

Vaimennus – Allgemeine Anleitung

(iPhone/iPad/Android-Anwendungsdokumentation)

Version 1.004

25. maaliskuuta 2025



Änderungsverlauf

Datum	Version	Änderung
10.3.2025	1.004	Bilder und zugehörige Erläuterungen wurden entfernt

Datum	Version	Änderung
8.3.2025	1.003	Bildüberschriften wurden aktualisiert

Datum	Version	Änderung
7.3.2025	1.002	Kleine Änderungen bei der Bildanordnung

Datum	Version	Änderung
6.3.2025	1.001	Herstellungsprozess für Lederzylinderdämpfer hinzugefügt

Datum	Version	Änderung
28.2.2025	1.0	Erste Veröffentlichung

Inhaltsverzeichnis

Sisällys

Änderungsverlauf	2
Inhaltsverzeichnis	3
1 Begriffserklärungen	4
1.1 <i>Schwingung, Vibration, Mikrovibration:</i>	4
1.1.1 Begriffe zur Beschreibung der Schwingungsstärke	4
1.1.2 Schwingungskontrolle	4
2 Durch Schwingung verursachte Probleme in der Audiowiedergabe	5
3 Einführung in Kugeldämpfer-Behälter	7
4 Theoretische Hintergründe	8
5 Funktionsprinzip	8
6 Auswirkung der Kugeldämpfer im Einsatz	9
6.1 <i>Messergebnisse</i>	9
7 Materialien und Zubehör	11
8 Zur Auswahl der Kugeln	11
9 Herstellung von Dämpfern	12
9.1 <i>Herstellungsprozess eines ledernen Zylinderdämpfers</i>	16
10 Montage und Einsatzbereiche der Dämpfer	18
10.1 <i>Leichte Geräte</i>	19
11 Überprüfung der Wirkung	20
11.1 <i>REW-Software</i>	20
11.1.1 Measurement Info: SNR (Signal-to-Noise Ratio)	21
11.1.2 Measurement Info: SDR (Signal-to-Distortion Ratio)	21
11.1.3 Clarity: C80 (Music Clarity Index)	21
11.2 <i>Interpretation der Vibration Meter-Ergebnisse</i>	21
12 Erfahrungsberichte	22

1 Begriffserklärungen

1.1 Schwingung, Vibration, Mikrovibration:

1.1.1 Begriffe zur Beschreibung der Schwingungsstärke

- **Distortion, Verzerrung:**
Alles, was das Ursprungssignal verändert, abgesehen von der Lautstärke.
- **Noise, Rauschen:**
Unerwünschte, zusätzlich eingeschlichene und unregelmäßige elektrische oder elektromagnetische Energie, die die Qualität des Signals und der damit übertragenen Daten verschlechtert.
- **Harmonische Verzerrung:**
Unerwünschte Töne, die entstehen, wenn Schwingungen dem Signal zusätzliche Frequenzen hinzufügen.
- **Mikrofonie (Microphony):**
Phänomen, bei dem Komponenten durch Vibration einen unerwünschten Audiosignallanteil erzeugen.
- **Resonanz:**
Schwingung bei einer bestimmten Frequenz, die sich aufgrund einer Eigenfrequenz des Systems verstärkt.
- **„Singender Kondensator“:**
Eine Ursache für schlechte Tonqualität kann ein „singender Kondensator“ sein. Ein Kondensator beginnt „zu singen“, wenn der Restwelligkeitsstrom des Eingangssignals durch einen piezoelektrischen Effekt Schwingungen auslöst. Der akustische Lärm entsteht nicht direkt aus dem vibrierenden Kondensator, sondern indirekt, wenn der Kondensator die Leiterplatte (PCB) zum Schwingen bringt.

1.1.2 Schwingungskontrolle

Bei der Audiowiedergabe wirken Isolation, Entkopplung, Kopplung, Dämpfung und Dissipation jeweils auf ihre Weise, sind aber bei der Beherrschung von Schwingungen und der Optimierung der Klangqualität miteinander verwoben. Unten wird beschrieben, wie jede Methode funktioniert und welche Mechanismen dabei im Vordergrund stehen:

- **Isolation:**
Reduziert die Übertragung externer Schwingungen auf das Gerät. Weiche, elastische Materialien, z.B. Gummi-Kork, Silikon, Sorbothan. Beispiel: Stahlkugeln im Beutel oder Gehäuse, deren Boden aus derartigen Materialien besteht.
- **Entkopplung (Decoupling):**
Unterbricht den Ausbreitungsweg unerwünschter Schwingungen. Materialien oder Struk-

turen, die Komponenten voneinander trennen und die Energieübertragung reduzieren. Beispiel: Stahlkugeln im Beutel oder Gehäuse, plus Filzfüße unterhalb.

