ein Entwicklungsziel für das Laufwerk SP-10 Mk II war es, in allen relevanten Parametern die Möglichkeiten der Schallplatte selbst um mindestens eine Größenordnung zu übertreffen.

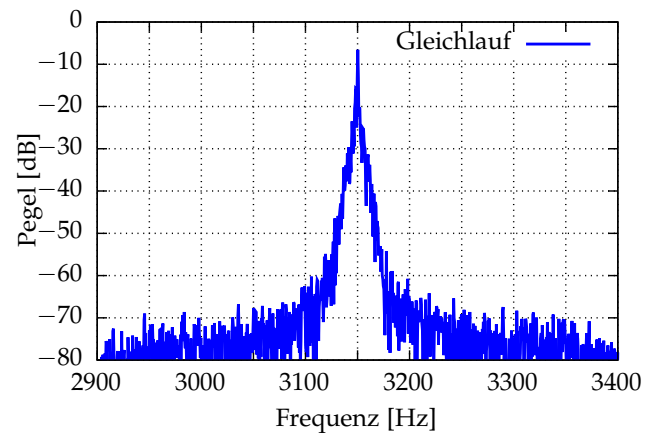


Abbildung 6: Gleichlaufspektrum

Das ist gelungen, weil es im Antrieb des Plattentellers nur ein Lager und nur eine bewegte Komponente gibt, welche in höchster Präzision hergestellt wurden. Das gemessene Gleichlaufspektrum zeigt deshalb lediglich die Grenzen der verwendeten Gleichlauf-Mess-Schallplatte nach DIN 45 545 auf, siehe Abbildung 6.

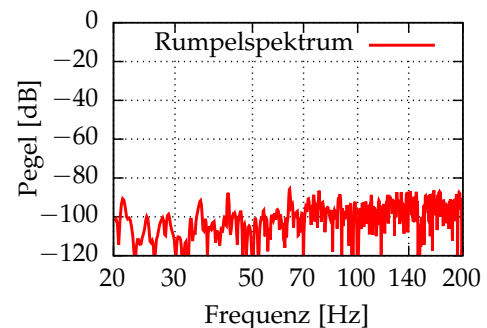


Abbildung 7: Rumpelspektrum

Ähnlich sieht es mit dem Rumpelgeräuschspannungsabstand aus, eine Messung mit der Rumpel-Mess-Schallplatte nach DIN 45 544 zeigt im Wesentlichen nur die Artefakte der Messplatte selbst, siehe Abbildung 7.

Jedes Laufwerk wird in der Produktion des Plattenspielers aie.de 751 gemessen und die Messwerte werden archiviert, um sicherzustellen, dass jeder gebaute Plattenspieler frei von Mängeln ist.

IV. TONARM JELCO TK-850S



Abbildung 8: Tonarm des aie.de 751 mit Tonabnehmer⁴

i. Auswahl

Für den Plattenspieler 751 wurden Tonarme mehrerer Hersteller messtechnisch und klanglich unter die Lupe genommen. Die Wahl fiel auf ein kurzes 9"-Modell mit Schneidenlager.

Bei konstanter Kraft wächst die Durchbiegung einer Stange (Tonarmrohr) kubisch mit der Länge. Ein 12"-Tonarm wird bei gleicher Kraft $2,35 \times$ mehr durchgebogen als ein 9"-Tonarm. Weil Steife das Grundkonzept des Plattenspielers aie.de 751 ist, wurde dieser Vorteil als wichtiger angesehen als die durch längere Tonarme mögliche leichte Verbesserung des Spurfehlwinkels.

ii. Verarbeitung

Das vertikale Lager aus Hartstahl mit handgefertigter Präzisions-Messerkante gewährleistet geringste Reibung. Schneidenlager werden seit den 1970er-Jahren im Tonarmbau verwendet, sie bieten minimale Reibung bei wartungsfreier Langzeitstabilität.

