

# Zum Rauschen von Tonabnehmern und Phonoverstärkern

MICHAEL ALTMANN\*  
Altmann Industrieelektronik GmbH  
ma@aie.de

7. Oktober 2020

## Zusammenfassung

*Welche Rauschabstände können Schallplatten, Tonabnehmer und Phonoverstärker erreichen? Welche Anforderungen sind sinnvoll? Auch lassen sich Angaben über Rauschabstände aus verschiedenen Quellen in der Regel nicht miteinander vergleichen. Warum dies so ist, welche Konventionen existieren und welche Rauschabstände praktisch möglich sind, soll hier kurz betrachtet werden.*

### I. EINFÜHRUNG

Tonabnehmer müssen für eine gute Wiedergabequalität die bewegten Massen minimieren, damit steht für die Erzeugung eines elektrischen Signales nur eine geringe Energiemenge zur Verfügung. Deshalb können von Tonabnehmern nur sehr kleine Spannungen und Ströme abgegeben werden.

Die Notwendigkeit, einen guten Signal-/Rauschabstand zu erzielen, stellt hohe Anforderungen an die Elektronik von Phono-Vorstufen. Käufer von solchen Geräten wissen, dass ein niedriges Rauschen für den ungestörten Musikgenuss wichtig ist, und vergleichen deshalb die entsprechenden Angaben in Herstellerprospekten und HiFi-Fachmagazinen.

Obwohl es eine Vorschrift zur Ermittlung des Rauschens von Phono-Vorstufen gibt [1], sind manche Hersteller bei der Umsetzung von Messungen erfinderisch, um die eigenen Produkte besser als die der Mitbewerber aussehen zu lassen. Das geht bis hin zu Angaben wie z. B.  $-160$  dBV für das äquivalente Eingangsrauschen. Solche meistens mit kurzgeschlossenem Eingang gemessenen Werte lassen keinen näheren Rückschluss auf das tatsächliche Rauschen mit realen Tonabnehmern zu.

Fachzeitschriften bemühen sich mehr um Objektivität, benutzen aber auch leicht unterschiedliche Konventionen, was einen Vergleich zwischen Messungen verschiedener Publikationen erschwert. Hinzu kommen Schwierigkeiten mit der Messung bei geringen Spannungen an sich, je nach Umgebung können unterschiedliche Störgrößen, insbesondere Brummen, in den Messaufbau einstreuen. Abweichungen in der Größenordnung von ca. 1 dB lassen sich auch mit guten Messgeräten kaum vermeiden.

### II. NORMEN

Die technischen Parameter für die Schallplatte und Schallplattenwiedergabegeräte sind in der deutschen Ausgabe der IEC 98 festgelegt [2]. Diese Norm hat den Status „gültig“.

Die Norm fordert von Plattenspielerherstellern die Angabe des Rumpel- und Brummspannungsabstandes. Der Rauschabstand wird in der Norm nicht erwähnt, dafür wird die IEC 581-3 zitiert, welche inhaltlich der alten DIN 45 500-3 (zurückgezogen) respektive der DIN IEC 60581-3 (Entwurf, ebenfalls zurückgezogen) [3] entspricht.

Für Messungen an Verstärkern gibt es den Standard CEA-490-A [1], welcher für Messungen an Phonoeingängen entsprechende Werte für Bezugspegel, Abschlussimpedanz und Bewertungsfiler vorgeschlägt.

### III. KONVENTIONEN

#### i. Phono-MM-Eingang

Der zitierten DIN IEC 60 581-3 lässt sich entnehmen, dass sich Rauschabstände auf eine Sinusspannung von  $5 \text{ mV}_{\text{eff}}$  und 1 kHz am Eingang beziehen sollen. Das entspricht dem üblichen Ausgangspegel vieler „Moving Magnet“ (MM)-Tonabnehmer und auch den Empfehlungen des CEA-490-A.

Das menschliche Ohr ist für verschiedene Frequenzen unterschiedlich empfindlich, deshalb werden Rauschabstände meistens mit Bewertungsfiltren gewichtet. Damit bilden die Messwerte den subjektiven Eindruck vom Rauschen besser ab. Es gibt unterschiedliche Bewertungskurven für verschiedene Zwecke. Für Messungen in der Elektroakustik hat sich der Filtertyp „A“ weitgehend durchgesetzt. Er ist im Anhang E der Norm DIN EN 60 672 [4] beschrieben.