- **Kopplung (Coupling):**

Leitet Energie weiter. Die Kopplung an die Oberfläche reduziert die interne Resonanz des Geräts, indem Schwingungsenergie zur Dämpfung und Verteilung abgeführt wird. Beispiel: Stahlkugelbeutel direkt an der Geräteunterseite, ohne die ursprünglichen Gerätefüße.

- **Dämpfung (Damping):**

Absorbiert und reduziert Resonanzen. Materialien, die Schwingungsenergie an Resonanzfrequenzen binden und so die Schwingungen unterdrücken. Beispiel: Stahlkugeln in Beutel oder Gehäuse.

- **Dissipation (Hajotus):**

Zerstreut und wandelt Schwingungsenergie um. Materialien und Granulate (z.B. Kugeln), die Energie in Wärme umwandeln und großflächig verteilen. Beispiel: Stahlkugeln in Beutel oder Gehäuse.

2 Durch Schwingung verursachte Probleme in der Audiowiedergabe

Vibrationen können in Audiogeräten vielfältige Probleme verursachen, die die Klangqualität beeinträchtigen und die Funktionsweise der Geräte stören. Hier die wichtigsten Probleme:

1. Harmonische Verzerrung (Distortion)

Problem:

Schwingungen können zusätzliche harmonische Frequenzen erzeugen, die nicht zum ursprünglichen Ton gehören. Beispielsweise kann das Gehäuse eines Lautsprechers Resonanzen aufweisen, die unerwünschte Frequenzen hinzufügen.

Auswirkung:

Das Klangbild wird unscharf, diffus und „verzerrt“. Harmonische Verzerrung wirkt sich besonders stark im Tieftonbereich aus, wo Schwingungen häufig auftreten.

2. Rauschen (Noise)

Problem:

Mechanische Vibrationen können niederfrequentes Rauschen erzeugen, das das ursprüngliche Audiosignal überdeckt. Beispielsweise kann bei einem Plattenspieler die Vibration an die Nadel übertragen werden und Brummen oder andere Störungen verursachen.

Auswirkung:

Rauschen kann das Hörerlebnis ruinieren, besonders in leisen Musikpassagen.

3. Resonanzen

Problem:

Gehäuse von Audiogeräten, Regale oder Ständer können bei bestimmten Frequenzen in Resonanz geraten und unerwünschte Töne verstärken. Lautsprecher können Vibrationen auf Boden oder Wände übertragen, was wiederum Raummoden erzeugt. Gehäuse-schwingungen im Lautsprecher können den Klang verfärben und die Klarheit verschlechtern.

Auswirkung:

Bässe können ungleichmäßig und überbetont werden. Der gesamte Frequenzgang kann sich verfälschen.

4. Störungen bei elektrischen Komponenten

Problem:

Vibrationen können sich auf Bauteile wie Kondensatoren, Spulen und Leiterplatten in Audiogeräten übertragen. Das kann zu Instabilitäten führen, etwa Verzerrungen oder Aussetzern.

Auswirkung:

Die Funktionsweise des Geräts verschlechtert sich, und das Audiosignal kann Knackser oder andere Störungen aufweisen.

5. Signalverschlechterung in Plattenspielern

Problem:

Vibration kann die Bewegung der Plattenspieler-Nadel beeinträchtigen, sodass sie die Rille nicht sauber abtastet. Dadurch entstehen zusätzliche Verzerrungen und Rauschen.

Auswirkung:

Das Audio klingt verfälscht und kann Brummen oder Rumpeln enthalten.

6. Ungenauigkeit der Lautsprechertreiber

Problem:

Schwingungen können sich auf die Treiber eines Lautsprechers übertragen und deren Bewegung stören, was die Klangwiedergabe beeinträchtigt. Die Treiber sollten sich genau entsprechend dem Signal bewegen, Vibrationen können jedoch zu unsymmetrischen oder zusätzlichen Bewegungen führen.

Auswirkung:

Im Bassbereich können Ungenauigkeiten entstehen, die räumliche Darstellung leidet und Rauschen kann steigen. Das Klangbild wird unschärfer, der Klang weniger präzise.

7. Akustische Störungen im Raum

Problem:

Vibrationen von Geräten oder Möbeln können sich auf die Raumakustik auswirken und zu Unregelmäßigkeiten im Bass- oder anderen Frequenzbereichen führen.

Auswirkung:

Die akustische Balance leidet, und Musik klingt weniger natürlich.

