



*CARMA ist das Audionet-Programm zur Erfassung und Beurteilung der akustischen Gegebenheiten in Hörräumen sowie zur Ermittlung und Simulation von Maßnahmen zur Vermeidung störender Raumeinflüsse.*

## CARMA 4 Tutorial

Erläuterung der Grundfunktionen und erste Messungen

---

CARMA ist eine Software, mit der sich Raumakustikmessungen durchführen lassen.

Anhand der Messergebnisse lassen sich z.B.

- der Frequenzgang am Hörplatz ermitteln und mittels Equalizer Störungen beseitigen,
- optimale Einstellungen und Positionen für einen oder mehrere Subwoofer finden,
- Nachhallzeiten eines Raumes ermitteln und ggf. durch Veränderung der Einrichtung, (Teppiche, Vorhänge, Absorber, Diffusoren) oder bauliche Maßnahmen optimieren,
- u.v.m.

In diesem Tutorial wird an einem einfachen Beispiel auf **grundlegende Einstellungen** von CARMA und die **Durchführung einer Messung** bzw. **Optimierung des Frequenzgangs per Equalizer** eingegangen. Die Vorgehensweise wird für Audionet-DNx-Besitzer anhand des "Internal DNx Mode" beschrieben. Der Messaufbau ist für andere Vor-/Vollverstärker oder AV-Receiver bei Stereo-Messungen identisch.

Bevor man sich als CARMA/Raumakustik-Neuling mit Surround-Messungen mit MAP 1 oder MAP V2 beschäftigt, wird dringend empfohlen, als erstes dieses Dokument durcharbeiten und einige Stereo-Messungen vorzunehmen. Die Messung mit "externer Signalerzeugung" für Surround-Messungen unterscheidet sich nicht wesentlich und ist auf diesem Tutorial aufbauend nahezu selbsterklärend.

Dieses Dokument ist somit als Hilfestellung für die ersten Gehversuche mit Audionet CARMA gedacht, bietet darüber hinaus jedoch keine raumakustischen Universallösungen an – dafür ist das Thema deutlich zu komplex. Wer sich mit dieser Thematik intensiver auseinandersetzen möchte, bekommt über dieses Tutorial dennoch eine kleine Starthilfe. Für gezielte Problemstellungen helfen indes nur sehr viel Erfahrung, Fachliteratur, Internetrecherche oder gleich professionelle Beratung durch qualifiziertes Fachpersonal.



## Messequipment

Zuerst einige einführende Worte zum Messequipment.

(*Mikrofon, Mikrofon-Vorverstärker bzw. Soundkarte*)

Gängige Mess-Mikrofone (z.B. Behringer ECM8000, IMG Stageline ECM40, usw.) benötigen eine sog. Phantomspeisung (Versorgungsspannung), lassen sich also nicht direkt an den MIC-In eines gewöhnlichen Laptops/PCs anschließen. Es wird entweder ein Mikrofon-Vorverstärker (z.B. IMG Stageline MPA-102) oder eine USB-Soundkarte mit integriertem Mikrofon-Vorverstärker (Focusrite Scarlett 2i2, Behringer UR22, usw.) benötigt.

**Tipps für alle Mac Nutzer:** CARMA ist eine reine Java Software. Da leider derzeit keine Mehrkanalsoundkarten (EMU 0404, Roland UA-55, usw.) unter Java von Apple unterstützt werden, benötigt man unter OS X eine 2-Kanalige USB-Soundkarte, um mit CARMA arbeiten zu können. Wer also vor dem Kauf einer Soundkarte für CARMA Messungen steht, sollte unbedingt darauf achten.

Wenn für das verwendete Mikrofon ein Korrekturfile vorliegt, kann dieses über das Menü "**Konfiguration -> Mikrofon -> Korrektur**" geladen werden. Es wird dann in alle Messungen automatisch eingebunden, und die Messergebnisse werden entsprechend korrigiert.

**Tipps:** Mit einem professionell kalibrierten Mikrofon werden vor allem die Messergebnisse im Bassbereich (<50Hz) und im Hochtonbereich (>4KHz) exakter. Günstige Mess-Mikrofone zeigen sehr große Streuungen, wie das Team von Hifi-Selbstbau anhand von über 1000 Kalibrierungen feststellen konnte. In diesen Fällen wäre eine Korrektur nach Frequenzgang (laut der technischen Daten des Herstellers) sicherlich nicht falsch – aber vermutlich nicht sehr genau, da die hier angeführten Daten die Serienstreuung nicht berücksichtigen und z.T. relative großzügige Toleranzen bestehen. Im Gegenzug bietet sich die Möglichkeit, bei einem professionellen Kalibrierungs-Service ein individuelles Korrekturfile von seinem Mikrofon erstellen zu lassen. Die dann eventuell noch vorhandenen „Fehler“ sind praktisch vernachlässigbar.

Um die grundsätzliche Funktionsweise von CARMA zu verstehen, ist bei Verwendung einer hochwertigen USB-Soundkarte und eines Mess-Mikrofons eine Soundkarten-Kalibrierung nicht zwingend erforderlich. Wenn man gleich ein möglichst exaktes Messergebnis wünscht, kann durch eine sogenannte "Loop-Back Messung" eine Kalibrierung der Soundkarte mit CARMA durchgeführt werden. Unter "**Konfiguration -> Soundkarten Korrektur -> Extras**" gibt es die Möglichkeit, eine Kalibrierung in 3 kleinen Schritten durchzuführen. Die Vorgehensweise wird bei der Durchführung beschrieben.



## Verkabelung und Soundkarten-Einstellungen

Hinweis: An dieser Stelle wird auf eine umfassende Darstellung mittels Grafiken und Screenshots verzichtet. Diese findet man in der [CARMA Anleitung](#) (Kapitel 3).

Bevor man CARMA startet, wird der Messaufbau verkabelt und die Soundkarten-Einstellungen im Betriebssystem vorgenommen. Als DNx-Besitzer betreibt man CARMA im "Internal DNx Mode". Der Begriff "Internal" bezieht sich auf die Signalerzeugung und bedeutet, dass der Mess-Sweep in CARMA generiert und über die Soundkarte auf dem DNx abgespielt wird. Für andere Geräte wird der universelle "Internal Mode" verwendet.

**Hinweis:** Die Einstellungen und die Funktionalität der Signal-Erzeugung –"Internal" und "Internal DNx" – sind nahezu identisch. Der DNx-Modus bietet Audionet DNx Kunden u.a. die Möglichkeit, die in CARMA eingestellten Equalizer-Daten direkt an das Gerät zu übertragen.

### Anschluss des Equipments

Je nach eingesetzter Hardware (reiner Mikrofon-Vorverstärker oder USB-Soundkarte mit integriertem Mikrofon-Vorverstärker) werden zuerst die Geräte verbunden.

**Version A:** USB-Soundkarte mit integriertem Mikrofon-Vorverstärker (z.B. Focusrite Scarlett 2i2)

- Mikrofon mit dem Eingang der USB-Soundkarte verbinden
- Ausgang der Soundkarte (Links/Rechts) mit einem Analog-Eingang des DNx verbinden  
z.B. "An3 - Line Input 3" eines DNP.

**Version B:** Mikrofon-Vorverstärker (z.B. IMG Stageline MPA-102) an Soundkarte des PC

- Mikrofon mit dem Mikrofon-Vorverstärker und diesen dann mit dem Line-In des Laptops/Desktop-Rechners verbinden. Hier ist wichtig darauf zu achten, den Line-In Eingang und nicht den Mikrofon-Eingang des Computers zu verwenden.
- Ausgang der Soundkarte (Links/Rechts) mit einem Analog-Eingang des DNx verbinden  
z.B. "An3 - Line Input 3" eines DNP.

