

Klangverbesserung durch akustische Maßnahmen im Selbstbau

Heiner Fischer
Ralph Stens

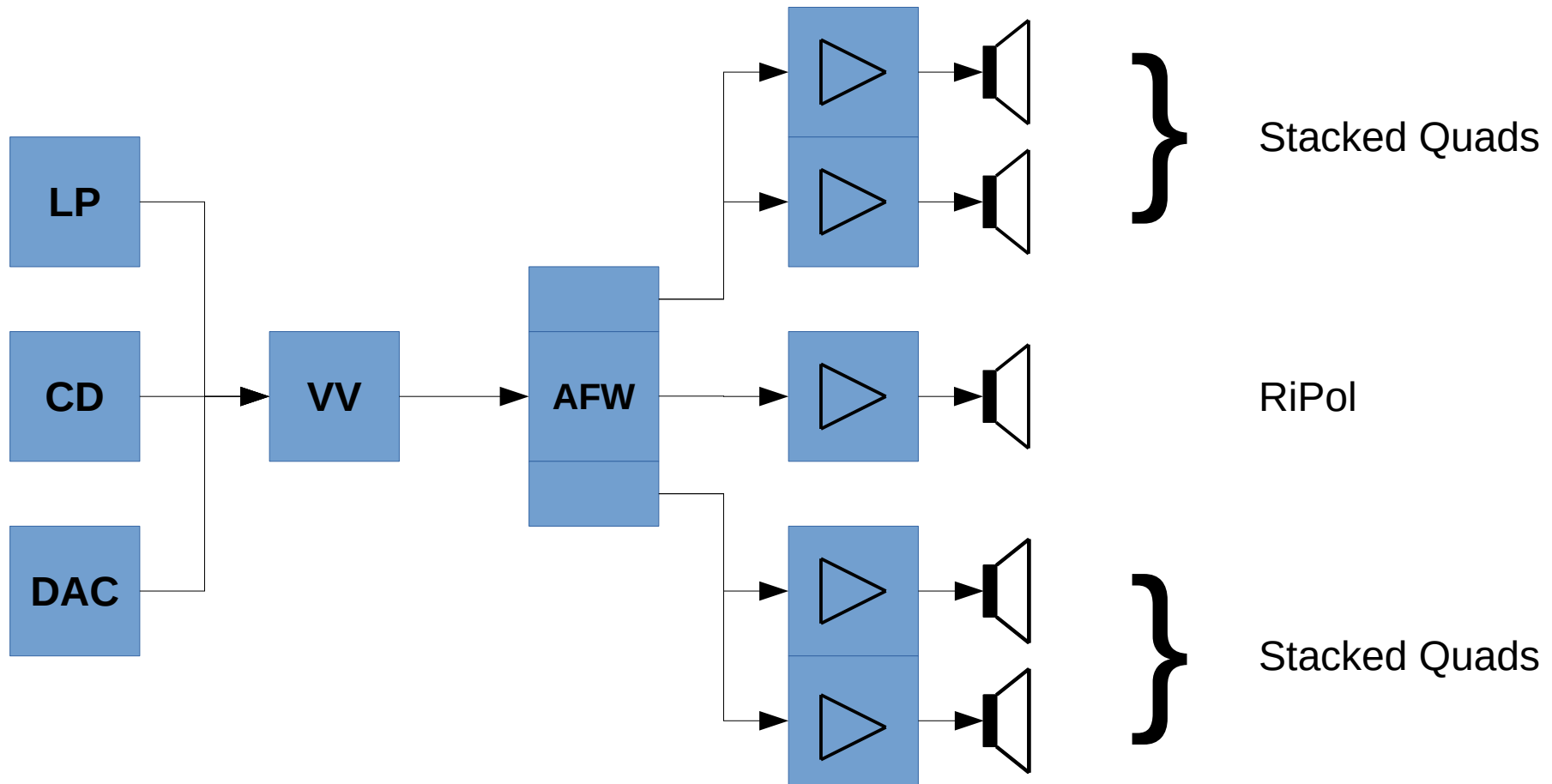
- Vorstellung
- Die Anlage & der Hörraum
- Raummessungen in der Praxis
- Erste Messungen des Hörraums
- Möglichkeiten zur Optimierung
- Entwicklung eines aktiven Absorbers
- DSP im Subwoofer Kanal
- Diffusoren
- Beurteilung der akustischen Maßnahmen
- Ausblick
- Fragen / Diskussion

Heiner Fischer

- Geboren 1959
- Audio als Hobby seit 1977
- Audio Equipment im Selbstbau seit 1999
- Verstärktes Interesse an der Raumakustik seit 2009

Ralph Stens

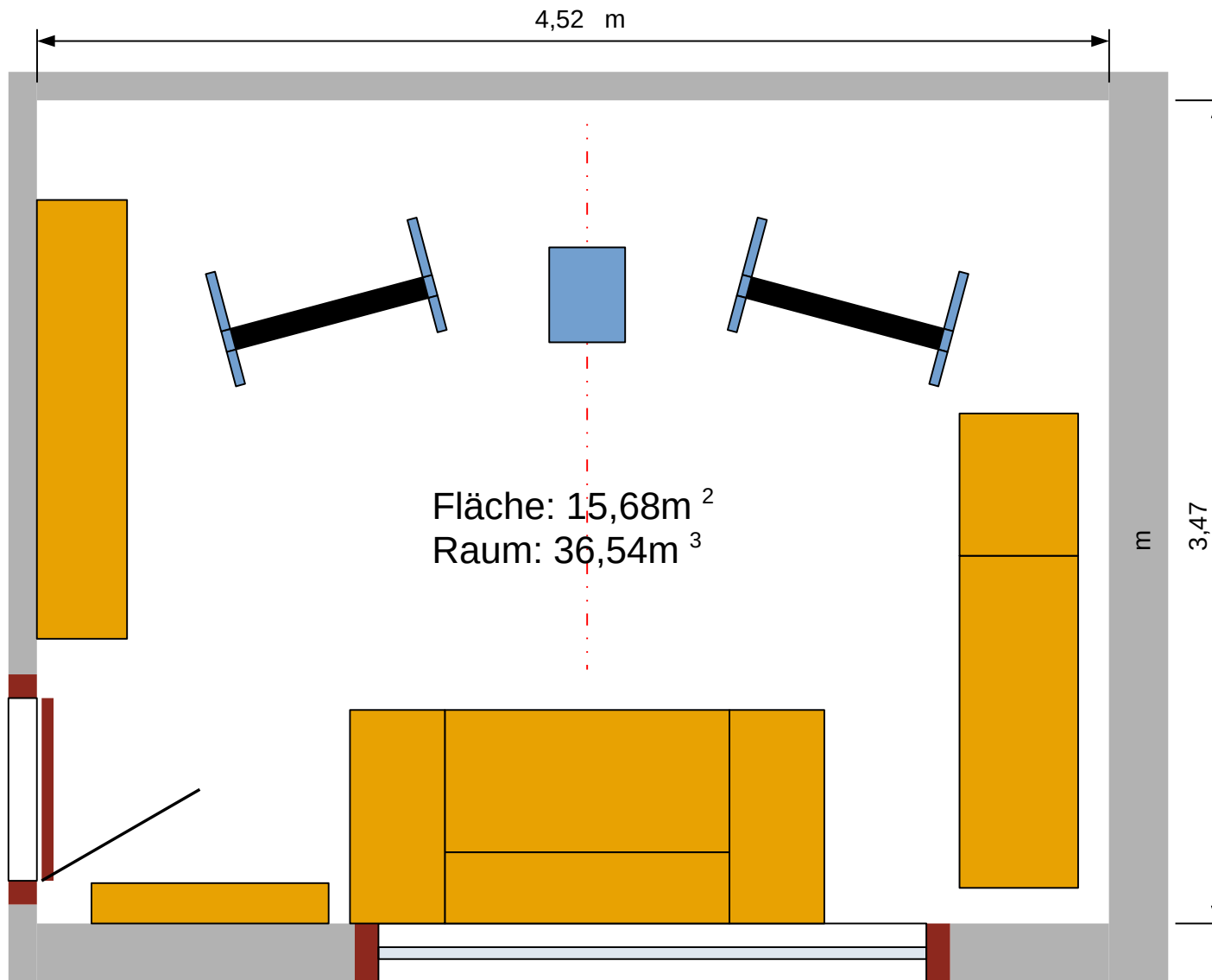
- Geboren 1959
- Studium der Elektrotechnik, Schwerpunkt Elektronik & Hochfrequenztechnik
- Audio als Hobby seit dem 15. Lebensjahr
- Audio Equipment im Selbstbau seit dem 23. Lebensjahr