8. Verschleiß und Beschädigung von Bauteilen

Problem:

Länger anhaltende Vibrationen können mechanischen Verschleiß in Audiogeräten verursachen, z.B. gelockerte oder gebrochene Lötstellen.

Auswirkung:

Die Lebensdauer der Geräte verkürzt sich, Reparaturen werden öfter nötig.

9. Mikrofonie (Microphony)

Problem:

Bei einigen elektronischen Bauteilen wie Röhrenverstärkern oder Kondensatoren können Schwingungen einen Mikrofonieeffekt auslösen, sodass Schwingung in ein unerwünschtes Audiosignal umgewandelt wird. Z.B. führen Vibrationen von Kondensatoren oder Induktivitäten zu Verzerrungen im Audiosignal. Besonders störend sind solche Schwingungsprobleme bei Taktaufbereitungen, da sie Fehlverhalten auslösen, welches über die Audiokette hörbar wird.

Auswirkung:

Der Klang kann "metallisch" oder "wabernd" klingen.

10. Psychoakustischer Effekt

Problem:

Auch wenn man Vibrationen nicht immer direkt hört, können sie psychoakustisch wirken: der Hörer empfindet das Klangbild als weniger angenehm oder packend.

Auswirkung:

Das Hörerlebnis kann weniger fesselnd erscheinen.

3 Einführung in Kugeldämpfer-Behälter

Kugeln in einem Behälter sind eine exzellente Lösung zur Vibrationsdämpfung in Audiogeräten. Sie nutzen effektiv die physikalischen Eigenschaften und das dynamische Verhalten des Materials.

Wichtigste Gründe:

1. Eignung zur Masseerhöhung.

Warum ist das wichtig?

Eine erhöhte Masse verringert die Resonanzfrequenz; eine schwerere Konstruktion ist weniger anfällig für Resonanzen.

2. Energiezerstreuende Wirkung beweglicher Kugeln

Warum ist das wichtig?

Die Vibrationsenergie wird effizient zerstreut und absorbiert, wenn einzelne Kugeln im Beutel aneinanderschlagen. Die Reibung zwischen ihnen wandelt einen Teil der Energie

in Wärme um.

3. Breiter Frequenzbereich

Warum ist das wichtig?

Vibrationen in Audiogeräten können bei sehr unterschiedlichen Frequenzen auftreten; wirksame Dämpfung erfordert Wirksamkeit in einem breiten Frequenzspektrum.

Kugeldämpfung fügt dem Signal nichts Neues hinzu, sondern verhindert eine Verschlechterung dessen Qualität.

Kugeldämpfer-Behälter sind eine effektive und kostengünstige Methode, um unerwünschte Vibrationen zu verhindern – sowohl intern im Gerät als auch externe (z.B. über Boden oder Möbel übertragene).

Wahrscheinliche hörbare Effekte: Präziserer Bass, verbesserte Dynamik im Pegel und neue Details in der Musik. Stimmen und Instrumente klingen natürlicher.

4 Theoretische Hintergründe

Die Funktionsweise von Kugeldämpfer-Behältern stützt sich auf physikalische Grundlagen zu Schwingungsenergie und Umwandlung in Wärme. Die Lösung nutzt wissenschaftliche Erkenntnisse und Artikel.

Stichwörter für Suchmaschinen:

- Multi-unit particle dampers
- Multi-cavity particle dampers
- Multi-compartment particle dampers
- Multi-particle dampers
- Particle dampers
- Granular dampers
- Multi-unit granular dampers
- Shot dampers
- Bean Bag dampers

5 Funktionsprinzip

Physikalisch gesehen basiert das System auf einem gedämpften und erzwungenen Schwinger (Gegenschwingung), der zur Beseitigung unerwünschter Vibrationen in Form eines Kugeldämp-

fers arbeitet.

Diese erwünschte Gegenschwingung folgt den angegebenen Parametern (Gerätegewicht und Kugelgröße/-qualität).

Wäre zu viel Reibung vorhanden, würde die Dämpfung augenblicklich erfolgen. Gewünscht ist eher, dass es nicht zu viel Reibung gibt, damit die Kugeln die oberhalb liegende Masse frei und gleichmäßig schwingen lassen, sich die Schwingung aber dennoch schnell legt, wenn kein äußeres Energieangebot mehr erfolgt.

Durch die Dämpfung wird Schwingungsenergie absorbiert und in Wärme umgewandelt, während die Kugeln aneinander und an die Behälterwände stoßen. Der Behälter muss so dimensioniert sein, dass die erforderliche Kugelmenge den Hohlraum fast vollständig ausfüllt. Die Dämpfung wirkt in 360 Grad, also in horizontaler und vertikaler Richtung.