---

\*Geschäftsführender Gesellschafter

Gemäß CEA-490-A [1] wird mit einem Quellwiderstand von  $1\text{ k}\Omega$  gemessen. Diese Messung ist einfach durchzuführen und liefert gute Prospektwerte, entspricht aber nicht der Praxis. Deshalb messen insbesondere die Labors von Fachzeitschriften zusätzlich mit dem sogenannten MM-Normsystem, für das aber keine verbindliche Norm existiert. In der Regel wird damit ein Tonabnehmer-Ersatznetzwerk, bestehend aus einer Serienschaltung einer Induktivität mit  $500\text{ mH}$  mit einem  $1\text{-k}\Omega$ -Widerstand und parallel zu der Anordnung ein  $125\text{-pF}$ -Kondensator (Netzwerk 1), bezeichnet, auch leicht abweichende Werte, wie z. B.  $480\text{ mH}/1,3\text{ k}\Omega/185\text{ pF}$  (Netzwerk 2), sind in Gebrauch.

Mit dem Ersatznetzwerk erhält man bei der Messung praxisgerechte Werte, weil sein Impedanzverlauf dem üblicher MM-Tonabnehmer nahe kommt. Die Rauschabstände sind mit dieser Messung einige dB ungünstiger als die mit  $1\text{-k}\Omega$ -Abschluss, deshalb findet man entsprechende Messwerte in Herstellerprospekten nur relativ selten.

Manche Hersteller messen auch einfach mit kurzgeschlossenem Eingang, dann sind die Rauschabstände besonders gut. Dass mit  $0\text{ }\Omega$  Quellimpedanz gemessen wurde, wird dabei nicht immer erwähnt.

## ii. Phono-MC-Eingang

„Moving Coil“(MC)-Tonabnehmer wurden eingeführt, um die bewegte Masse gegenüber MM-Tonabnehmern weiter zu reduzieren. Außerdem hängt ihr Frequenzgang im Hochtonbereich nicht von den Kapazitäten von Kabel und Verstärkereingang ab. Sie sind nicht genormt.

Verschiedene MC-Tonabnehmer weichen in ihren elektrischen Werten stärker voneinander ab als MM-Tonabnehmer. Es sind Werte von unter  $1\text{ }\Omega$  bis über  $50\text{ }\Omega$  in Gebrauch.

Um typischen Tonabnehmern zu entsprechen, wird für die Messung des Rauschabstandes oft ein Quellwiderstand von  $20\text{ }\Omega$  und ein Referenzpegel von  $0,5\text{ mV}_{\text{eff}}$  verwendet. Die CEA-Norm 490-A [1] hat eine Quellimpedanz von  $10\text{ }\Omega$ , ebenfalls bezogen auf  $0,5\text{ mV}_{\text{eff}}$ , vorgesehen.

Hierbei ist zu beachten, dass hochwertige MC-Tonabnehmer einen geringeren Pegel liefern und der Rauschabstand in der Praxis dadurch ungünstiger ausfällt, als die technischen Daten des MC-Vorverstärkers suggerieren.

## IV. EIGENRAUSCHEN VON TONABNEHMERN

Zunächst soll betrachtet werden, welche Rauschabstände mit einem (hypothetischen) rauschfreien Phono-Verstärker erreicht werden könnten, wenn dieser nur das thermische Eigenrauschen des Tonabnehmers verstärken würde. Diesem Wert können sich

reale Phono-Verstärker annähern, ihn aber nicht ganz erreichen oder gar überschreiten.

Der Wirkanteil  $R$  der Quellimpedanz  $Z$  eines Tonabnehmers erzeugt durch die thermische Bewegung der Ladungsträger eine Rauschspannung in Höhe von (Nyquist-Formel)

$$u_r = \sqrt{4 k T_0 B R}$$

mit:

$u_r$ : Rauschspannung (Effektivwert)

$k$ : Boltzmann-Konstante

$$k = 1,380\,649 \cdot 10^{-23} \text{ m}^2 \text{ kg s}^{-2} \text{ K}^{-1}$$

$T_0$ : Temperatur in Kelvin

$B$ : Bandbreite ( $20\text{--}20\,000\text{ Hz}$ )

$R$ : Realteil der Impedanz  $Z$  des Tonabnehmers

Zur einfacheren Einbeziehung von Entzerrung und Bewertungfilter kann man auf der  $j\omega$ -Achse in der  $s$ -Ebene (Laplace-Bereich) integrieren:

$$u_r = \sqrt{\frac{2}{\pi} k T_0 \Im \left[ \int_u^o Z(s) ds \right]} \quad (1)$$

mit (man beachte: Operator  $s \neq$  Einheit  $s$ ):

$u$ : Untere Frequenzgrenze } in  $j \frac{\text{rad}}{\text{s}}$

$o$ : Obere Frequenzgrenze }

$\Im$ : Imaginärteil von [...]