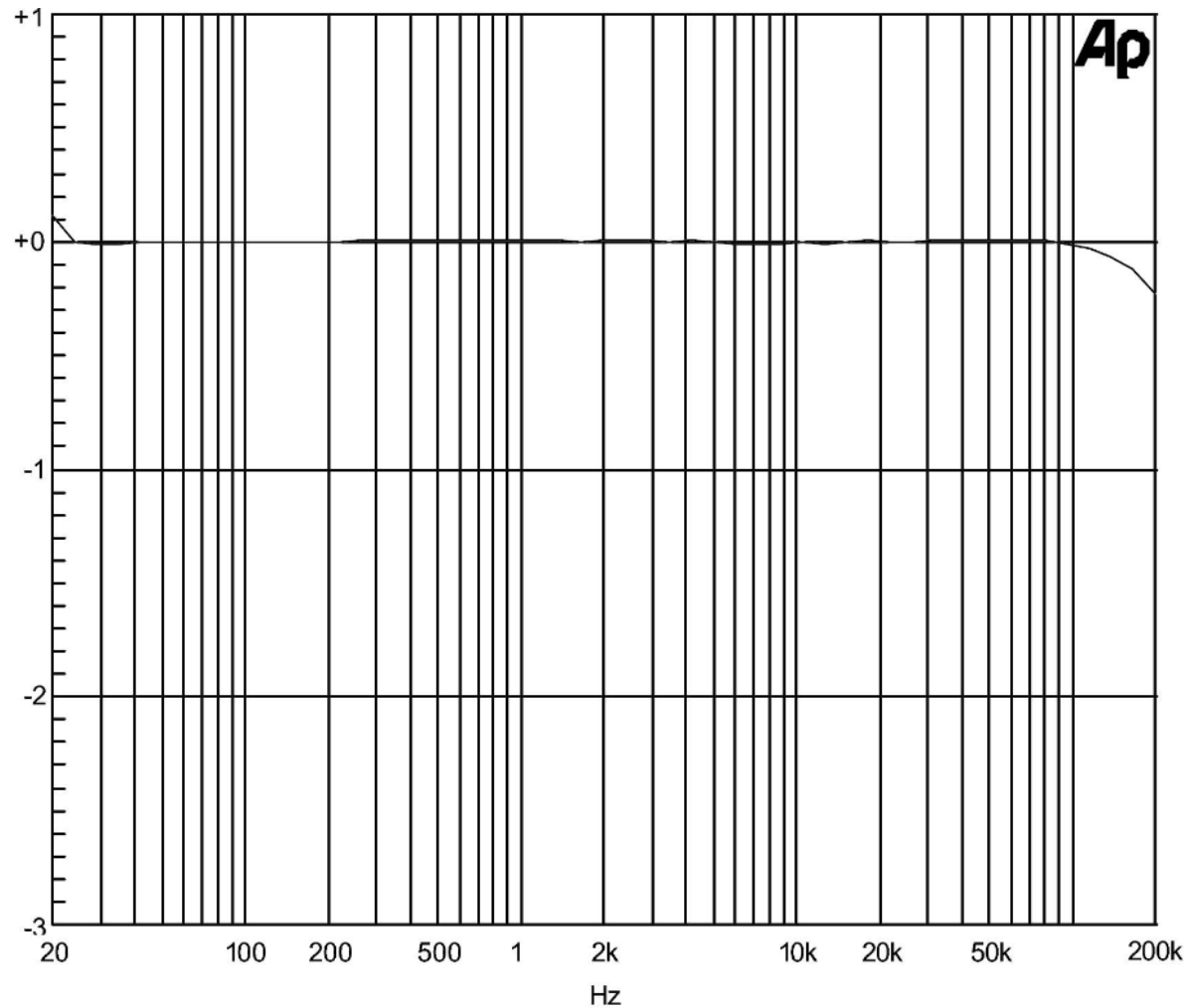


AFW: Trennfrequenz bei 127Hz, 24dB Linkwitz-Riley Filter

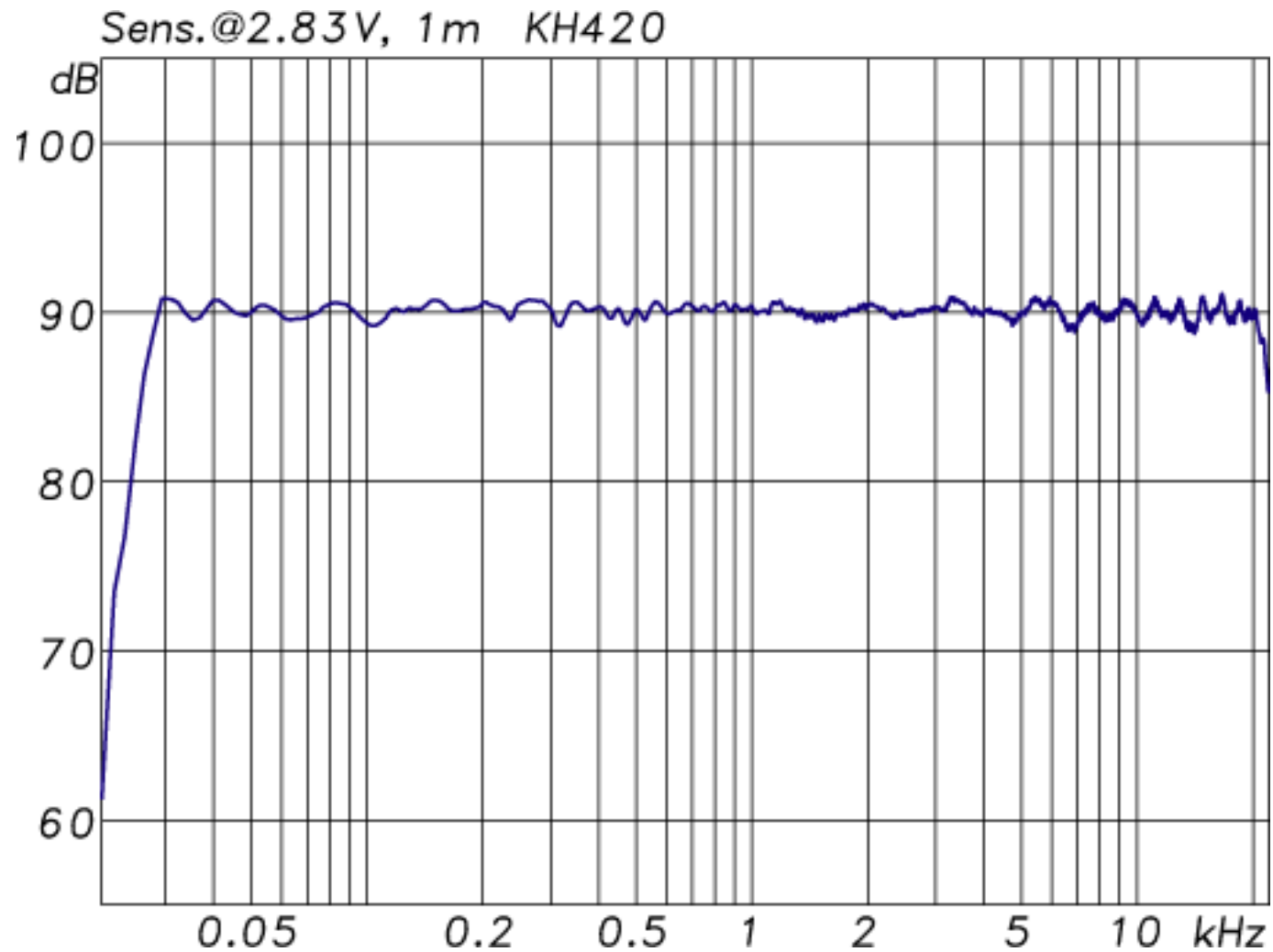


Die Anlage & der Hörraum

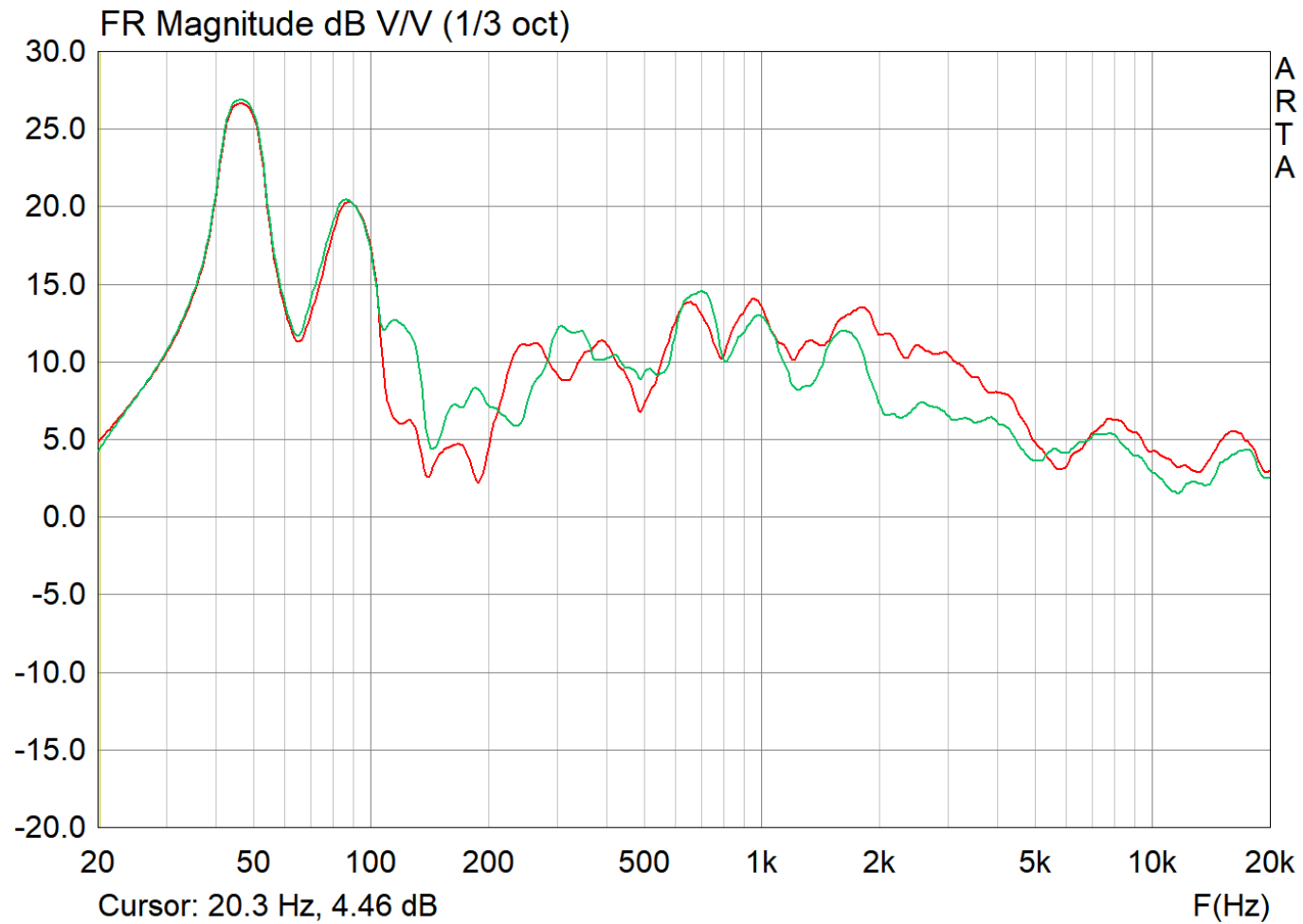




Frequenzgang einer Firstwatt F5 Endstufe



Freifeld Messung eines Neumann KH420 Studio Monitors



Frequenzgangmessung meiner Lautsprecher in meinem Raum

Nachhallzeit

Die wichtigste physikalische Größe zur Charakterisierung der akustischen Eigenschaften eines Raumes ist seine Nachhallzeit. Sie ist das Maß für die Halligkeit eines Raumes. Die Nachhallzeit ist frequenzabhängig, da Stein, Holz, Teppich oder Textilien den Schall bei den verschiedenen Frequenzen unterschiedlich stark absorbieren.

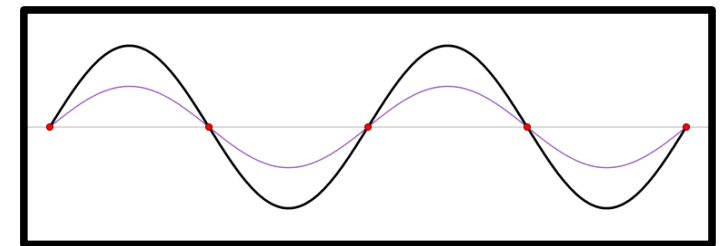
In kleinen Räumen beeinflusst die Raumgeometrie die Nachhallzeit bei niedrigen Frequenzen.

Unter der Nachhallzeit RT_{60} versteht man das Zeitintervall, innerhalb dessen der Schalldruck in einem Raum bei plötzlichem Verstummen der Schallquelle auf den tausendsten Teil seines Anfangswerts abfällt, was einer Abnahme des Schalldruckpegels von 60 dB entspricht.

Raummoden

Die Schallausbreitung in kleinen Räumen wird bei tiefen Frequenzen durch die Raumeigenmoden bestimmt. Dies sind dreidimensionale stehende Wellen, die sich bei den charakteristischen Eigenfrequenzen des Raumes anregen lassen.

Beispiel : Raumlänge **10m**
 Raummode **17,15Hz** 1. Ordnung
 34,30Hz 2. Ordnung



Es dröhnt bei 17,15 Hz und 34,3Hz oder anders gesagt, die Nachhallzeit ist bei diesen Frequenzen sehr hoch.

Eine stehende Welle (**schwarz**) als Überlagerung zweier gegenläufiger Wanderwellen (**rot** und **blau**). Die Knoten der stehenden Welle befinden sich an den roten Punkten.