6 Auswirkung der Kugeldämpfer im Einsatz

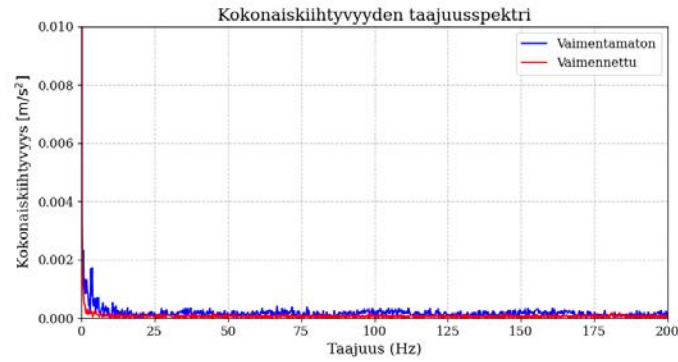
Bei Lautsprechern verbessert die Dämpfung das Verhalten von Membran, Schwingspule und Magnet, ebenso wie gegebenenfalls den Reflexkanal. Außerdem können vom Lautsprecher ausgehende Vibrationen nicht mehr so leicht über Boden oder Gestell auf andere Audiogeräte übertragen werden.

Mikrofonie: Beseitigt Mikrofonie, ein Effekt, bei dem bestimmte elektronische Audiokomponenten (z.B. Kondensatoren, Induktivitäten, Kabel) unerwünschte Vibrationen in ein Störsignal umwandeln.

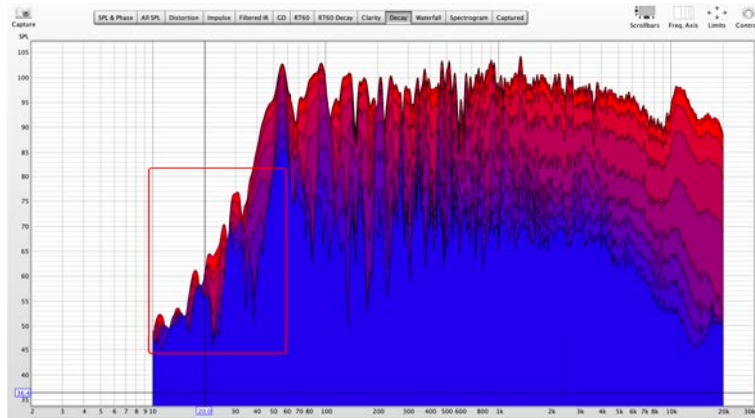
Verringert interne Schwingungen: Jedes Audiogerät erzeugt oder empfängt in gewisser Weise unerwünschte Schwingungen. Ein Kugeldämpfer absorbiert diese Schwingungen aus dem Gerät und wandelt sie in Wärme um.

6.1 Messergebnisse

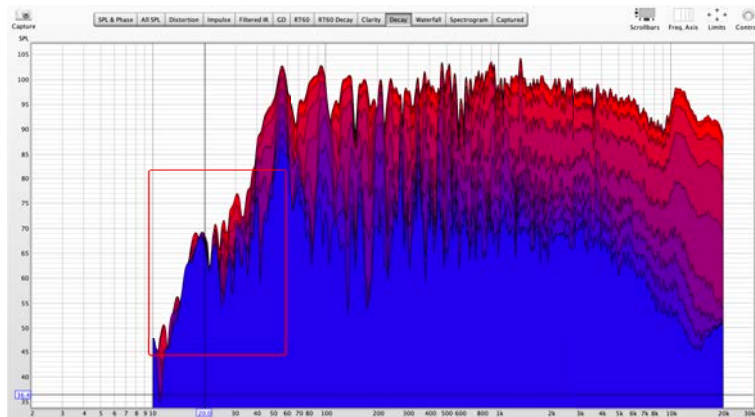
Laut Messergebnissen (Abbildung 1 und Abbildung 2) schneiden die Dämpfer besonders Spitzen in tiefen und unteren Mittelfrequenzen ab und reduzieren die Nachschwingzeit um einige dB im Vergleich zur Situation ohne mechanische Dämpfung (Abbildung 3). Aus Abbildung 1 und 2 sieht man, dass die unerwünschten Schwingungen auf etwa 1/20 reduziert sind, verglichen mit dem Fall, in dem nur die normalen Füße des D/A-Wandlers genutzt werden. Auch REW-Messergebnisse zeigen dasselbe: Die Verzögerung verringert sich vor allem im Tieftonbereich, wenn auch in allen Frequenzbereichen (Abbildung 3).