$Z(s)$ : Impedanz des Tonabnehmers

Diese Rauschspannung muss mit dem IEC-Frequenzgang der Entzerrung und dem Bewertungsfrequenzgang gewichtet werden.

Für den IEC-Frequenzgang erhält man aus [2] umgeschrieben für die  $s$ -Ebene

$$F(s) = \frac{1 + \frac{1}{t_2 s}}{(1 + t_1 s) \left(1 + \frac{1}{t_3 s}\right) \left(1 + \frac{1}{t_4 s}\right)}$$

oder als Einfachbruch

$$F(s) = \frac{(1 + t_2 s) t_3 t_4 s}{(1 + t_1 s) t_2 (1 + t_3 s) (1 + t_4 s)}$$

mit den Zeitkonstanten<sup>1</sup>

$$t_1 = 75\text{ }\mu\text{s}$$

$$t_2 = 318\text{ }\mu\text{s}$$

$$t_3 = 3180\text{ }\mu\text{s}$$

$$t_4 = 7950\text{ }\mu\text{s}$$

<sup>1</sup>Während in Deutschland für Phonoeingänge der IEC-Frequenzgang aus [2] genormt ist, ist im angelsächsischen Sprachraum noch verbreitet die RIAA-Entzerrung üblich, der die Zeitkonstante  $t_4$  fehlt.

und für das A-Bewertungsfilter aus [4]:

$$B(s) = \frac{7,39705 \cdot 10^9 s^4}{(s + 129,4)^2 (s + 676,7) (s + 4636) (s + 76655)^2}$$

Die IEC-entzerrte und A-bewertete Rauschspannung der Quellimpedanz kann dann mit

$$u_r = \sqrt{\frac{2}{\pi} k T_0 \Im \left[ \int_u^o Z(s) |F(s)|^2 |B(s)|^2 ds \right]} \quad (2)$$

berechnet werden. Abbildung 1 zeigt die Frequenzgänge von IEC-Entzerrung, A-Bewertungsfilter sowie deren Gesamtwirkung.

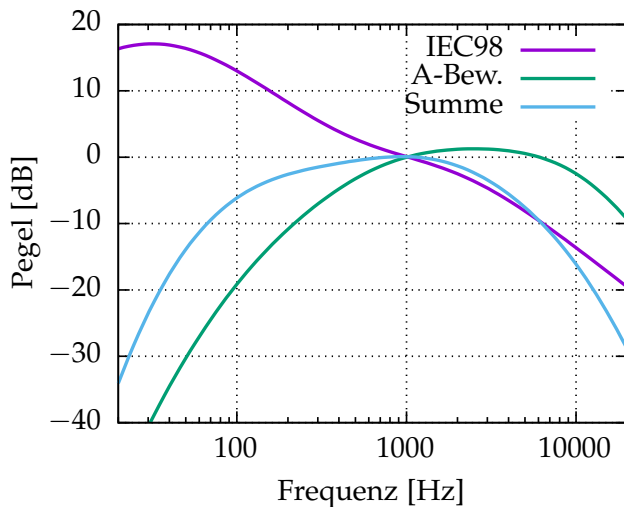


Abbildung 1: Frequenzgang der Rauschgewichtung

### i. Eigenrauschen von MM-Tonabnehmern

Die Rauschspannung  $u_r$  von MM-Tonabnehmern erhält man durch Auswertung von Gleichung 2, bei der Berechnung wurden für  $u$  und  $o$  20 Hz bzw. 20 kHz (jeweils auf die  $j\omega$ -Achse umnormiert) eingesetzt, für  $T_0$  27 °C (= 300,15 K) und für die Boltzmann-Konstante  $k$  der aktuelle SI-Wert.

Die Tabelle 1 listet die errechneten Werte zusammen mit den auf 5 mV Eingangspegel bezogenen Rauschabständen auf.

