

2022

RAUMAKUSTIK

OPTIMIEREN
MEINES
TONSTUDIOS
MIT
300 EURO
BUDGET

SEVERIN STRÖHLE

INHALTSVERZEICHNIS

1. EINLEITUNG

1.1 BESCHREIBUNG	S.6
1.2 AKUSTISCHE GRUNDLAGEN	S.8

2. ANALYSE & PLANUNG

2.1 BESCHREIBUNG	S.12
2.2 RAUMMAßE	S.14
2.3 RAUMMODEN	S.16
2.4 ERSTREFLEXIONEN	S.19
2.5 RAUMPLANUNG	S.23

3. LAUTSPRECHERPOSITION

3.1 BESCHREIBUNG	S.30
3.2 ABHÖRPOSITION	S.32
3.3 LAUTSPRECHERPOSITION	S.33
3.4 ERSTE MESSUNG	S.36

4. BASSFALLEN

4.1 BESCHREIBUNG	S.42
4.2 PLANUNG	S.44
4.3 MATERIALWAHL	S.46
4.4 DER BAU	S.48
4.5 MESSUNG	S.50

5. BREITBANDABSORBER

5.1 BESCHREIBUNG	S.56
5.2 ABSORPTION VS. DIFFUSION	S.58
5.3 MATERIALWAHL	S.60
5.4 PLANUNG	S.60
5.5 DER BAU	S.62

6. ERGEBNIS

6.1 BESCHREIBUNG	S.68
6.2 DER RAUM	S.70
6.3 KOSTEN	S.74
6.4 MESSUNG	S.76
6.5 VERBESSERUNG DURCH EQ	S.80
6.6 FAZIT	S.84
6.7 AUSBLICK	S.85
6.8 QUELLEN	S.86



1. EINLEITUNG

1.1 BESCHREIBUNG	-----	S.6
1.2 AKUSTISCHE GRUNDLAGEN	-----	S.8

1.1 BESCHREIBUNG

In diesem Projekt geht es darum, die Raumakustik des eigenen Tonstudios zu optimieren. Dabei ist das Budget auf 300,- begrenzt.

Da ich noch kein Experte in dieser Thematik bin, wird das Thema teils vereinfacht dargestellt.

Im ersten Kapitel geht es darum, einen ersten Überblick über Raumakustik zu bekommen.

1.2 AKUSTISCHE GRUNDLAGEN

„Raumakustik ist pure Physik.“ - Auf Grund dessen kann man im Vorhinein sehr genau bestimmen, was man in einem Raum unternehmen muss, um diesen akustisch zu optimieren. In einem gut klingenden Raum sind alle akustischen Parameter auf die Nutzung des Raums hin optimiert.

Doch was genau sind diese Parameter?

1. Ein neutraler Frequenzgang

In einem Raum sollte im besten Fall, wenn ein Klang über die Lautsprecher abgegeben wird, dieser auch genau so klingen, wie er aus den Lautsprechern kommt. Allerdings gibt es in jedem Raum verschiedene Stellen, an denen der selbige Ton eine unterschiedliche Lautstärke haben kann.

Raummoden: Abhängig von der Dimension eines Raumes (Länge x Breite x Höhe), besitzt dieser ein entsprechendes Luftvolumen. Dieses Volumen enthält Eigenfrequenzen, welche besonders schnell zu Schwingen beginnen. Diese sogenannten Raummoden sind an jeder Stelle im Raum unterschiedlich.

Außerdem können verschiedene Frequenzen an der selbigen Stelle im Raum auch unterschiedlich laut sein. Selbiges gilt für die Anregbarkeit der Raummoden. Wenn z.B. ein Subwoofer in einer Raumecke steht, in der vor allem tiefe Frequenzen sehr stark angeregt werden, so sind diese Frequenzen dort viel lauter, als an einer anderen Stelle im Raum. Raummoden verfälschen vor allem im tiefen Frequenzbereich die Akustik des Ton- und Aufnahmestudios.

Raummoden können nicht verhindert werden, jedoch kann dieser Effekt so gut es geht verkleinert werden.

2. Kontrollierte Erstreflexionen

Wenn ein akustisches Signal, welches aus einem Lautsprecher kommt, auf eine Oberfläche (z.B. eine Wand) trifft, von dieser reflektiert wird und ins Ohr gelangt, so spricht man von einer Erstreflexion.

Dies passiert allerdings so schnell, dass das menschliche Gehirn zwischen dem Signal, welches aus dem Lautsprecher kommt und dem (erst-)reflektierten Signal nicht differenzieren kann. Dies kann eine Färbung des Klanges zur Folge haben.

3. Kontrollierte, späte Reflexionen bzw. Nachhall

Wenn nach einer Erstreflexion ein akustisches Signal nicht direkt in das Ohr gelangt, sondern erst nachdem es mehrfach an verschiedenen Oberflächen reflektiert wurde, so spricht man von einer späten Reflexion.

Das menschliche Gehirn, kann bis zu einem gewissen Grad über diesen Effekt hinweg hören. Ein Mikrofon kann dies allerdings nicht. Auf Grund dessen hören sich Aufnahmen, welche in einem Raum mit einem Mikrofon aufgenommen wurden auch räumlicher und dementsprechend anders an, als wenn man daneben steht und es selbst hört.

Ebenso problematisch in Bezug auf Nachhall sind Flatterechos. Diese entstehen zwischen zwei harten Oberflächen (z.B. zwei Wände), welche sich parallel gegenüber stehen und flattern immer wieder zwischen diesen Oberflächen hin und her. Dieser Effekt stört besonders bei Tonaufnahmen.



2. ANALYSE & PLANUNG

2.1 BESCHREIBUNG	-----	S.12
2.2 RAUMMAßE	-----	S.14
2.3 RAUMMODEN	-----	S.16
2.4 ERSTREFLEXIONEN	-----	S.19
2.5 RAUMPLANUNG	-----	S.23

2.1 BESCHREIBUNG

In diesem Kapitel geht es darum, wie man einen Raum auf seine akustischen Eigenschaften sowie Probleme analysiert. Folglich werden konkrete Maßnahmen getroffen, um diesen Problemen entgegen zu wirken.

Auf Grundlage der Analyse soll ein Plan entwickelt werden.
Mit Hilfe dessen Ausführung soll der Raum bzw. das Studio akustisch optimiert werden.

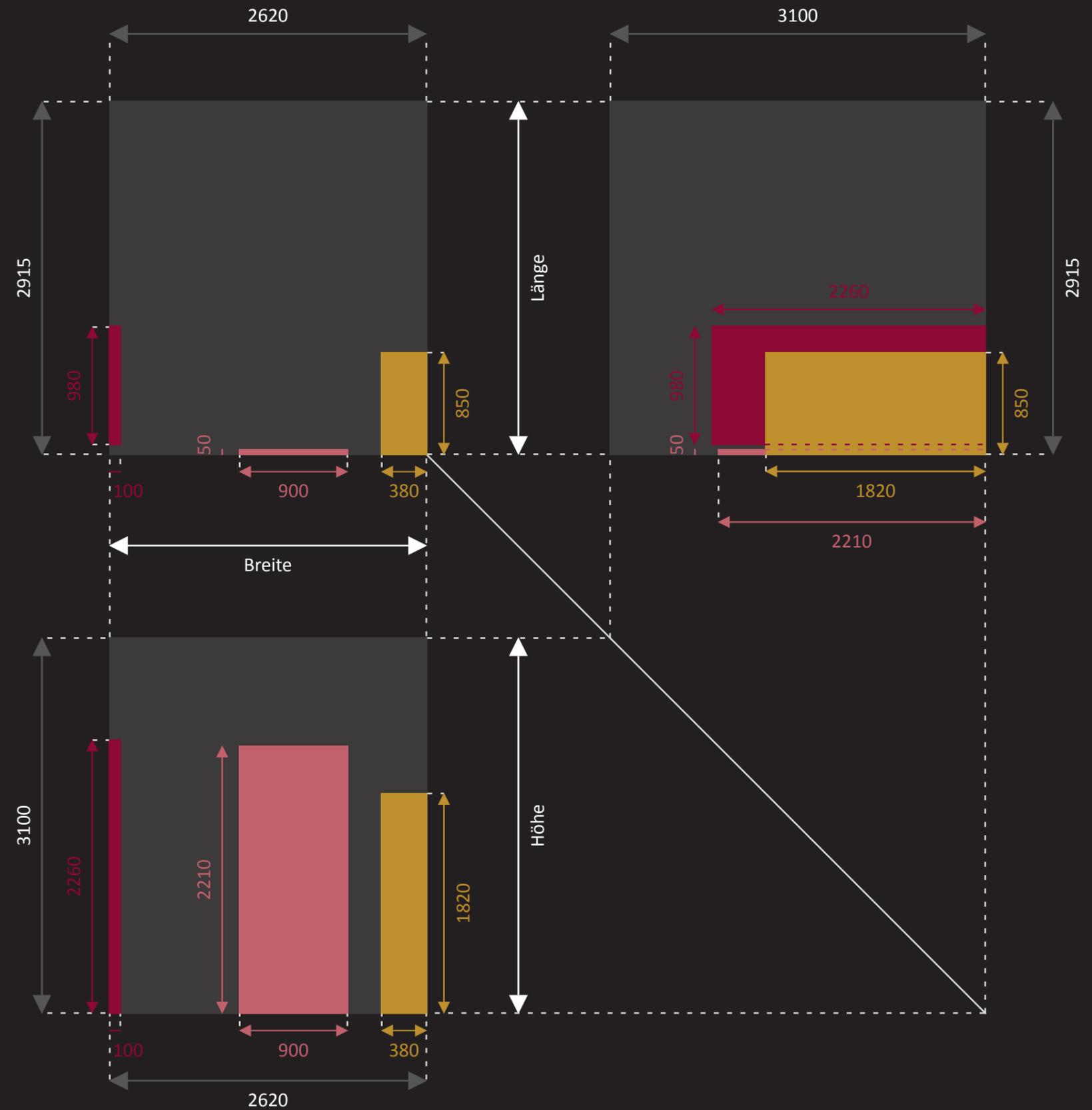
2.2 RAUMMAßE

Im ersten Schritt, wurde der zu optimierende Raum abgemessen und anschließend digital nachgebaut.

Dies ist erforderlich, um die Raummaße in Programme wie z.B. „amroc“ oder „amray“ einspeisen zu können. Dort kann der Raum auf die bereits im vorherigen Kapitel genannten Parameter analysiert werden.

Die Maße der Zeichnung sind in Millimeter angegeben.

■ Raum ■ Tür 1 ■ Tür 2 ■ Schrank



2.3 RAUMMODEN

Als Nächstes wird der Raum auf Raummoden untersucht. Dafür eignet sich das Programm „amroc“.

Link: <https://amcoustics.com/tools/amroc>

Nachdem die Raummaße in „amroc“ eingespeist wurden, visualisiert dieses Tool die raumabhängigen Moden (Abb.1).

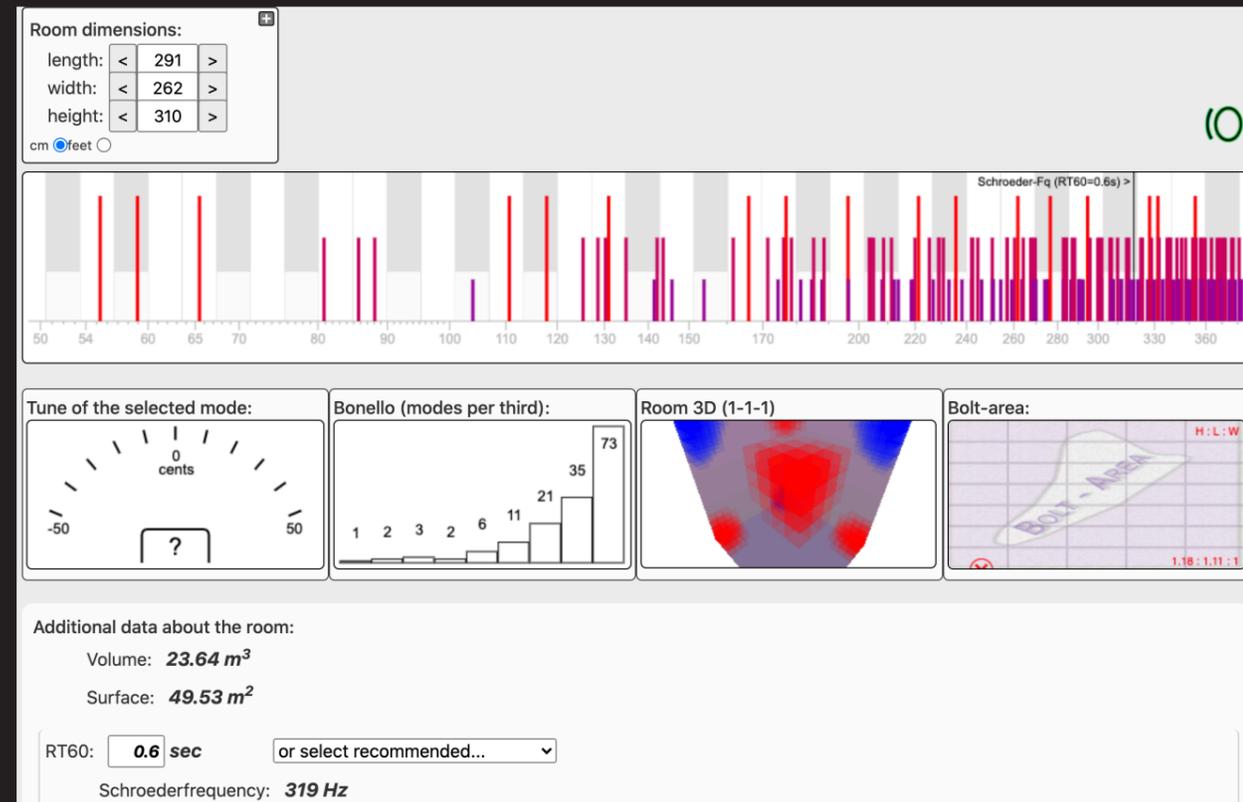


Abb.1: „amroc“

Die langen, roten Striche sind axiale Moden (Ax.). Diese finden immer zwischen genau zwei Wänden statt (Abb.2). Diese Moden haben die größte Auswirkung und auch die größte Kraft in einem Raum.

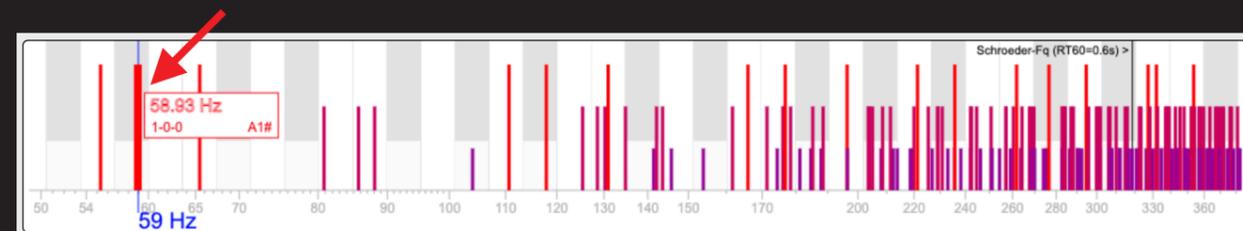


Abb.2: Axiale Moden

Die mittellangen, roten Striche repräsentieren tangentielle Moden (Tan.). Diese treten zwischen vier Wänden auf und sind ca. 3dB leiser als axiale Moden (Abb.3).

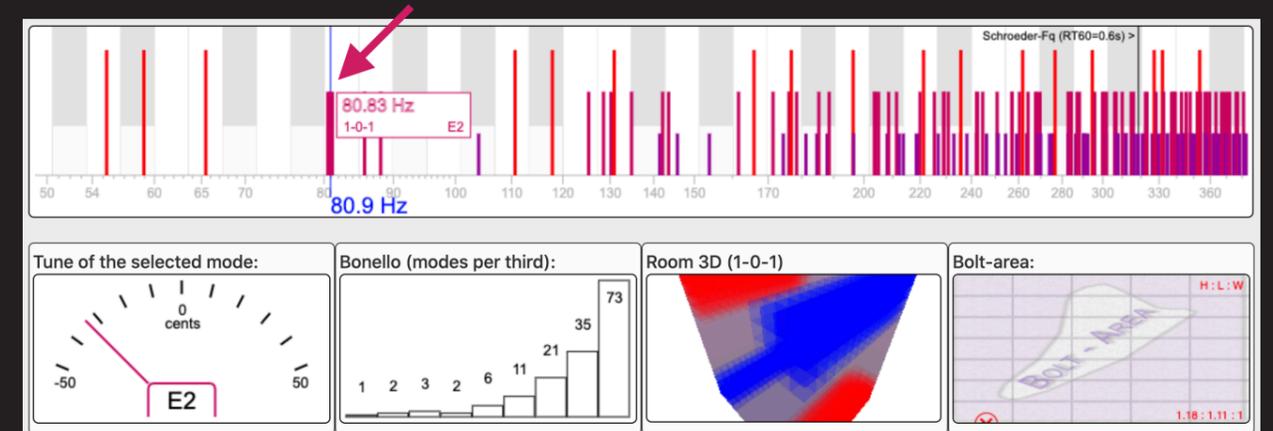


Abb.3: Tangentiale Moden

Die kurzen, lila Striche stehen für oblique Moden (Obl.). Diese treten zwischen allen sechs Wänden auf und sind ca. 6dB leiser als die axialen Moden (Abb.4).

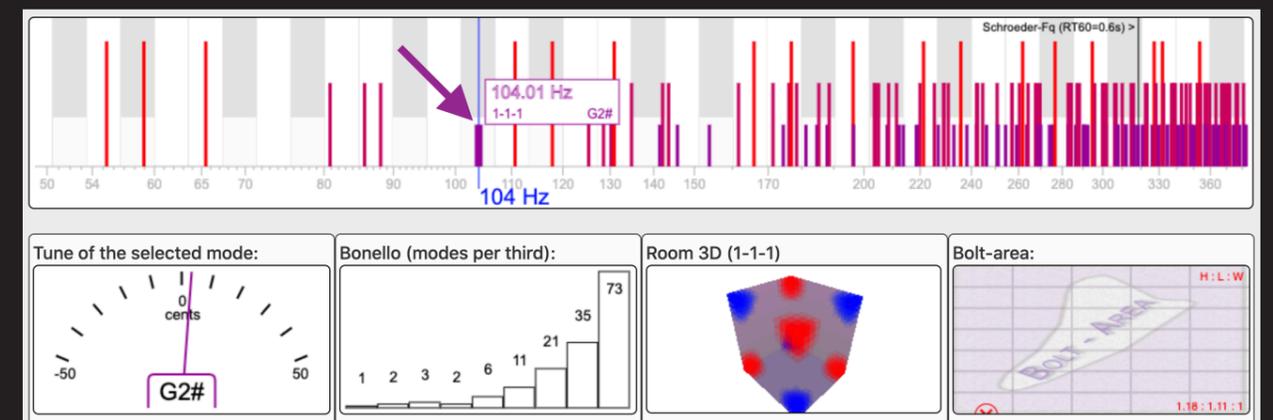


Abb.4: Oblique Moden

Raummoden sind meist nur etwa unter 300Hz relevant. Darüber hinaus haben andere Effekte in der Raumakustik einen stärkeren Effekt, wie z.B. Reflexionen. Dies wird über die Schröder-Frequenz festgelegt, welche in diesem Raum sogar einen Wert über 300Hz (319Hz) besitzt (Abb.1 - ganz unten).

Im nächsten Schritt werden die Visualisierungen der Raummoden und Positionen, an welchen diese auftreten, genauer betrachtet.

Der blaue sowie der rote Bereich zeigen jeweils Schalldruck-Maxima an (Abb.5-6). Ein Schalldruck-Maximum ist der Bereich in einem Raum, an welchem der größte Schalldruck (abhängig von der Frequenz) herrscht, bzw. wo die Raummode am stärksten wirkt.