Das Mikrofon stellt man an die Position des Hörplatzes (auf Kopfhöhe) und richtet es aufgrund seiner Kugelcharakteristik in Richtung Decke aus.

Als nächstes nimmt man die Soundkarten-Einstellungen im Betriebssystem vor:

| Betriebs-system   | Soundkarten-Einstellungen bei Verwendung einer USB-Soundkarte mit integriertem Mikrofon-Vorverstärker        | Soundkarten-Einstellungen bei Verwendung eines Mikrofon-Vorverstärkers an der Soundkarte des PC.                      |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Apple OS X        | <b>Systemeinstellungen -&gt; Ton:</b><br>Als Ein- und Ausgabegerät jeweils die externe USB-Soundkarte wählen | <b>Systemeinstellungen -&gt; Ton:</b><br>Als Ein- und Ausgabegerät jeweils den Line-Out und Line-In Eingang wählen.   |
| Microsoft Windows | <b>Systemsteuerung -&gt; Sound:</b><br>Unter Wiedergabe und Aufnahme die USB-Soundkarte als Standard wählen. | <b>Systemsteuerung -&gt; Sound:</b><br>Unter Wiedergabe und Aufnahme jeweils den Line-Out und Line-In Eingang wählen. |



**Wichtig:** Erst jetzt CARMA starten. CARMA ist eine Java Anwendung und reagiert nicht zwingend auf Änderungen am Betriebssystem, daher sollten die Systemeinstellungen immer vor dem CARMA Start vorgenommen werden.

## Grundeinstellungen von CARMA

Als erstes werden die Grundeinstellungen vorgenommen unter:  
*"Konfiguration -> Soundkarte/Signalerzeugung"*

|                        | Apple OS X                                                                                                                         | Microsoft Windows                              |
|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| <b>Signalerzeugung</b> | "Intern DNx" (für Audionet Streaming Clients) bei Verwendung eines DNx oder "Intern" bei anderen Geräten (MAP 1, MAP V2, usw.)     |                                                |
| <b>Wiedergabegerät</b> | Die eingesetzte USB-Soundkarte wählen                                                                                              | "Primärer Soundtreiber" beibehalten            |
| <b>Aufnahmegerät</b>   | Falls möglich auch hier die eingesetzte USB-Soundkarte wählen, häufig steht aber nur die "Java Sound Audio Engine" zur Auswahl.    | "Primäre Soundaufnahmetreiber" beibehalten     |
| <b>Abtastrate</b>      | Falls es als Aufnahmegerät nur die "Java Sound Audio Engine" gibt, <b><u>muss</u></b> die Abtastrate auf 44100 Hz gestellt werden! | Die Standardeinstellung von 48000 Hz belassen! |

**Wichtig bei OS X:** Der Hinweis zur Abtastrate ist unbedingt zu beachten! Falls es als Aufnahmegerät (Input Device) nur die "Java Sound Audio Engine" gibt, **muss** die Abtastrate auf 44100 Hz gestellt werden!

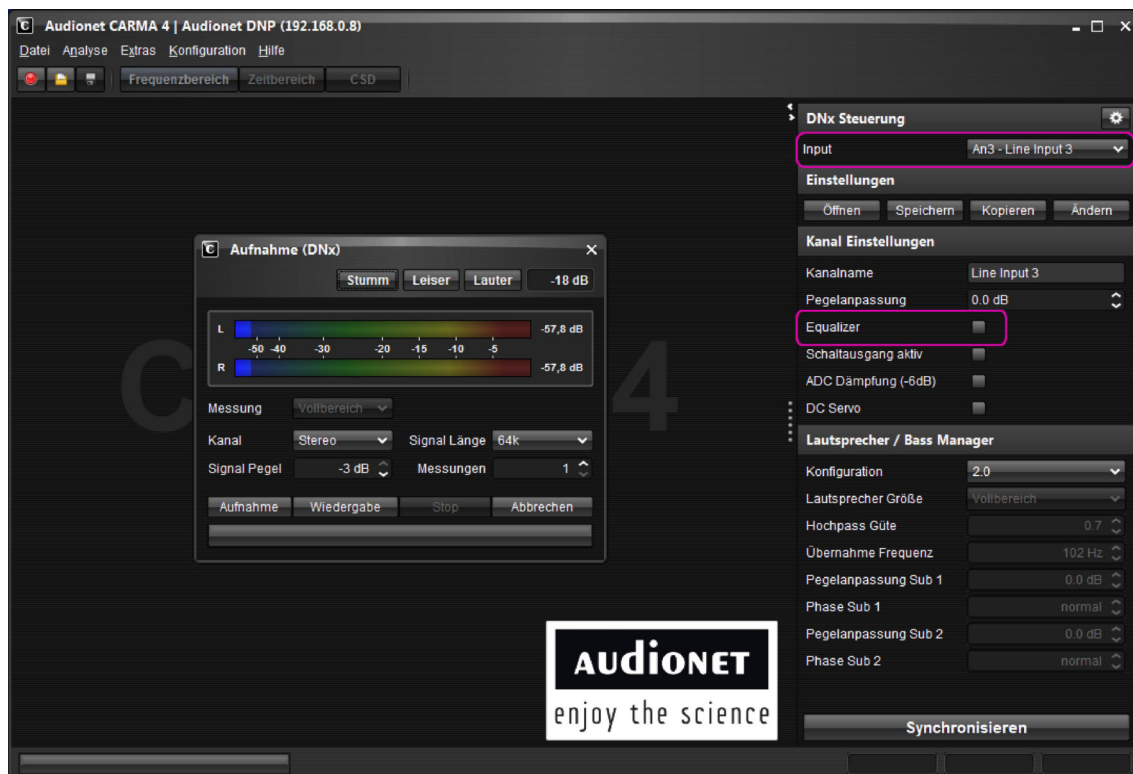
**Wichtig bei Windows:** Bei Windows werden die Soundkarten-Einstellungen in der Systemsteuerung vorgenommen. In CARMA muss nichts ausgewählt/geändert werden (primäre Treiber beibehalten)! Die Abtastrate beträgt 48000 Hz.

Im "Internal DNx Mode" wird bei Schließen des Dialogfensters automatisch die vom RCP bekannte Synchronisation zwischen Audionet-Software und DNx vom Programm vorgenommen. Auf der rechten Seite des Programmfensters erscheint ein ähnliches DNx-Control-Panel wie im RCP. Wie von aMM/RCP bekannt, kann immer nur eine Audionet-Software mit dem DNx verbunden sein. Solange man mit CARMA arbeitet, muss daher die Verbindung vom DNx zu anderen Audionet-Apps ausgeschaltet bleiben.

An dieser Stelle kann nun über Programm-Menü *"Konfiguration -> Mikrophon Korrektur"* die Korrekturdatei für das eingesetzte Mikrophon geladen und ggf. auch gleich eine Soundkarten-Kalibrierung durchgeführt werden.

## Die erste CARMA Messung

Zunächst wird der DNx Eingangskanal ausgewählt an dem die Soundkarte angeschlossen ist, damit das Mess-Signal vom Computer über die Anlage abgespielt werden kann. In diesem Beispiel also "An3 - Line Input 3". Bei der ersten Messung muss auf diesem Eingangskanal des DNx der Equalizer ausgeschaltet sein! Über den roten "Record"-Button (oben links) öffnet sich das Aufnahme-Fenster. Hier lassen sich diverse Einstellungen vornehmen, die an dieser Stelle aber zunächst unverändert bleiben. Auf dem folgenden Screenshot sind die beiden beschriebenen Schritte zu sehen.



