

Der größte Fehler bei der Raumakustik Messung

Hallo Freunde der guten Musikwiedergabe.

In diesem Video geht es ums Hören im Wohnzimmer. Testberichte oder Hersteller zeigen Ihnen den Frequenzgang ihres Lautsprechers. Dieser wird in reflexionsfreien Räumen gemessen. Bei der Entwicklung wird darauf geachtet, dass die Frequenzgangkurve ganz linear ist. Dieser Frequenzgang, sowie eine Reihe anderer Messungen zeigen, ob der Klang der Aufnahme wiedergegeben werden kann. Das Ziel des Entwicklers ist ein Klangerlebnis, als ob der Hörer bei der Aufnahme dabei gewesen ist.

Leider aber sitzt der Hörer nicht in den reflexionsfreien Messraum, was übrigens sehr unangenehm ist. Er befindet sich auch nicht im Freien, sondern im Wohnzimmer. Das Wohnzimmer besitzt Wände, Decke und Boden. Diese werden als Grenzflächen bezeichnet und reflektieren den Schall.

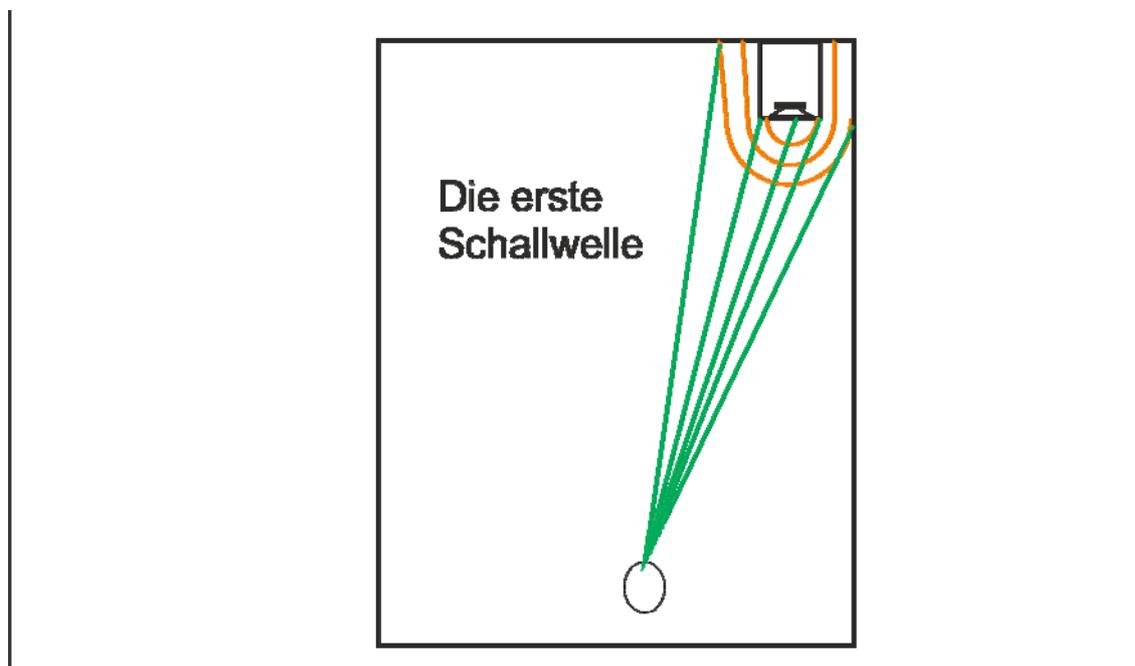


Bild: Erste Schallwelle

Wird eine Aufnahme von dem Lautsprecher wiedergegeben, hört der Hörer zuerst die erste Schallwelle, den direkten Schall. Dieser entspricht schon nicht den Messungen bei der Entwicklung. Dieser Schall ist stark von der Aufstellung des Lautsprechers abhängig. Es entsteht die Aufgabe, den Lautsprecher so aufzustellen, dass der direkte Schall den Messungen der Entwicklung entspricht. Da dies durch reines Hören fast nicht möglich ist, unterstützen wir sie mit dem kostenlosen ATB Audio Analyzer Demo Programm. Mit der Wasserfall Messung können sie den direkten Schall des Lautsprechers messen und durch die Positionierung eine der Entwicklung entsprechende Wiedergabe erreichen. Hierbei haben schon 10cm eine große Bedeutung. Wie man zu der optimalen Aufstellung gelangt, wird noch beschrieben. Die Meinung, dass der Raum der Feind der guten Lautsprecherwiedergabe ist, stimmt für nicht richtig aufgestellte Lautsprecher. Die meisten Wohnräume ermöglichen durchaus eine gute Klangwiedergabe.

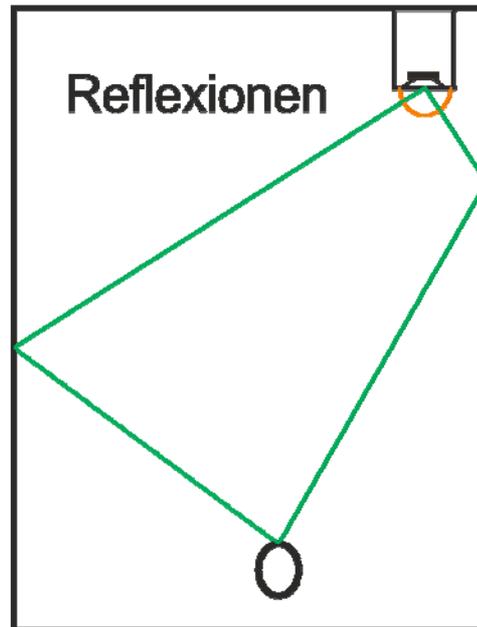