Schröderfrequenz

Kennt man die Nachhallzeit eines Raumes und sein Volumen, so kann die Schröderfrequenz berechnet werden, die bei den meisten Räumen um 300Hz liegt.

Oberhalb der Schröderfrequenz sind die Raummoden so häufig und verteilt, dass sie den Klang nicht mehr beeinflussen.

Unterhalb der Schröderfrequenz können Raummoden wahrnehmbare Klangverfärbungen bewirken. Da diese besonders die tiefen Töne betreffen, werden sie als Dröhnen, Booming oder Ein-Noten-Bass empfunden.

Die Schröderfrequenz für meinen Raum liegt bei **ca. 257Hz**

Berechnung der Raummoden für meinen Raum

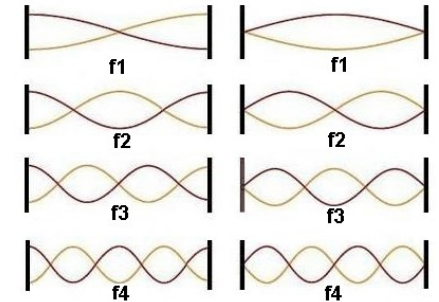
$$f_{res} = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{n_l}{l}\right)^2 + \left(\frac{n_b}{b}\right)^2 + \left(\frac{n_h}{h}\right)^2}$$

c ist die Schallgeschwindigkeit 343m/s

n_l, n_b, n_h sind ganze Zahlen (0,1,2,3,...) die für die Ordnung der Raummoden stehen

l, b, h sind Länge, Breite und Höhe des Raumes (4,52m x 3,47m x 2,33m)

Raummoden als Schalldruck oder als Auslenkung?



$$f_{res\ 100} = \frac{343}{2} \sqrt{\left(\frac{1}{4,52}\right)^2 + \left(\frac{0}{3,47}\right)^2 + \left(\frac{0}{2,33}\right)^2} = 37,9\text{Hz}$$

$$f_{res\ 010} = \frac{343}{2} \sqrt{\left(\frac{0}{4,52}\right)^2 + \left(\frac{1}{3,47}\right)^2 + \left(\frac{0}{2,33}\right)^2} = 49,4\text{Hz}$$

$$f_{res\ 001} = \frac{343}{2} \sqrt{\left(\frac{0}{4,52}\right)^2 + \left(\frac{0}{3,47}\right)^2 + \left(\frac{1}{2,33}\right)^2} = 73,6\text{Hz}$$

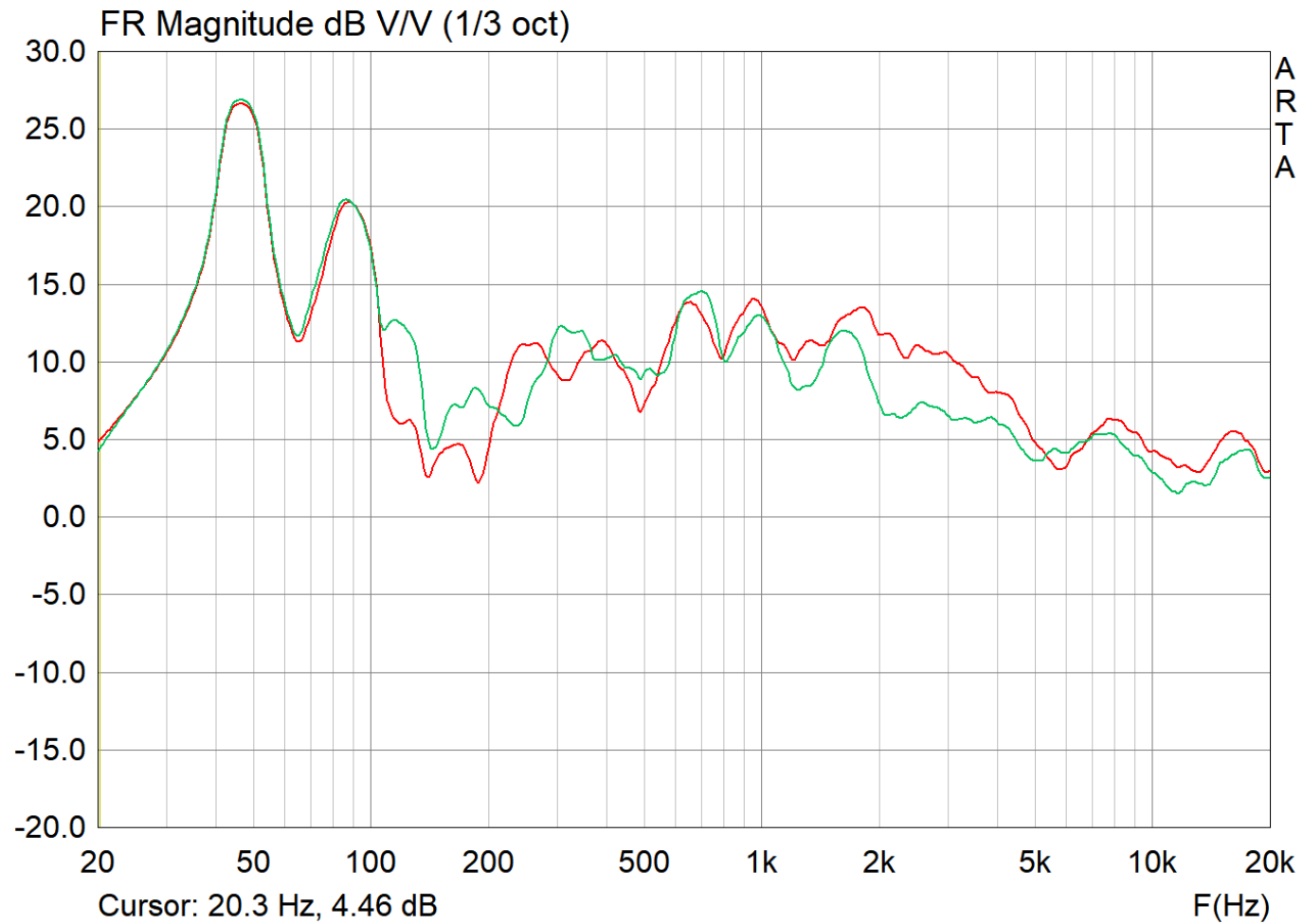
Quelle: Sengspiel Audio, <http://www.sengspielaudio.com/StehendeWellen.htm>