Um die Moden besser unterscheiden zu können, sind diese rot und blau eingefärbt. Im grauen Bereich dazwischen sind diese weniger stark. Genau in der Mitte des Raums liegt das Minimum, an der die Moden fast unhörbar sind.

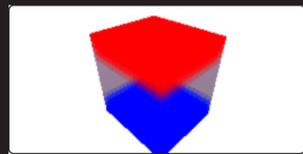


Abb.5: 1.Ax. 55.32Hz

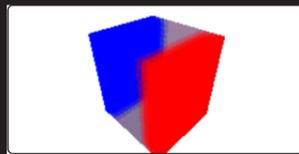


Abb.6: 2.Ax. 58.93Hz

Wenn man sich verschiedene Moden anschaut, so kann man feststellen, dass bei jeder die Schalldruck-Maxima in den Ecken des Raumes stattfinden. Auf Grund dessen sind die Raumecken die wichtigsten Bereiche, wenn es darum geht, Moden zu bekämpfen.

Als Beispiel hierfür dienen die tiefsten zehn Moden (Abb.5-15), welche „amroc“ berechnet hat (55.32Hz -125.36Hz).

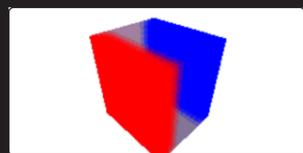


Abb.7: 3.Ax. 65.46Hz

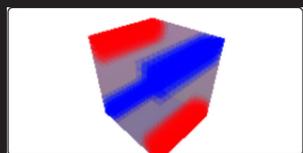


Abb.8: 4.Tan. 80.83Hz

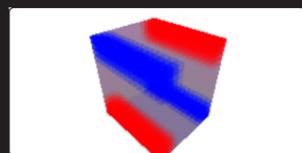


Abb.9: 5.Tan. 85.7Hz

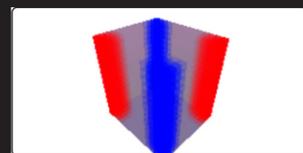


Abb.10: 6.Tan. 88.08Hz

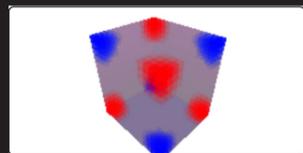


Abb.11: 7.Obl. 104.01Hz

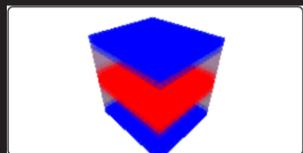


Abb.12: 8.Ax. 110.65Hz

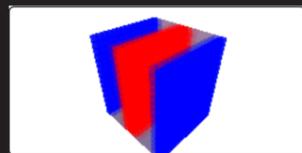


Abb.13: 9.Ax. 117.87Hz

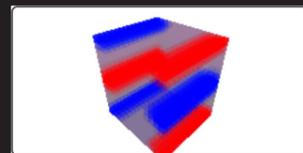


Abb.14: 10.Tan. 125.36Hz

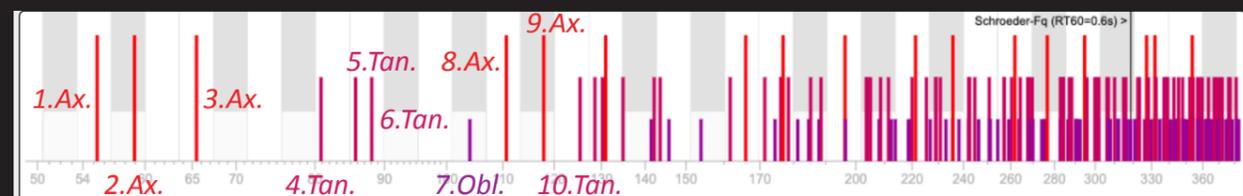


Abb.15: Raummoden Frequenzband

2.4 ERSTREFLEXIONEN

Anschließend werden die Reflexionen untersucht. Dafür eignet sich das Programm „amray“.

Link: <https://amcoustics.com/tools/amray>

„amray“ ist ein Raytracing-Programm und simuliert folglich die Ausbreitung von Lichtstrahlen in einem Raum. Frequenzen ab etwa 200-300Hz verhalten sich wie Lichtstrahlen in ihrer Ausbreitung. Sie werden von Wänden reflektiert und verhalten sich nach dem Prinzip: Einfallswinkel = Ausfallswinkel.

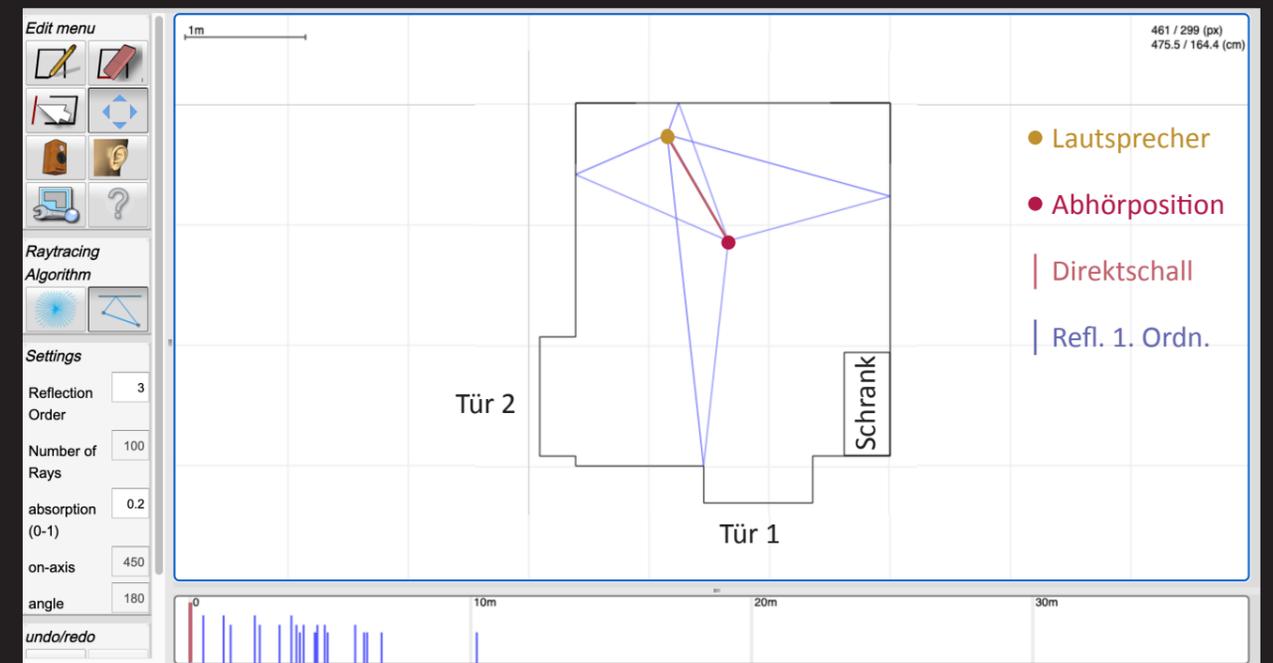


Abb.16: „amray“: Reflexionen 1. Ordnung: L

Die Maße des Raums wurden in „amray“ eingespeist. Der rote Punkt ist die Abhörposition und der gelbe Punkt ist der linke Lautsprecher (Abb.16). Der selbige Vorgang wurde (auf den folgenden Seiten) auch mit dem rechten Lautsprecher durchgeführt. Warum sich der Lautsprecher genau an dieser Stelle befindet, wird ebenso im nächsten Kapitel behandelt.

Die untere Leiste stellt eine Zeitachse dar, auf welcher der Direktschall (rosa Linie) abgebildet ist. Unter Direktschall versteht man das Signal, welches aus dem Lautsprecher kommt und auf direktem Weg ins Ohr gelangt.

Zusätzlich sind auch alle Reflexionen auf dieser Zeitachse abgebildet (blaue Linien). In Abb.16 sind das alle Reflexionen der 1. Ordnung - sprich Signale, welche, bevor diese in das Ohr gelangen, zuvor einmalig an einer Oberfläche reflektiert wurden.

Besonders wichtig sind hierbei alle frühen Reflexionen bis ca. 20 Millisekunden, da das Gehirn diese nicht als Echo wahrnimmt. Dadurch wird der Klang gefärbt und verändert. In manchen Quellen ist auch ein Wert von 40 Millisekunden aufgeführt. Das Ausschlaggebende ist allerdings, die Abhörposition so reflexionsfrei wie möglich zu bekommen.

Wenn man sich die Reflexionen der 1. Ordnung ansieht, fällt auf, dass diese sich in Form eines Kreuzes abbilden. Dieser Trend führt sich (mit kleinen Ausbrüchen) fort, je mehr Reflexionsordnungen angezeigt werden (Abb.17-20).

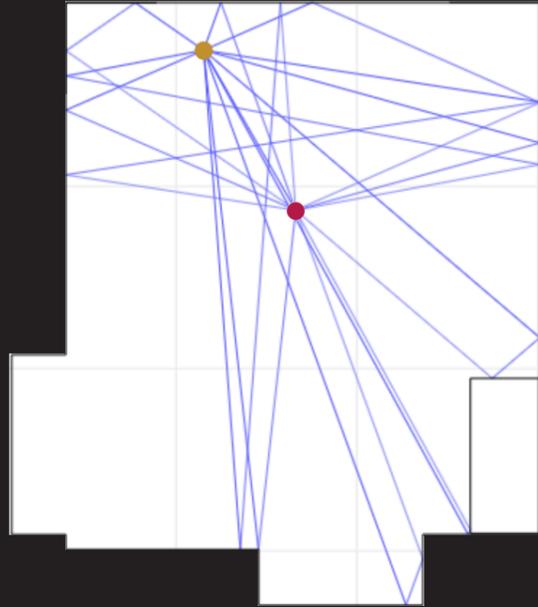


Abb.17: Reflexionen 2. Ordnung: L

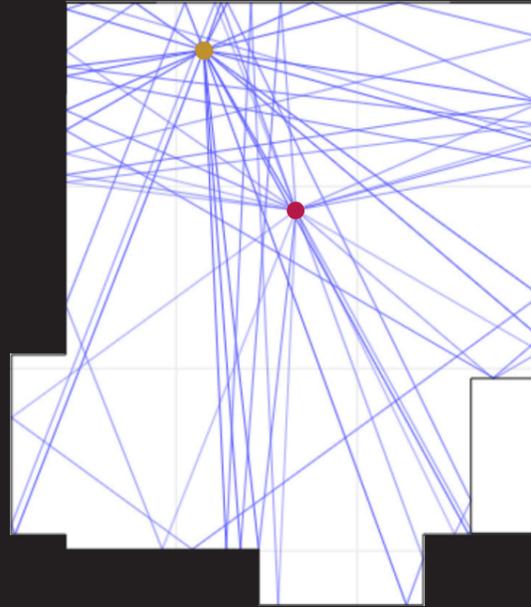


Abb.18: Reflexionen 3. Ordnung: L

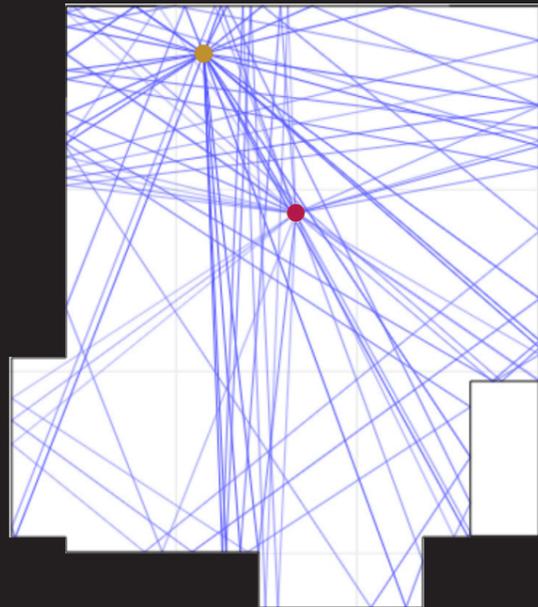


Abb.19: Reflexionen 4. Ordnung: L

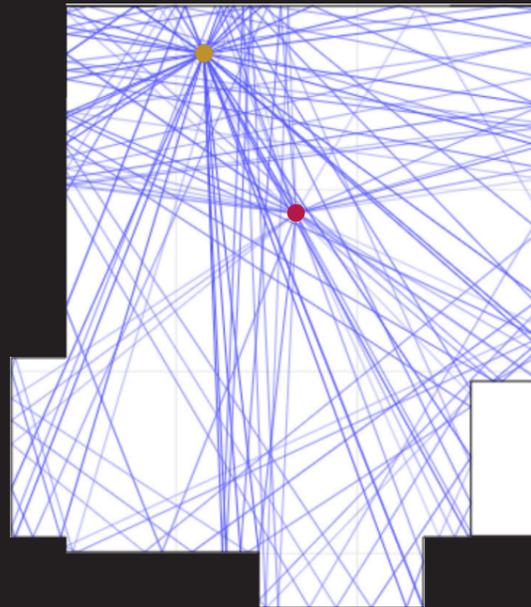


Abb.20: Reflexionen 5. Ordnung: L

Rechter Lautsprecher

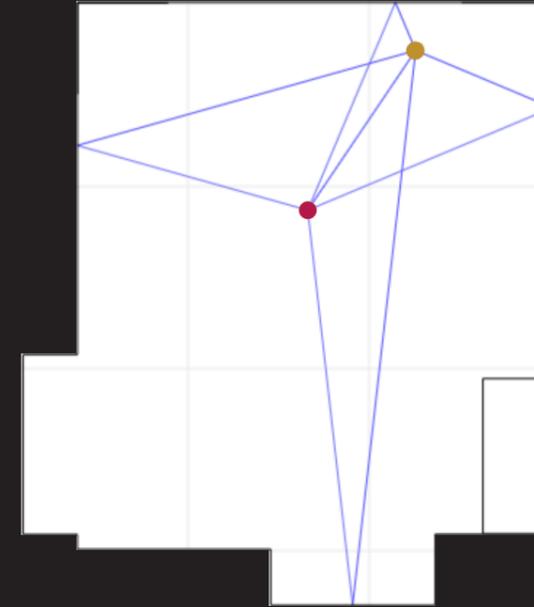


Abb.21: Reflexionen 1. Ordnung: R

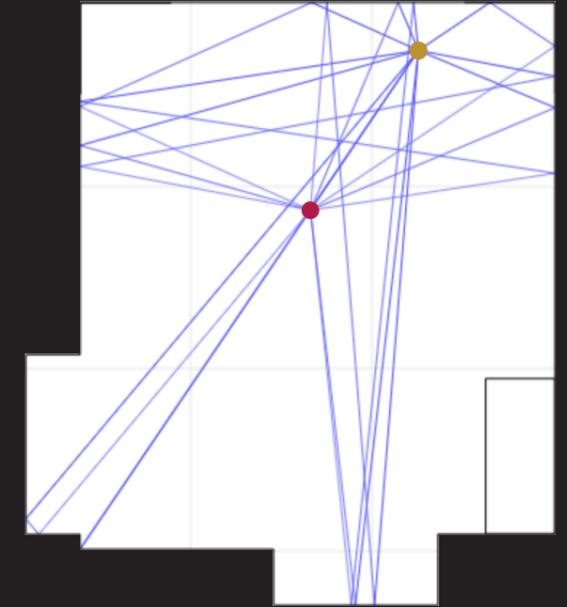


Abb.22: Reflexionen 2. Ordnung: R

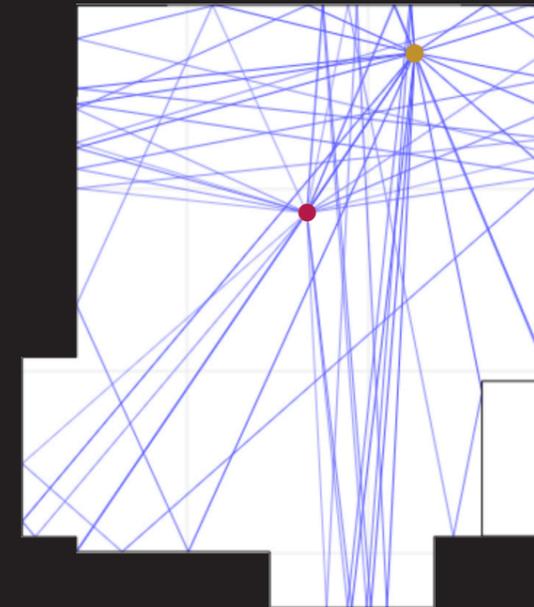


Abb.23: Reflexionen 3. Ordnung: R

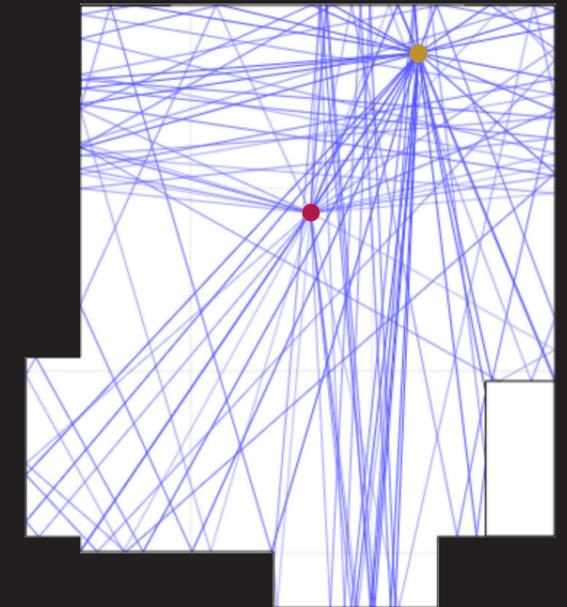


Abb.24: Reflexionen 4. Ordnung: R

Unabhängig der Ordnungen bleibt das Kreuz durchgängig visuell sichtbar. Genau diese Bereiche sind die wichtigsten Punkte, welche bei der Raumoptimierung berücksichtigt werden müssen.

Auf der nachfolgenden Seite wurde der Vorgang mit dem rechten Lautsprecher wiederholt.

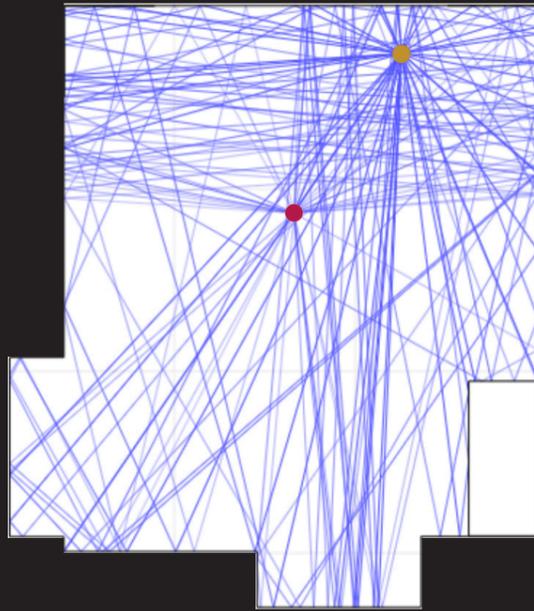


Abb.25: Reflexionen 5. Ordnung: R

Manche Reflexionen wirken, als würden diese wild durch den Raum fliegen. Allerdings treten diese trotzdem immer an einem dieser Kreuzpunkte auf (Abb.26 & 27).

Wenn an diesen Punkten die Erstreflexionen absorbiert werden, dann verringern sich auch die wilden Reflexionen.