Kuva 1: Auswirkung von Hi-Fi-Damping-Dämpfern auf die Vibration eines RME ADI 2/4 Pro SE D/A-A/D-Wandlers.



Kuva 2: Dämpfungsfal: REW-Messung mit Mikrofön, Wirkung von Hi-Fi-Damping-Dämpfern auf Vibration des RME ADI 2/4 Pro SE D/A-A/D-Wandlers.



Kuva 3: Ohne Dämpfung: REW-Messung mit Mikrofön, Wirkung von Hi-Fi-Damping-Dämpfern auf Vibration des RME ADI 2/4 Pro SE D/A-A/D-Wandlers.

7 Materialien und Zubehör

Wer Behälter selbst fertigen möchte, sollte Folgendes berücksichtigen:

- **Baumwolle und Leder:** laden sich nicht elektrostatisch auf, sehr empfehlenswert.
- **Stoff:** Baumwolle (z.B. Canvas) ausreichend stabil.
- **Leder:** idealerweise dünn, damit es sich gut dehnen lässt und mit einer normalen Nähmaschine bearbeitbar ist.
- **Nähbedarf:** Ledernadel für Handnähen, Schneidende Ledernadel für Maschinennähen, dehnbare Nylongarn, Schnittmuster- oder kariertes Papier, Markierstift, Reißverschluss, Klettband.

Kugeln:

Glänzende Präzisionskugeln, wie 4,5 mm oder 5,0 mm Stahlkugeln für Luftdruckwaffen, sind leicht und preiswert erhältlich.

Sonstiges:

Digitale Waage und Ausgussgefäß mit Skala, da sich Kugelmengen besser nach Gewicht als nach Stückzahl dosieren lassen.

8 Zur Auswahl der Kugeln

Verwenden Sie nur Präzisionskugeln bekannter Hersteller, also solche mit glatter, glänzender Oberfläche. Bekannte Hersteller sind z.B. Gamo, Umarex, SwissArmy. Kleinere Kugeln benötigen weniger Energie für ihre Bewegung und liefern eine bessere Klangqualität bereits bei niedrigeren Lautstärken.

1. Kugelgröße

- **Kleine Kugeln (1–3 mm):**
Hohe Packdichte, füllen den Behälter gleichmäßig. Sehr wirksam zur Dämpfung feiner, hochfrequenter Schwingungen.
- **Mittelgroße Kugeln (4–8 mm):**
Guter Kompromiss zwischen kleinen und großen Kugeln. Wirksame Dämpfung in einem breiten Frequenzbereich.
- **Große Kugeln (über 8 mm):**
Besser geeignet zur Dämpfung tieffrequenter Schwingungen und Erschütterungen.

2. Kugelmaterial

- **Stahlkugeln:** schwer und abriebfest, ideal für Hifi-Zwecke.
- **Edelstahlkugeln:** korrosionsbeständig.

- **Bleikugeln:** sehr schwer, aber weniger umweltfreundlich.
- **Keramikkugeln:** leichter, weniger Dämpfungswirkung.
- **Wolframkugeln:** teuerste, aber höchste Dämpfungsleistung.

9 Herstellung von Dämpfern

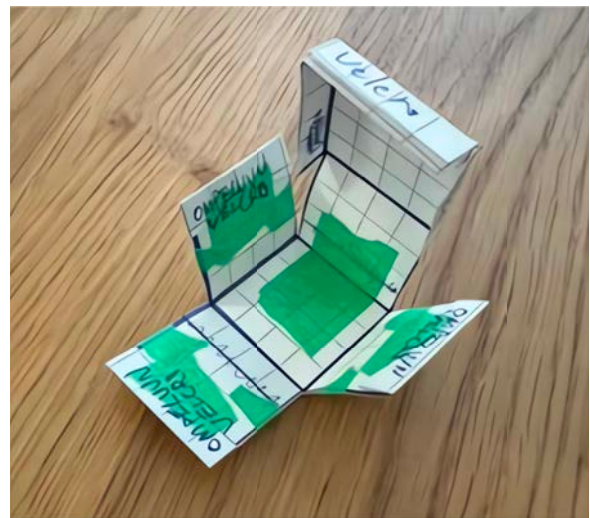
Mit Hilfe der **Hi-Fi Damping Calculator**-App können Sie für Ihr Audiogerät einen passenden Kugeldämpfer konstruieren. Die App schlägt u.a. Folgendes vor:

- Basierend auf dem Gewicht des zu dämmenden Geräts
- Kugelanzahl (und Durchmesser)
- Maße eines einzelnen Behälters

Danach können Sie die Behälter selbst nähen, bei einem Schneider anfertigen lassen oder fertige Baumwoll- oder weiche, dünne Lederbeutel, Zylinder, Würfel oder Kästchen erwerben. Man kann auch passende Kartonschachteln verwenden, falls man z.B. beim Plattenspieler die Höhe exakt anpassen möchte.