Bild: Reflexionen

Eine weitere Beeinflussung der Wiedergabe durch den Raum sind die Reflexionen. Bei den Reflexionen unterscheidet man den Tieftonbereich und den Mittel-Hochtonbereich. Im Tieftonbereich werden die Reflexionen zu Resonanzen, den Raummoden. Diese entsprechen der Raumgröße. Die werden ausreichend in der Literatur beschrieben.

Im Mittel-Hochtonbereich wird der Klang durch die Reflexionen an den Wänden, Boden und Decke beeinflusst. Die Reflexionen erreichen den Hörer zeitversetzt zu der ersten Schallwelle und Überlagern diese. Die Überlagerung erzeugt Töne, die in der Aufnahme nicht vorhanden sind. So kann der Klang sehr nervig und die Impulse verwaschen werden. Die Reflexionen besitzen Lautstärke, Frequenzbereich und Zeitverzögerung. Reflexionen lassen sich nur durch akustische Maßnahmen im Raum verhindern. Dies wird durch im Raum angebrachte Absorber und Diffusor erreicht. Bei der akustischen Optimierung des Raumes ist es wichtig, die reflektierende Fläche sowie die Art und das Material für das akustische Element zu bestimmen. Dies erfolgt messtechnisch mit dem ATB Audio Analyzer Programm. Die Wasserfall Messung zeigt die Reflexionen und deren Eigenschaften.

Es ist üblich, die Position der Lautsprecher und die akustische Optimierung des Hörraums mit der Frequenzgang Messung durchzuführen. Dies ist der größte Fehler der Raumakustik Messung. Im Frequenzgang werden die erste Schallwelle und die Reflexionen zusammen gezeigt. Die Aufstellung des Lautsprechers und die Reflexionen sind im Frequenzgang nicht zu erkennen. Was die Messung vollkommen unbrauchbar macht, ist der Kammfilter Effekt. Der tritt auf, wenn eine direkte Schallwelle und eine leicht verzögerte Schallwelle sich überlagern. Die verzögerte Schallwelle ist die Raumreflexion. Obwohl diese Überlagerung zeitlich betrachtet ein einmaliges Ereignis ist, wird sie im Frequenzgang als eine Vielzahl von Resonanzen gezeigt.