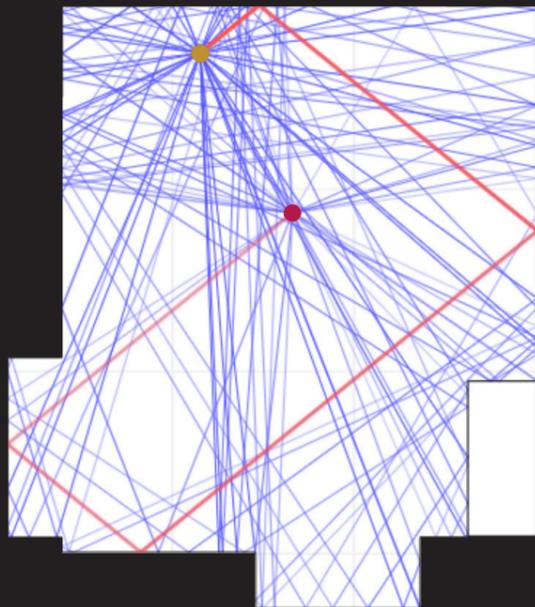


Abb.26: Wilde Reflexionen 5. Ordnung: L

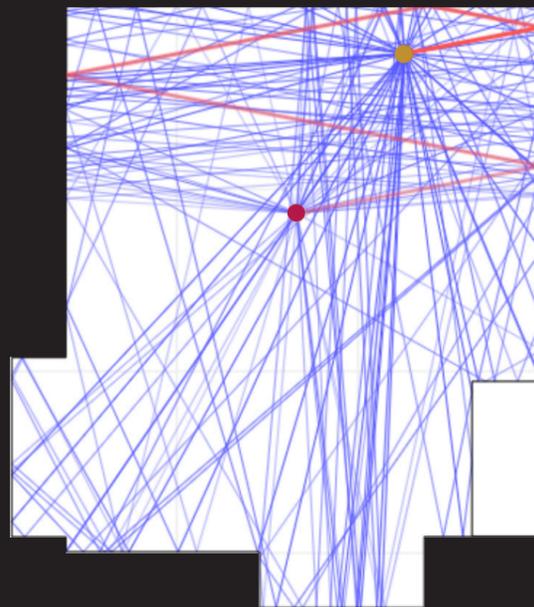


Abb.27: Wilde Reflexionen 5. Ordnung: R

Die bisherige Raumsicht ist allerdings nur eine 2D-Abbildung des Grundrisses. Jedoch handelt es sich bei dem Tonstudio um einen dreidimensionalen Raum. Aus Kostengründen kann die Behandlung der Decke momentan noch nicht durchgeführt werden.

Aus all den vorgegangenen Überlegungen ergibt sich nun folgender Plan:

2.5 RAUMPLANUNG

1. Abhörposition

Zu aller erst wird die Abhörposition festgelegt. Hierfür nimmt man 35-40% der längeren Raumseite und platziert dort mittig den Sitzplatz (Abb.28).

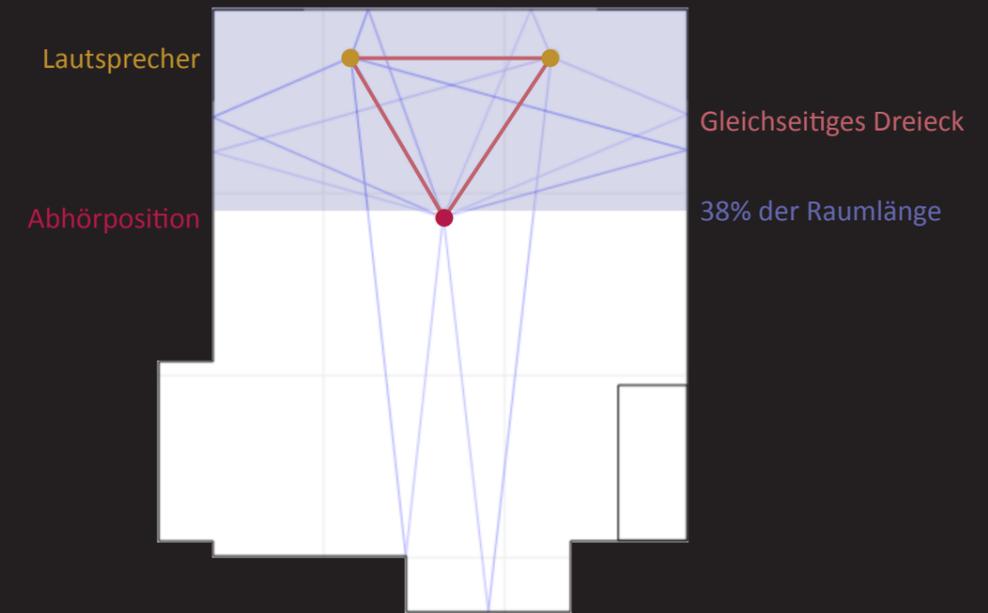


Abb.28: Abhörposition

Nachdem die Abhörposition festgelegt wurde, sollten die Lautsprecher mit der Abhörposition ein gleichseitiges Dreieck bilden. Da die Menge an Platz im Raums sehr begrenzt ist, bleibt hierfür nur wenig Spielraum.

2. Minimieren der Raummoden

Um Raummoden zu absorbieren, nutzt man sogenannte Bassabsorber oder Bassfallen/Basstraps. Diese wandeln Schallwellen in Wärme um. An der korrekten Position platziert, können somit die Raummoden gedämpft werden.

Wie bereits in der Analyse festgestellt (S.16-18), treten Raummoden ganz besonders in den Ecken eines Raumes auf, da sich hier der meiste Schalldruck sammelt. Die dort platzierten Bassfallen sollten sich vom Boden bis zur Decke erstrecken (Abb.29).

Diese sollten groß und dick sein, da vor allem die Bassfrequenzen sehr viel Energie besitzen. Deshalb benötigen sie entsprechend viel Masse, um in Wärme umgewandelt zu werden.

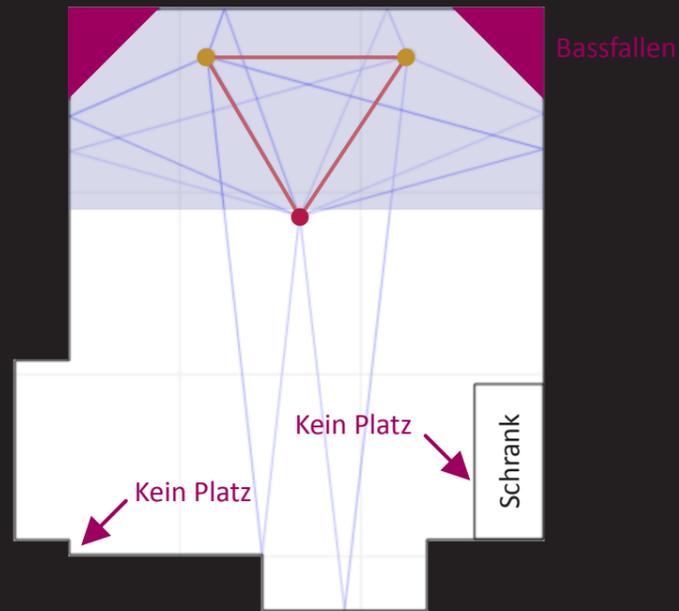


Abb.29: Platzierung der Bassfallen

3. Erstreflexionen

Für die Erstreflexionen sind alle Stellen relevant, welche in der Analyse herausgearbeitet wurden (S.19-21). Dies sind die Positionen vor, hinter, links und rechts der Abhörposition (die Kreuzform).

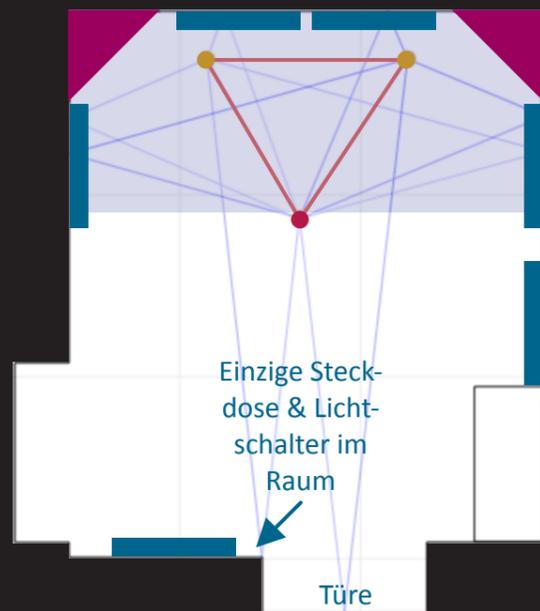


Abb.30: Platzierung der Breitbandabsorber bei Reflexionen 1. Ordnung

An diesen Stellen werden Breitbandabsorber platziert (Abb.30). Diese sind etwas dünner als die Bassfallen und für Frequenzen ab ca. 200Hz geeignet.

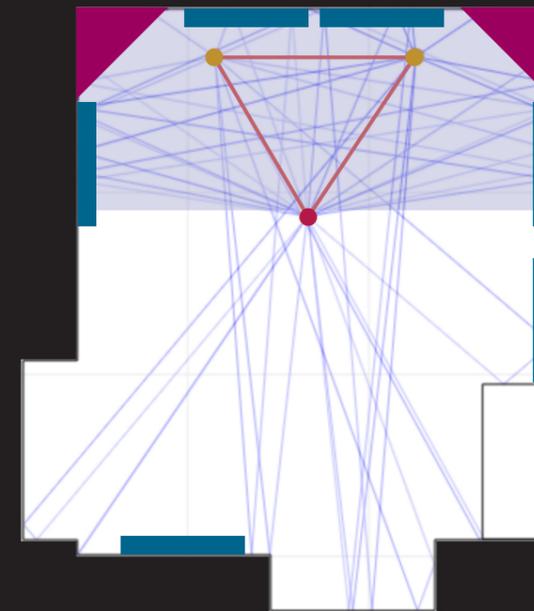


Abb.31: Platzierung der Breitbandabsorber bei Reflexionen 2. Ordnung

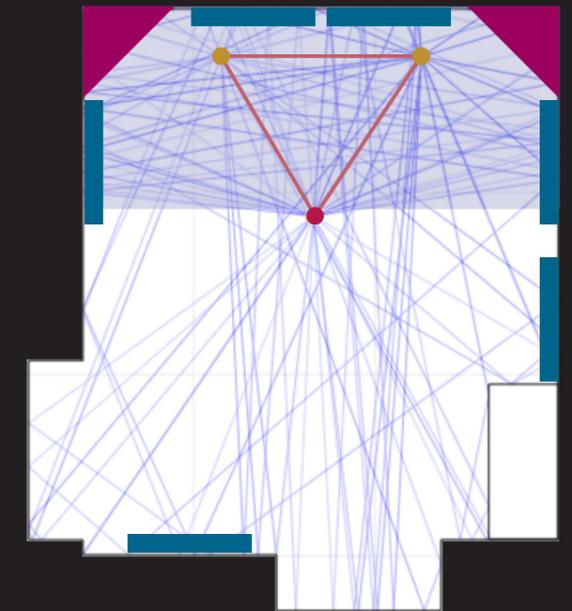


Abb.32: Platzierung der Breitbandabsorber bei Reflexionen 3. Ordnung

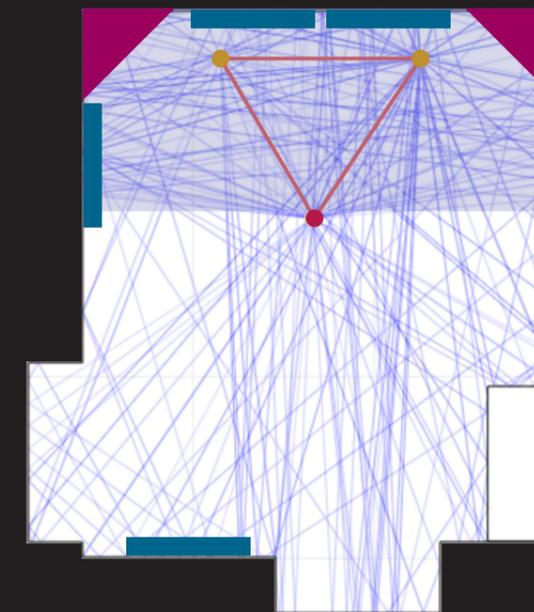


Abb.33: Platzierung der Breitbandabsorber bei Reflexionen 4. Ordnung

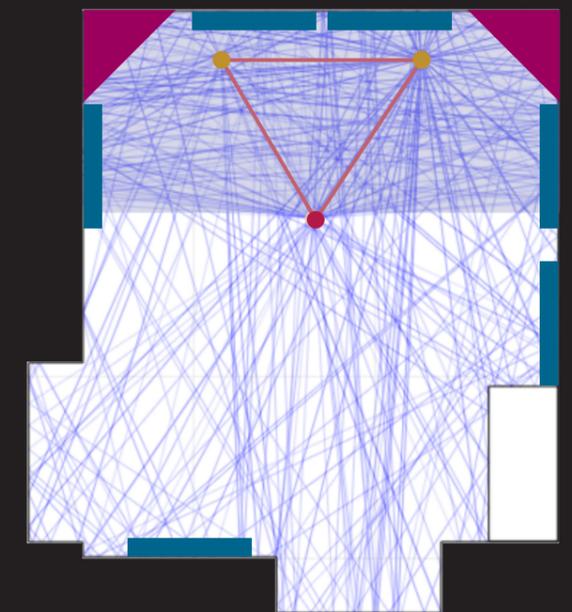


Abb.34: Platzierung der Breitbandabsorber bei Reflexionen 5. Ordnung

4. Späte Reflexionen bzw. Nachhall

Die späten Reflexionen werden durch die Menge an Absorption automatisch verringert und dadurch wird der Nachhall kürzer. Es ist wichtig, dass alle Frequenzen gleichmäßig ausklingen und nichts überdämpft wird.

Die späten Reflexionen sollten nach ca. 200-400 Millisekunden, bei 60dB ausklingen. Man spricht hierbei vom RT-60-Wert. Ein RT-60 von 200-400 Millisekunden ist für Tonstudios und Mischräume üblich.

Da es sich bei dem eigenen Tonstudio allerdings um einen Wohnraum handelt, ist es nicht gegeben, dass dieses Ziel erreicht werden kann.

5. Flatterechos

Falls Flatterechos vorhanden sind, gibt es zwei Möglichkeiten, diese abzuschwächen:

1. Weitere Breitbandabsorber hinzufügen oder
2. Diffusoren hinzufügen

Diffusoren machen aus einer geraden Wand eine unebene Fläche. Eine Reflexion, welche zwischen zwei parallelen Wänden hin und her flattert, kann dadurch abgelenkt werden.

Dies kann in etwa mit einem Wassersprüher verglichen werden. Dabei lässt sich einstellen, ob man einen gezielten Strahl oder einen Sprühnebel haben möchte. Ein Diffusor macht sozusagen aus einem „Reflexions-Strahl“ einen „Reflexions-Nebel“.

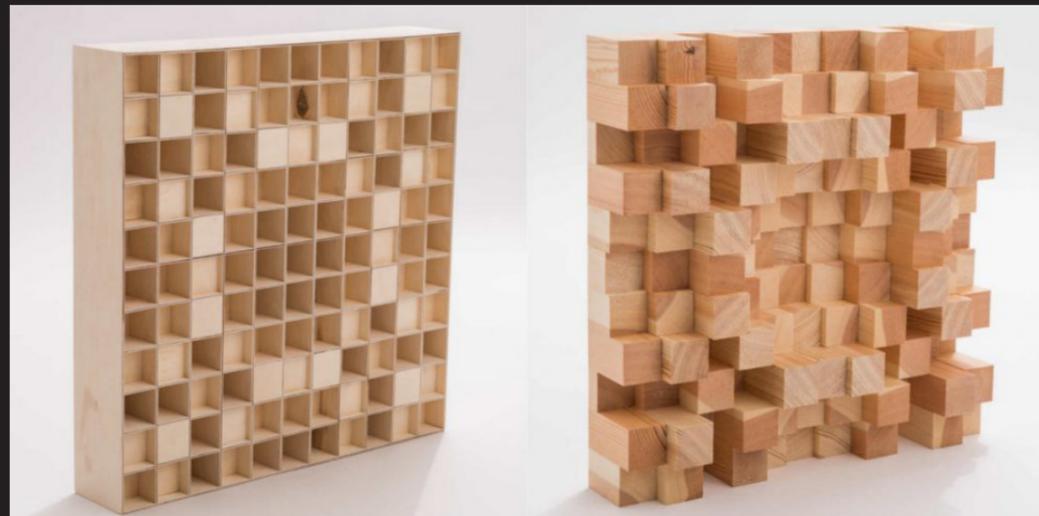


Abb.35: Verschiedene Diffusoren



3. LAUTSPRECHER- POSITION

3.1 BESCHREIBUNG	-----	S.30
3.2 ABHÖRPOSITION	-----	S.32
3.3 LAUTSPRECHERPOSITION	-----	S.33
3.4 ERSTE MESSUNG	-----	S.36

3.1 BESCHREIBUNG

In diesem Abschnitt wird die korrekte Position sowie Ausrichtung der Lautsprecher im Raum festgelegt.

3.2 ABHÖRPOSITION

Die beste Abhörposition in einem Raum befindet sich wie bereits erwähnt bei etwa 35-40% der Raumlänge (entweder zur Vorder- oder Rückwand). Der Grund dafür ist, dass an dieser Stelle die tiefsten Raummoden den geringsten, negativen Einfluss auf den Klang haben.

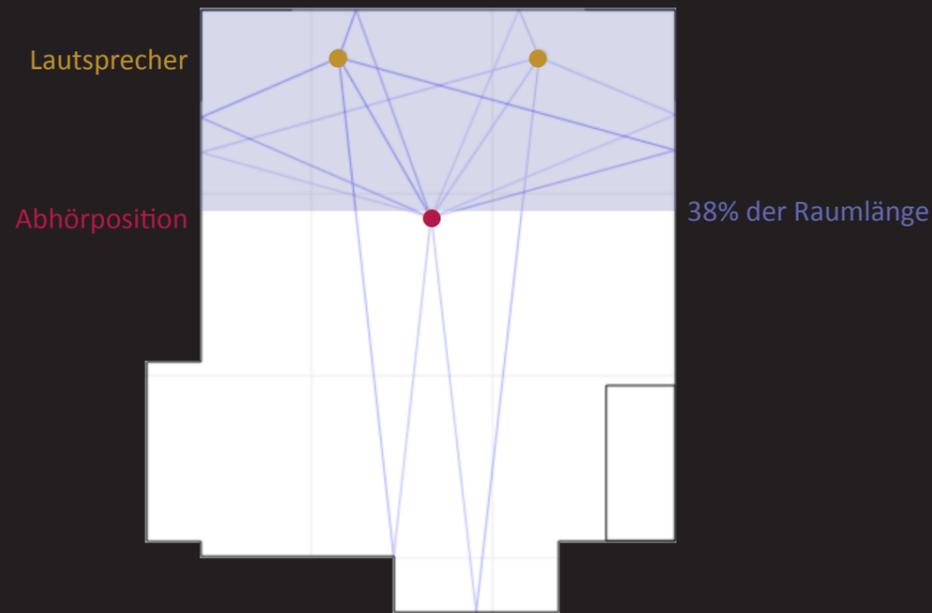


Abb.36: Abhörposition

3.3 LAUTSPRECHERPOSITION

Um eine korrekte Aufstellung der Lautsprecher zu erreichen, sollte „SBIR“ eingehalten werden.

„SBIR“ bedeutet: „Speaker Boundary Interference Response“.

Es beschreibt den Einfluss von Schallharten Oberflächen im Raum (Wände), auf die Wiedergabe des Lautsprechers (besonders stark im Bassbereich).

Schall breitet sich frequenzabhängig unterschiedlich aus. Alle Schallsignale mit Frequenzen über 500Hz sind strahlenförmig in ihrer Ausbreitung (so wie Licht). Dagegen breiten sich Frequenzen unterhalb von 500Hz, umso tiefer diese sind immer kugelförmiger aus.

Das bedeutet, dass sich die tiefen Frequenzen auch hinter den Lautsprechern ausbreiten. Diese reflektieren dann an der Wand, kommen zurück zum Lautsprecher und bilden Interferenzen mit dem Direktsignal. Deshalb ist es empfehlenswert die Lautsprecher so nah wie möglich an die Wand zu stellen. Die Reflexionen sind dadurch schneller im Direktsignal und die Interferenz wird somit geringer gehalten. Zwischen den Lautsprechern und der Rückwand befindet sich ein Abstand von 10cm (Abb.37). Dies wird dadurch erklärt, dass später zwischen Wand und Lautsprecher noch ein Breitbandabsorber positioniert wird.