Die Kombination verschiedener Metalle sorgt für eine gute Schwingungsdämpfung. Der Tonarmkopf (Headshell) besteht aus Magnesium und verfügt über eine Spannzange zur Einstellung des Azimuts. Das zweiteilige Gewicht besteht aus einer Hülse und einem auf dieser verschiebbaren Gewicht, so dass mit einem Gewicht Tonkopfgewichte (inkl. System) von 17–35 g ausbalanciert werden können.

iii. Tonarmresonanz

Der Tonarm Jelco TK-850S gehört zu den mittelschweren Armen mit einer bewegten Masse von 13,5 g. Zusammen mit der Dämpfung und der Nadelnachgiebigkeit des Tonabnehmers ergibt sich eine Resonanz, für die ein Bereich von 8 Hz–12 Hz empfohlen wird.

Zusammen mit der Abstimmung des ausgesuchten Tonabnehmers Ortofon Cadenza Bronze liegt die Resonanz des Tonarmes im Plattenspieler aie.de 751

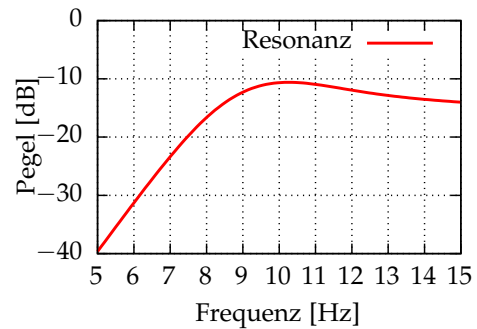


Abbildung 9: Tonarmresonanz mit Ortofon Cadenza Bronze

bei sehr guter Resonanzdämpfung mit 10 Hz genau in der Mitte des empfohlenen Bereiches, siehe Abbildung 9. Diese Messung ist bei jedem Plattenspieler Bestandteil der Endkontrolle.

iv. Klang

Bei unseren Tests setzte sich der Jelco TK-850S gegen teilweise vielfach teurere Konstruktionen durch, was auch dem Preis des Plattenspielers zugute kam.

Keiner der getesteten Tonarme fügte an dem Plattenspieler aie.de 751 weniger Eigenklang hinzu, nach Ansicht unserer Techniker ist das dem Schneidenlager und dem steifen, sehr gut bedämpften Tonarmrohr zu verdanken.

V. TONABNEHMER ORTOFON CADENZA BRONZE



Abbildung 10: Tonabnehmer mit Replicant-100-Schliff⁵

i. Dynamik

Schallplatten können eine Dynamik von bis zu 73,5 dB übertragen [2]. Um das ausnutzen zu können, muss eine Plattenabspielanlage mindestens 10 dB besser sein, mithin mindestens 83,5 dB Rauschabstand relativ zur Ausgangsspannung des Tonabnehmers bei Bezugsschnelle bieten.

Weil Tonabnehmer durch den Wirkanteil ihrer Impedanz bereits selbst signifikant rauschen, kann nur mit wenigen Tonabnehmern diese Anforderung erfüllt werden.

⁴Werkbild aie.de

⁵Mit freundlicher Genehmigung von Ortofon

In Abbildung 11 sind mit roten Kreuzen die Impedanz/Ausgangsspannungs-Paare verschiedener marktgängiger Tonabnehmer bei Betrieb an einem der rauschärmsten MC-Vorverstärker markiert. Die meisten Kreuze liegen unterhalb der Linie für $-83,5$ dB Rauschabstand.