Für die Pegelanzeige gilt (näherungsweise) folgende Aussage:

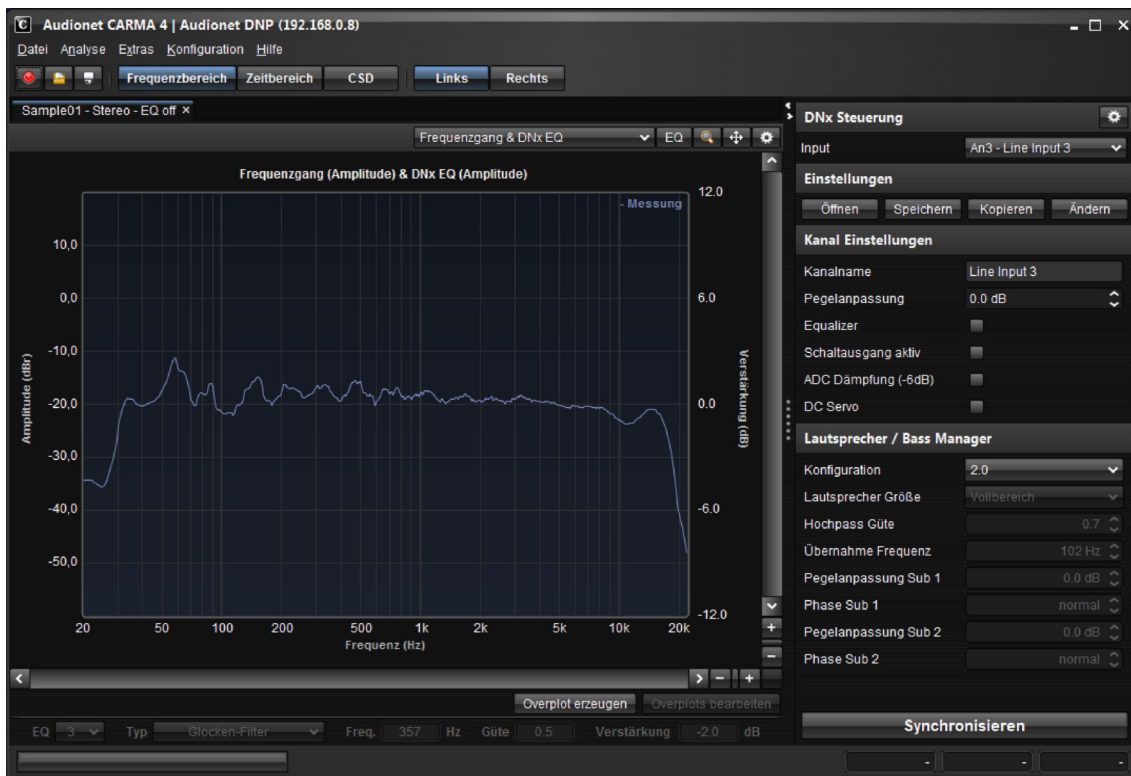
1. **Ohne Signal:** Ausschläge im Bereich zwischen -60dB und -40dB
2. **Während der Messung:** Ausschläge im Bereich zwischen -20dB und -1dB

**Wichtig:** Es sollten mindestens ca. 30-40 dB Pegelanstieg während der Messung erkennbar sein. Sowohl Übersteuerung als auch zu geringe Aussteuerung führen zu Fehlmessungen mit CARMA (siehe CARMA Anleitung Kapitel 5.4). Bei richtiger Pegeleinstellung ist die Messung sehr laut!

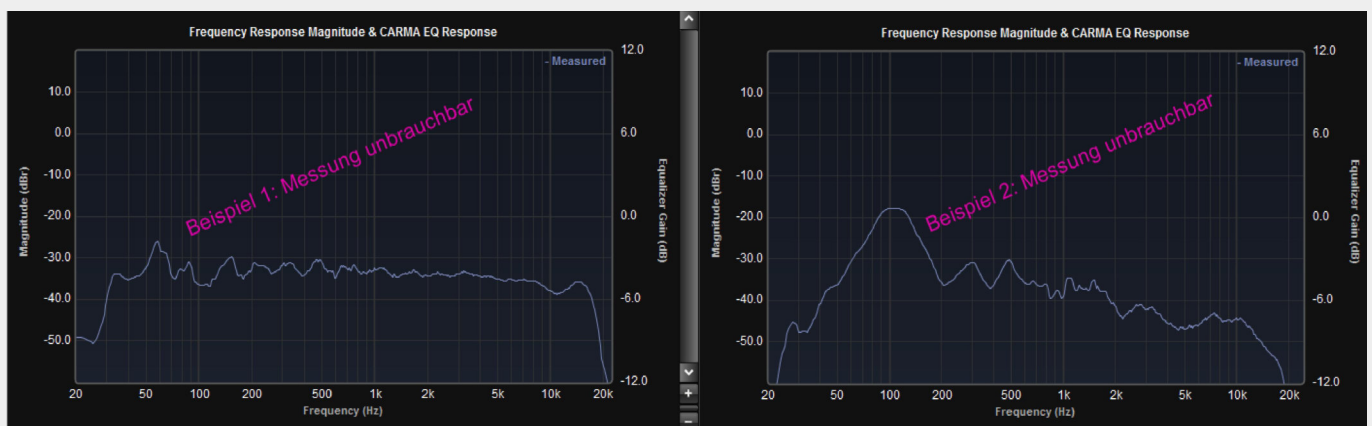
Um möglichst exakte Messergebnisse zu erhalten, werden als erstes die Eingangsempfindlichkeit der Soundkarte und die Verstärkung für das Mikrofon eingestellt. Dies geschieht in der Soundkartensteuerung des Betriebssystems und über den Gain-Regler des Mikrofon-Vorverstärkers bzw. der USB-Soundkarte. Bei absoluter Stille sollte sich die Pegelanzeige zwischen -60dB und -40dB bewegen.

Erst danach stellt man die Lautstärke am Verstärker ein. Über den "Wiedergabe"-Button lässt sich der Mess-Sweep abspielen, um die Lautstärke des DNP/DNA entsprechend einzustellen. Die Pegelanzeige bewegt sich während des Mess-Sweeps im Bereich zwischen -20dB und -1dB.

Wenn die optimale Aussteuerung/Pegeleinstellung gefunden ist, kann die erste Messung durchgeführt werden. Nun "Aufnahme" drücken und sich für die Dauer des gesamten Mess-Ablaufs ruhig verhalten. Schon geringe Störgeräusche können zu Fehlmessungen führen (beispielsweise genügt schon das leise "Brummen" eines vorbeifahrenden LKWs, um das Messergebnis der Nachhallzeit im Bassbereich zu verfälschen). Sobald die Messung beendet ist, wird der Frequenzgang an der Hörposition mit 1/3 Oktavband-Glättung (Smoothing) angezeigt.



Bei korrekter Aussteuerung liegt die Frequenzgangkurve im Mittel immer deutlich über der -30dB Linie. Ist das nicht der Fall, sollte man erst fortfahren, wenn die korrekten Soundkarten- und Verstärker-Einstellungen ermittelt wurden!





## Was bedeutet diese "Frequenzgangkurve"?

Wird eine derartige Messung bei einem "mathematisch/elektrotechnisch" idealen System durchgeführt, erhält man einen absolut linearen Frequenzgang (von 0 bis unendlich Hz). Wie der Begriff „ideal“ schon vermuten lässt, geht das in der realen Welt nicht. Jede Komponente des Systems (hier elektrotechnisch gemeint), also Signalquelle, Mikrofon, Verstärker, Kabel, Lautsprecher, Raum usw. verändert bzw. verschlechtert diesen „idealen“ Frequenzgang.

In der Praxis ist die größte Störquelle der Raum, der aufgrund von Schallreflexionen den Frequenzgang erheblich verfälscht. Was wirklich bei der Messung (ohne Glättung/Smoothing) am Mikrofon ankommt, sieht man in folgendem Bild ... nicht erschrecken!