Ganz besonders sollte darauf geachtet werden, dass der Abstand zu unterschiedlichen Raumbegrenzungen nicht über die selbe Länge verfügt. Das heißt, dass der Abstand des Lautsprechers zur Rückwand nicht der Selbe ist, wie zur Seitenwand. Denn dadurch wird dieser Effekt umso mehr verstärkt (Abb.37).

Es gilt folgende weitere Faustregel: In Räumen unter 8m Raumlänge sollten Lautsprecher so nah wie möglich an der Wand stehen.

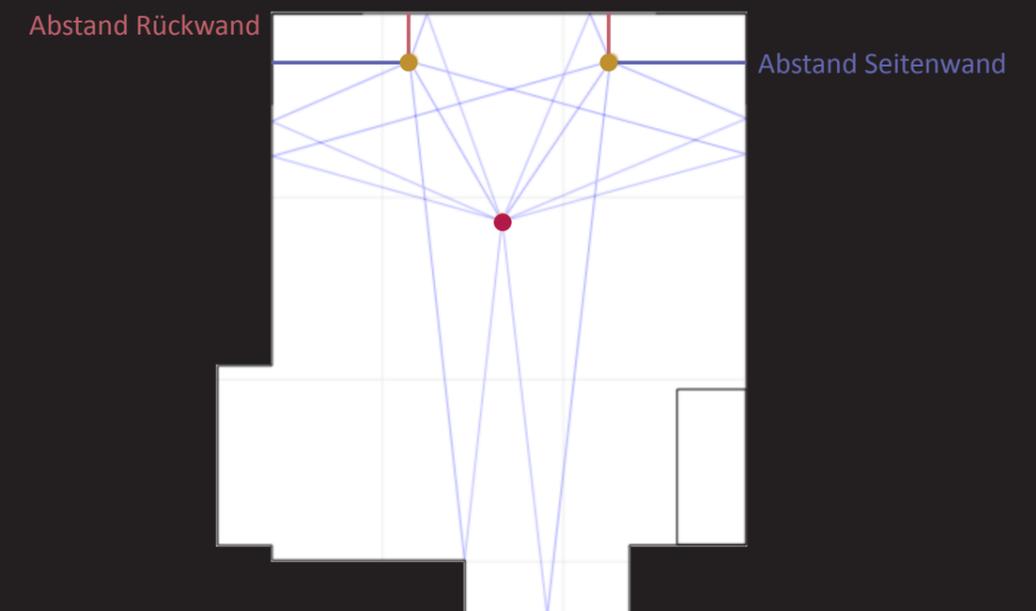


Abb.37: Abstand Lautsprecher von den Wänden

Gleichzeitig sollte der Abstand zwischen den Lautsprechern genau so groß sein, wie der Abstand der Lautsprecher zur Abhörposition. Die beiden Lautsprecher bilden also mit der Abhörposition ein gleichseitiges Dreieck (Abb.38).

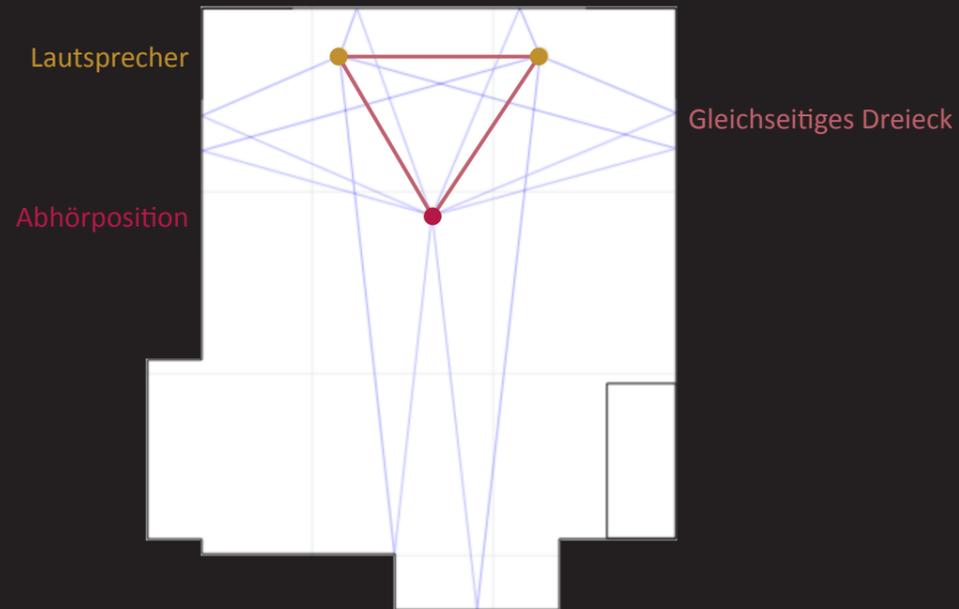


Abb.38: Abstand Lautsprecher & Abhörposition

Die Lautsprecher sollten symmetrisch im Raum verteilt sein, also den selben Abstand zur rechten, wie zur linken Wand haben. Somit kann das Stereoabbild korrekt dargestellt werden (Abb.39).

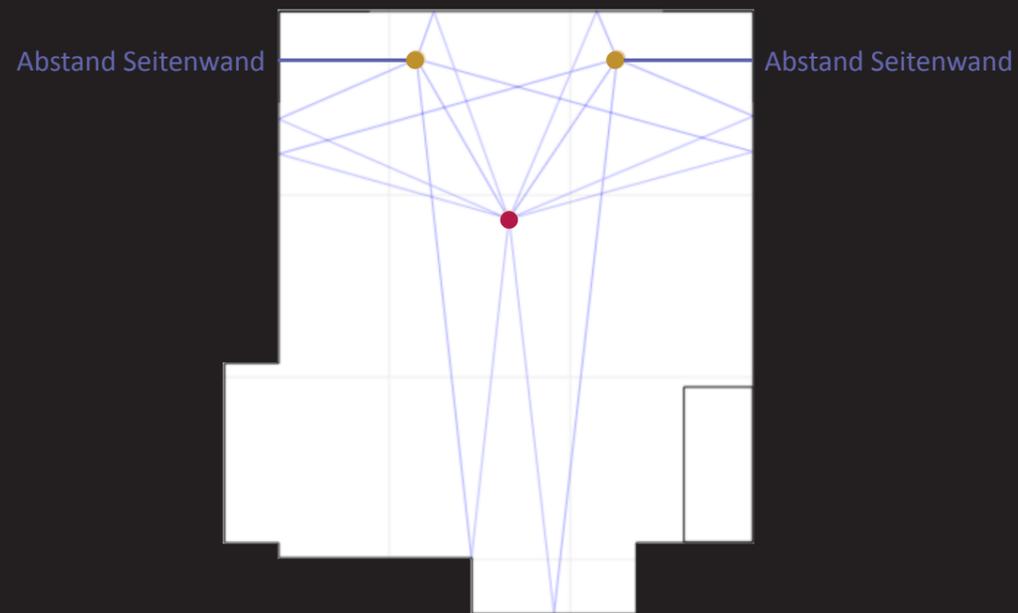


Abb.39: Raumsymmetrie

Nach der Ausführung dieser Schritte sind die wichtigsten Kriterien erfüllt. Jetzt sollten die Hochtöner des Lautsprechers etwa auf Ohrhöhe platziert und zusätzlich die Lautsprecher in Richtung der Abhörposition eingedreht werden.

Sind all diese Maßnahmen erfüllt, so hat man die besten Voraussetzungen geschaffen, ein hervorragendes Klangerlebnis zu haben.

Bei der Verbesserung der Raumakustik müssen gegebenenfalls Kompromisse gefunden werden, da sich nicht jeder einen Raum für sein Studio bauen kann. Es gilt mit den zur Verfügung stehenden Mitteln, das Beste daraus zu machen.

3.4 ERSTE MESSUNG

Anschließend wurde eine „Full-Range“-Messung gemacht (Abb.40 - von 20Hz - 15kHz), um einen Ausgangspunkt für die Raumboptimierung zu bekommen (die Akustik des leeren, unbehandelten Raums).

Dies wurde mit Hilfe der Software „RoomEQWizard“ (REW) durchgeführt.

Link: <https://www.roomeqwizard.com/>

Als Messmikrofon diente das „ECM8000“ von Behringer (Abb.41).

Von diesem Punkt aus können zukünftig alle weiteren Schritte abgeglichen und geprüft werden. Das heißt, ob durch die Raumbehandlung positive Effekte oder auch negative Auswirkungen auf die Raumakustik nachzuweisen sind.

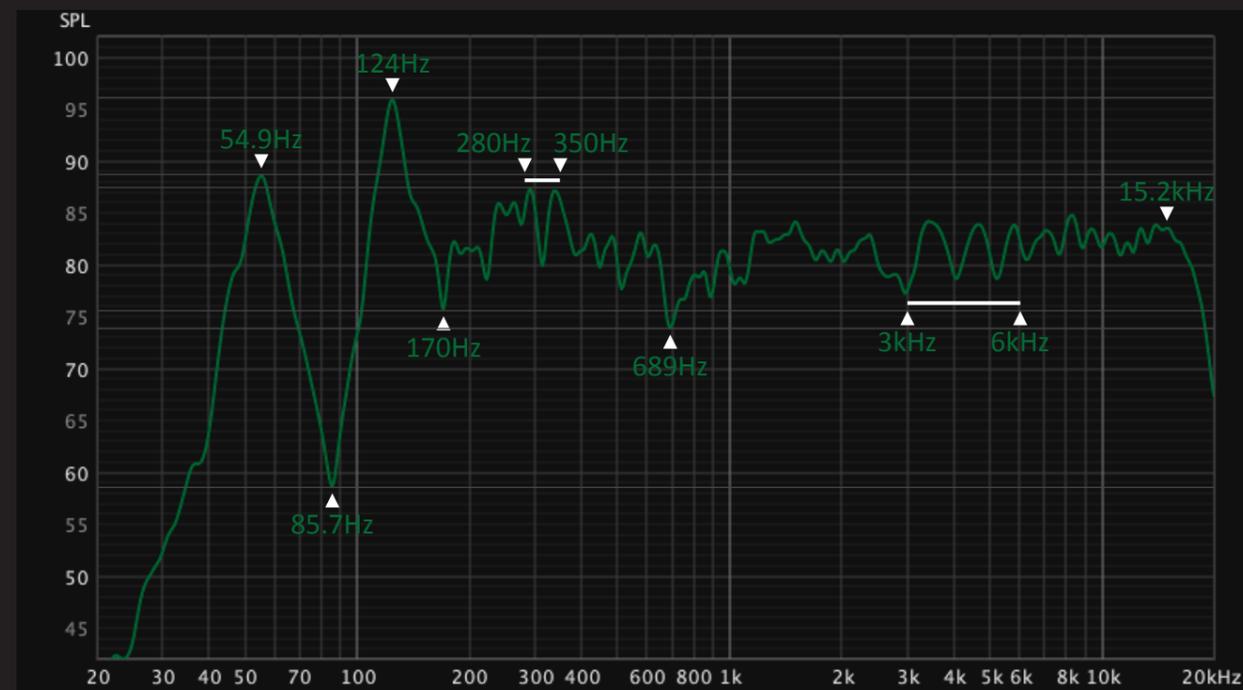


Abb.40: Full-Range-Messung - Default

Auf den ersten Blick fallen vor allem drei Bereiche auf (Abb.40):

1. Starke Raummode bei 54.9Hz
2. Große Auslöschung bei 85.7Hz
3. Weitere starke Raummode bei 124Hz

Der Frequenzgang oberhalb von ca. 160Hz ist etwas linearer. Ausgenommen sind ein paar stärkere Raummoden zwischen 280Hz & 350Hz und zwei größere Auslöschungen bei 170Hz & 689Hz.

Bei ca. 3-6kHz sind drei leichte Moden zu erkennen. Des Weiteren fällt der Frequenzgang unter 54.9Hz extrem ab. Oberhalb von 15.2kHz ist dies ebenso der Fall.



Abb.41: Das verwendete Messmikrofon - Behringer ECM8000

Spektrogramm- und Waterfall-Analyse

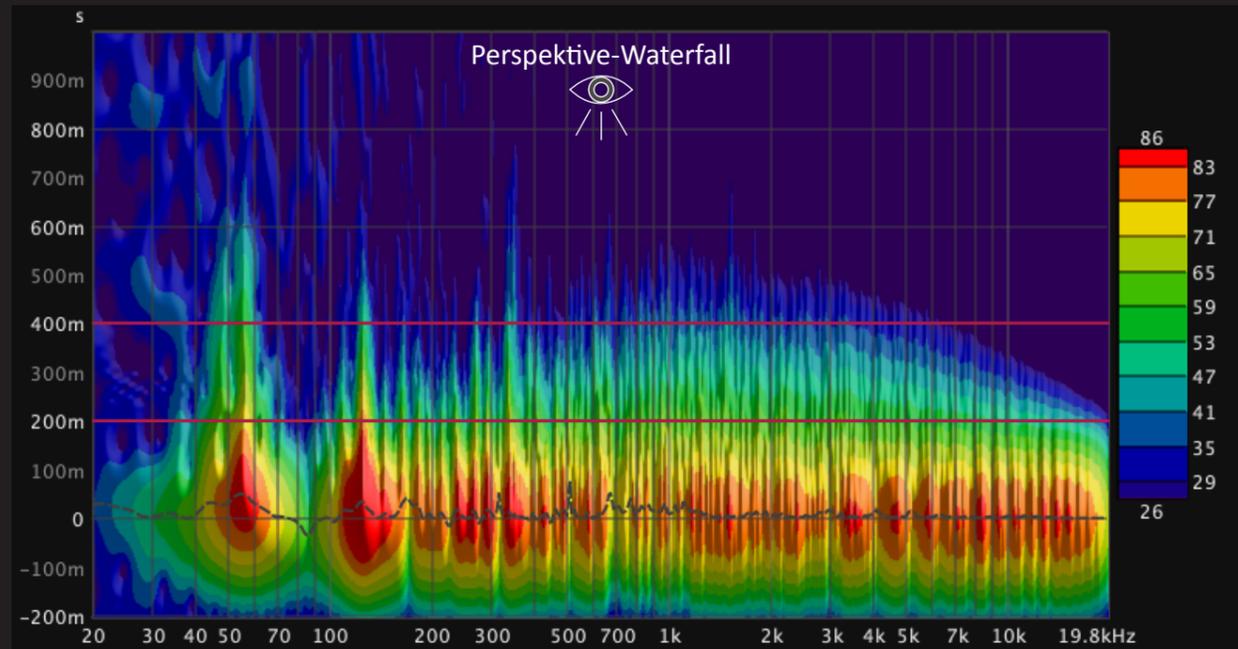


Abb.42: Spektrogramm-Analyse - Default

Ein Spektrogramm (Abb.42) zeigt den frequenzspezifischen Lautstärkeabfall über einen gewissen Zeitraum. Auf der X-Achse ist die Frequenzhöhe und auf der Y-Achse der Zeitverlauf in Millisekunden (m) abgebildet.

Das Ziel ist es, einen frequenzspezifischen Lautstärkeabfall zwischen 200-400m zu erreichen (Bereich innerhalb der roten Linien). Ebenso relevant ist, dass die Nachhallzeit über den kompletten Frequenzgang gleichmäßig (linear) ausklingt.

Bei Abb.42 ist zu sehen, dass die Nachhallzeit vor allem unterhalb von 200Hz extrem lang ist - primär bei 40-65Hz und 135Hz. Bei ca. 335Hz, 670Hz und 1.6kHz kann man ebenso einen verstärkten Nachhall erkennen.

Der Frequenzgang dieses Raums ist sehr ungleichmäßig, wobei die komplette Nachhallzeit, bis auf den Bereich oberhalb von 6kHz, länger als 400 Millisekunden (m) ist.

Bei 60dB (grün) ist die Nachhallzeit zwar nicht linear, allerdings fast durchgehend im Bereich zwischen 200-400m. Daher muss beim Hinzufügen von Breitbandabsorbern darauf geachtet werden, den Raum nicht zu sehr zu dämpfen, damit die Akustik nicht zu trocken wird.

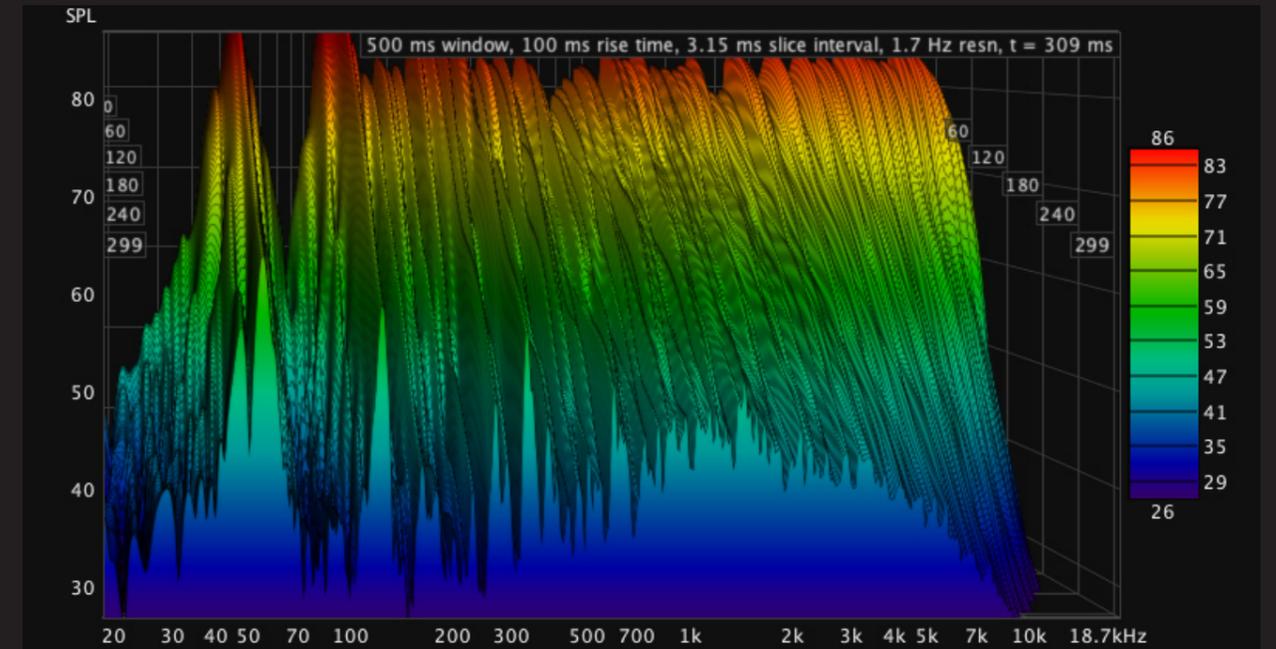


Abb.43: Waterfall-Analyse - Default

Das Waterfall-Spektrogramm bzw. die Waterfall-Analyse (Abb.43) zeigt die selben Werte wie das Spektrogramm (Abb.42), nur aus einer anderen Perspektive (Bsp: Perspektive-Waterfall Abb.42).

In dieser Ansicht ist zu sehen, dass die Nachhallzeit über den gesamten Frequenzgang sehr ungleichmäßig ausklingt (Abb.43).