Impedanz	$u_r$ [nV]	S/N [dB]
1 kΩ    47 kΩ	230,654	-86,7
Netzwerk 1    47 kΩ	442,774	-81,1
Netzwerk 2    47 kΩ	463,636	-80,7

Tabelle 1: Eigenrauschen von MM-Tonabnehmern

Die erste Zeile zeigt das Eigenrauschen eines 1-kΩ-Widerstandes, die Konfiguration, in der meistens die Rauschabstände von MM-Phonoeingängen gemessen werden.

Die Zeilen zwei und drei zeigen das Eigenrauschen der bereits erwähnten MM-Ersatznetzwerke mit 480 mH/1,3 kΩ/185 pF (Netzwerk 1) und 480 mH/1,3 kΩ/185 pF (Netzwerk 2). Der Unterschied von 0,4 dB ist gering, weshalb man ältere Messungen, welche mit Netzwerk 1 gewonnen wurden, durchaus mit aktuelleren Werten (Netzwerk 2) vergleichen kann.

Das deutlich höhere Rauschen des MM-Ersatznetzwerks am 47-kΩ-Abschluss kommt von der transformierenden Wirkung des sich so ergebenden LC-Anpassnetzwerkes.

Bei dieser Rechnung wurde nur die Kapazität des MM-Ersatznetzwerks (1) von 125 pF berücksichtigt. In realen HiFi-Anlagen kommen die Kapazitäten von Kabel und Phonoeingang hinzu, sie liegen praktisch immer deutlich über den 125 pF des Ersatznetzwerke. Dadurch sinkt die Resonanzfrequenz und mehr Rauschenergie wird von dem LC-Anpassglied in den für das Ohr empfindlichen Frequenzbereich verschoben, siehe Abbildung 1.

Wie sich die Rauschspannung, angegeben als Rauschabstand bezogen auf 5 mV<sub>eff</sub>, mit der Kabel- und Eingangskapazität verändert, zeigt Abbildung 2.

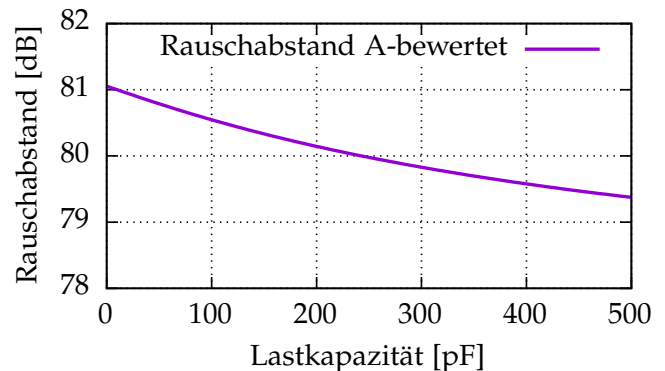


Abbildung 2: MM-Rauschabstand versus Kapazität

Für hohe Kapazitäten steigt das Rauschen auf Werte über -80 dB. Neben dem nachteiligen Einfluss auf den Frequenzgang ist das ein weiterer guter Grund, Kabel- und Eingangskapazitäten gering zu halten.

### ii. Eigenrauschen von MC-Tonabnehmern

Bei MC-Tonabnehmern überwiegen die Wirkanteile der Impedanzen, so dass die Rauschabstände sich hier einfacher ermitteln lassen. Das macht Diagramme wie Abbildung 3 möglich.

Die Tabelle 2 zeigt die mit Gleichung 2 errechneten Werte für einige gebräuchliche Impedanzen.

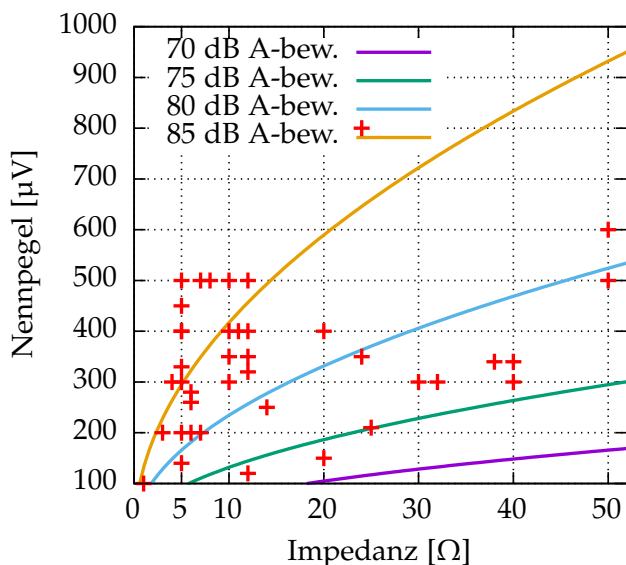
Die in der dritten Spalte angegebenen theoretisch möglichen Rauschabstände beziehen sich auf eine Eingangsspannung von 0,5 mV<sub>eff</sub>.