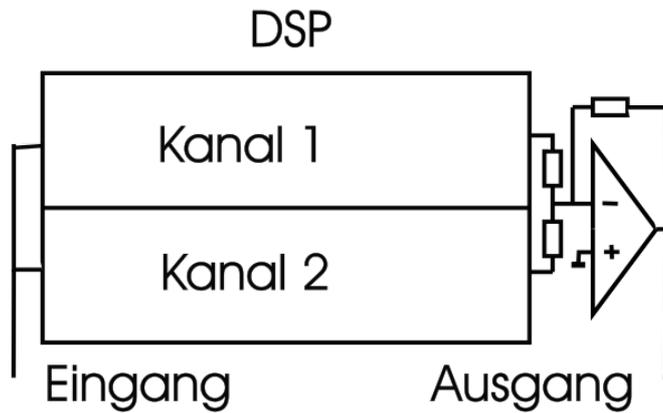


Bild: Testschaltung

Zur Demonstration des Kammfiltereffektes wird eine elektrische Messung gezeigt. Hierbei wurden zwei Kanäle eines DSPs über eine Summationsschaltung zusammengeführt. Kanal 1 liefert das direkte, unverzögerte Signal. In Kanal 2 wird das Signal entsprechend der Rumreflexion verzögert und in der Amplitude reduziert. Die Messung bestätigt die Theorie.

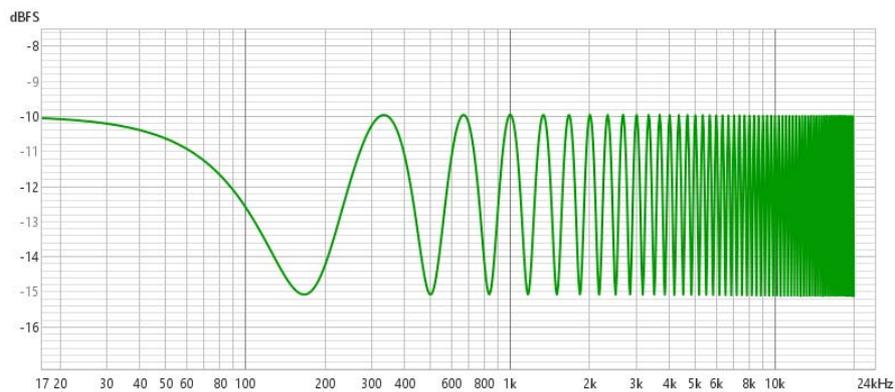


Bild: Kammfiltereffekt

Der Frequenzgang besitzt eine Vielzahl von Überhöhungen und Einbrüchen. Das zeitlich betrachtete einmalige Ereignis wird als Vielzahl von Ereignissen gezeigt. Da die Frequenzgangmessung keine Zeit zeigen kann, macht eine Verzögerungen die Messung unbrauchbar. Die Überhöhungen können als Resonanzen betrachtet werden und werden auch von den IR Wasserfall Messungen als solche gezeigt.