4. BASSFALLEN

4.1 BESCHREIBUNG	-----	S.42
4.2 PLANUNG	-----	S.44
4.3 MATERIALWAHL	-----	S.46
4.4 DER BAU	-----	S.48
4.5 MESSUNG	-----	S.50

4.1 BESCHREIBUNG

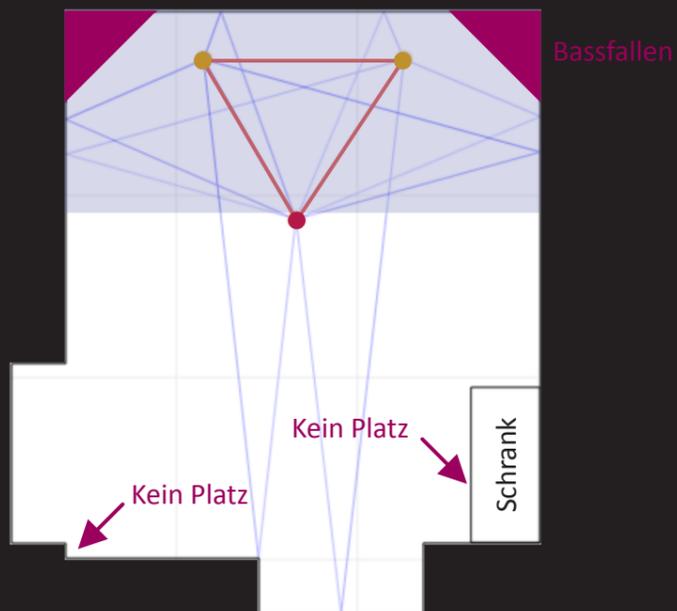
In diesem Abschnitt geht es darum, wie man Bassfallen baut, worauf man dabei achten sollte und welchen akustischen Unterschied diese bewirken können.

4.2 PLANUNG

Steinwollplatten Holz

Die Dimension einer Bassfalle sollte sich nach der Größe des Raumes und ihrem Wirkungsgrad (das Frequenzspektrum, welches sie abdecken soll) richten.

Insgesamt werden vier Bassfallen a´ 1m Höhe und 35cm Dicke (an der breitesten Stelle) angefertigt. Diese werden in den beiden Ecken positioniert, in denen genügend Platz vorhanden ist (zwei Stück auf jeder Seite ergibt eine gesamte Höhe von 2m).

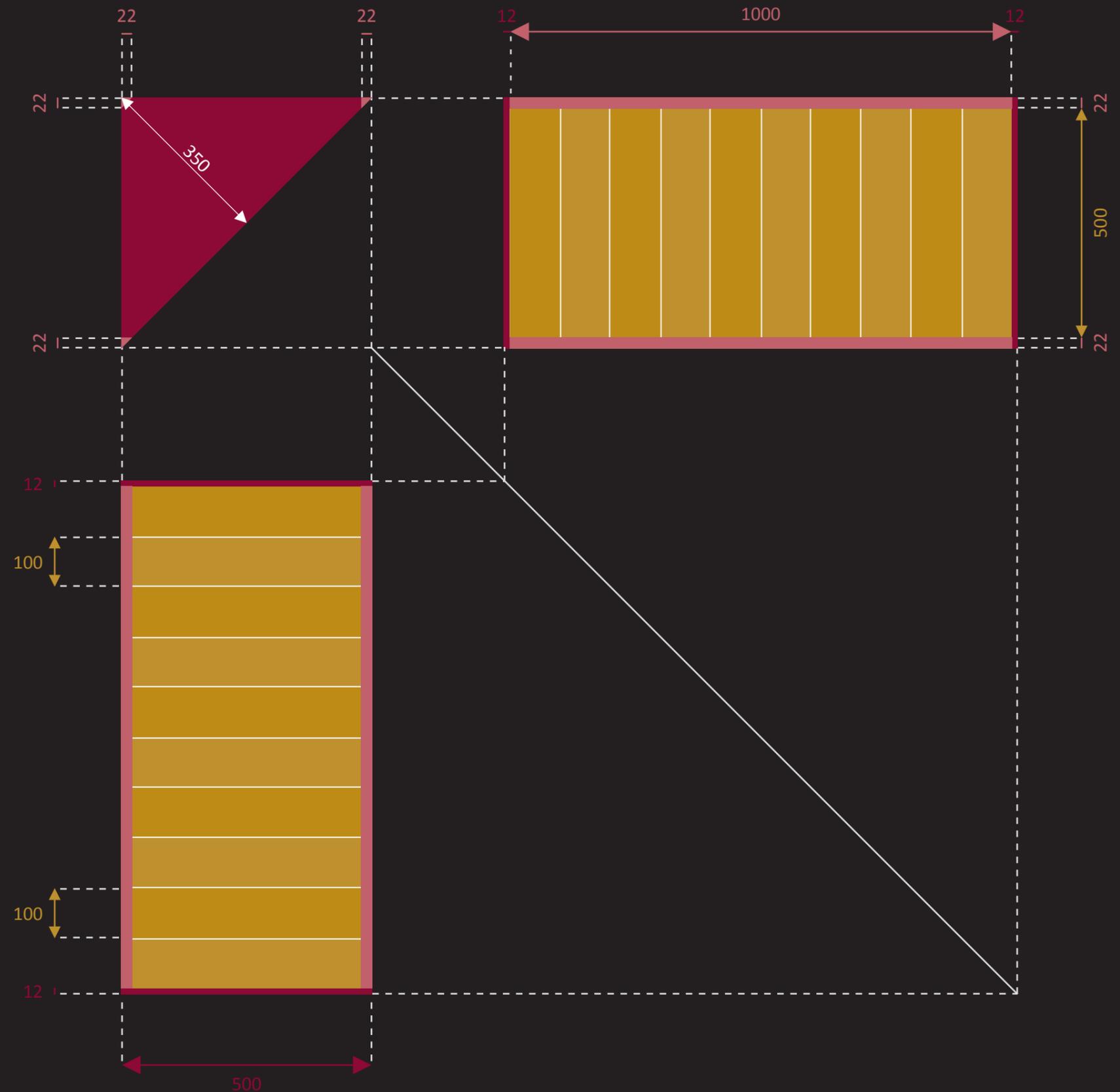


Im besten Fall sollten Bassfallen die komplette Höhe des Raums abdecken. Hierbei beträgt diese 3,1 Meter.

Aus Kostengründen ist es momentan nicht möglich, mit den Bassfallen die gesamte Höhe des Raums abzudecken. Diese sind allerdings einzelne modulare Teile, weshalb sich die Höhe zu einem späteren Zeitpunkt auffüllen lässt.

Auf Grund der räumlichen Begrenzung sind die Bassfallen dreieckig und nicht rund (obwohl runde Bassfallen effektiver sind).

Die Maße der Zeichnung sind in Millimeter angegeben.



4.3 MATERIALWAHL

Das poröse Material innerhalb einer Bassfalle (z.B. Steinwolle) wandelt die Energie in Wärme um. Der „Längenspezifische Strömungswiderstand“ gibt dabei den Wirkungsgrad an.

Um diesen berechnen zu können, kann man sich den „Porous Absorber Calculator“ von „acousticmodelling.com“ zur Hilfe nehmen.

Link: <http://www.acousticmodelling.com/porous.php>

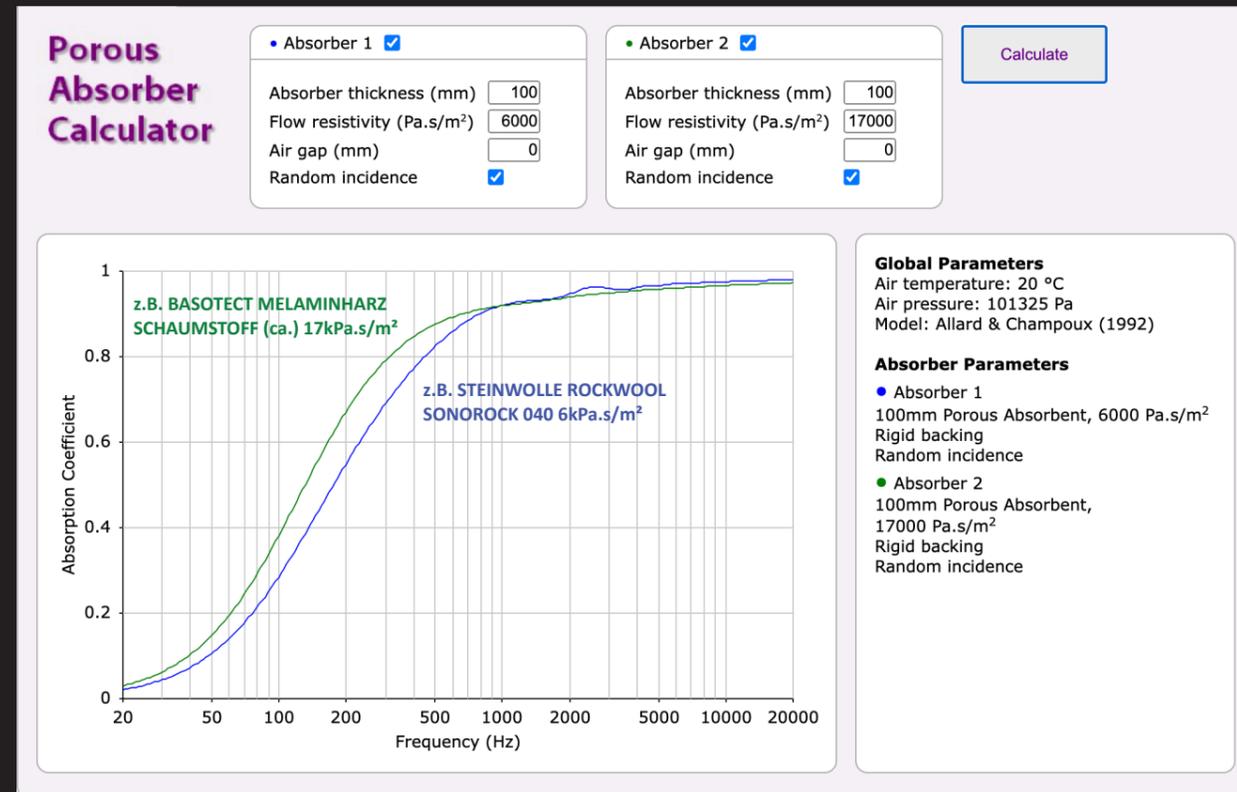


Abb.44: „Porous Absorber Calculator“ - 10cm

Ein längenspezifischer Strömungswiderstand von 5000-6000 Pa.s/m² ist für die Absorption der Bassfrequenzen am besten geeignet. Dies kann mit dem „Porous Absorber Calculator“ nachvollzogen werden (Abb.44).

Bei einer Materialstärke von 10cm ist ein Strömungswiderstand von 17kPa.s/m² von Vorteil. Bei 30cm sind 6kPa.s/m² besser geeignet (Abb.45).



Abb.45: „Porous Absorber Calculator“ - 30cm

Es gibt also Unterschiede zwischen den Materialien. Jedoch sind diese nicht groß genug, um bei der hiesigen Anwendung einen Unterschied zu machen.

Vorzugsweise wird Steinwolle als Material für Absorber benutzt. Allerdings gibt es auch Alternativen, wie z.B. Thermo-Hanf oder Holzfasern. Diese haben aber mitunter verschiedene Nachteile, wie z.B. einen höheren Preis sowie eine erhöhte Brennbarkeit. Zudem besitzen Holzfasern einen starken Eigengeruch.

Deshalb viel die Entscheidung auf Steinwolle (SONOROCK 040 von „Rockwool“).

Um die Wirksamkeit eines Absorbers zu erhöhen, kann etwas Abstand zwischen Wand und Absorber gehalten werden. Da die Größe des Raumes sehr limitiert ist, kann dies momentan nicht angewendet werden.

4.4 DER BAU



Abb.46: Zuschneiden der Steinwollplatten



Abb.47: Zuschneiden der Steinwollplatten



Abb.48: Verpackte Steinwollplatten

Die Steinwolle wurde in Plastikfolie eingepackt, um zu verhindern, dass Fasern in die Luft und somit in die Atemwege gelangen. Denn dies kann gesundheitliche Schäden zur Folge haben.

Die Folie verringert dabei stark den Wirkungsgrad des Absorbers in den höheren Frequenzen. Dies ist jedoch ein positiver Aspekt, da ohne diese Folie die tiefen Frequenzen nur zu einem gewissen Grad

absorbiert werden. Die hohen Frequenzen werden jedoch zu 100% absorbiert, wobei die Akustik des Raumes sehr dumpf wird.

Die Folie verringert allerdings den Wirkungsgrad in den höheren Frequenzen. Dies hat einen neutraleren Frequenzgang zur Folge.



Abb.49: Rahmen der Bassfallen

Abb.50: Steinwollplatten in Rahmen platziert



Abb.51: Fertige Bassfalle

4.5 MESSUNG

Die Bassfallen wurden an den festgelegten Positionen im Raum platziert und erneut eine Messung durchgeführt. Anschließend wurden beide Messung miteinander verglichen (leerer Raum = grün, Bassfallen im Raum = rot).

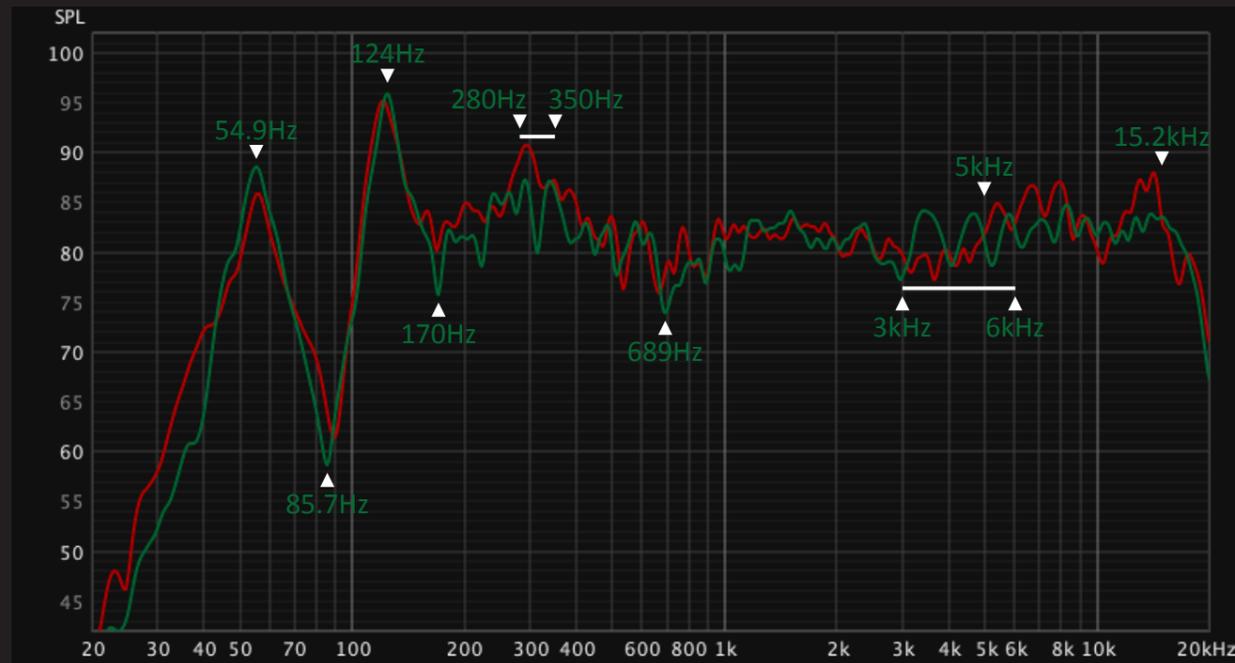


Abb.52: Vergleich der Full-Range-Messungen mit und ohne Bassfallen

Die Raummode bei 54.9Hz wurde reduziert, ebenso die Auslöschung bei 85.7Hz. Die Raummode bei 124Hz hat sich nur minimal verbessert und leicht verschoben. Der starke Abfall unterhalb von 54.9Hz ist ebenso verringert bzw. angehoben worden.

Sichtliche Verringerung der Auslöschung im Bereich zwischen 280-350Hz, ebenso bei 170Hz und 689Hz. Entstehung einer Raummode bei ca. 290Hz.

Abflachung der drei leichten Moden im Bereich von 3-6kHz, jedoch nur bei 3-5kHz.

Bei 5-8kHz und 13-15.2kHz sind stärkere Moden entstanden. Da es sich dabei um sehr hohe Frequenzen handelt, können diese durch Breitbandabsorber verringert werden.

Bei dem Lautstärkeabfall oberhalb von 15.2kHz ist keine sonderliche Verbesserung des Frequenzgangs festzustellen.

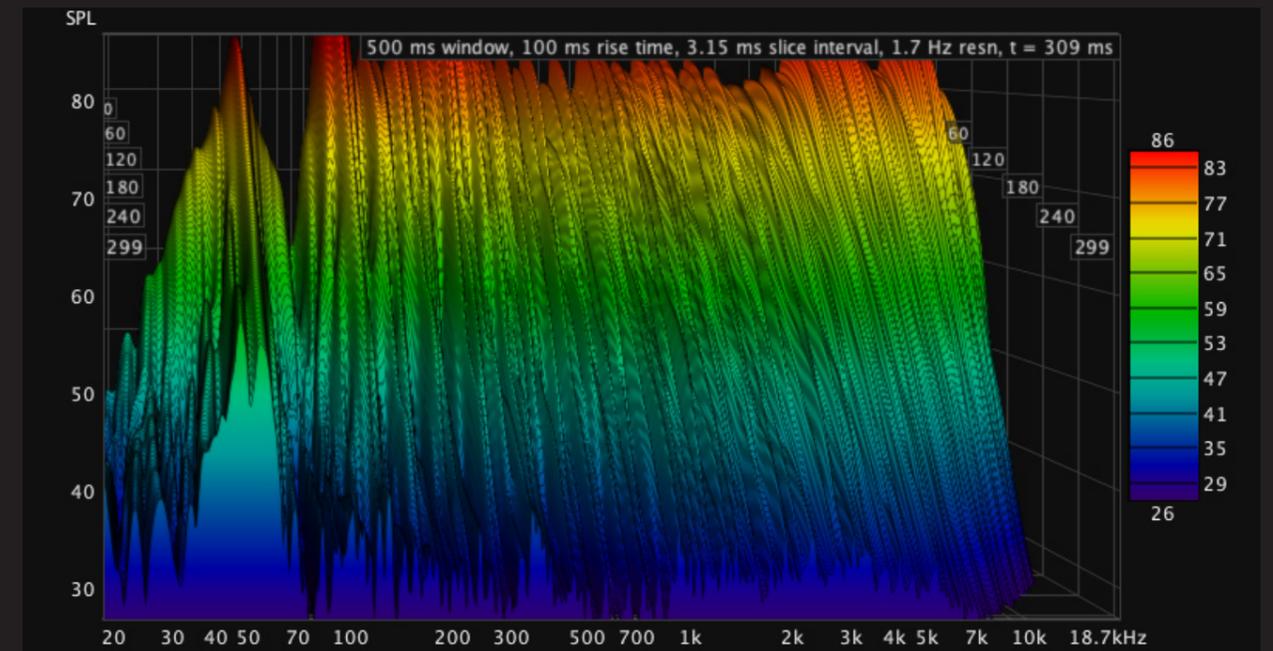


Abb.53: Waterfall-Analyse mit Bassfallen im Raum

Die Nachhallzeit ist erkennbar reduziert worden (Vergleich Abb.53 & Abb.54). Unterhalb von 7kHz, vor allem im Bereich von 20-70Hz, ist diese jedoch immer noch zu lange. Bei 100-150Hz und 250-400Hz kann man eine starke Verringerung der Nachhallzeit erkennen.

Auch der ungleichmäßige Abfall der Nachhallzeit ist linearer geworden.