Impedanz	$u_r$ [nV]	S/N [dB]
$32 \Omega \parallel 100 \Omega$	36,3082	-82,8
$20 \Omega \parallel 100 \Omega$	30,1052	-84,4
$10 \Omega \parallel 100 \Omega$	22,2342	-87,0
$5 \Omega \parallel 100 \Omega$	16,0919	-89,8

**Tabelle 2:** Eigenrauschen von MC-Tonabnehmern

Theoretisch wären mit niederohmigeren Tonabnehmern bessere Rauschabstände denkbar, was in Zeile vier besonders deutlich wird. In der Praxis stehen dem die Wicklungswiderstände des Übertragers oder die Widerstände in der Verstärkerschaltung entgegen. Hinzu kommt, dass so niederohmige Tonabnehmer überwiegend geringere Ausgangsspannungen als  $0,5 \text{ mV}_{\text{eff}}$  liefern.

Den Zusammenhang zwischen Ausgangsspannung bei Bezugsschnelle, Impedanz und sich ergebender Rauschabstand für die jeweilige Empfindlichkeit des MC-Tonabnehmers zeigt Abbildung 3.



**Abbildung 3:** MC-Rauschabstände versus Impedanz/Pegel

Die roten Kreuze markieren die Kombination aus Impedanz und Ausgangsspannung einiger markt gängiger MC-Tonabnehmer. Abbildung 3 berücksichtigt nur das Eigenrauschen der Tonabnehmer, in der Praxis kommt noch das Rauschen der Verstärkerelektronik hinzu. Wer auf niedriges Rauschen Wert legt, wählt Tonabnehmer, deren Wertekombinationen oberhalb der 85-dB-Linie liegen. Zusammen mit sehr guten MC-Vorverstärkern ist dann der in Abschnitt V erläuterte Mindestrauschabstand von  $-83,5 \text{ dB}$  erreichbar.

## V. PRAKTISCH ERREICHBARE WERTE

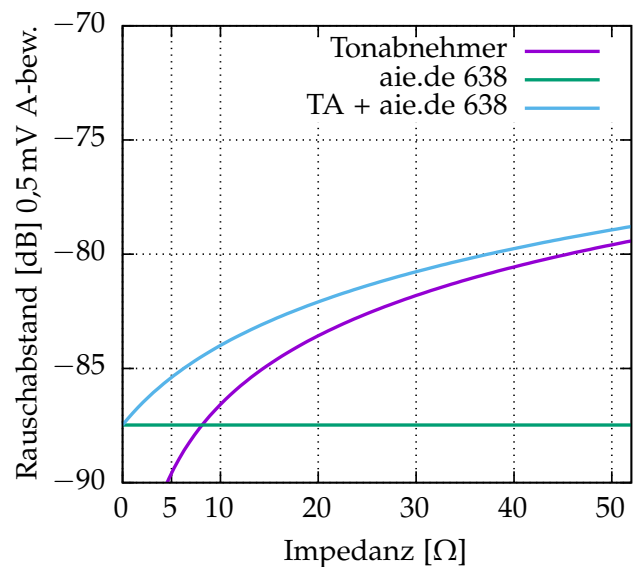
Die in den Tabellen 1 und 2 gezeigten Werte werden von Phonovorverstärkern nicht erreicht, weil zu

dem Rauschen des Tonabnehmers noch das Eigenrauschen des Verstärkers hinzukommt<sup>2</sup>.

Mit integrierten Schaltungen kann man sich den errechneten Maximalwerten auf bis zu ca. 3 dB annähern, mit aus diskreten Einzelhalbleitern aufgebauten Schaltungen bis auf ca. 1 dB [5].

Eine Single oder eine Maxi-45-Langspielplatte kann bei Herstellung im DMM-Verfahren einen Abwerteten Rauschabstand von bis zu  $-73,5 \text{ dB}$  haben [6].

In den gehobenen Preisklassen wird verlangt, dass das Rauschen der Abspielanlage diesen Wert nicht wahrnehmbar, also nicht mehr als etwa 1 dB, erhöht. Dazu muss der Signal/Rauschabstand mindestens 10 dB besser als dieser Wert sein, mithin besser als  $-83,5 \text{ dB}$ .