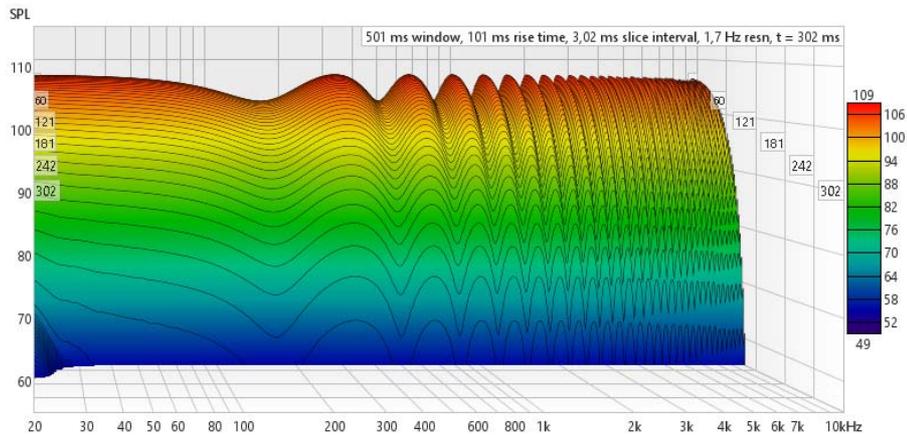


Bild: IR Wasserfalldiagramm

Wird jetzt die angebliche Resonanz mit dem parametrischen Equalizer reduziert, wird eine Resonanz in die Wiedergabe eingebaut. Resonanzen sind der Feind der natürlichen Klangwiedergabe. Der Kammfiltereffekt verhindert die Optimierung der Wiedergabe durch die Frequenzgangmessung.

Für die optimale Aufstellung des Lautsprechers sowie der akustische Optimierung des Hörraums ist eine Messtechnik notwendig, die direkten und reflektierten Schall getrennt zeigt. Die Messung entspricht dem amerikanischen TEF Analyzer. Dieser zeigte das Zeitverhalten, war aber viel zu aufwendig zu bedienen. Der Dipl.-Inf. Elmar Meyer-Carlstädt hat die Messung mathematisch aufgearbeitet und die einfach zu bedienende ATB Wasserfallmessung entwickelt.

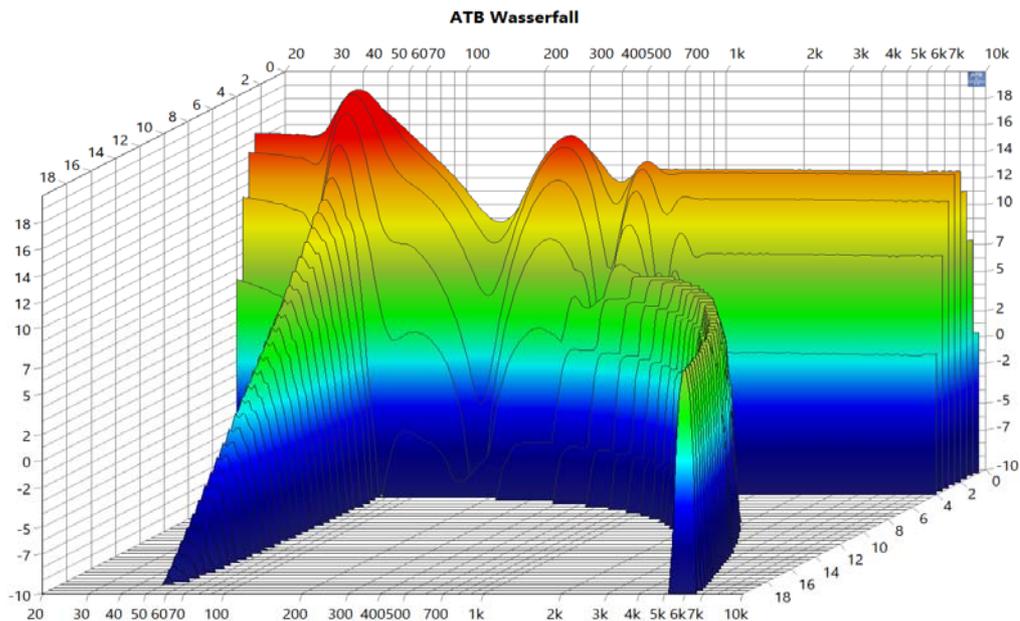


Bild: ATB Wasserfall

Bei der ATB Wasserfallmessung wird als Messsignal der Cosinus-Burst benutzt. Für jede angezeigte Frequenz wird eine Oszilloskop Messung durchgeführt. Die Messungen werden zu dem 3-D Spektrum zusammengesetzt. In dem Bild wird für den Tieftonbereich eine Resonanz, entsprechend der Raummode, gezeigt. Oben im Bild ist ein parallel zu der Frequenzachse verlaufender Gebirgszug zu sehen. Der zeigt die erste Schallwelle. Der nach vorne verlaufende gebogen Gebirgszug zeigt ein verzögertes Signal, die Reflexion.