Verwendete Messtechnik

Messmikrofon: Earthworks M50
Audio Interface: RME Fireface UCX
PC: Standard Laptop mit Windows 10 Pro
Software: Acourate - www.audiovero.de
ARTA - www.artalabs.hr

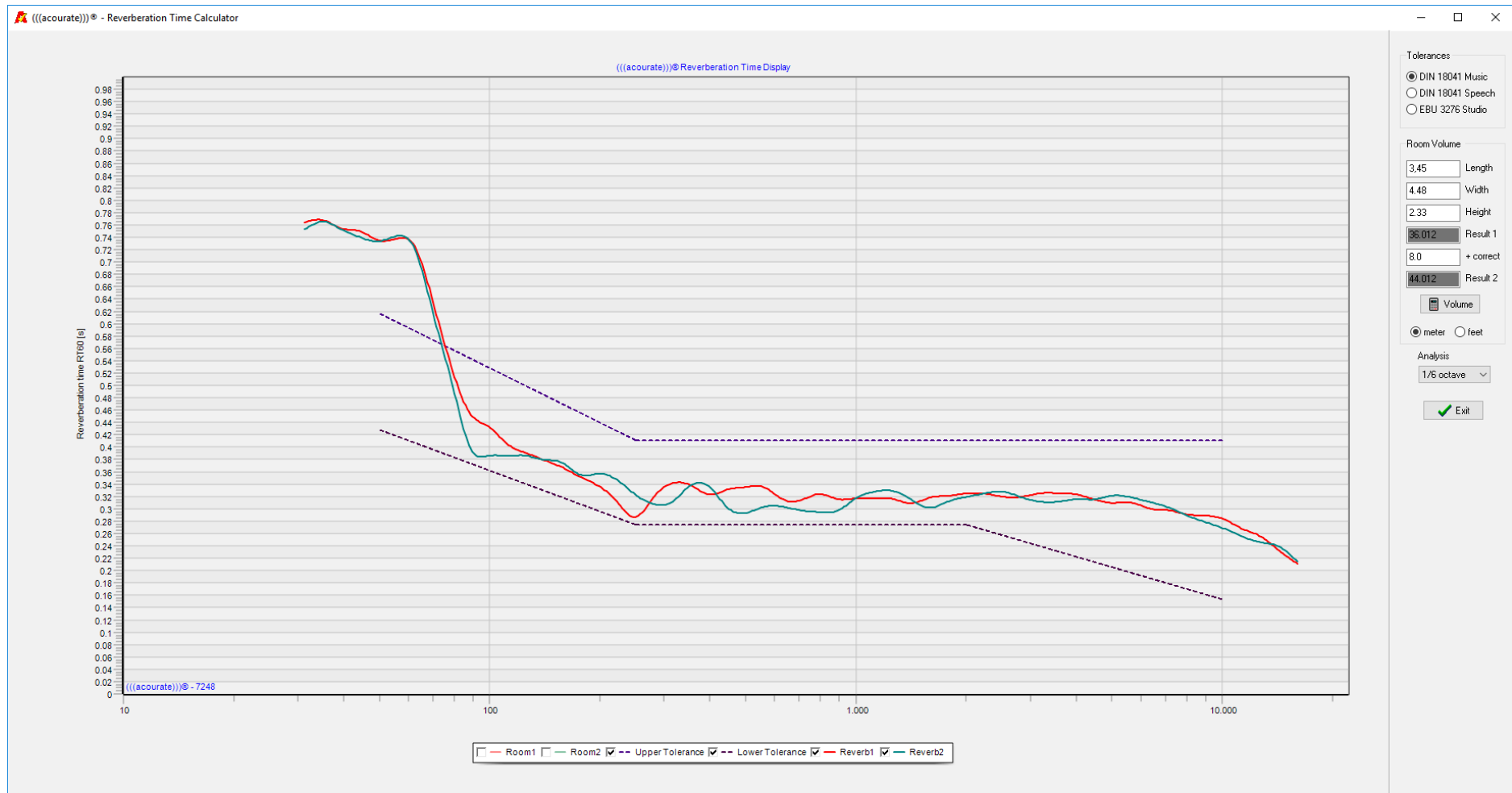
Messungen

Die Messungen werden an der Hörposition durchgeführt. Da nur an dieser Stelle gehört wird, ist es zulässig auch die Nachhallzeiten nur an dieser Position zu ermitteln.



Frequenzgang meines Raumes / erste Messung Dez. 2013

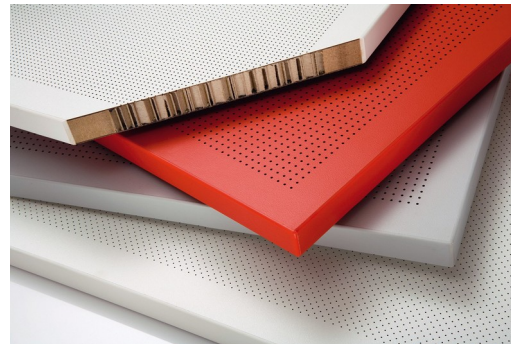
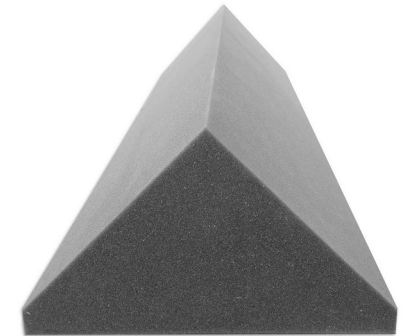
Erste Messungen des Hörraums



Nachhallzeit meines Raumes / erste Messung Dez. 2013

Absorber:

- Poröse Absorber
- Kantenabsorber
- Mikroperforierte Absorber
- Plattenabsorber
- Helmholtz-Resonatoren
- Aktive Absorber



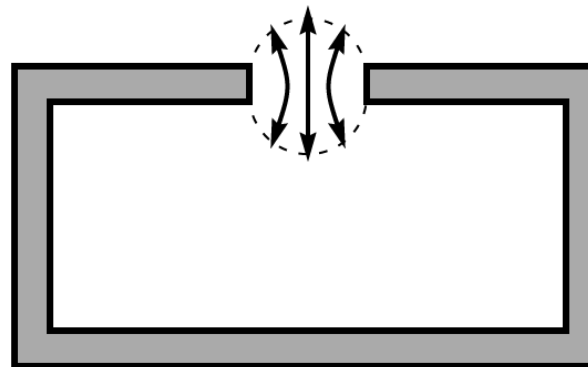
Von den aufgezählten Möglichkeiten kommen aus räumlichen Erwägungen bei mir nur zwei Typen in Frage.

Helmholtz-Resonator



Ein Helmholtz-Resonator besteht aus einem Luftvolumen in beliebiger Form, das einen zylindrischen engeren kurzen Hals mit einer Öffnung nach außen besitzt.

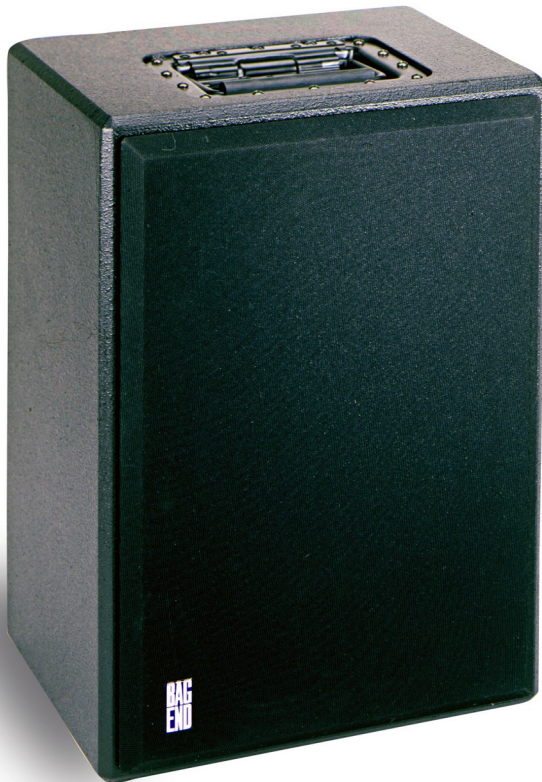
Die Luft in der Öffnung des Resonators wird bei der Resonanzfrequenz in starke Schwingungen versetzt. Wird die schwingende Luft in der Öffnung durch Reibung gebremst entsteht Reibungswärme. Die Kunst bei der Konstruktion von Helmholtz-Resonatoren besteht vor allem in der Abstimmung des optimalen Reibungswiderstandes.



Prinzip des Helmholtz-Resonators:
Der Luftpfropfen in der Öffnung schwingt auf dem federnden Luftkissen des Korpus.

(Quelle: www.hunecke.de)

Aktiver Absorber




Ein aktiver Absorber empfängt das Signal mit einem Mikrofon, dieses Signal wird elektronisch behandelt und an den eigenen Lautsprecher geschickt. Ein Gegensignal wird erzeugt und eliminiert das unerwünschte Bass-Signal.