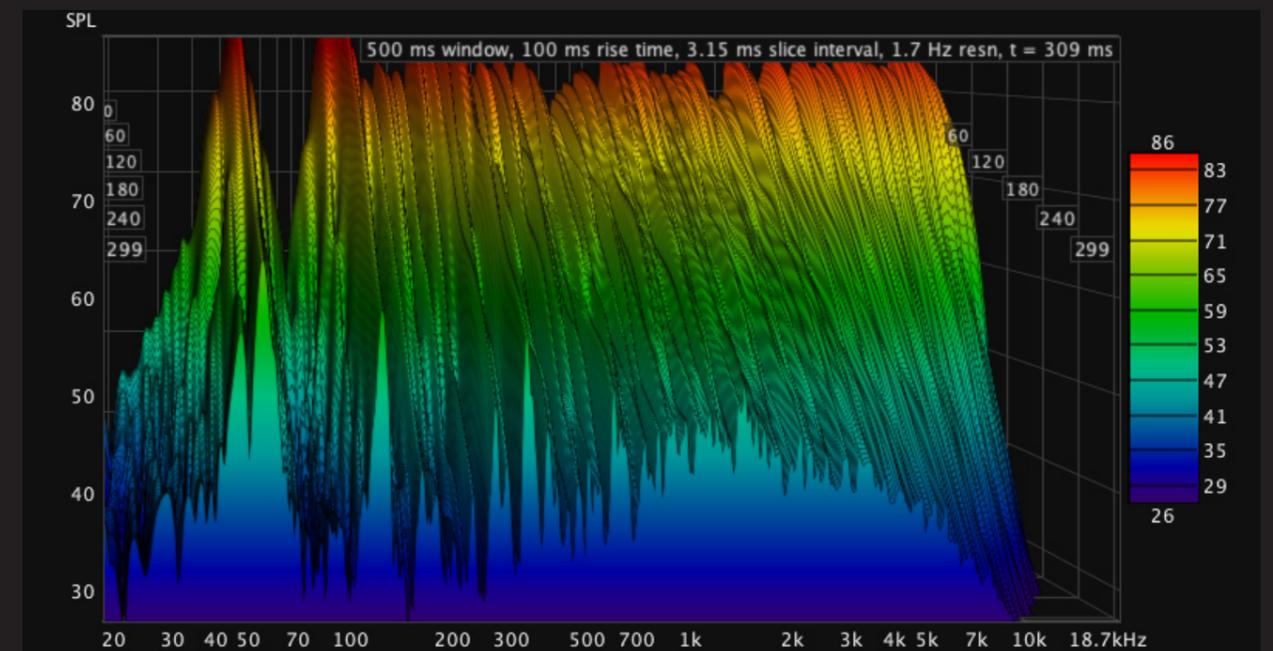


Abb.54: Waterfall-Analyse - Default

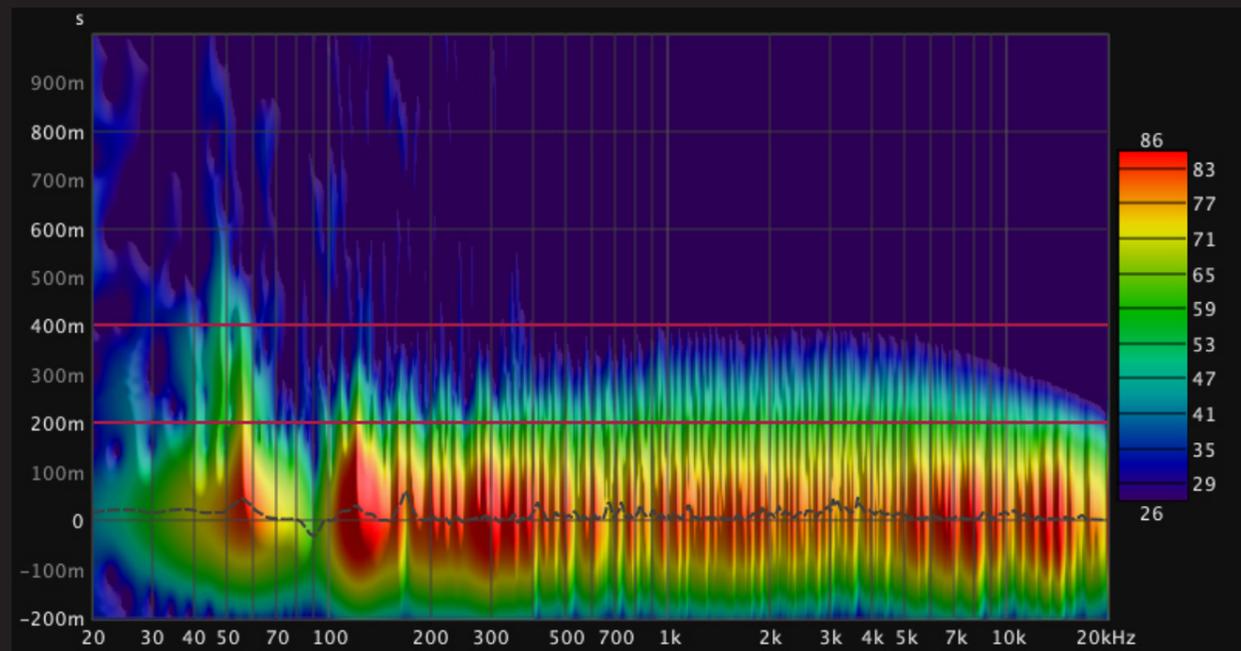


Abb.55: Spektrogramm-Analyse mit Bassfallen im Raum

Auch in der Spektrogramm-Analyse kann man auf den ersten Blick erkennen, dass die Nachhallzeit stark verkürzt wurde (Vergleich Abb.55 & Abb.56). Oberhalb von 400Hz ist diese linearer geworden, wogegen sie unterhalb von 400Hz immer noch zu ungleichmäßig ist. Starke Verringerung der Nachhallzeit bei 100-150Hz und 250-400Hz.

Der Nachhall im Bereich zwischen 30-50Hz und 550-1000m wurde bedeutend verringert.

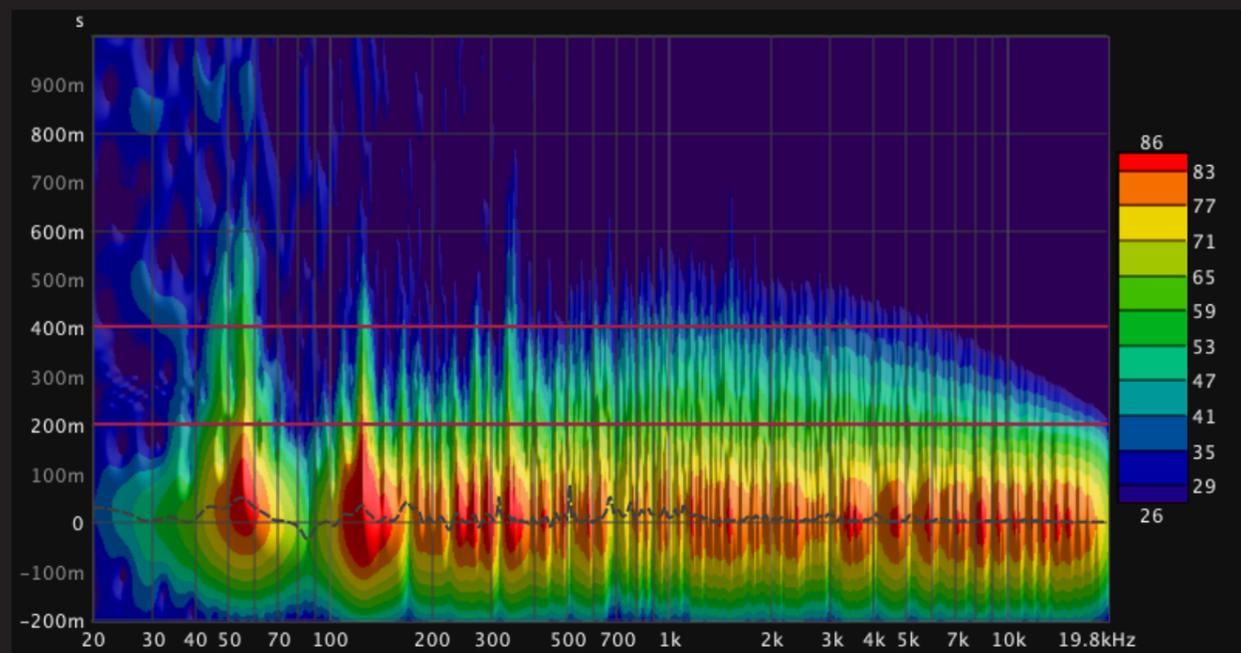


Abb.56: Spektrogramm-Analyse - Default



5. BREITBAND- ABSORBER

5.1 BESCHREIBUNG	-----	S.56
5.2 ABSORPTION VS. DIFFUSION	-----	S.58
5.3 MATERIALWAHL	-----	S.60
5.4 PLANUNG	-----	S.60
5.5 DER BAU	-----	S.62

5.1 BESCHREIBUNG

Mit Hilfe der Breitbandabsorber werden Reflexionen im Raum verringert.

Doch was genau sind Reflexionen?

Eine Reflexion ist Schall, der von einer harten Oberfläche reflektiert wird. Der reflektierte Schall kommt beim Hörer genau so an, wie das Direktsignal, allerdings mit einer leichten Verzögerung.

Diese Verzögerung ist so kurz, dass das Gehirn den direkten und reflektierten Schall nicht als zwei unterschiedliche Schallereignisse wahrnehmen kann. Im Gehirn werden diese zu einem Schallereignis zusammen gefasst. Dies hat eine auditive Verfälschung des Direktsignals zur Folge. Dadurch kann dieses nicht mehr vernünftig beurteilt werden.

5.2 ABSORPTION VS. DIFFUSION

Um Reflexionen an einem bestimmten Punkt im Raum einzudämmen (z.B. an der Abhörposition), gibt es zwei Möglichkeiten:

1. Ein Diffusor

Ein Diffusor ist ein akustisches Element mit einer unebenen Oberfläche und wird an einem Reflexionspunkt angebracht (z.B. einer der Kreuzpunkte). Dieser wird verwendet, um den Schall, welcher an diesem Reflexionspunkt auftritt, zu verstreuen bzw. aufzubrechen. Dadurch wird er in viele verschiedene Richtungen verteilt.

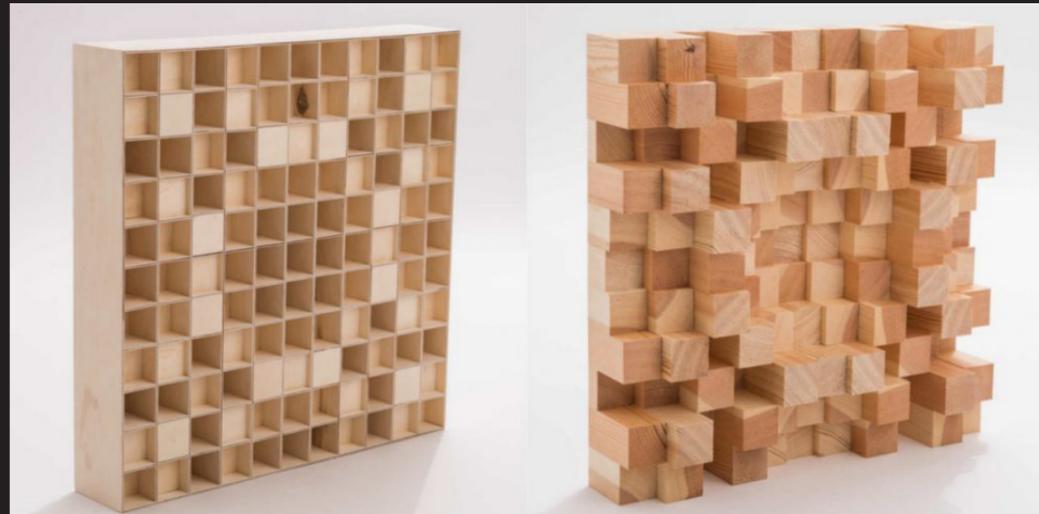


Abb.57: Verschiedene Diffusoren

2. Ein Breitbandabsorber

Dem gegenüber steht ein Breitbandabsorber. Dieser wird ebenso an einem Reflexionspunkt angebracht. Anstatt jedoch den Strahl aufzubrechen und weiter zu verteilen, absorbiert dieser das auditive Signal.

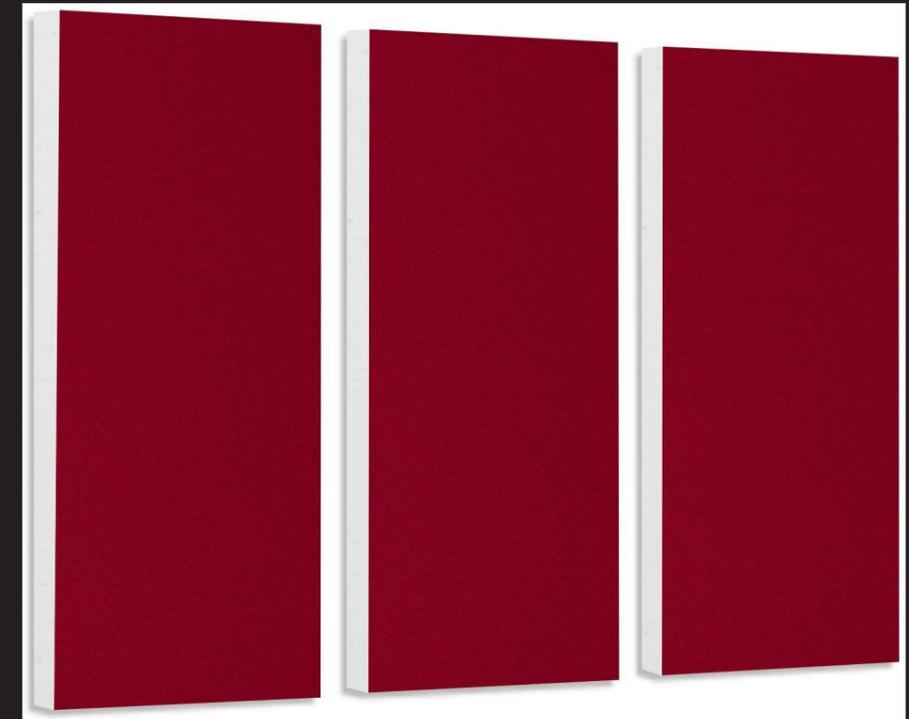


Abb.58: Breitbandabsorber

Da es einen unerwünschten Nachhall in diesem Raum gibt, empfiehlt es sich Breitbandabsorber zu verwenden. Falls noch Flatterechos vorhanden sind, kommen die Diffusoren zum Einsatz.

5.3 MATERIALWAHL

Steinwollplatte Holz

Idealerweise sollte das verwendete Material einen längenspezifischen Strömungswiderstand von ca. 10-20kPa.s/m² besitzen. Da es tiefere Frequenzen zu absorbieren gilt, wurden für die Bassfallen Steinwolle mit einem Wert von 6kPa.s/m² verwendet.

Für die höheren Frequenzen (ab 200Hz) lohnt sich allerdings ein höherer längenspezifischer Strömungswiderstand.

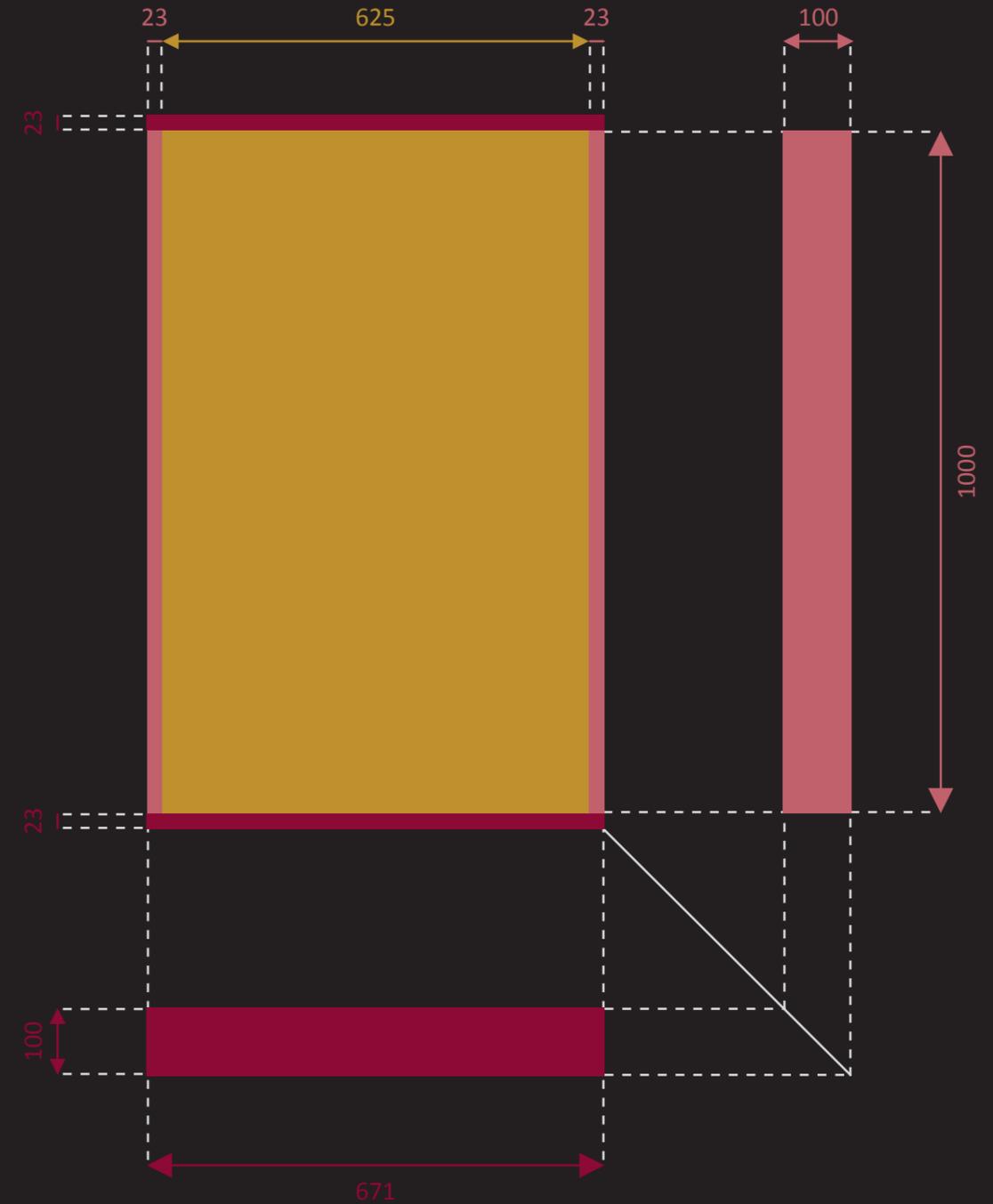
Aus Kostengründen wurde sich jedoch für die Steinwolle entschieden, welche schon bei den Bassfallen verwendet wurde.

5.4 PLANUNG

Durch die Breitbandabsorber sollen Frequenzen oberhalb von 200-300Hz absorbiert werden. Um eine effektive Wirkung zu erzeugen, benötigen diese neben dem längenspezifischen Strömungswiderstand auch eine bestimmte Dicke.

Ein guter Richtwert hierbei sind mindestens 10cm, abhängig vom Material. Da der Platz im Raum sehr begrenzt ist, empfiehlt es sich, diese Dicke nicht zu überschreiten.

Die Maße der Zeichnung sind in Millimeter angegeben.



5.5 DER BAU



Abb.59: Planung des Rahmens / Einzeichnen der Bohrlöcher



Abb.60: Bohren der Rahmenlöcher



Abb.61: Eindrehen der Schrauben



Abb.62: Zusammenbau des Rahmens

Abb.63: Zusammenbau des Rahmens



Abb.64: Steinwolle in Müllsack verpackt

Die Steinwolle wurde ebenso in Plastikfolie eingepackt, um zu verhindern, dass Fasern in die Luft und somit in die Atemwege gelangen. Denn dies kann gesundheitliche Schäden zur Folge haben.

Die Folie verringert dabei stark den Wirkungsgrad des Absorbers in den höheren Frequenzen. Dies ist jedoch ein positiver Aspekt, da ohne diese Folie die tiefen Frequenzen nur zu einem gewissen Grad absorbiert werden. Die hohen Frequenzen werden jedoch zu 100% absorbiert, wobei die Akustik des Raumes sehr dumpf wird.