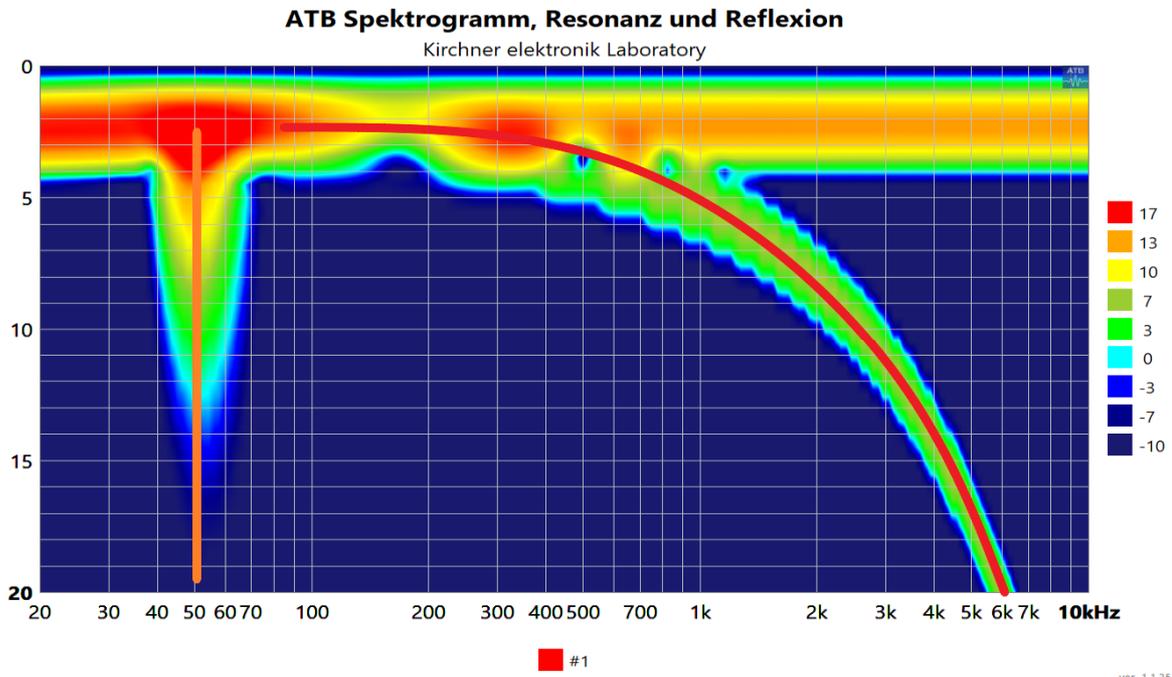


Bild: Spektrogramm

Im Spektrogramm wird die Darstellung von der Resonanz und der Reflexion deutlich. Die orange farbige Linie zeigt die Resonanz, entsprechend der Raummode. Die gebogene rote Linie zeigt die Reflexion. Durch die Verzögerung besteht bei 160Hz die Phasendifferenz von 180° . Dies führt zu dem Einbruch im Frequenzgang. Bei 320Hz sind beide Signale gleichphasig. Sie addieren sich.

Mit dieser Messung lässt sich die Aufstellung des Lautsprechers optimieren. Die erste Schallwelle bestimmt die tonale und räumliche Klangwiedergabe. Diese zeigt der Gebirgszug parallel zur x-Achse. Der Lautsprecher wird so lange verschoben, bis der Gebirgszug eine gleichmäßige Höhe zeigt. Durch die Darstellung der Reflexionen lassen sich die akustischen Maßnahmen im Raum durchführen.