Es funktioniert ähnlich einem Noise-Cancelling Kopfhörer.

Bag End E-TRAP

Phantom Acoustics: Active Low Frequency Acoustic Control Nelson Pass, May 12, 1988

Phantom Acoustics: Active Low Frequency Acoustic Control



The control of low frequency room resonances through the application of active suppression means

Author: Nelson Pass
May 12, 1988

An introduction from Phantom Acoustics:
Although passive methods for treating room conditions are familiar, the Phantom Acoustics Shaver active low frequency trap is a new product incorporating technology under the direct leadership of Nelson Pass, physicist and acknowledged leader in sensitive electronic design.

Over a year ago Phantom Acoustics realized that the most efficacious solution to room resonance problems encountered by the home music listener would have to be addressed by an active system.

1. **Background**
We are striving to achieve the most realistic audio reproduction possible. We need the sound engineering we can do to be perfectly faithful to the original source. But we are being pulled in a lot of ways to obtain this performance. Even when we place ourselves in the same room as the performer, the acoustical environment we create is not the original. It is a compromise of the sound space. The listening environment is a compromise in this regard and one of the worst offenders is the listening room.

2. **The physics of room resonance**
A room of 15 feet and a height of 8 feet is a resonator for a mix of modes of F, G, and H. Each mode has a specific frequency and a specific wavefront. Figure 2 shows a normalized benzene pressure distribution for the F(1), G(1), and H(2) modes at 4 Hz.

3. **The solutions**
There are several things that can be done to minimize room resonance. A room can be treated with acoustic absorbers when the walls, floor, and ceiling are treated. A room can be treated with acoustic absorbers when the walls, floor, and ceiling are treated. A room can be treated with acoustic absorbers when the walls, floor, and ceiling are treated.

4. **Passive methods for treating room conditions**
Passive methods for treating room conditions are familiar, the Phantom Acoustics Shaver active low frequency trap is a new product incorporating technology under the direct leadership of Nelson Pass, physicist and acknowledged leader in sensitive electronic design.

5. **Active methods for treating room conditions**
Active methods for treating room conditions are more recent developments. They involve the use of electronic circuits to sense room resonance and generate signals to drive transducers that cancel out the resonance. The Phantom Acoustics Shaver is an example of such a device.

6. **Phantom Acoustics Shaver**
The Phantom Acoustics Shaver active low frequency trap is a new product incorporating technology under the direct leadership of Nelson Pass, physicist and acknowledged leader in sensitive electronic design. It is a compromise of the sound space. The listening environment is a compromise in this regard and one of the worst offenders is the listening room.

7. **Phantom Acoustics Shaver**
The Phantom Acoustics Shaver active low frequency trap is a new product incorporating technology under the direct leadership of Nelson Pass, physicist and acknowledged leader in sensitive electronic design. It is a compromise of the sound space. The listening environment is a compromise in this regard and one of the worst offenders is the listening room.

8. **Phantom Acoustics Shaver**
The Phantom Acoustics Shaver active low frequency trap is a new product incorporating technology under the direct leadership of Nelson Pass, physicist and acknowledged leader in sensitive electronic design. It is a compromise of the sound space. The listening environment is a compromise in this regard and one of the worst offenders is the listening room.

9. **Phantom Acoustics Shaver**
The Phantom Acoustics Shaver active low frequency trap is a new product incorporating technology under the direct leadership of Nelson Pass, physicist and acknowledged leader in sensitive electronic design. It is a compromise of the sound space. The listening environment is a compromise in this regard and one of the worst offenders is the listening room.

10. **Phantom Acoustics Shaver**
The Phantom Acoustics Shaver active low frequency trap is a new product incorporating technology under the direct leadership of Nelson Pass, physicist and acknowledged leader in sensitive electronic design. It is a compromise of the sound space. The listening environment is a compromise in this regard and one of the worst offenders is the listening room.

Phantom Acoustics: Active Low Frequency Acoustic Control

The control of low frequency room resonances through the application of active suppression means.

Author: Nelson Pass
May 12, 1988

1. **Background**
We are striving to achieve the most realistic audio reproduction possible. We need the sound engineering we can do to be perfectly faithful to the original source. But we are being pulled in a lot of ways to obtain this performance. Even when we place ourselves in the same room as the performer, the acoustical environment we create is not the original. It is a compromise of the sound space. The listening environment is a compromise in this regard and one of the worst offenders is the listening room.

2. **The physics of room resonance**
A room of 15 feet and a height of 8 feet is a resonator for a mix of modes of F, G, and H. Each mode has a specific frequency and a specific wavefront. Figure 2 shows a normalized benzene pressure distribution for the F(1), G(1), and H(2) modes at 4 Hz.

3. **The solutions**
There are several things that can be done to minimize room resonance. A room can be treated with acoustic absorbers when the walls, floor, and ceiling are treated. A room can be treated with acoustic absorbers when the walls, floor, and ceiling are treated. A room can be treated with acoustic absorbers when the walls, floor, and ceiling are treated.

4. **Passive methods for treating room conditions**
Passive methods for treating room conditions are familiar, the Phantom Acoustics Shaver active low frequency trap is a new product incorporating technology under the direct leadership of Nelson Pass, physicist and acknowledged leader in sensitive electronic design.

5. **Active methods for treating room conditions**
Active methods for treating room conditions are more recent developments. They involve the use of electronic circuits to sense room resonance and generate signals to drive transducers that cancel out the resonance. The Phantom Acoustics Shaver is an example of such a device.

6. **Phantom Acoustics Shaver**
The Phantom Acoustics Shaver active low frequency trap is a new product incorporating technology under the direct leadership of Nelson Pass, physicist and acknowledged leader in sensitive electronic design. It is a compromise of the sound space. The listening environment is a compromise in this regard and one of the worst offenders is the listening room.

7. **Phantom Acoustics Shaver**
The Phantom Acoustics Shaver active low frequency trap is a new product incorporating technology under the direct leadership of Nelson Pass, physicist and acknowledged leader in sensitive electronic design. It is a compromise of the sound space. The listening environment is a compromise in this regard and one of the worst offenders is the listening room.

8. **Phantom Acoustics Shaver**
The Phantom Acoustics Shaver active low frequency trap is a new product incorporating technology under the direct leadership of Nelson Pass, physicist and acknowledged leader in sensitive electronic design. It is a compromise of the sound space. The listening environment is a compromise in this regard and one of the worst offenders is the listening room.

9. **Phantom Acoustics Shaver**
The Phantom Acoustics Shaver active low frequency trap is a new product incorporating technology under the direct leadership of Nelson Pass, physicist and acknowledged leader in sensitive electronic design. It is a compromise of the sound space. The listening environment is a compromise in this regard and one of the worst offenders is the listening room.

10. **Phantom Acoustics Shaver**
The Phantom Acoustics Shaver active low frequency trap is a new product incorporating technology under the direct leadership of Nelson Pass, physicist and acknowledged leader in sensitive electronic design. It is a compromise of the sound space. The listening environment is a compromise in this regard and one of the worst offenders is the listening room.

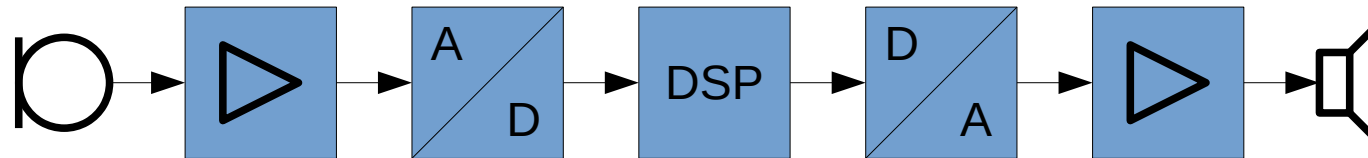
...
The concept for such a device has been around since at least 1953 when Olson and May described what is referred to as a „free field zone type sound reducer“. It consisted of a simple circuit of microphone, amplifier and loudspeaker, set in a loop so as to define an acoustic region of low pressure. They went on to describe mounting such a device in the corners of a room so as to maximize its effect by presenting it with the large acoustic load experienced there.

...
...
...