**Abbildung 4:** Möglicher Rauschabstand über Impedanz

Abbildung 4 zeigt das Widerstandsrauschen eines MC-Tonabnehmers, eines MC-Vorverstärkers mit kurzgeschlossenem Eingang und den kombinierten Rauschabstand bei Abschluss der Verstärkereinganges mit dem Tonabnehmer. Diese Kurven beziehen sich auf  $0,5 \text{ mV}$  Bezugspegel, bei den meistens kleineren Ausgangspegeln üblicher MC-Tonabnehmer fällt der Rauschabstand entsprechend geringer aus. Näheres dazu ist in Abschnitt iii.

### i. Phono-MM-Eingang mit $47\text{-k}\Omega$ -Widerstand

Mit einem MM-Tonabnehmer lassen sich die geforderten  $-83,5 \text{ dB}$  nicht erreichen, siehe Zeilen zwei und drei von Tabelle 1. Das Eigenrauschen eines typischen MM-Tonabnehmers an einer  $47\text{-k}\Omega$ -Last liegt deutlich über diesem Wert. Für hochwertige Wiedergabeanlagen ist die Kombination eines MM-

<sup>2</sup>Dieser Text behandelt nur das Wärmerauschen, das bei elektronischen Bauteilen außerdem auftretende Funkel-, Schrot- und Stromrauschen bleibt unberücksichtigt.

Tonabnehmers mit einem normalen Phonoeingang unter Rauschgesichtspunkten nicht zu empfehlen.

## ii. Phono-MM-Eingang mit aktiver Last

Ersetzt man den 47-k $\Omega$ -Widerstand des Phono-MM-Einganges durch eine elektronische Last, die natürlich weniger rauschen muss als der Widerstand, lassen sich theoretisch  $-85,4$  dB mit dem MM-Ersatznetzwerk erreichen.

Bei dem Phono-MM-Vorverstärker 636 von aie.de wurde deshalb eine elektronische Last anstelle des 47-k $\Omega$ -Widerstandes vorgesehen, der A-bewertete Geräuschspannungsabstand mit MM-Normsystem beträgt  $-84,1$  dB, mit 1-k $\Omega$ -Widerstand  $-85,9$  dB.

## iii. Phono-MC-Eingang

MC-Tonabnehmer variieren stark hinsichtlich Ausgangsspannung und Impedanz. Chancen, die geforderten  $-83,5$  dB Rauschabstand zu erreichen, hat man nur mit relativ hochpegeligen Tonabnehmern, welche gleichzeitig eine geringe Impedanz aufweisen, wie man durch einen Vergleich mit den theoretisch möglichen Werten in Tabelle 2 sehen kann.

Abbildung 5 zeigt noch einmal das Diagramm von Abbildung 3, dieses Mal ist aber die Grenzlinie für  $-83,5$  dB im Zusammenspiel mit einem rauscharmen MC-Vorverstärker (aie.de 638) eingezeichnet.

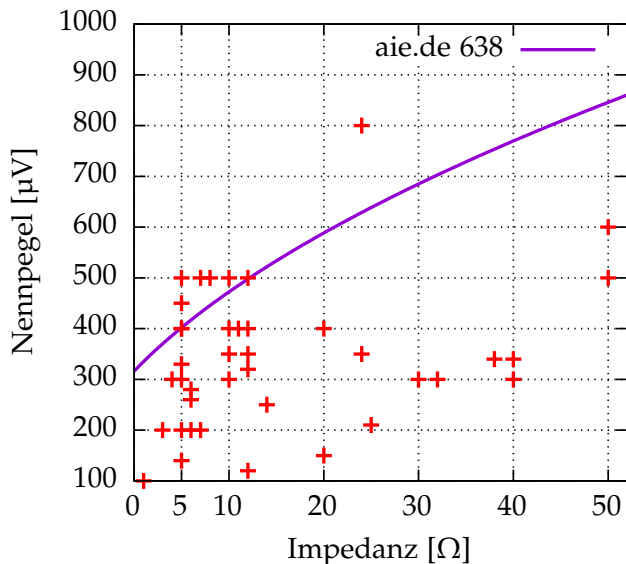


Abbildung 5: Grenzlinie für  $-83,5$  dB Rauschabstand

Tonabnehmer mit Wertekombinationen oberhalb der Grenzlinie erzielen einen Rauschabstand von mindestens  $-83,5$  dB.