Die Folie verringert allerdings den Wirkungsgrad in den höheren Frequenzen. Dies hat einen neutraleren Frequenzgang zur Folge.



Abb.65: Fertiger Rahmen + Stoffbespannung

Abb.66: Stoffbespannung Vorderseite



Abb.67: Fertige Breitbandabsorber

Insgesamt wurden 6 Breitbandabsorber angefertigt, welche an den korrekten Positionen im Raum (Reflexionspunkten) angebracht wurden.

6. ERGEBNIS

6.1 BESCHREIBUNG	S.68
6.2 DER RAUM	S.70
6.3 KOSTEN	S.74
6.4 MESSUNG	S.76
6.5 VERBESSERUNG DURCH EQ	S.80
6.6 FAZIT	S.84
6.7 AUSBLICK	S.85
6.8 QUELLEN	S.86

6.1 BESCHREIBUNG

Im letzten Kapitel wird darauf eingegangen, inwieweit die Raumakustik durch die angewandten Maßnahmen verbessert wurde.

Zusätzlich wird geprüft, ob die festgelegten Ziele wie z.B. das Budget eingehalten wurden.

6.2 DER RAUM

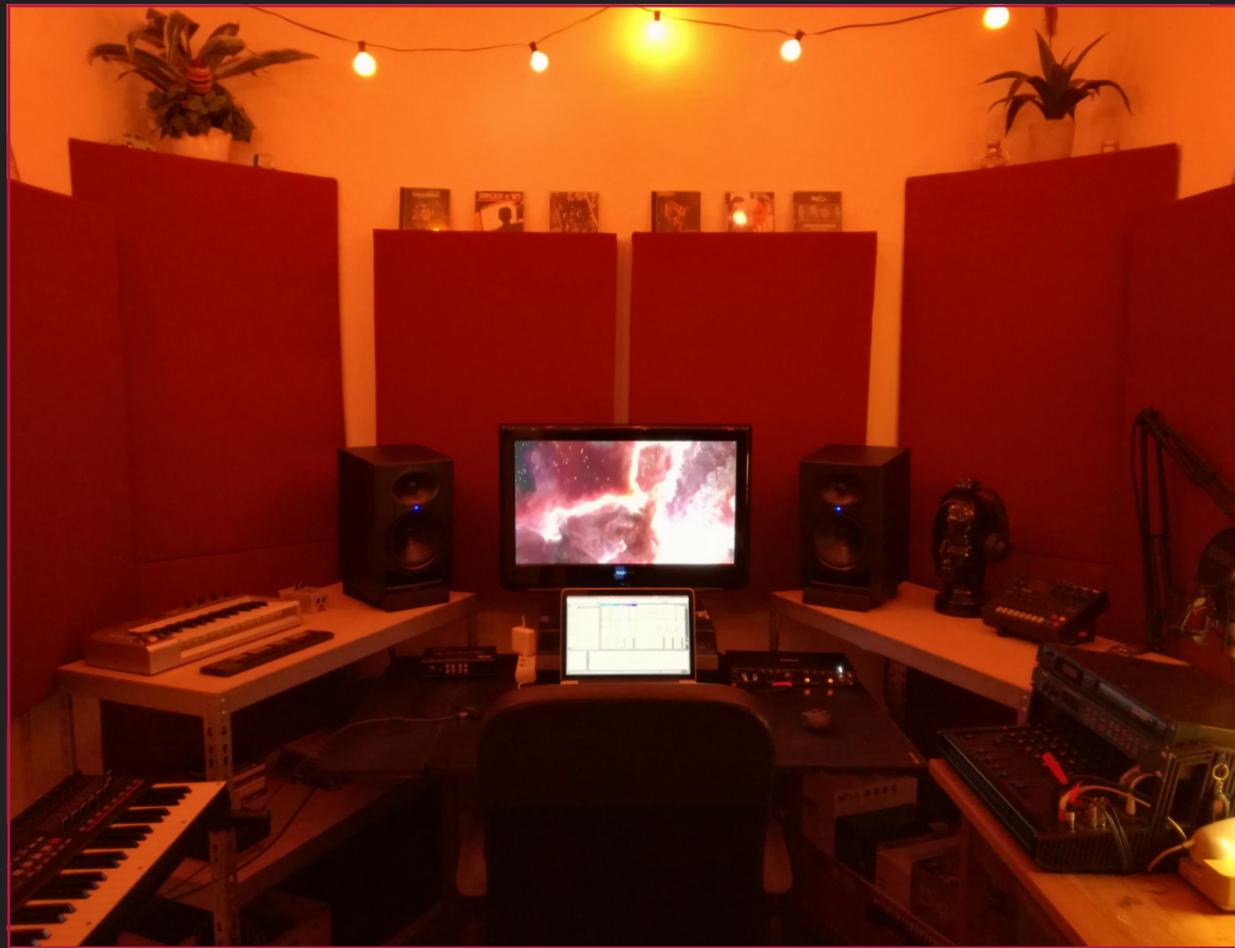


Abb.68: Tonstudio Frontalaufnahme



Abb.69: Tonstudio Frontalaufnahme - Zoom



Abb.70: Tonstudio leicht rechts - Zoom



Abb.71: Tonstudio - links



Abb.72: Tonstudio - rechts



Abb.73: Tonstudio - links

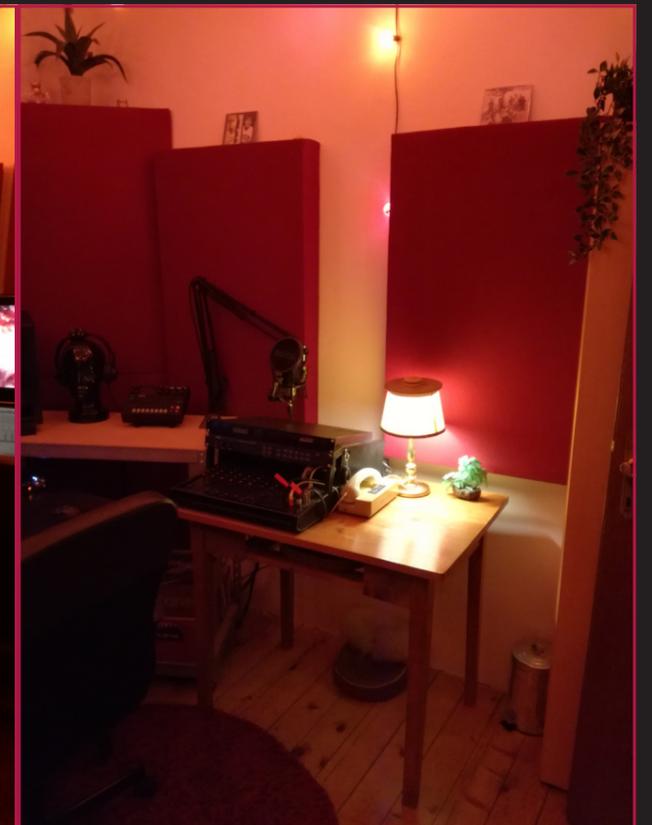


Abb.74: Tonstudio - rechts

Raumbesichtigung Video Link: <https://amcoustics.com/tools/amray>



Abb.75: Tonstudio Rückseite - links



Abb.76: Tonstudio Rückseite

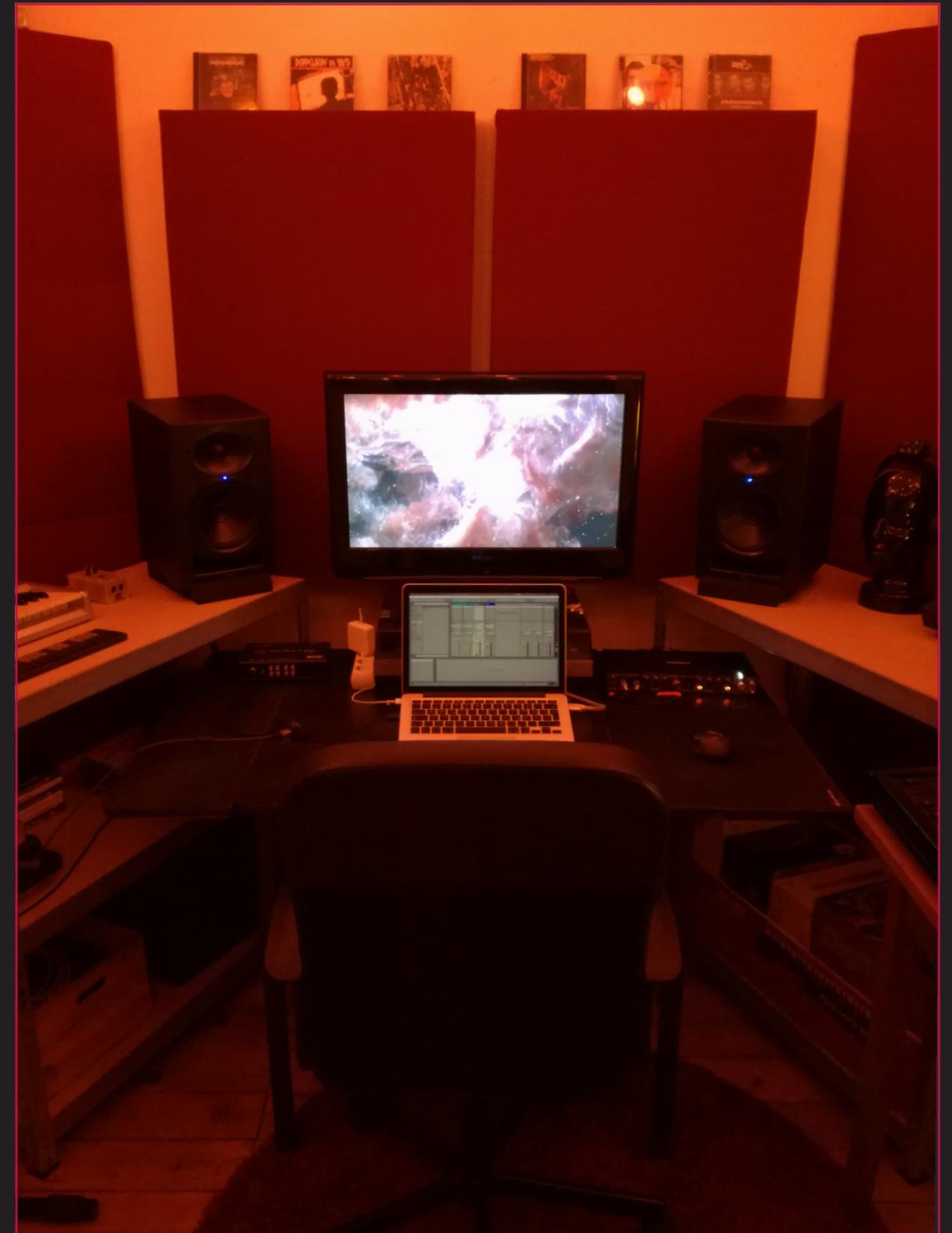


Abb.77: Tonstudio Frontalaufnahme

Raumbesichtigung Video Link: <https://amcoustics.com/tools/amray>

6.3 KOSTEN

Das Budget von 300,-€ wurde bis auf 1,88€ eingehalten.

Beschreibung	Menge	Einzelkosten	Gesamtkosten
Holzbretter	12	5,78€	69,36€
Zugeschnittene Platten	4	7,-€	28,-€
Dreikantleisten	12	1,65€	19,80€
Packungen Steinwolle	4	15,-€	60,-€
Dekostoff	10	3,50€	35,-€
Müllsäcke	2	5,-€	10,-€
Winkel	2	2,89€	5,78€
Handtacker	1	15,99€	15,99€
Feindrahtklammern	1	4,49€	4,49€
Holzschrauben	1	9,99€	9,99€
Schrauben & Dübel	2	2,49€	4,98€
Universalschrauben	1	5,49€	5,49€
Messmikrofon (Behringer ECM8000)	1	33,-€	33,-€
Gesamtkosten	-	-	301,88€

6.4 MESSUNG

Nachdem die Breitbandabsorber an den vorgesehenen Positionen im Raum platziert wurden, erfolgte erneut eine Messung. Auf der folgenden Abbildungen wird die Messung des „leeren“ Raums (grün) mit der Messung, bei welcher die Bassfallen + Breitbandabsorbern platziert wurden (blau), verglichen (Abb.78). Auf der Abb.79 kann man alle drei Messungen auf einen Blick vergleichen.

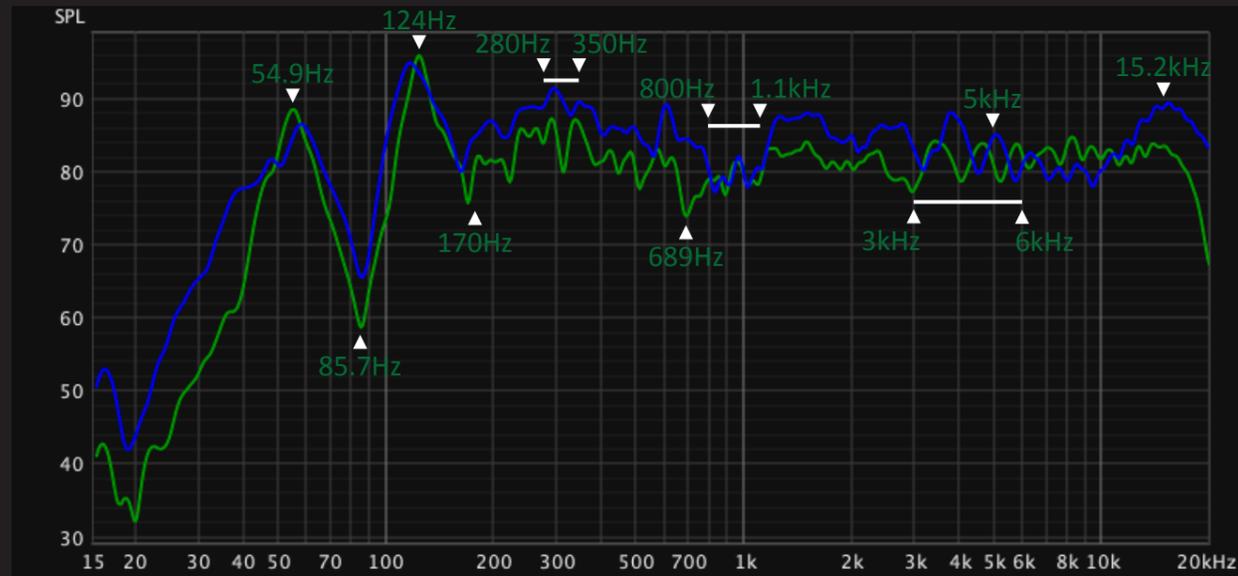


Abb.78: Vergleich der Full-Range-Messungen mit und ohne Bassfallen + Breitbandabsorbern



Abb.79: Vergleich aller Full-Range-Messungen (rote Linie = Raum nur mit Bassfallen)

Die größte Verbesserung des Frequenzgangs fand im Bereich von ca. 15-150Hz statt. Die Raummoden bei 54.9Hz & 124Hz sowie die größte Auslöschung bei 85.7Hz wurden reduziert. Beachtliche Verbesserung des starken Abfalls unterhalb von 50Hz.

Die Auslöschungen und Moden oberhalb von 150Hz sind teils vergrößert, teils verkleinert.

Die Auslöschungen bei 280-350Hz sowie 689Hz sind stark minimiert. Allerdings ist dadurch bei ca. 290Hz & 610Hz eine kleine Mode entstanden. Überraschenderweise wurden die drei leichten Moden im Bereich von 3-6kHz, welche durch die Bassfallen abgeflacht wurden, wieder verstärkt.

Die Auslöschung ab 15.2kHz wurde teils zu stark angehoben.

Generell leichte Anhebung sowie Abflachung des kompletten Frequenzgangs oberhalb von 150Hz. Ausnahme hierbei sind die Bereiche 800Hz-1100Hz und 6-11kHz.



Abb.80: Full-Range-Messungen mit Bassfallen + Breitbandabsorbern

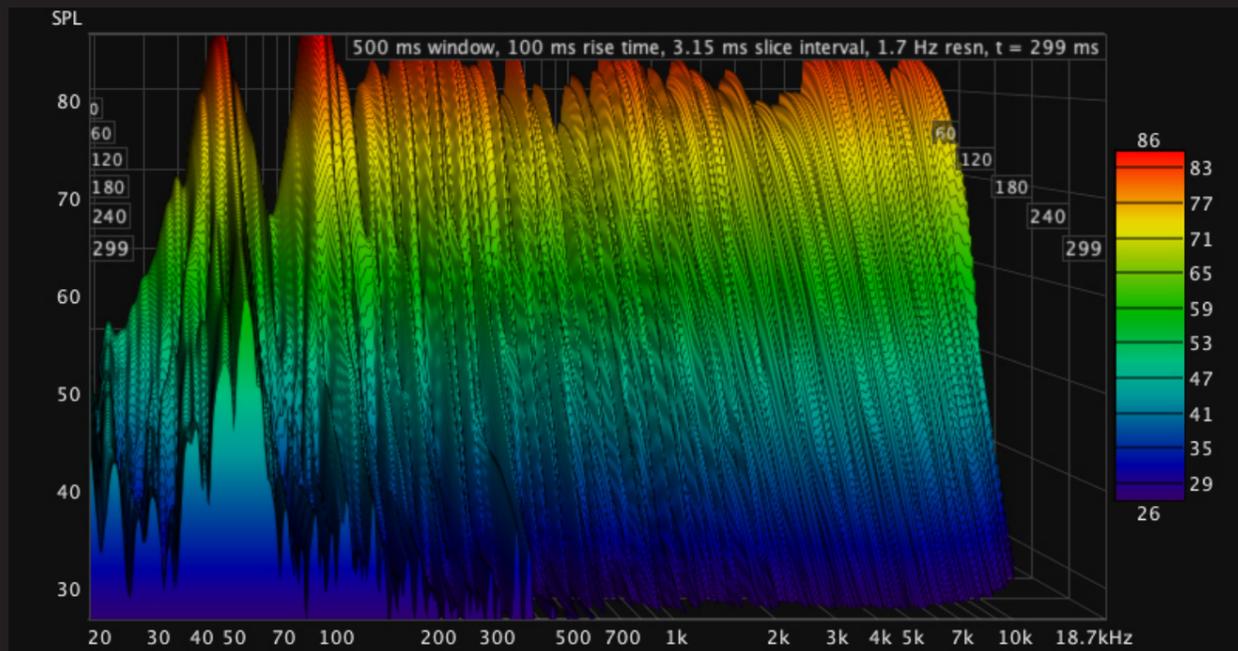


Abb.81: Waterfall-Analyse mit Bassfallen und Breitbandabsorbern im Raum

Oberhalb von 70Hz wurde die Nachhallzeit extrem verringert (Ausnahme bei 10-18kHz).

Unterhalb jedoch in einem geringeren Ausmaß.

Der Abfall der Nachhallzeit ist über das komplette Frequenzspektrum linearer geworden.