Gründe für die Entscheidung zu Gunsten des aktiven Absorbers

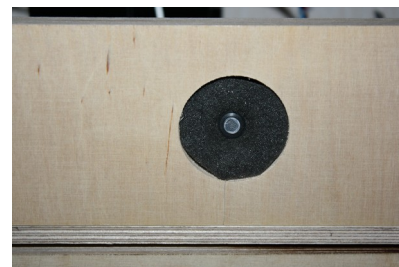
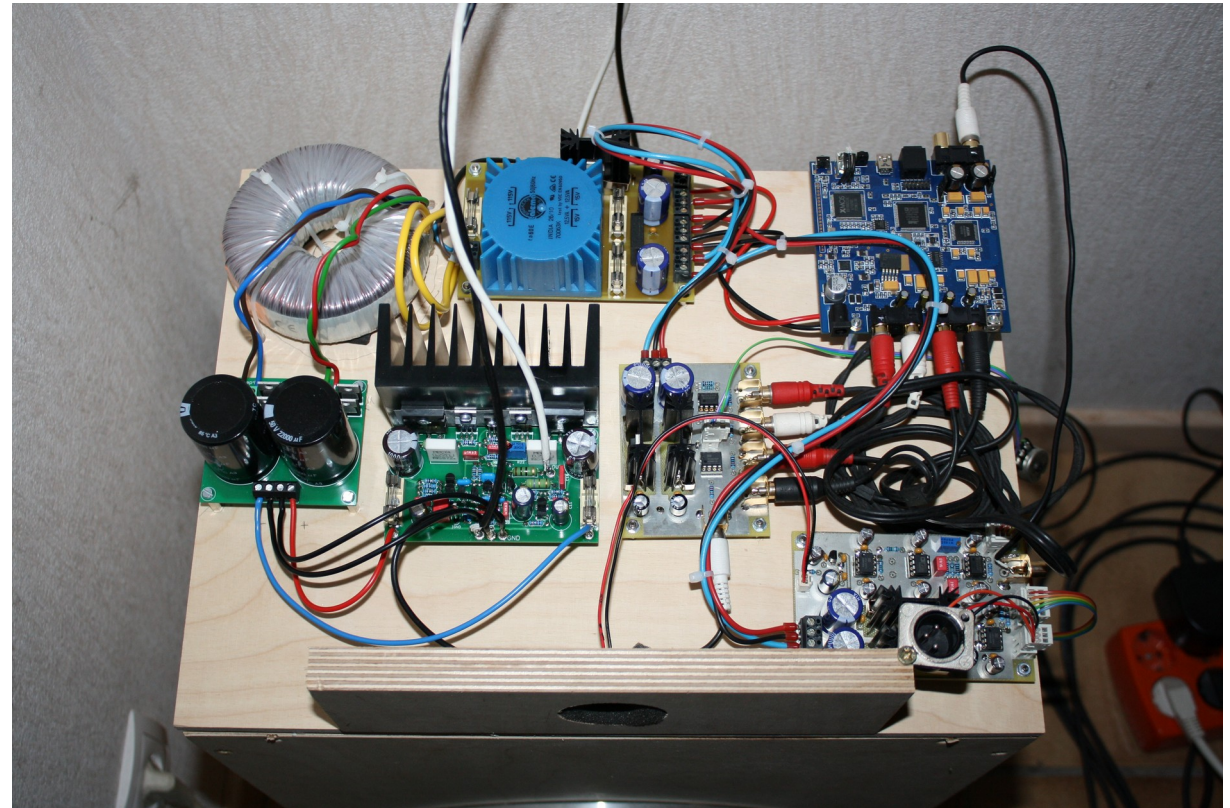
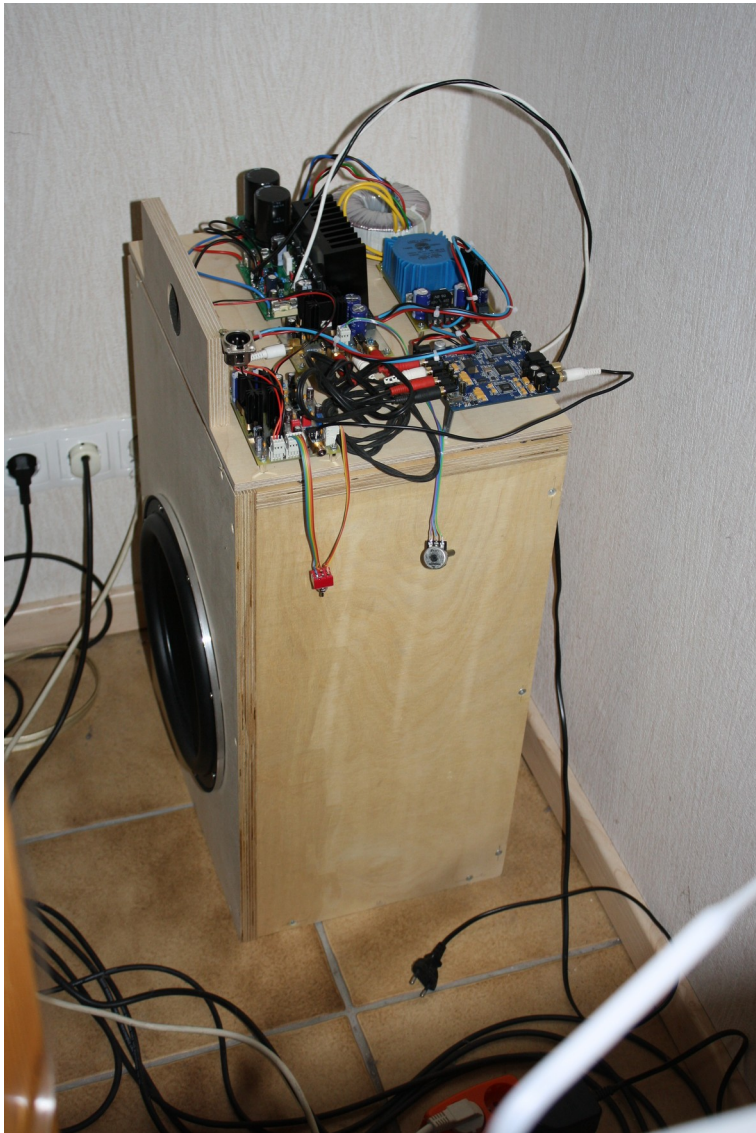
Der aktive Absorber

- ist sehr klein
- ist sehr genau
- hat vielfältige und leichte Einstellmöglichkeiten
- hat eine exakte Reproduzierbarkeit



Vereinfachtes Blockschaltbild unseres aktiven Absorbers:

- Mikrofon
- Mikrofon-Vorverstärker mit Pegelsteller
- 24Bit A/D-Wandler
- Digitaler Signalprozessor (DSP)
- 24Bit D/A-Wandler
- Endstufe mit Pegelsteller
- 30cm Treiber in einem geschlossenen Lautsprechergehäuse

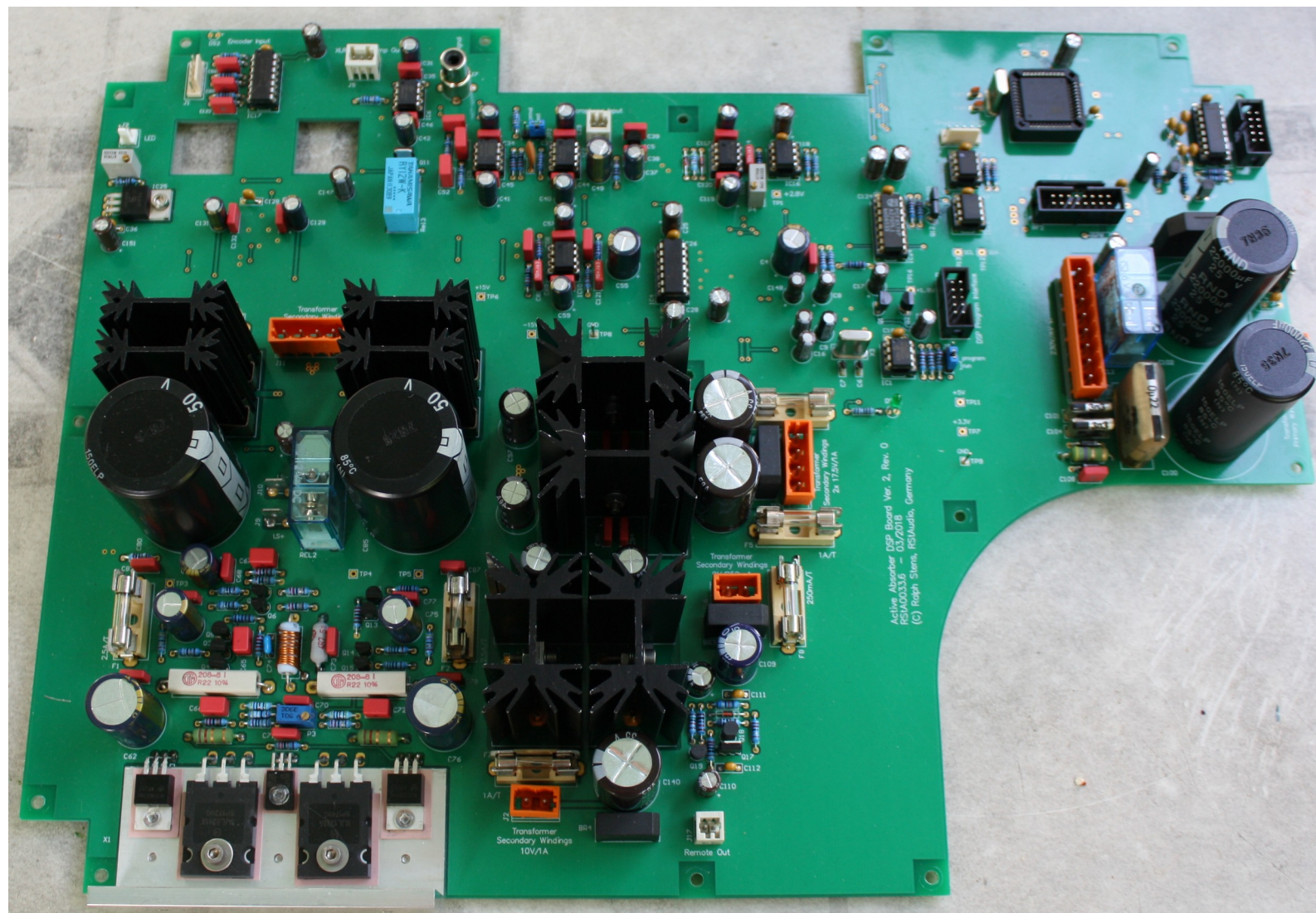


Aktiver Absorber Version 1 mit
miniDSP 2x4 HD Kit

Aktiv Absorber Version 2:

- ohne miniDSP Board, Einsatz eines geeigneten DSP Chips
 - ▶ Analog Devices ADAU1701
- Mikrocontroller mit Display und Drehwinkelgeber
 - ▶ vereinfachte Bedienung des Systems
- digital steuerbare Potentiometer
 - ▶ exakt reproduzierbare Pegel
- Überwachung des Pegels am Eingang des A/D-Wandlers
 - ▶ keine Übersteuerung des A/D-Wandlers

Entwicklung eines aktiven Absorbers



Aktiv
Absorber
Elektronik
Version 2,
Rev. 0



Aktuelle Version des Aktiv Absorbers mit Version 2 / Rev. 0 Elektronik

Elektronik Aufsatz:

- links ein 2x16 OLED
- mittig das Mikrofon
- rechts ein Drehwinkelgeber
- ganz rechts eine LED für die Betriebsspannungsanzeige

Das Display ist beim einschalten aktiv. Es deaktiviert sich nach ca. 60s. Durch eine Aktion am Drehwinkelgeber wird es für die Zeit der Bedienung wieder aktiviert.