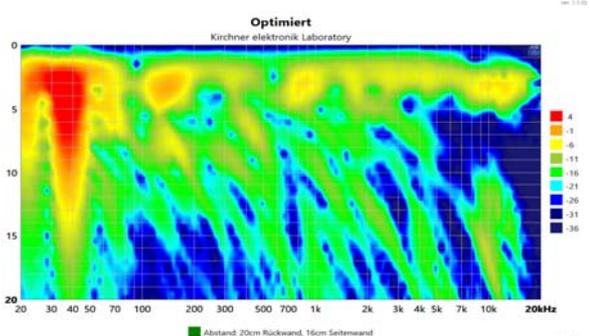
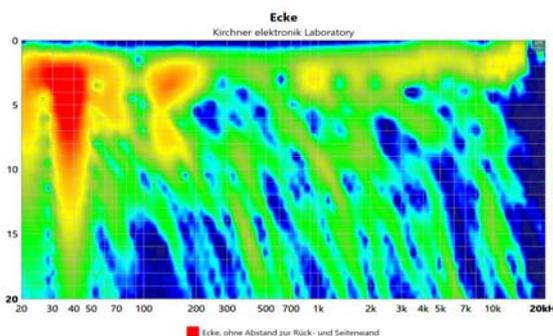
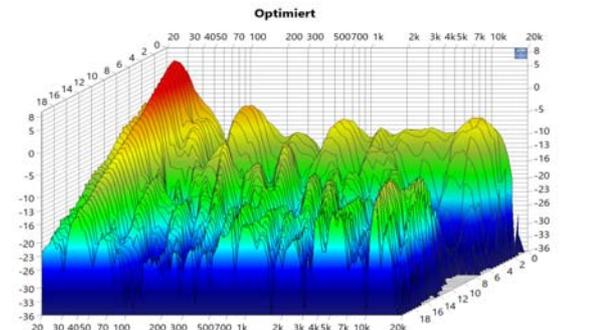
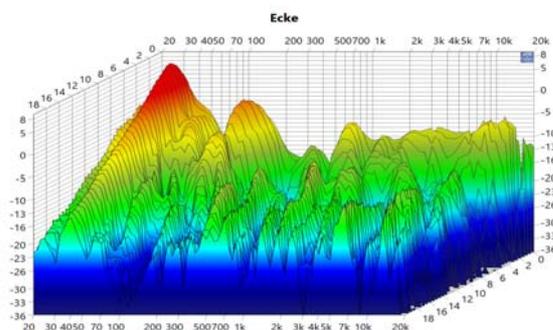
Dies soll an Beispiel des Analogon Studio Monitor Lautsprechers in unserem Hörraum gezeigt werden.



Der Lautsprecher besitzt im Freifeld einen sehr linearen Frequenzgang. Durch das Mitteltonhorn haben die Mitten eine sehr hohe Auflösung und Dynamik. Das Mitteltonhorn ist für den Bass entwickelt worden, sodass die akustischen Zentren übereinander liegen. Die dreieckige Form des Hornes verhindert Querreflexionen, die das Impulsverhalten verschlechtern.

Für den Lautsprecher soll die optimale akustisch Position gefunden werden. Die Position des Mikrofons ist entsprechen der Position des Hörer Ohres.

Nach mehreren Messungen wurde die optimale Position gefunden. Diese wird mit der Anfangsposition verglichen.



Bilder: Anfangspositionierung

optimierte Positionierung

Bei der Anfangspositionierung ist in dem Bereich um 200Hz ein großes Loch im Schalldruckverlauf zu sehen. Im Spektrogramm wird es durch die blaue Farbe gezeigt. Dies führt zu einen zu leisen Grundtonbereich. Nach der Optimierung sind im Hochtonbereich ab 2kHz deutlich weniger Resonanzen zu sehen. Dies führt zu einer hervorragenden räumlichen Abbildung. Die Resonanz, Raummode, ist nicht so stark zu hören, wie es die Messung zeigt. Sie kann durch Absorber ausgeglichen werden.