Durch die Glättung werden benachbarte Frequenzen je nach Faktor ( $1/3$ ,  $1/6$ ,  $1/12$  usw.) verschieden gemittelt. Standardmäßig ist bei CARMA eine Oktavband-Glättung von  $1/3$  eingestellt. Der sich daraus ergebende Frequenzgang ist vergleichbar mit dem; was das Ohr wahrnimmt bzw. wie das Gehirn das Gehörte interpretiert. Diese Einstellung wird verwendet; um z.B. die Messung zu beurteilen oder einen Equalizer im Mittel-/Hochtonbereich zu setzen.

Durch die breitbandige Mittelwertbildung der  $1/3$ -Oktavband-Glättung wird der Pegel bei bestimmten Frequenzen somit nicht exakt dargestellt. Um Raummoden im Bassbereich zu analysieren; ist diese Einstellung daher nicht geeignet. Bei einer Bassanalyse sollte die Oktavband-Glättung auf  $1/24$  oder  $1/12$  eingestellt werden (über das Zahnrad  oben rechts oder die rechte Maustaste).



## Optimierung des Frequenzgangs

Wie der Frequenzgang am Hörplatz letzten Endes aussehen soll, muss jeder für sich selbst entscheiden. Es geht an dieser Stelle um Home-Hifi für den ganz persönlichen musikalischen Genuss und nicht um Anforderungen von Tonstudios oder Regieräumen von Rundfunkanstalten. So mögen es z.B. Verkäufer in Elektrofachmärkten, wenn der Subwoofer bei 2.1-Systemen ca. 20-30dB lauter spielt als die Satelliten-Lautsprecher. Hier würde ein möglichst linearer Frequenzgang sicherlich als wenig überzeugend eingestuft werden. Ein anderes Beispiel: Ein Besitzer von Lautsprechern mit sehr ausgeprägtem Grundtonbereich ist von diesem völlig begeistert – dann wäre es vermutlich ein Fehler, diesen per Equalizer abzusenken – selbst wenn der gemessene Frequenzgang dies nahelegt. Ist eine möglichst naturgetreue Wiedergabe das Ziel, wird ein möglichst linearer, im Bassbereich ggf. leicht ansteigender Frequenzgang eine gute Basiseinstellung sein. Alternativ bietet sich auch an, den akustischen Einfluss des Hörraums so weit zu minimieren, dass der Freifeldfrequenzgang des verwendeten Lautsprechers möglichst unbeeinflusst abgebildet wird.

Welche Maßnahmen zur Optimierung des Frequenzgangs vorgenommen werden, hängt also von den persönlichen Präferenzen und Möglichkeiten ab. Die durch die Raumakustik verbleibenden Störungen bzw. aufstellungsbedingten Effekte wie z.B Dröhnen im Bass, eine mittenlastige Wiedergabe, zu sehr gedämpfte Höhen etc. lassen sich durch den Einsatz des Equalizers eines DNx wirkungsvoll korrigieren.

**Hinweis:** Im weiteren Verlauf wird etwas Grundwissen über parametrische Equalizer benötigt. Falls Begriffe wie Güte (Q), Verstärkung (Gain) oder auch Hz und dB noch unbekannt sind, wird empfohlen, sich dieses Grundwissen (bei Wikipedia, Sengpielaudio, etc.) anzulesen.

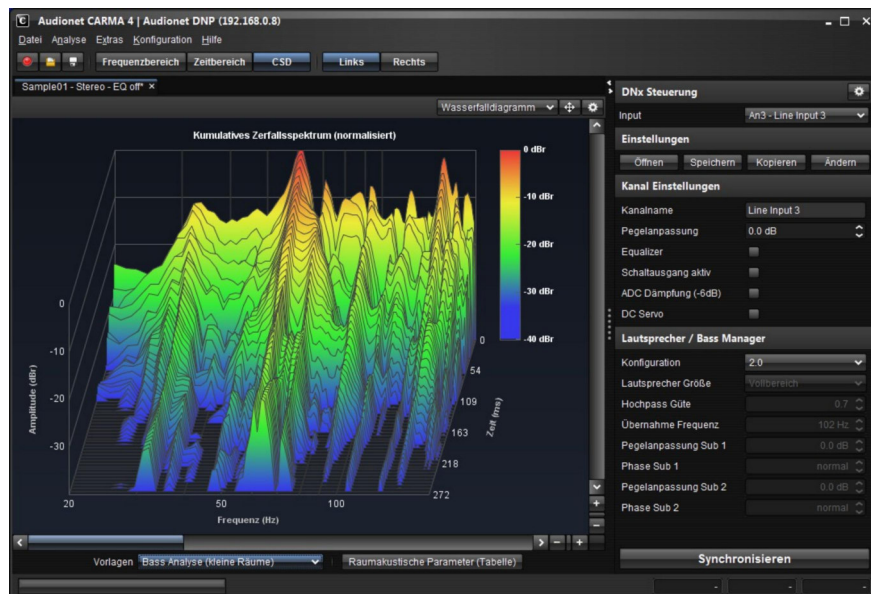


## Die Optimierung in der Praxis

Messungen bilden grundsätzlich den theoretischen Teil der Problemlösung ab. Praktisch gilt es nun herauszufinden, mit welchen Einstellungen unterschiedliche Klangvorstellungen umgesetzt werden können. Am folgenden Beispiel wird der Tieftonbereich betrachtet, als Oktavband-Glättung wird der Wert 1/12 gewählt, um Raummoden besser zu erkennen.

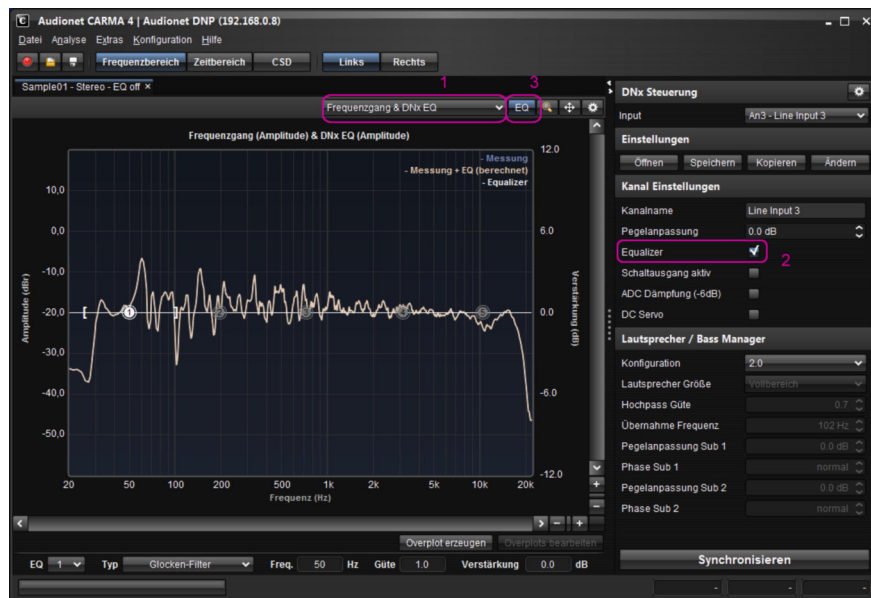


Auf den Screenshots ist eine schmalbandige Bassüberhöhung bei ca. 60 Hz zu sehen, die sich mit dem typischen Ausschwingverhalten einer Raummode im Wasserfalldiagramm zeigt. Diese Bassüberhöhung oder, besser gesagt, das lange Ausschwingen macht sich bei einigen Musikstücken als störendes Dröhnen bemerkbar.