Nur ein kleiner Teil der angebotenen MC-Tonabnehmer eignet sich dafür und auch dann wird dieser Wert nur mit den rauschärmsten Verstärkern erreicht.

## iv. MC-Übertrager

Ein MC-Übertrager ist eine rein passive Schaltung, aber dennoch nicht rauschfrei. Der Wirkanteil der Wicklungsimpedanzen hat ein relevantes Eigenrauschen, außerdem erzeugt der Blindanteil der komplexen Permeabilität des Übertragerkerns ebenfalls einen Rauschbeitrag. Letzterer ist frequenzabhängig und ohne Kenntnis der magnetischen Kennlinien des Kernmaterials nicht zu quantifizieren.

Bereits der Gleichstromwiderstand der Wicklungen erzeugt ein Rauschen in ähnlicher Höhe wie ein MC-Tonabnehmer. Er sollte deshalb eingangsseitig nicht über  $5 \Omega$  liegen, vergleiche Tabelle 2.

Mit einem 5- $\Omega$ -Tonabnehmer, gefolgt von einem MC-Übertrager aie.de 623 in Stellung 1 : 10 und einem Phono-MM-Vorverstärker aie.de 636, wurde ein Rauschabstand von  $-85,3$  dB ermittelt. Rechnet man den Bezugspegel auf 0,4 mV um (Beispiel: Ortofon Cadenza Bronze), bleiben  $-83,3$  dB.

Das ist hinsichtlich der geforderten  $-83,5$  dB hinreichend, die Differenz von 0,2 dB ist vernachlässigbar.

## VI. RAUSCHZAHL

In der Hochfrequenztechnik ist es üblich, das Rauschen einer aktiven Schaltung, z. B. eines Verstärkers, über die Rauschzahl zu spezifizieren. Sie gibt an, um wieviel stärker das Rauschen am Ausgang im Vergleich zu einem hypothetischen rauschfreien Verstärker ist. Sie wird meistens in [dB] angegeben.

Der Vorteil einer Rauschzahl ist die einfachere Beurteilung verschiedener Geräte, weil sie ein Maß dafür wäre, wie weit man vom theoretischen Optimum entfernt ist. Insbesondere ist die Rauschzahl auch unabhängig von variierenden Bezugspegeln, nur die Quellimpedanz ist ein wichtiges Maß, um einen transparenten Vergleichsmaßstab zu erhalten.

Damit die Rauschzahl mit dem Höreindruck korrespondiert, wäre auch hier eine gehörrichtige Bewertung, z. B. mit dem A-Bewertungsfiler, sinnvoll.

Die Rauschzahl erhält man, indem man von den dem gemessenen Rauschabstand den korrespondierenden theoretischen Rauschabstand aus Tabelle 1 oder 2 abzieht. In Abbildung 4 wäre das jeweils der vertikale Abstand zwischen dem blauen und dem violetten Graphen.

Die Tabelle 3 zeigt die Rauschzahlen für einige Geräte unter den hier vorgeschlagenen Messbedingungen.

## VII. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Marktteilnehmer und Tester verwenden unterschiedliche Messverfahren für den Rauschabstand von Phono-Vorverstärkern. Deshalb sind Messwerte aus

Gerät	Quelle	Rauschzahl [dB]
aie.de 636	1 k $\Omega$	0,9
aie.de 638	20 $\Omega$	1,5
aie.de 623 + 636	20 $\Omega$	2,1

**Tabelle 3:** Rauschzahlen von Phono-Vorverstärkern

verschiedenen Quellen in der Regel nicht miteinander vergleichbar. Hinzu kommt, dass die Messbedingungen oft nur teilweise oder gar nicht angegeben werden.

Die Marke aie.de wendet für Rauschspezifikationen die hier angegebenen Methoden an, genauso wie einige der auflagenstärkeren HiFi-Fachmagazine. Es wäre wünschenswert, die DIN IEC 60098 um MC-Tonabnehmer und Regeln für die Messung des Rauschabstandes zu erweitern.

Die Vereinbarung oder besser noch Normierung der folgenden Spezifikationen wird deshalb empfohlen.

#### i. Rauschmessungen an MM-Vorverstärkern

Die Rauschabstände sollten sich auf einen Eingangspegel 5 mV beziehen und mit IEC98-Entzerrung und A-Bewertungsfilter gemessen werden.