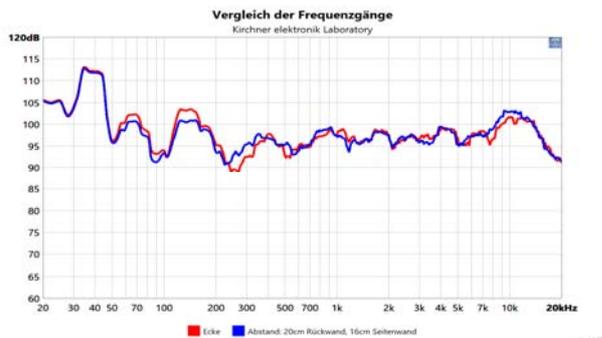
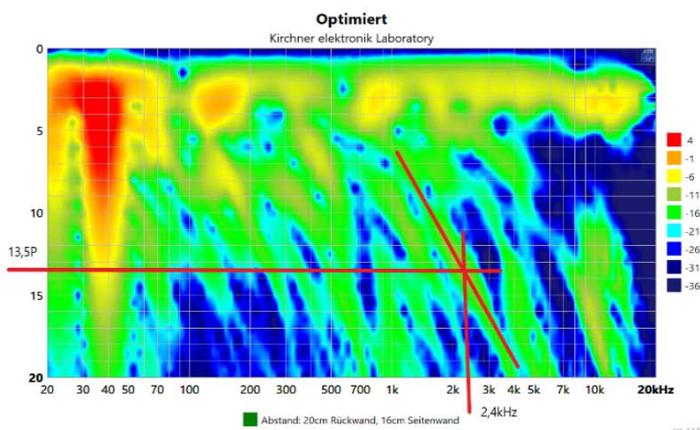


Bild: Frequenzgang

Ein Vergleich der Frequenzgänge der Positionen zeigt nur geringe Unterschiede und auch nicht den Bereich, in dem der größte Unterschied auftritt. Auch andere Frequenzgangmessungen für die einzelnen Positionen zeigten kein Ergebnis.

Mit der ATB Wasserfallmessung kann auch die Akustik des Hörraums optimiert werden. Die ATB Wasserfallmessung zeigt die Reflexionen, deren Amplitude und den Frequenzbereich.



$$V = 1/f \times (P - 2,5)$$

V = Verzögerung

f = Frequenz

P = Anzahl der Perioden

$$D = V \times 340 \text{m/s}$$

D = Entfernung

Bild: Analyse der Reflexionen, Berechnung der Strecke vom Hörer zur Rückwand und zurück

Im Spektrogramm werden die Reflexionen sehr deutlich gezeigt. Das Spektrogramm für die optimale Aufstellung des Lautsprechers zeigt oberhalb von 700Hz besonders viele Reflexionen. Im Spektrogramm werden die Verzögerung und der Frequenzbereich ausgemessen. Im Bild wird eine auffällige Reflexion bestimmt.

Die Verzögerung beträgt $V = 1/2,3 \text{kHz} \times (13,5 - 2,5) \times \text{s} = 0,0046 \text{s}$

Aus der Verzögerung wird die Entfernung mit $D = 0,0046 \text{s} \times 340 \text{m/s} = 1,56 \text{m}$ berechnet.

Diese Entfernung wird wegen Hin- und Rückweg der Schallwelle durch $\frac{1}{2}$ halbiert und entspricht dem Abstand der Hörposition zur hinteren Wand (Scheibe). Das Dämmmaterial wird durch den Frequenzbereich der Reflexionen von 700Hz bis 6kHz bestimmt.

Für den Test zur Bedämpfung der rückseitigen Reflexionen wird vor das Fenster eine Dämmplatte gestellt.