(a) Fertiger Lederbeutel und Messung



(b) Eigene Boxkonstruktion

Kuva 4: Messung



(a) Zubehör



(b) Stahlkugeln

Kuva 5: Materialien



(a) Zylindrische Kartonhülse, gefüllt mit Kugeln

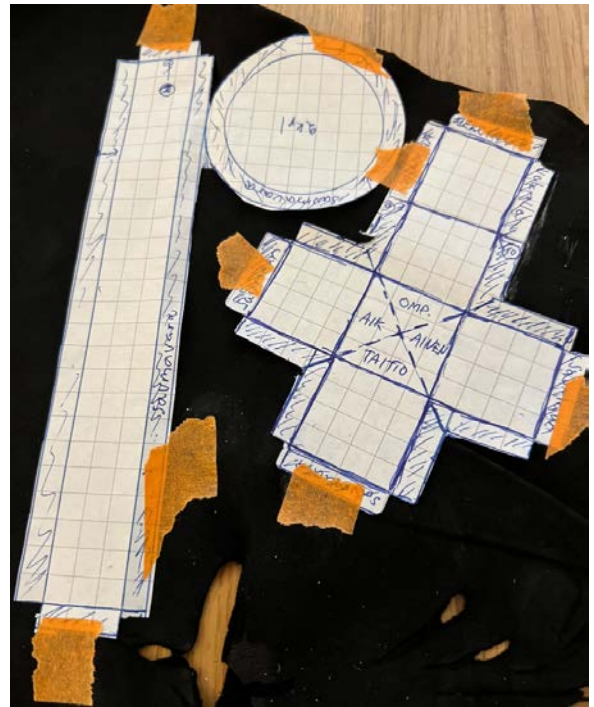


(b) Holzkasten, gefüllt mit Kugeln

Kuva 6: Verschiedene Gehäuse



(a) Kunststoffdose, gefüllt mit Kugeln



(b) Schnittmuster, bereit zum Zuschneiden

Kuva 7: Verschiedene Behälter und Schnittmuster



(a) Lederer Münzbeutel



(b) „Zucker“-Lederbeutel

Kuva 8: Lederne Beutel



(a) Holzkästen



(b) Holzkästen

Kuva 9: Verschiedene Holzkonstruktionen



(a) Schwarze Kartonboxen



(b) Helle Kartonboxen

Kuva 10: Kartonboxen, zu finden in Online-Shops unter Begriffen wie Geschenkbox, Schmuckbox oder Kartonschachtel

Abbildung 11a zeigt zwei Lederzylinder, gegeneinander und übereinander. Der eine, also der Deckel, hat einen Durchmesser von 2 mm mehr als der Boden. Man füllt die benötigten Kugeln in den Boden, beide Zuschnitte haben die gleiche Höhe, und man schiebt den Deckelzylinder über den Boden, sodass doppelte Seitenwände entstehen und ein „Zylinder-Button-Fuß“ gebildet wird. Er ist relativ leicht herzustellen, lässt sich gut ausrichten und kann auch optisch so gestaltet werden, wie man es möchte (ca. 1 mm weiches Leder).



(a) Lederbehälter, gefüllt mit Kugeln



(b) Lederbehälter

Kuva 11: Lederne Behälter

9.1 Herstellungsprozess eines ledernen Zylinderdämpfers

Nachfolgend eine Anleitung zur Herstellung eines ledernen Zylinderdämpfers:

1. Abbildung 12a: Schneiden Sie entsprechend den Innenmaßen aus der App zwei Zylinderzuschnitte. Der Durchmesser des Deckels sollte 2 mm größer sein als der des Bodenteils.
2. Abbildung 12b: Nähen Sie die Zylinder an ihren Kanten linksseitig zusammen.
3. Abbildung 13a: Stülpen Sie beide Zylinder auf rechts, sodass die Außenseite außen liegt.
4. Abbildung 13b: Nehmen Sie den kleineren Zylinder, der den Boden bildet.
5. Abbildung 14a: Füllen Sie ihn mit der in der App angegebenen Menge an Kugeln. Kürzen Sie den Zylinder nötigenfalls mit einer Schere auf die Höhe der Kugelmenge.
6. Abbildung 14b: Falls nötig, kürzen Sie auch den Deckelzylinder und schieben Sie ihn über den Boden, sodass:
7. Abbildung 15a: Ein lederner, tassuartiger Kugeldämpfer entsteht.