Verwendeter DSP: Analog Devices ADAU1701
2x 24Bit A/D-Wandler
28/56Bit, **D**igital **S**ignal **P**rocessor
4x 24Bit D/A-Wandler

Software: Analog Devices Sigma Studio

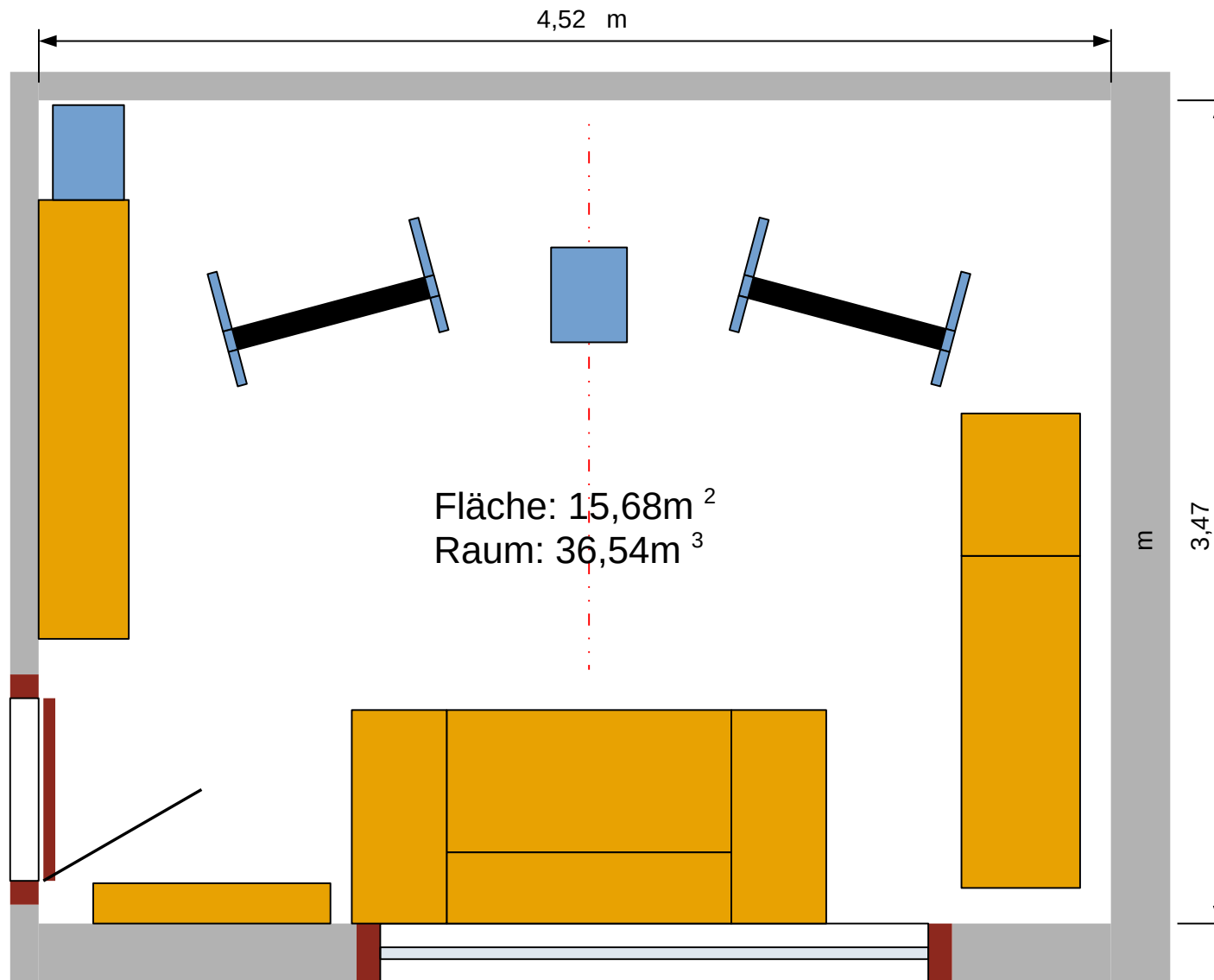


Die Software ist frei verfügbar und erlaubt eine feste, jedoch bei Bedarf veränderbare Programmierung des DSP Moduls.

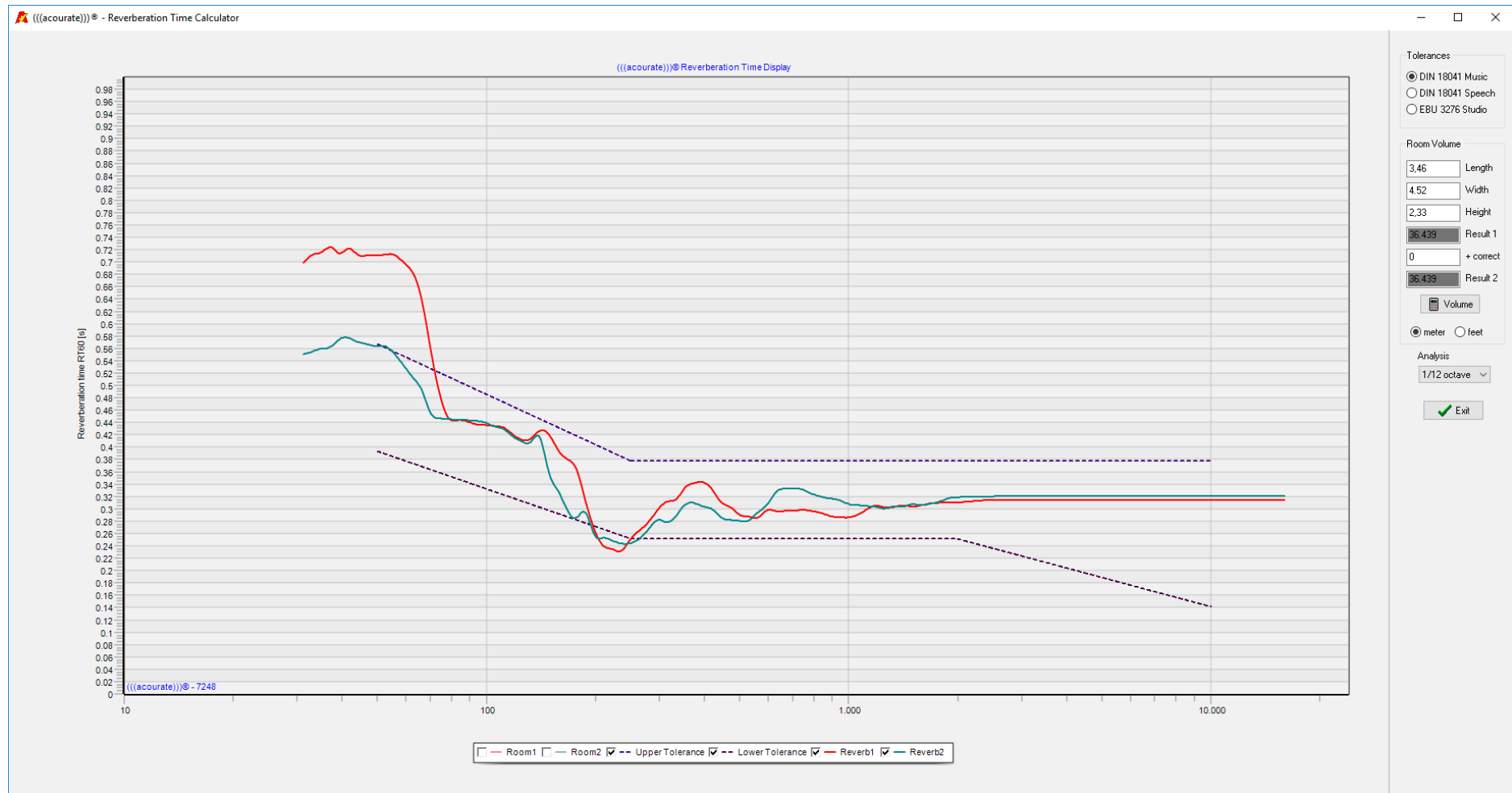
Der aktive Absorber muss im Raum richtig platziert und programmiert werden. Nachdem er eingerichtet ist, wird er für den Betrieb nur noch ein- und ausgeschaltet.

Wechselt man den Hörraum, muss man neu programmieren und hat anschließend wieder ein unkompliziertes Gerät.