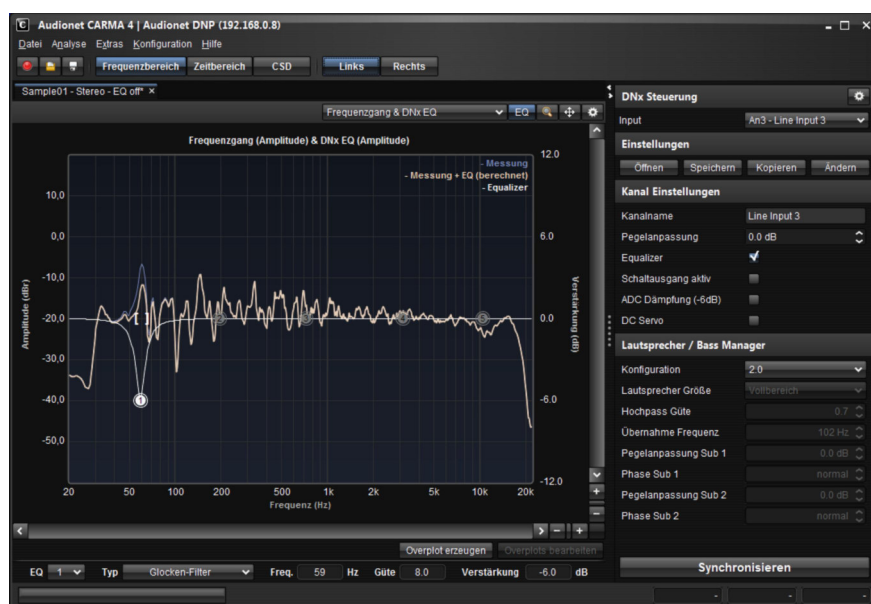
Diese Überhöhung wird nun per Equalizer verringert. Hierzu geht man folgendermaßen vor:

1. Man wählt die Ansicht **"Magnitude & DNx EQ"**
2. Aktiviert den Equalizer des DNx auf diesem Kanal
3. Aktiviert die grafische Darstellung der EQ Kurve

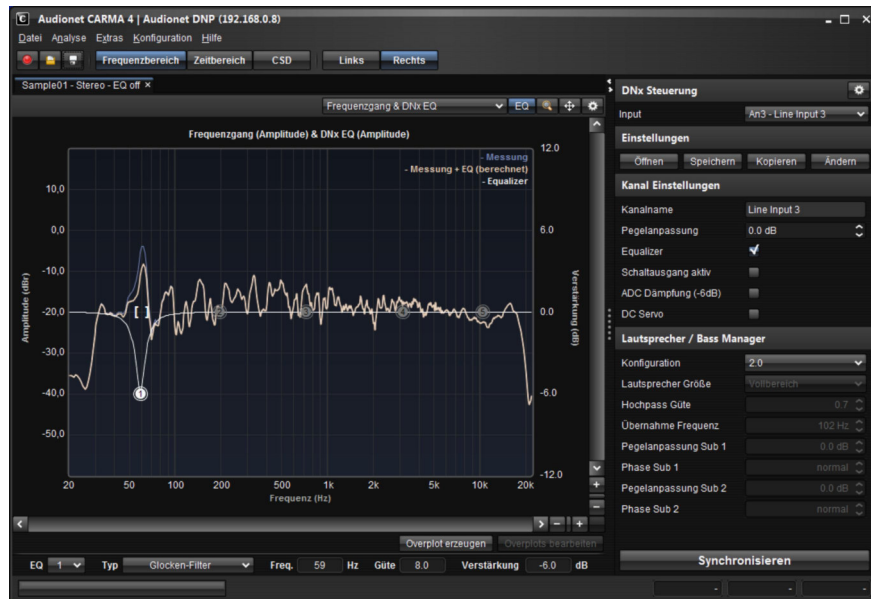


**Hinweis:** Für Stereo-Messungen mit MAP 1 oder anderen Geräten aktiviert man lediglich die grafische Darstellung der EQ-Kurve und behält die Ansicht **"Frequenzgang & CARMA EQ"** bei.

Mit einem EQ-Band wird die Bass-Überhöhung nun abgesenkt (z.B. Glocken-Filter | Frequenz = 59Hz | Güte = 8.0 | Verstärkung = -6dB).



Da die Bass-Überhöhung/-Resonanz ebenfalls auf dem rechten Kanal vorhanden ist, werden einfach die EQ-Einstellungen per Copy/Paste (rechte Maus-Taste) auf diesen Kanal kopiert.



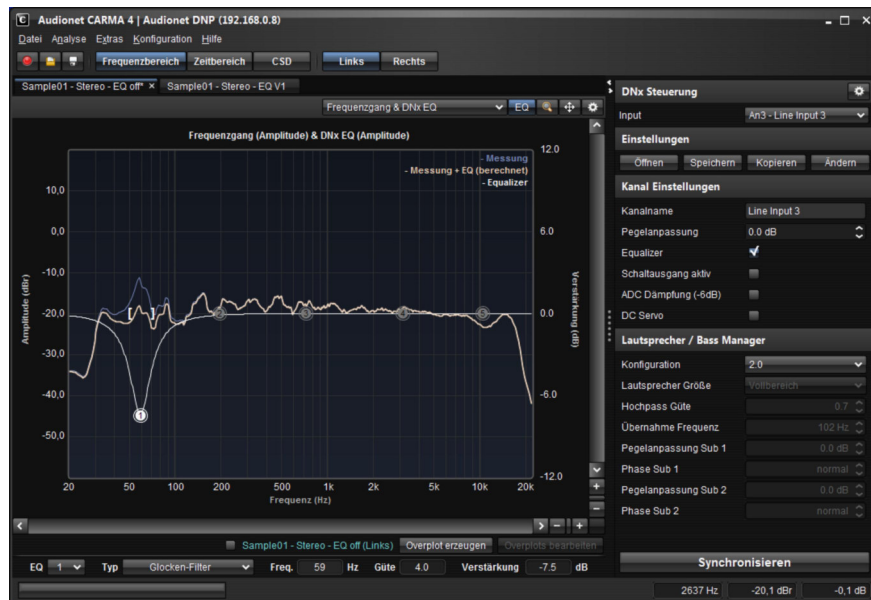
**Wichtig:** Um die Equalizer-Einstellungen nun an den DnX zu schicken, drückt man (wie vom RCP bekannt) einfach den „Synchronisieren“ Button.

Wenn man möchte, kann man an dieser Stelle eine Messung mit aktivem EQ durchführen:

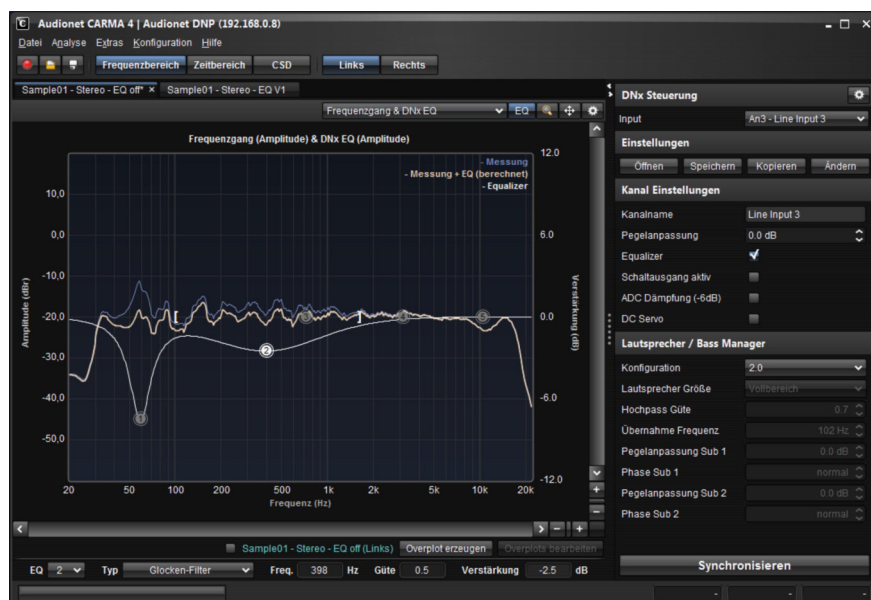


Der Screenshot zeigt in Grün die zuvor per Simulation ermittelte Ergebniskurve. Diese entspricht exakt dem Verlauf der Messung mit aktivem EQ. Messungen mit aktivem EQ sind sozusagen nur eine "Kontrollmessung" (roter Hinweistext). Es lässt sich zwar der EQ verändern, eine Vorschau (in Gelb) gibt es aber aus technischen Gründen nicht. Um den Frequenzgang weiter zu bearbeiten, geht man zurück zur ersten Messung ohne Equalizer. Dies ist sozusagen die "Referenzkurve"