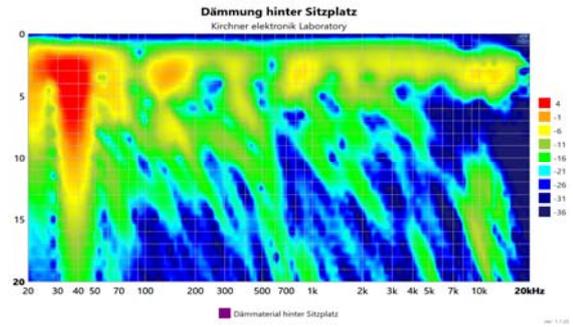
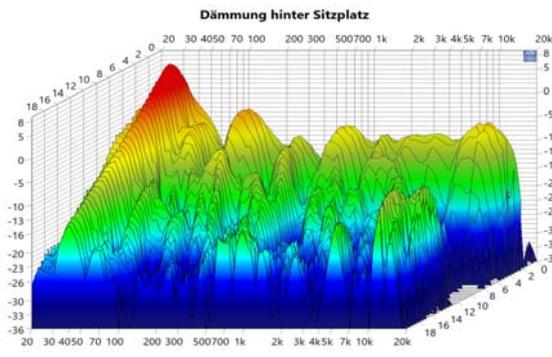


Bild: Bedämpfung der Fläche hinter der Sitzposition

Die Wirkung zeigt die blaue Fläche im Spektrogramm, oberhalb von 700Hz sind die Reflexionen reduziert.

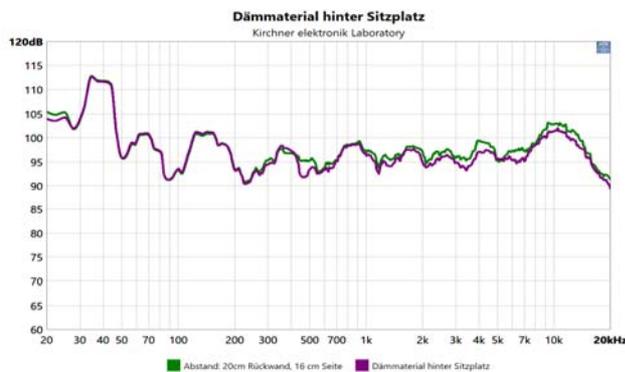


Bild: Frequenzgang mit und ohne Dämmplatte hinter der Sitzposition

Die Frequenzgangmessung zeigt kein eindeutiges Ergebnis. Die bedämpften Reflexionen sind nicht zu erkennen.

Als Weiteres wird eine Dämmplatte an die Seitenwand neben dem Lautsprecher gestellt zur Bedämpfung der Reflexionen des Hochtonbereichs.

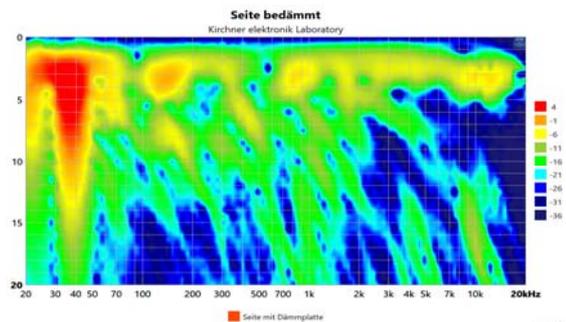
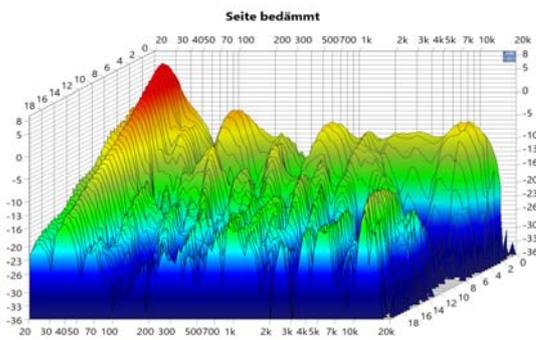


Bild: Dämmplatten an der Seite der Box

Es ist keine Verbesserung zu erkennen. Das seitliche Regal wirkt als Diffusor und übernimmt die Funktion der Dämmplatte.