Man kann ebenso Canvas-Baumwolle verwenden. Nutzt man Leder wie auf den Bildern, sollte es ca. 1 mm dick und weich sein.



(a) Schritt 1



(b) Schritt 2

Kuva 12: Herstellungsprozess des ledernen Zylinderdämpfers. Im Prototyp wurde ein Tacker benutzt, aber bei der Endversion empfiehlt sich die normale Nähmaschine (Ledernadel) oder Handnähen.



(a) Schritt 3



(b) Schritt 4

Kuva 13: Herstellungsprozess eines ledernen Zylinderdämpfers



(a) Schritt 5



(b) Schritt 6

Kuva 14: Herstellungsprozess eines ledernen Zylinderdämpfers



(a) Schritt 7

Kuva 15: Herstellungsprozess eines ledernen Zylinderdämpfers

10 Montage und Einsatzbereiche der Dämpfer

Isolieren Sie zuerst die stärkeren Vibrationsquellen: Lautsprecher, Subwoofer und Helmholtz-Resonatoren.

- **Bodensituation:**
 - Schwimmendes Parkett kann stark vibrieren, deshalb ist Entkopplung wichtig.
 - Bei massivem Boden ist die Auswirkung geringer, hier kann eine feste Kopplung manchmal günstiger sein.
- **Stabilität vs. Isolation bei Lautsprechern:**
 - Dämpfer unter dem Lautsprecher beeinflussen dessen Höhe.
 - Balancieren Sie zwischen Lautsprecherstabilität und Isolierung.
- **Interne Mikrovibration in Audiogeräten:**
 - Montieren Sie 3–6 Dämpfer direkt an der Geräteunterseite.
 - Das Gewicht sollte sich gleichmäßig auf die Dämpfer verteilen.
- **Kombinationen verschiedener Materialien:**
 - Mehrere Füllmaterialien in verschiedenen Beuteln, um verschiedene Frequenzbereiche abzudecken.
- **Kabeldämpfung:**
 - Für Kabel sind Kugeldämpfer selten sinnvoll, da deren Masse gering ist.

“The signal used by your system, be it digital or analog, through tube or solid state,

is always alternating current...”

(Quelle: <https://www.cardas.com/deep-dive>)

10.1 Leichte Geräte

Unter dem Gerät sollten mit der App berechnete Dämpfer mit korrekter Kugelanzahl angebracht werden, ohne andere Dämpfungselemente (wie Originalfüße des Geräts). Ausnahme: große Lautsprecher, deren eigene Füße für Stabilität wichtig sind.

Außerdem ist es fast immer ratsam, dem Gerät – insbesondere leichten Audioelektronikgeräten – mehr Masse hinzuzufügen, z.B. mit einem Beutel oder Gehäuse voller Granulat (Kugeln, Sand etc.), um das Vibrationsspektrum breitbandiger zu dämpfen.

Vibrationen entstehen nicht nur durch die Hauptresonanzfrequenz, sondern auch durch Bauteil-, Luft-, Kabel- oder interne Schwingungen.

- Separate Behälter mit unterschiedlichem Granulat können auf dem Gerät platziert werden, um verschiedene Frequenzbereiche zu dämpfen und das Systembalance zu verbessern.
- **Stoß- und Reibungsdynamik**
 - **Gemeinsam in einem Behälter** können unterschiedliche Partikelgrößen oder Materialien aneinander stoßen. Das führt zu einem komplexen und oft effektiven Energieabbau, da die Schwingungsenergie in viele Richtungen verteilt wird.
 - **Getrennt in mehreren Behältern** wirken die Materialien unabhängig, jeder Behälter kann für einen anderen Frequenzbereich optimiert werden.
- **Mischung, Packung und Entmischung**
 - In einem **einzigem Behälter** können sich verschieden große oder schwere Partikel entmischen, was teils erwünscht, teils unerwünscht sein kann.
 - **Getrennte Behälter** verhindern eine unerwünschte Entmischung oder erlauben gezielteres Gestalten (etwa in jedem Behälter nur eine Partikelart).
- **Abdeckung verschiedener Frequenzbänder**
 - Die Idee: jedes Partikel- oder Materialsystem dämpft verschiedenartige oder verschiedenfrequente Schwingungen (z.B. schwere Stahlkugeln für stärkere Amplituden, leichtere Partikel für feinere Bewegungen).
 - **In einem einzigen Behälter** wirkt das alles zusammen, was breitbandig, aber schwerer einschätzbar ist.
 - **In getrennten Behältern** kann man die Abmessungen (Größe, Form) und Materialeigenschaften separat abstimmen, sodass jeder Behälter ein spezielles Frequenzband dämpft. So erhält man eine kontrollierte Multi-Frequenz-Dämpfung.