Hat man nach einigen Hörsessions mit verschiedenen Equalizer-Settings eine optimale Einstellung für den Bass gefunden – im vorliegenden Beispiel: Glocken-Filter (Frequenz = 59Hz | Güte = 4.0 | Verstärkung = -7.5dB) – ist die Bassoptimierung in diesem Beispiel abgeschlossen. Das Dröhnen ist jetzt deutlich minimiert, und dennoch ist der Bass nicht zu "dünn". Man kann nun die Messung z.B. wieder mit 1/3 Oktavband-Glättung betrachten.



Möglicherweise ist nach Minimierung der dröhnenden Bassfrequenz das Klangbild bei manchen Titeln nun zu grundtonlastig. Mit einem der übrigen Equalizer Bänder kann durch ein breitbandiges Filter der Grundtonbereich abgeschwächt werden (Frequenz= 398Hz | Güte = 0.5 | Verstärkung = -2.5dB).



Nach erfolgter Bearbeitung auch des rechten Kanals werden die neuen Einstellungen per „Synchronisieren“ an den DNP übertragen.

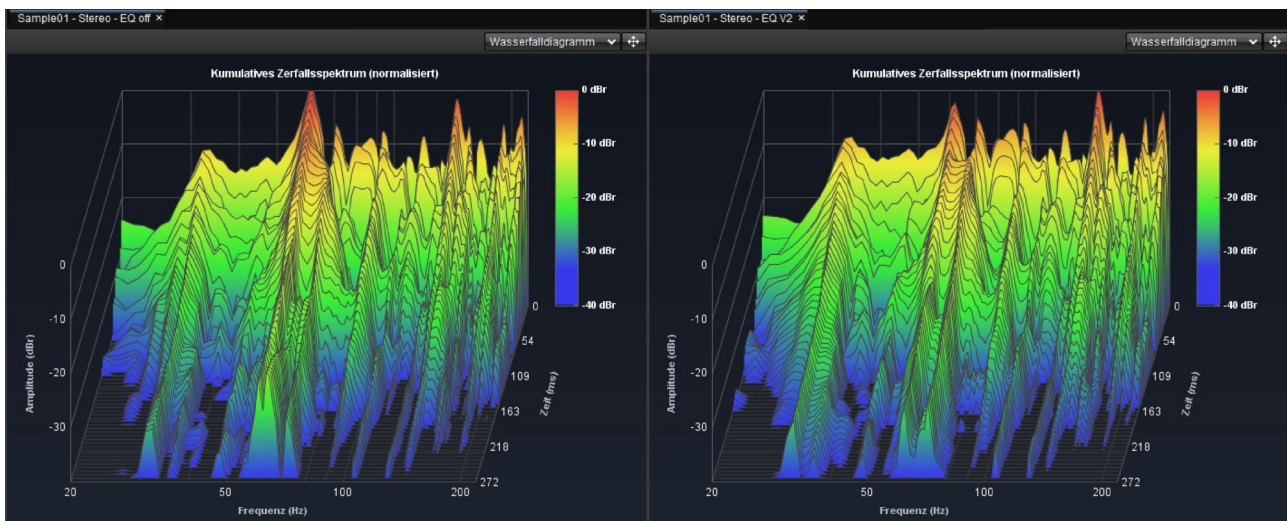


## Das Ergebnis der Optimierung

### Technisch

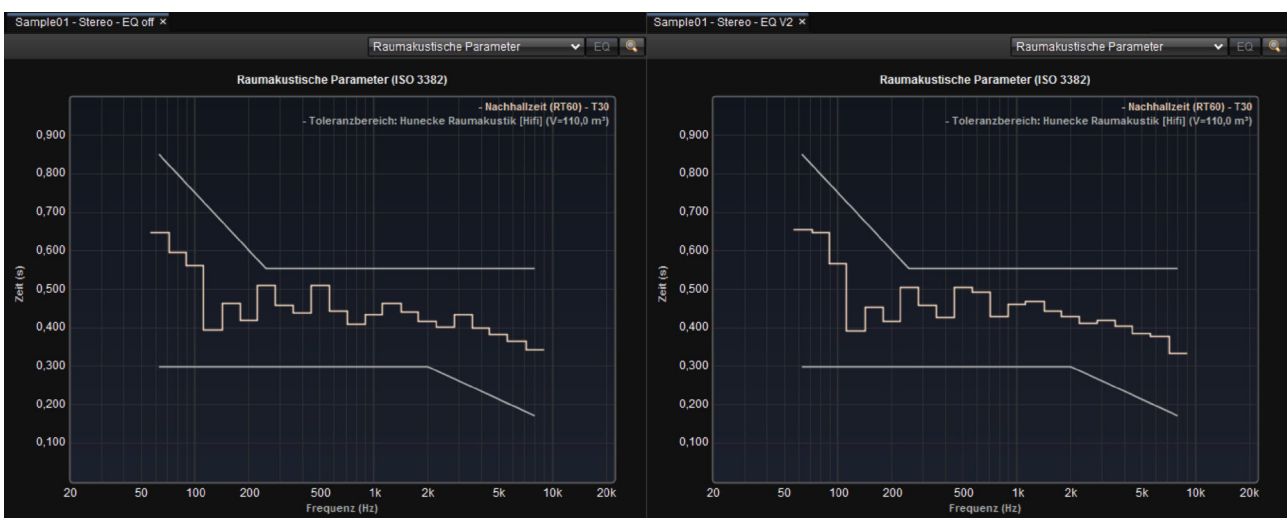
Da dem Hörraum nun deutlich weniger Energie (-7.5dB bei 59Hz) zugeführt wird, wird das Dröhnen nicht mehr so stark wahrgenommen bzw. nicht mehr als störend empfunden. Die Resonanz ist weniger ausgeprägt und der Bass sozusagen "ausgewogener".

(Linke Grafik: ohne EQ / Rechte Grafik: mit EQ)



Werden keine Veränderungen am Raum bzw. an der Einrichtung vorgenommen ändern sich i.d.R. durch Equalizing die Nachhallzeiten nicht wesentlich. Theoretisch ist es möglich, per Equalizer die Nachhallzeit bei bestimmten Raummoden zu reduzieren, dieser Effekt ist in der Praxis aber nur sehr selten wirklich deutlich messbar. Durch die veränderte Energieverteilung im Raum ergeben sich minimal andere Messwerte. Der Grundcharakter bleibt aber erhalten.

(Linke Grafik: ohne EQ / Rechte Grafik: mit EQ)



## Klanglich

Das "Dröhnen" ist weniger geworden und der Bass dadurch deutlich sauberer.