Verpflichtend sollten immer die Werte mit 1-k $\Omega$ -Widerstand und mit einem MM-Ersatznetzwerk angegeben werden. Optional als ergänzende Werte auch der Rauschabstand mit 100  $\Omega$ . Das erlaubt die Abschätzung des Rauschens mit MC-High-Output-Systemen.

#### ii. Rauschmessungen an MC-Vorverstärkern

Die Rauschabstände sollten sich auf einen Eingangspegel 0,5 mV beziehen und mit IEC98-Entzerrung und A-Bewertungsfilter gemessen werden.

Verpflichtend sollten immer der Wert mit 10- $\Omega$ -Widerstand gemäß CEA-490-A angegeben werden. Optional als ergänzende Werte auch der Rauschabstand mit geringeren und höheren Impedanzen. Das erlaubt die Abschätzung des Rauschens mit MC-Systemen entsprechender Impedanz.

#### iii. Wünschenswerte Rauschabstände

Die Kombination aus Tonabnehmer und Verstärker sollte einen Rauschabstand von  $-83,5$  dB oder besser haben, damit nur das Rauschen der Schallplatte selbst zu hören ist.

Mit Systemen, deren Werte dem MM-Ersatznetzwerk entsprechen, ist dieser Rauschabstand nicht erreichbar. Entweder muss ein MM-Tonabnehmer mit wesentlich geringerer Induktivität gewählt wer-

den oder ein Phono-MM-Vorverstärker mit aktiver Last anstelle des 47-k $\Omega$ -Widerstandes.

Entscheidend für das Hörerlebnis ist nicht der zur Vergleichbarkeit herangezogene Rauschabstand zu einem fixen Bezugspegel, sondern zu dem vom Tonabnehmer gelieferten Pegel bei Bezugsschnelle.

MC-Tonabnehmer mit niedrigen Ausgangsspannungen können die Forderung von Abschnitt V (mindestens  $-83,5$  dB) teilweise gar nicht erfüllen.

Wenn ein Tonabnehmer statt dem Bezugspegel von 0,5 mV z. B. nur einen Pegel von 0,2 mV bei Bezugsschnelle liefert, was  $\approx -8$  dB entspricht, kann man durch Umrechnung der Werte in Tabelle 2 sehen, dass das theoretische Maximum bei 20  $\Omega$  Quellimpedanz nur noch  $-76,4$  dB beträgt.

Bei 5  $\Omega$  Quellimpedanz wären es immerhin noch  $-81,1$  dB, vorausgesetzt, man verwendet einen bei dieser Impedanz noch mit geringem Eigenrauschbeitrag arbeitenden Phonovorverstärker. Dennoch werden mit so einem Tonabnehmer die geforderten  $-83,5$  dB nicht erreicht.

Vorwiegend sehr hochwertige Tonabnehmer haben so geringe Ausgangsspannungen, bei der Wahl eines solchen Systems muss man sich darüber im Klaren sein, dass man das durch die geringe bewegte Masse mögliche bessere Abtastverhalten gegen einen zusätzlichen Rauschbeitrag eintauscht.

MC-Tonabnehmer müssen bei 5  $\Omega$  Quellwiderstand mindestens 0,4 mV bei Bezugsschnelle liefern, damit ein Rauschabstand von  $-83,5$  dB in der Praxis erreicht werden kann. Die entsprechenden Werte für 20  $\Omega$  oder 32  $\Omega^3$  sind 0,6 mV bzw. 0,7 mV.

## LITERATUR

- [1] Consumer Electronics Association, CEA Standard CEA-490-A R-2008, Test Methods of Measurement for Audio Amplifiers, December 2001.
- [2] DIN IEC 60098:1989-10: Analoge Schallplatten und Abspielgeräte, identisch mit IEC 60098:1987.
- [3] DIN IEC 60581-3:1986-10 – Entwurf: Heimstudio-Technik (Hi-Fi); Mindestanforderungen; Schallplattenspieler und Abtaster.
- [4] DIN EN 61672-1:2014-07: Elektroakustik – Schallpegelmessung – Teil 1: Anforderungen (IEC 61672-1:2013), Deutsche Fassung der EN 61672-1:2013.
- [5] Douglas Self: Electronics for Vinyl. Routledge, New York, Oxon, 2018.
- [6] Burkhard Vogel: The Sound of Silence, 2nd Edition. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2011.

<sup>3</sup>Das sind häufig verwendete Impedanzen.