Oberseitiges Beschweren mit diversen Granulaten erhöht zusätzlich die Gesamtmasse und stabilisiert.

Zur Zusatzmasse empfiehlt sich Wüstensand, da er natürlich rund und gleichförmig ist. Er eignet sich hervorragend, um leichte Geräte zu beschweren, und dämpft breitbandig.



Kuva 16: Zusatzmasse in Form eines Ledermäppchens mit Sand

11 Überprüfung der Wirkung

Zusätzlich zum Gehör kann man Änderungen z.B. mit der Vibration Meter-App prüfen.

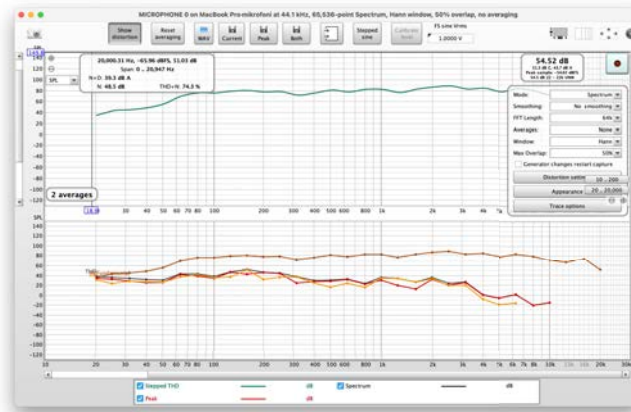
Testen vor und nach der Installation der Dämpfer:

- Vergleichen Sie Messungen mit demselben Teststück und gleicher Lautstärke.
- Messen Sie an der Geräteoberseite, am Boden, am Rack usw.

11.1 REW-Software

Die kostenlose **REW**-Software (Room EQ Wizard) erlaubt Vorher-Nachher-Vergleiche.

- THD (Total Harmonic Distortion) und THD+N lassen sich messen.
- Geringere Verzerrung spricht für bessere Entkopplung und Dämpfung.
- REW sagt nichts über „angenehmen Klang“ – dies bleibt subjektiv.



Kuva 17: Messungen mit REW-Software im Realzeit-Analysemodus (RTA)

11.1.1 Measurement Info: SNR (Signal-to-Noise Ratio)

SNR zeigt das Signal-Stör-Verhältnis. Dämpfer können mechanische Vibrationen reduzieren, dadurch das Grundrauschen senken und SNR verbessern.

11.1.2 Measurement Info: SDR (Signal-to-Distortion Ratio)

SDR beschreibt das Verhältnis von Signalstärke zu harmonischen Verzerrungen. Dämpfer reduzieren harmonische Verzerrungen, die von Resonanzen und Vibrationen verursacht werden.

11.1.3 Clarity: C80 (Music Clarity Index)

C80 charakterisiert die musikalische Klarheit, indem untersucht wird, wie viel Schallenergie in den ersten 80 Millisekunden im Vergleich zu später eintreffender Energie ankommt.

Dämpfer können C80 erhöhen, indem sie Reflexionen und Resonanzen infolge von Vibrationen vermindern.

11.2 Interpretation der Vibration Meter-Ergebnisse

- **Peak:** Maximale Vibrationsstärke.
- **RMS (Root Mean Square):** Zeitlicher Mittelwert der Vibration.
- **Frequenzen:** Wie beeinflussen verschiedene Frequenzen (z.B. Bassbereich) die Vibration?

Sinken die Spitzenwerte (Peak)? Geht der RMS-Wert zurück? Oft sind tiefere Frequenzen (20–200 Hz) betroffen, wenn die Dämpfung gut funktioniert.

12 Erfahrungsberichte

„Nachdem ich nun mehrere Tage Musik aus verschiedenen Genres (Jazz, Bluegrass, Indie, Blues) mit mir bestens bekannten Aufnahmen gehört habe, stellte ich Folgendes fest:“

- Mehr Detailreichtum / Artikulation.
- Stärkeres Gefühl von Präsenz.
- Ein reinerer Klang ohne Verzerrungen, was gelegentlich dazu verleitet, die Lautstärke höher zu drehen.
- Wärmerer und detailreicherer Klang dank verminderter Resonanzen.
- Der Unterschied ist beeindruckend; ich könnte nicht mehr auf diese Dämpfer verzichten!
- Die Begeisterung fürs Musikhören hat deutlich zugenommen, da altbekannte Aufnahmen nun neue Aha-Erlebnisse ermöglichen.