Durch die gewählten Equalizer-Einstellungen ist der Frequenzgang jetzt zwar sehr linear, dennoch könnte sich bei einigen Musikstücken etwas mehr Tief- und Grundton als klanglich vorteilhaft erweisen. Da noch drei EQ-Bänder frei sind, wird dies mit einem Höhensteller (High-Shelf) realisiert (Frequenz = 686Hz | Verstärkung = -4.0dB).



Nachdem diese Equalizer-Einstellungen als weiteres User-Setting im DNx abgespeichert wurden, kann nun ganz bequem beim Musikhören zwischen den beiden Einstellungen (mit z.B. RCP oder Fernbedingung) umgeschaltet werden ...und möglicherweise fasst man schon nach ein paar Tagen den Entschluss, für Alben der 80er Jahre eine Einstellung zu programmieren, bei der der Bass noch zusätzlich etwas angehoben wird.

*Der Frequenzgang am Hörplatz ist nur ein Puzzlestück in Sachen Raumakustik. Erst wenn grundlegende Dinge wie Aufstellungsort der Lautsprecher, Hörposition, Nachhallzeiten, erste Reflexionen usw. soweit möglich optimiert, wurden sollte eine Korrektur per Equalizer erfolgen.*

*Basis für alle korrigierenden Maßnahmen und in der Folge ein zufriedenstellendes Ergebnis sind also immer auch die persönliche Bereitschaft und die Möglichkeiten, sich mit den spezifischen Parametern des Hörraums auseinanderzusetzen. Dabei bietet der Equalizer der Audionet DNx Geräte im Zusammenspiel mit CARMA ein mächtiges Werkzeug, um den Klang zu optimieren.*



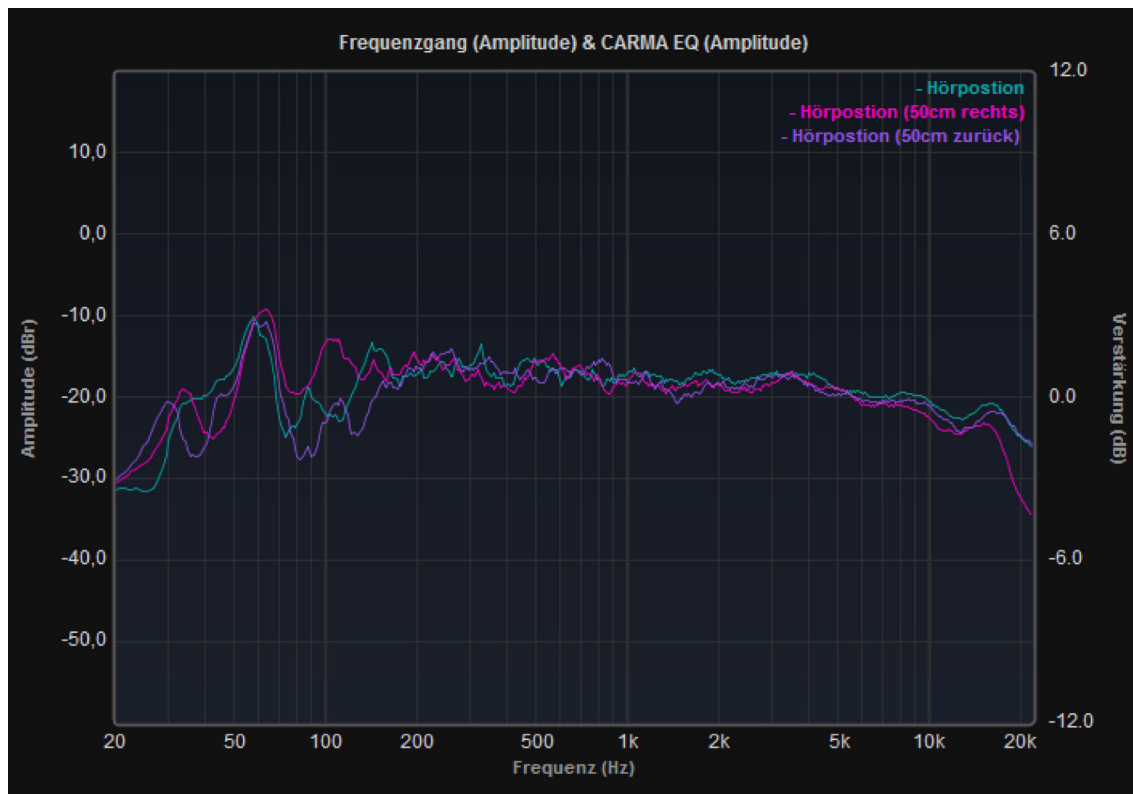
## Anmerkungen zur Beispieloptimierung

Nun fragt sich so mancher Leser sicherlich, was soll daran jetzt kompliziert sein?

Hierzu einige wenige Punkte:

### Frequenzgänge sind ortsabhängig

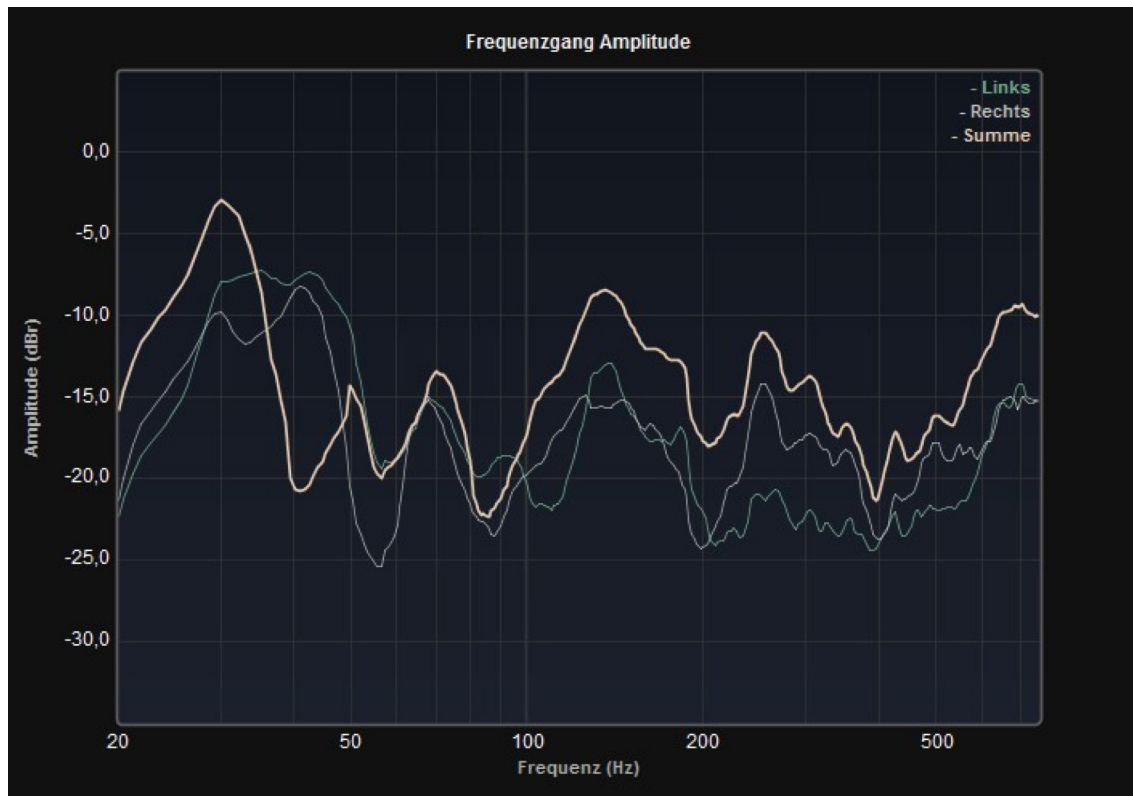
Durch verschiedene Faktoren (Raummoden im Tieftonbereich, Abstrahlverhalten des Lautsprechers usw.) verändert sich der Frequenzgang schon bei geringer Verschiebung der Hörposition.