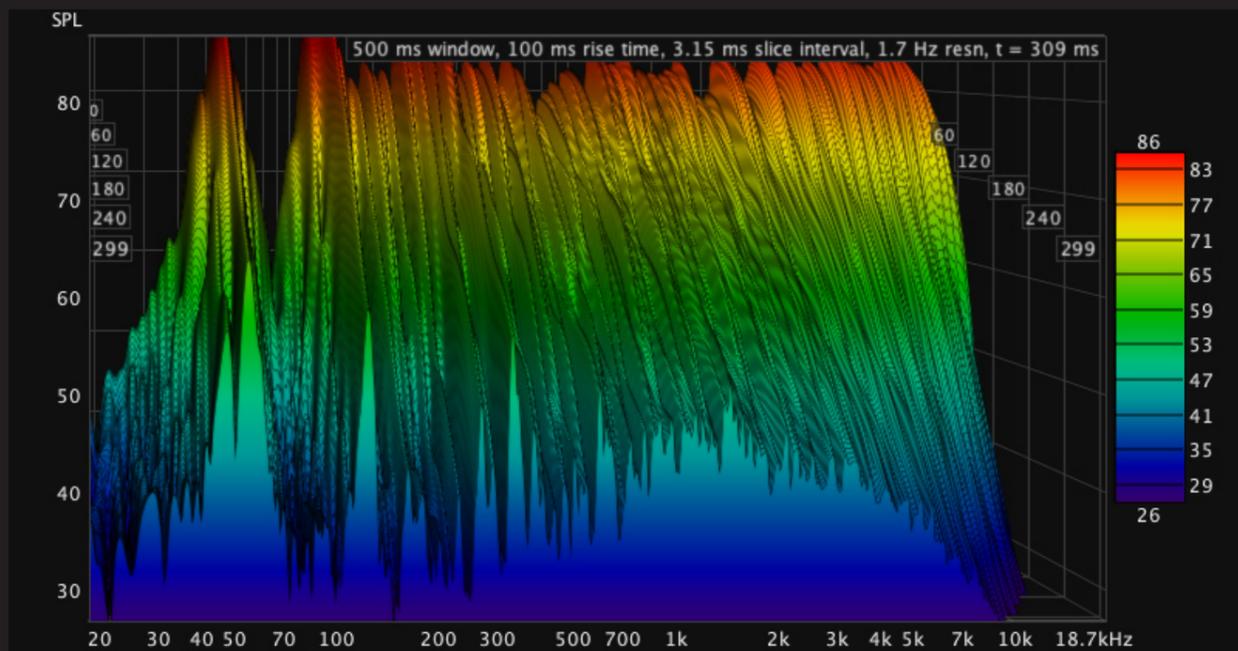


Abb.82: Waterfall-Analyse - Default

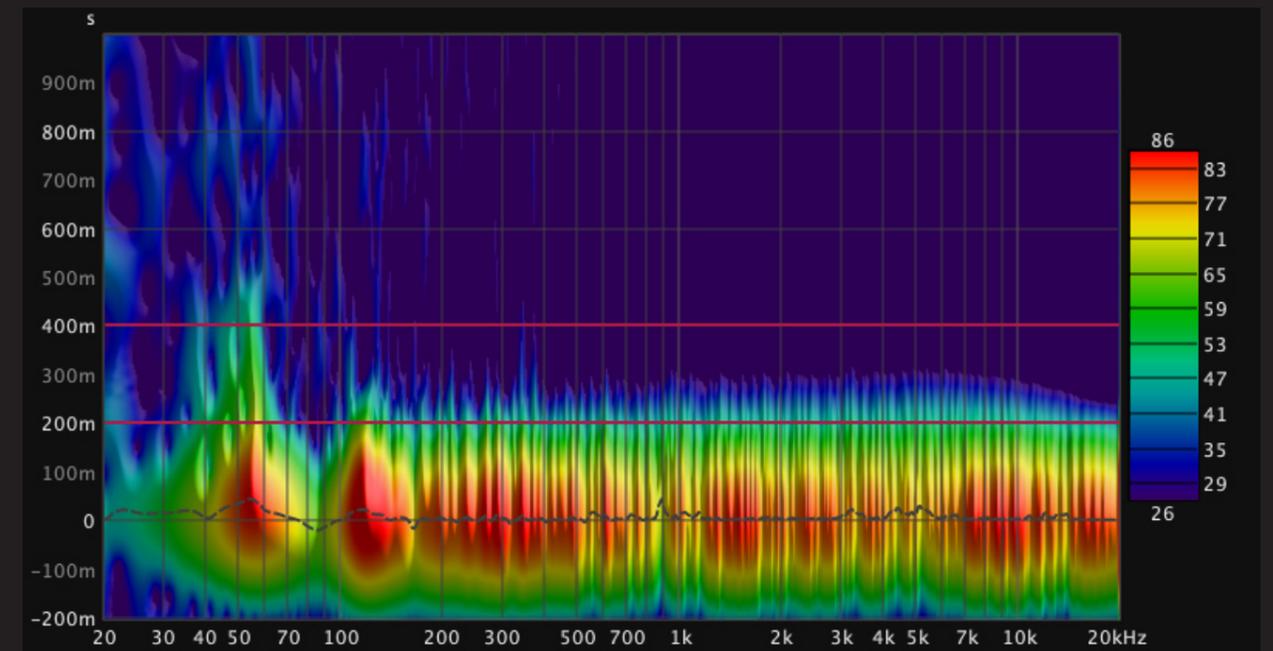


Abb.83: Spektrogramm-Analyse mit Bassfallen und Breitbandabsorbern im Raum

Oberhalb von 180Hz klingt die Nachhallzeit bei 300 Millisekunden (m) fast durchgehend linear aus (Abb.83).

Eine Ausnahme ist der Bereich bei 360Hz, bei welchem die Nachhallzeit jedoch ebenfalls stark verringert wurde. Um 60dB klingt der Raum beinahe durchgehend zwischen 200-220m aus. Der RT-60-Wert wurde somit eingehalten.

Trotz starker Verbesserung, z.B. bei 130Hz oder 25-38Hz (bei 200-550m & 800-900m) ist die Nachhallzeit unter 180Hz immer noch zu lange.

Überraschenderweise wurde diese unterhalb von 28Hz leicht verstärkt.

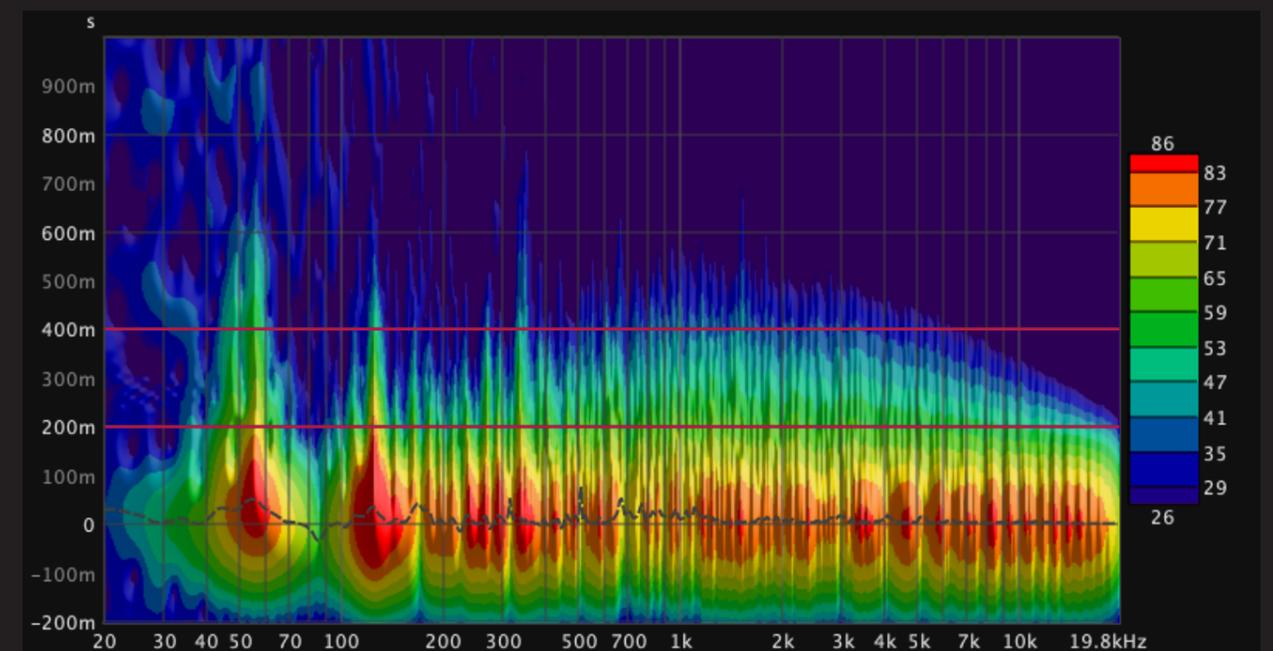


Abb.84: Spektrogramm-Analyse - Default

6.5 VERBESSERUNG DURCH EQ

In der Software „RoomEQWizard“ (REW) gibt es eine Equalizer-Funktion, mit Hilfe dieser der Frequenzgang noch gleichmäßiger gemacht werden kann. Dies geschieht, indem der Klang, bevor er die Lautsprechern verlässt, durch einen auf die Raumakustik angepassten Filter verändert wird.

Die finale Raummessung wird hierbei von REW analysiert und auf die gewünschten Vorgaben des Users (in diesem Fall: linearer Frequenzgang) angepasst.



Abb.85: Full-Range-Analyse (Bassfallen + Breitbandabsorber) + Filter

Auf Abb.85 ist in **blau** die finale Raummessung mit Bassabsorber und Breitbandabsorbern zu sehen. Die weiße Linie repräsentiert den gewünschten Frequenzgang. Die **hellblaue** Fläche die Filter des Equalizers, durch welche der Frequenzgang an gewissen Stellen angehoben oder abgesenkt wird. Ziel ist es, den gewünschten Frequenzgang (weiße Linie) zu erreichen bzw. sich diesem so gut es geht anzunähern.

Nach Abschluss der Analyse, können die Parameter, welche für die richtige Einstellung des Equalizers von Nöten sind, aus REW exportiert werden (Abb.86).

```
Filter Settings file
Room EQ V5.20.5
Dated: Mar 14, 2022 3:36:13 PM

Notes:

Equaliser: Generic
Mar 14
Filter 1: ON PK      Fc 117.5 Hz Gain -10.00 dB Q 3.967
Filter 2: ON PK      Fc 293.0 Hz Gain -4.00 dB Q 4.942
Filter 3: ON PK      Fc 335.0 Hz Gain -2.70 dB Q 2.873
Filter 4: ON PK      Fc 471.0 Hz Gain 0.00 dB Q 4.906
Filter 5: ON PK      Fc 615.0 Hz Gain -3.40 dB Q 4.950
Filter 6: ON PK      Fc 1479 Hz Gain -4.20 dB Q 4.297
Filter 7: ON PK      Fc 1960 Hz Gain 0.00 dB Q 4.916
Filter 8: ON PK      Fc 2588 Hz Gain -5.30 dB Q 4.410
Filter 9: ON PK      Fc 3296 Hz Gain 5.70 dB Q 1.209
Filter 10: ON PK     Fc 3801 Hz Gain -7.10 dB Q 1.939
Filter 11: ON PK     Fc 4496 Hz Gain 2.10 dB Q 5.765
Filter 12: ON PK     Fc 7924 Hz Gain 0.40 dB Q 1.000
Filter 13: ON PK     Fc 13521 Hz Gain -2.70 dB Q 4.942
Filter 14: ON PK     Fc 15161 Hz Gain -6.60 dB Q 3.468
Filter 15: ON PK     Fc 17643 Hz Gain -4.90 dB Q 3.588
Filter 16: ON None
Filter 17: ON None
Filter 18: ON None
Filter 19: ON None
Filter 20: ON None
Filter 21: ON None
Filter 25: ON None
```

Abb.86: EQ-Daten aus RoomEQWizard

Diese Parameter können nun in der eigenen DAW in einen Equalizer eingespeist werden (Abb.87) und am Ende der Signalkette platziert werden.



Abb.87: Equalizer „Q3“ von FabFilter mit EQ-Daten aus REW

Nach Abschluss dieser Schritte wurde eine finale Messung der Raumakustik durchgeführt.



Abb.88: Finale Full-Range-Analyse des Raums (mit EQ)



Abb.90: Vergleich der Full-Range-Messungen des leeren Raums und des behandelten Raums

Der Frequenzgang mit EQ (Abb.88) ist im Vergleich zum leeren Raum (Abb.89) deutlich linearer geworden.

Bei 54.9Hz und 124Hz sind die extremen Moden beinahe komplett verschwunden.
Bei 85.7Hz wurde die starke Auslöschung ebenso enorm verringert.

Unterhalb von 54.9Hz ist der stark abfallende Frequenzgang angehoben worden.

Oberhalb von 170Hz ist der Frequenzgang generell linearer geworden.
Ausnahme bildet eine neu entstandene Auslöschung bei 890Hz.
Bei 3-6kHz sind die drei Moden leicht verstärkt worden.

Über 15.2kHz ist der starke Frequenz-Abfall ebenso reduziert.



Abb.89: Full-Range-Analyse des leeren Raums (Default / Erste Messung)

6.6 FAZIT

Durch die Behandlung des Zimmers hat sich die Raumakustik in fast allen Bereichen positiv verändert. Eine Ausnahme hierbei bildet die im Frequenzgang neu entstandene Auslöschung bei 890Hz sowie die Raummoden bei 3-6kHz.

Die größte Verbesserung fand vor allem in den tiefen Frequenzen (unter 170Hz) statt. Da diese die Akustik des Studio- und Aufnahmerraums besonders stark verfälschen, ist die gewonnene Linearität in diesem Bereich von besonderer Relevanz.

Die Nachhallzeit hat sich oberhalb von 150Hz stark verbessert und ist bis auf den Bereich bei 350-400Hz durchgehend linearer geworden. Über 150Hz ist sie knapp innerhalb des RT-60-Werts. Unterhalb von 150Hz hat sich die Nachhallzeit zwar verringert, ist allerdings immer noch zu lange. Unter 25Hz wurde sie sogar leicht verstärkt. Bei weiterer Raumbehandlung ist zu beachten, dass die Akustik nicht zu trocken sowie nur tiefe Frequenzen gedämpft werden.

Eigene Perspektive:

Durch das Projekt hat sich mein Wissen im Bereich Akustik enorm erweitert. Nach dem Einbau der Absorber konnte ich meine Lautsprecher (Kali Audio LP-6's) noch einmal ganz neu kennen lernen. Mich hat dabei überrascht, wie stark sich der Klang in diesem Raum verbessert hat (Klarheit, Tiefe etc.), insbesondere unter Berücksichtigung des sehr begrenzten Budgets von 300€.

6.7 AUSBLICK

Die Raumanalyse wurde bisher nur in 2D durchgeführt. Da es sich aber um einen dreidimensionalen Raum handelt, sollte die Analyse dementsprechend erweitert werden (d.h. Miteinbeziehen von Decke und Boden).

Die vorhandenen Bassfallen sollten auf die komplette Höhe des Raums verlängert werden. An bisher noch unbehandelten Raumecken (z.B. die Ecken zwischen Wand und Decke) können weitere Bassfallen angebracht werden. Ebenso wenn möglich, Breitbandabsorber an Türen.

Für eine weitere akustische Optimierung, können die Lautsprecher auf Monitorständer platziert werden.

6.7 QUELLEN

Abmischenlernen [25.11.2018]: Raumakustik verbessern! 7 EINFACHE Tipps um den Raumklang zu optimieren ! | abmischenlernen.de. In: https://www.youtube.com/watch?v=U9II_gnOBOI (zuletzt aufgerufen am 22.03.22)

Acoustic Modelling [2011]: Porous Absorber Calculator. In: <http://www.acousticmodelling.com/porous.php> (zuletzt aufgerufen am 25.02.22)

ADAM Audio [30.09.2020]: How Professional Acoustic Panels are Made | ADAM Audio & Music City Acoustics. In: <https://www.youtube.com/watch?v=49I39Z5y6rk> (zuletzt aufgerufen am 22.03.22)

Amcoustics [2022]: amroc - The Room Mode Calculator. In: <https://amcoustics.com/tools/amroc> (zuletzt aufgerufen am 25.02.22)

Amcoustics [2022]: amray - The Realtime Ray Tracing Sketchpad. In: <https://amcoustics.com/tools/amray> (zuletzt aufgerufen am 25.02.22)

AudioProHeilbronn [18.02.2021]: Webinar – Der Lautsprecher im Raum – Grundlagen Raumakustik und Einmessung von Lautsprechern. In: <https://www.youtube.com/watch?v=AiluFPr3Tuw> (zuletzt aufgerufen am 22.03.22)

Beatmaking - Hip Hop Beats & Tutorials [16.01.2021]: DAS ist besser als Akustikschaumstoff! (Absorber selber bauen). In: <https://www.youtube.com/watch?v=8jNtZAlDrM> (zuletzt aufgerufen am 22.03.22)

Chris A. Richter [16.06.2020]: Raumakustik verbessern DIY - Teil 1: Akustische Grundlagen. In: <https://www.youtube.com/watch?v=Zo2fsGz3s-g> (zuletzt aufgerufen am 25.02.22)

Chris A. Richter [23.06.2020]: Raumakustik verbessern DIY - Teil 2: Analyse und Planung. In: <https://www.youtube.com/watch?v=-TE6xChh6Wo> (zuletzt aufgerufen am 25.02.22)

Chris A. Richter [08.07.2020]: Raumakustik verbessern DIY - Teil 3: Wie Lautsprecher aufstellen?. In: <https://www.youtube.com/watch?v=hrv60-gc9xM> (zuletzt aufgerufen am 25.02.22)

Chris A. Richter [29.07.2020]: Raumakustik verbessern DIY - Teil 4: Bassfallen selber bauen. In: <https://www.youtube.com/watch?v=kl3Ucu3vj6g> (zuletzt aufgerufen am 25.02.22)

Chris A. Richter [23.08.2020]: Raumakustik verbessern DIY - Teil 5: Breitbandabsorber bauen. In: <https://www.youtube.com/watch?v=M0pQgN6NP20> (zuletzt aufgerufen am 25.02.22)

Dozerbeatz - Mixing/Mastering ITB [10.04.2016]: Room Correction With Convolution Plugin Room Eq Wizard Tutorial. In: <https://www.youtube.com/watch?v=IM99RB4gt8o> (zuletzt aufgerufen am 22.03.22)

Futorial [28.01.2017]: Raumakustik - 2 - Erste Messung mit REW (Room EQ Wizard). In: <https://www.youtube.com/watch?v=fDb7CeVaArY> (zuletzt aufgerufen am 22.03.22)

GIK Acoustics [07.04.2012]: Room EQ Wizard: REW Room Measurement Tutorial. In: <https://www.youtube.com/watch?v=e4uSR3cUUSY> (zuletzt aufgerufen am 22.03.22)

Julian Krause [14.03.2019]: Correct your speakers with REW, UMIK-1 and Equalizer APO (Room Correction Tutorial). In: <https://www.youtube.com/watch?v=Ev1bSSL8tRA> (zuletzt aufgerufen am 22.03.22)

M-Tech [29.04.2021]: Bassabsorber selber bauen und Raumakustik verstehen | Klangoptimierungen im Heimstudio. In: <https://www.youtube.com/watch?v=R44UQ4rAot8> (zuletzt aufgerufen am 25.02.22)

Martin Wolfinger [13.07.2021]: Raumakustik Verbessern & Nachhall reduzieren mit Basotect Absorbern. In: <https://www.youtube.com/watch?v=oLxF2U7K7gs> (zuletzt aufgerufen am 25.02.22)

NoteYourVision [22.09.2020]: Absorber richtig positionieren | Raumakustik verbessern, Hall entfernen mit Akustikmodulen. In: <https://www.youtube.com/watch?v=HH-KUZ9IRcU> (zuletzt aufgerufen am 25.02.22)

NoteYourVision [15.09.2020]: DIY Raumakustik Absorber | Bass Traps selber bauen. In: <https://www.youtube.com/watch?v=klgE4Bc4A6w> (zuletzt aufgerufen am 25.02.22)

NoteYourVision [15.09.2020]: DIY Raumakustik Absorber | Bass Traps selber bauen. In: <https://www.youtube.com/watch?v=klgE4Bc4A6w> (zuletzt aufgerufen am 25.02.22)

Recording-Blog [08.12.2020]: Tag 08: Bass besser abmischen: Raum messen und Probleme erkennen / Tutorial | Recording-Blog #08. In: <https://www.youtube.com/watch?v=qrglhtgxOb4> (zuletzt aufgerufen am 22.03.22)

REW [2022]: Room EQ Wizard Room Acoustics Software. In: <https://www.roomeqwizard.com/> (zuletzt aufgerufen am 25.02.22)

2022

RAUMAKUSTIK

OPTIMIEREN
MEINES
TONSTUDIOS
MIT
300 EURO
BUDGET

SEVERIN STRÖHLE