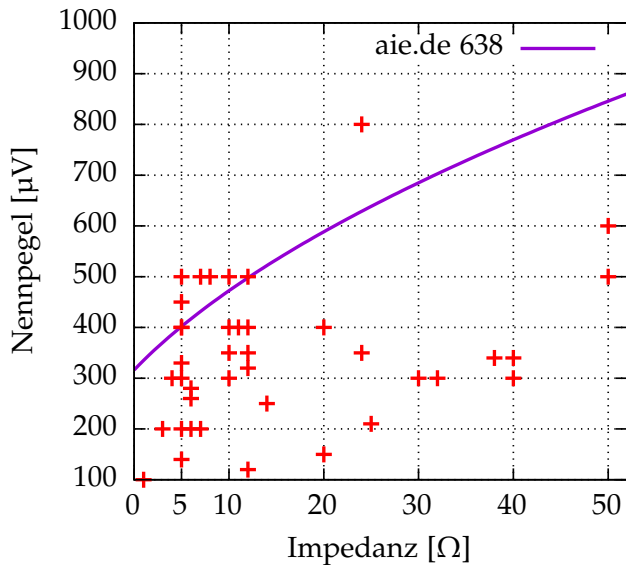


Abbildung 11: Grenzlinie für $-83,5$ dB Rauschabstand

Nähere Details hierzu finden sich in Literaturhinweis [2], hier seien nur exemplarisch die Mindestübertragungsmaße bei Bezugsschnelle für ein paar Tonabnehmerimpedanzen in Tabelle 1 genannt.

Impedanz	Spannung
5Ω	$0,4 \text{ mV}$
20Ω	$0,6 \text{ mV}$
32Ω	$0,7 \text{ mV}$

Tabelle 1: Mindestspannungen für MC-Tonabnehmer

Tonabnehmer mit geringeren Ausgangsspannungen bei Bezugsschnelle (5 cm s^{-1}) erreichen unabhängig vom verwendeten Verstärker schon wegen ihres Eigenrauschens nicht den geforderten Rauschabstand.

Die Wahl fiel auf den Tonabnehmer Ortofon Cadenza Bronze, weil dieser neben den geforderten $0,4 \text{ mV}$ Ausgangsspannung eine Nadel mit dem fortschrittlichen Replicant-100-Schliff verfügt. Dieser Nadelschliff wird bis in die höchsten Preisklassen eingesetzt.

ii. Frequenzgang

Viele hundert Stunden Hörvergleiche mit Tonabnehmern aus dem Marktumfeld ergaben an dem Plattenspieler 751 mit dem Cadenza Bronze den besten Klang. Dabei wurde über alle wesentlichen Musikrichtungen verglichen.

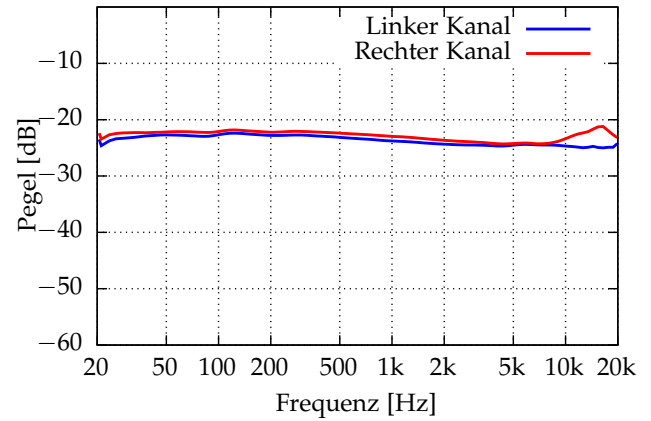


Abbildung 12: Am Plattenspieler gemessene Frequenzgänge

Den gemessenen Frequenzgang zeigt Abbildung 12, wobei auch Artefakte der Messplatte sichtbar werden. Die minimale Präsenzenke passt zum neutralen Charakter des Tonabnehmers und ist beabsichtigt.

An jedem Plattenspieler aie.de 751 werden bei der Produktion die Frequenzgänge gemessen und im Messprotokoll festgehalten.

iii. Montage am Tonarm



Abbildung 13: Tonabnehmerschrauben aus Edelstahl mit Elastomerdämpfung

Im Tonabnehmerkopf (Headshell) treffen eine Montageplatte aus Magnesium auf einen Tonabnehmer im zweiteiligen Gehäuse aus Aluminium und Edelstahl. Für die permanent unter Zugspannung stehenden Tonabnehmerschrauben setzt aie.de elastomerbedämpfte Edelstahlschrauben aus eigener Fertigung ein. Dadurch werden unerwünschte Schwingungen im oberen Audio-Frequenzbereich an den Kontaktstellen zwischen Tonabnehmer und Trägerplatte gedämpft.

LITERATUR

- [1] Bedienungsanleitung des Plattenspielers 751.
- [2] Zum Rauschen von Tonabnehmern und Phonoverstärkern