Deshalb sollten Messungen immer an mehreren Stellen in der Nähe der Hörposition durchgeführt und die EQ-Einstellungen so gewählt werden, dass für jeden der Messpunkte eine Optimierung erreicht wird.

## Addition von Frequenzgängen

Der Frequenzgang eines Systems setzt sich aus Amplituden- und Phasengang zusammen. Abhängig von der Phasenlage (bei einer bestimmten Frequenz) addieren sich der rechte und linke Kanal unterschiedlich bzw. löschen sich ggf. sogar aus.



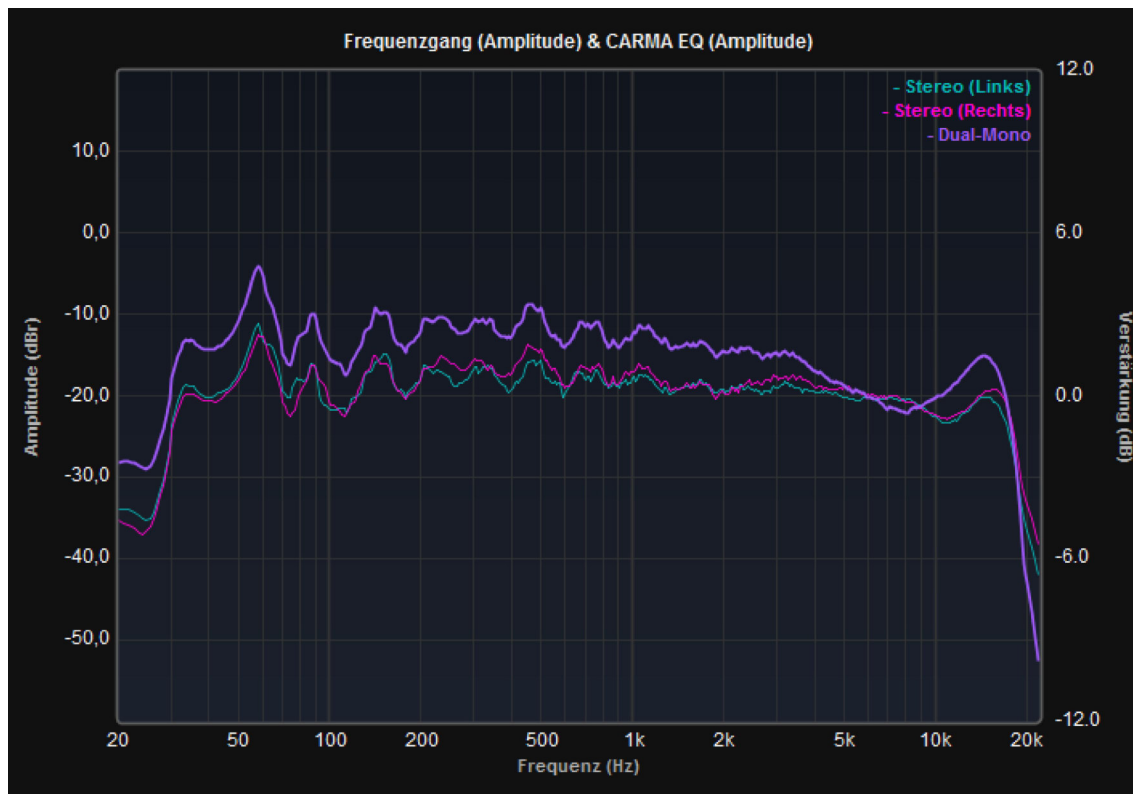
Wird eine CARMA Stereo-Messung durchgeführt – also linker und rechter Kanal getrennt gemessen – und anschließend nicht die Mono-Summe (gelbe Linie) betrachtet, könnte man aus der Messung folgendes ablesen: Leichte Bass-Überhöhung zwischen 30-45Hz und 100-200Hz, durch Raummoden bedingte Auslöschungen zwischen 50-90Hz (besonders auf dem linken Kanal).

Da der Abstand der beiden Lautsprecher zu den Zimmerwänden durch asymmetrische Aufstellung nicht identisch ist, addieren sich die Laufzeiten des rechten und linken Kanals an der Mess-Position im Bass nicht optimal. Bei Betrachtung der Mono-Summe wird aus der vermeintlichen Bass-Überhöhung ein moden-/phasenbedingtes "Bassloch" von ca. 35-60Hz (gelbe Linie). Immer über "**Analyse** -> **Kanalsummation**" die Summe der Kanäle im Bassbereich prüfen bzw. eine Dual-Mono Messung zur Überprüfung durchführen. Erst anhand dieser Ergebnisse nötige EQ-Einstellungen ermitteln bzw. vornehmen.

## Warum dann nicht gleich immer Dual-Mono messen?

Die unterschiedlichen Entfernungen von linkem und rechtem Lautsprecher zum Mikrofon (im mm oder cm Bereich) ergeben für die Schallwellen der beiden Signale unterschiedliche Laufzeiten. Durch die kurzen Wellenlängen von hohen Frequenzen (z.B. 10KHz -> Wellenlänge ( $\lambda$ ) ca. 3,4cm) ist eine Addition der

beiden Signale extrem positionsabhängig. So kann ein Verschieben des Mikrofons von nur wenigen Zentimetern zu einem völligen anderen Verlauf der Mono-Summe im höheren Frequenzbereich führen.





## Tipps und Hinweise

- 1/3 Oktavband-Glättung zur allgemeinen Beurteilung des Frequenzgangs.
- 1/12 oder 1/24 Oktavband-Glättung um Resonanzen im Bass zu ermitteln. "Löcher/Täler" durch Raummoden im *Tieftonbereich* nicht mit extremen Glocken-Filtern füllen. Ganz salopp gesagt: "Wo in diesen Fällen keine Energie ist, bekommt man mittels Equalizer auch keine hin". Hier hilft eine andere Positionierung der Lautsprecher bzw. eine andere Hörposition. Ggf. muss also der Hörraum umgestaltet werden.
- Gefundene EQ-Einstellungen immer bei verschiedener Oktavband-Glättung betrachten, so findet man die besten Einstellungen.
- Bei der Optimierung für einen Hauptsitzplatz, sollte man mehrere Messung mit leicht unterschiedlichen Mikrofon-Positionierungen durchführen. Das Mikrofon je nach Sitzgewohnheit auf Kopfhöhe in vertikaler und horizontaler Ebene verschieben ( $\pm 20\text{cm}$  bis  $40\text{ cm}$ ). Auf diese Weise Equalizer-Einstellungen suchen, die im Mittel für alle gemessenen Positionen die beste Optimierung ergeben.
- EQ-Einstellungen wirken sich subjektiv immer auch auf andere Frequenzbereiche aus, diesen Effekt kennt jeder Toningenieur. Equalizer Einstellungen im Bass wirken sich für das Ohr nicht zwangsläufig nur auf den Bass aus.
- Identische EQ-Einstellungen für linken und rechten Kanal liefern bei symmetrischer Aufstellung der Lautsprecher häufig ein ausgewogenes Klangbild. In Spezialfällen (Hörraum mit Dachschrägen, unsymmetrische Aufstellungen, eine Raumseite nur mit Fenstern, o.ä) gilt dies nicht unbedingt. Am besten für den eigenen Fall beide Möglichkeiten ausprobieren und selbst entscheiden.

AUDIONET ist ein Geschäftsbereich der Idektron GmbH & Co KG  
Entwickelt und produziert von:

Idektron GmbH & Co. KG, Herner Str. 299, Gebäude 6, 44809 Bochum  
[www.audionet.de](http://www.audionet.de)  
[kontakt@audionet.de](mailto:kontakt@audionet.de)