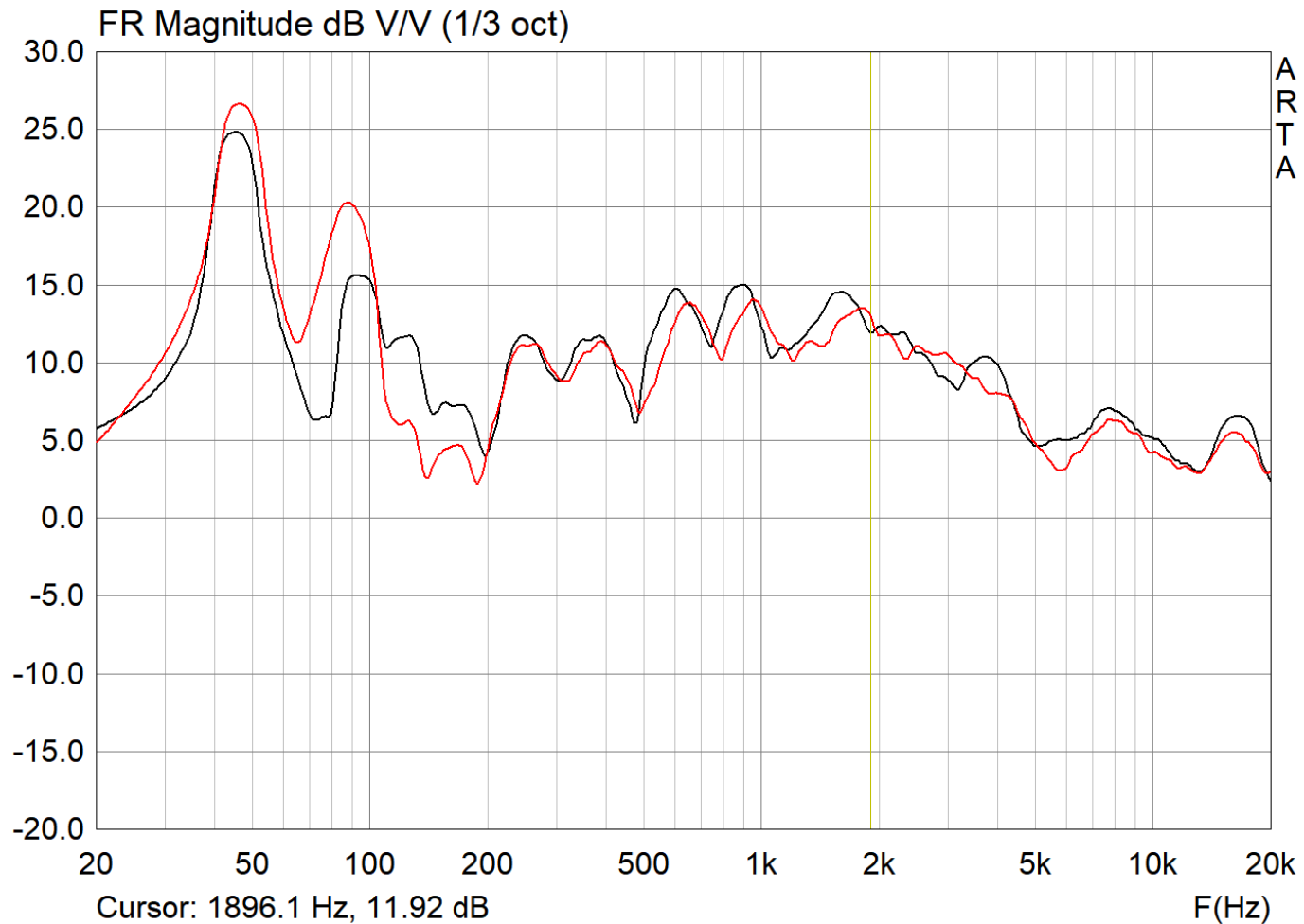
Entwicklung eines aktiven Absorbers



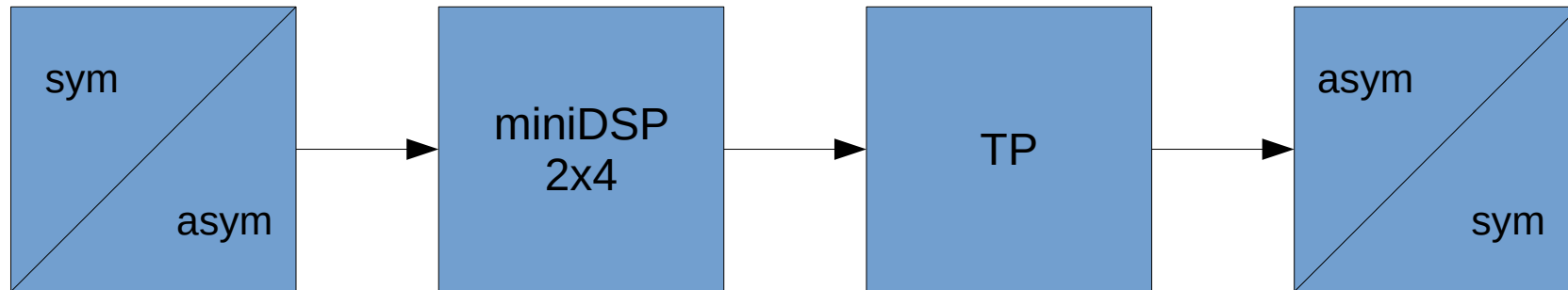
Entwicklung eines aktiven Absorbers



Nachhallzeit **ohne** und **mit** Aktiv Absorber



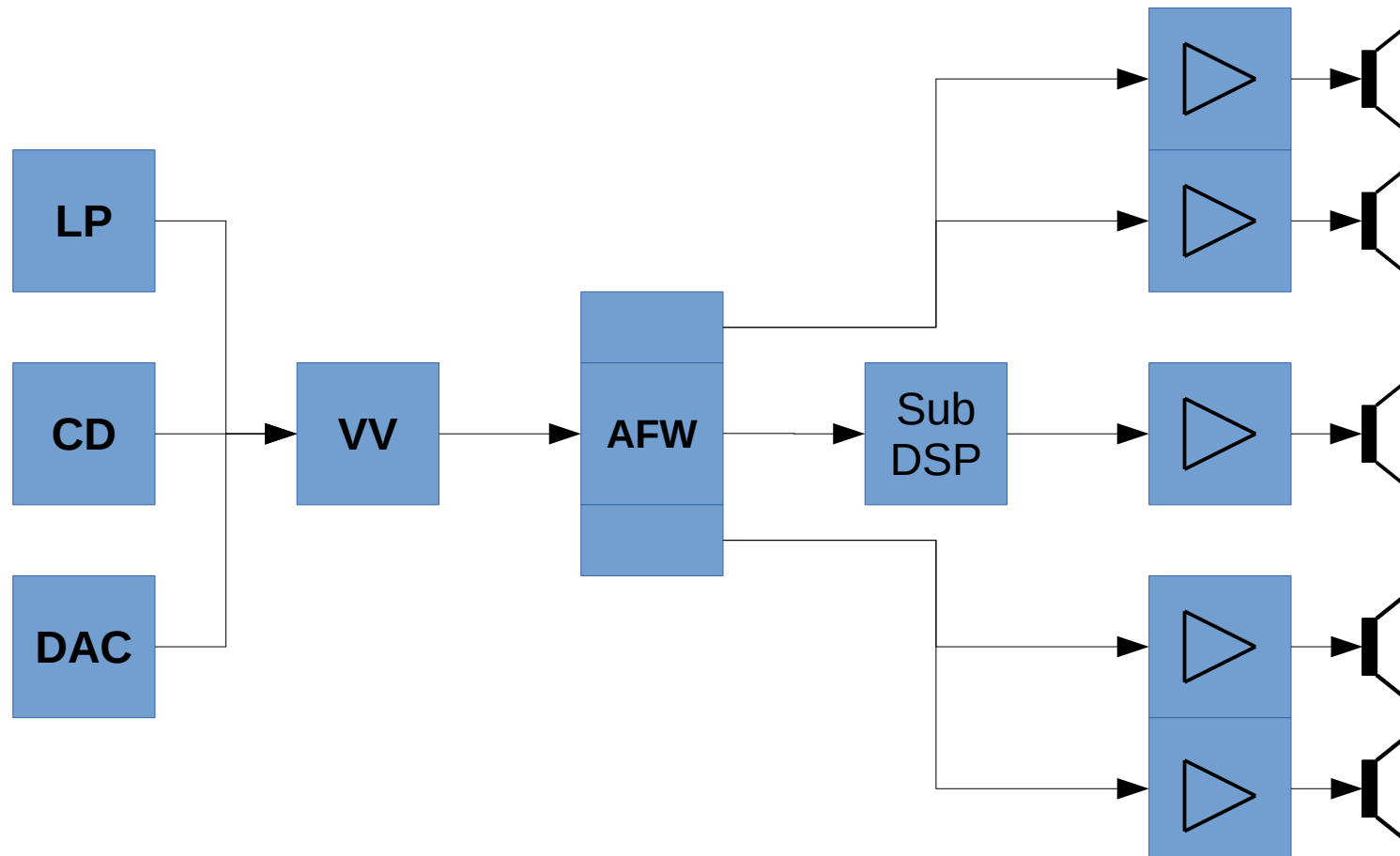
Frequenzgang **ohne** und **mit** Aktiv Absorber



Aus dem Projekt des Aktiv Absorbers war ein miniDSP 2x4 Board übrig geblieben. Die Idee war es dieses im Subwoofer Kanal zur aktiven Entzerrung zu nutzen.

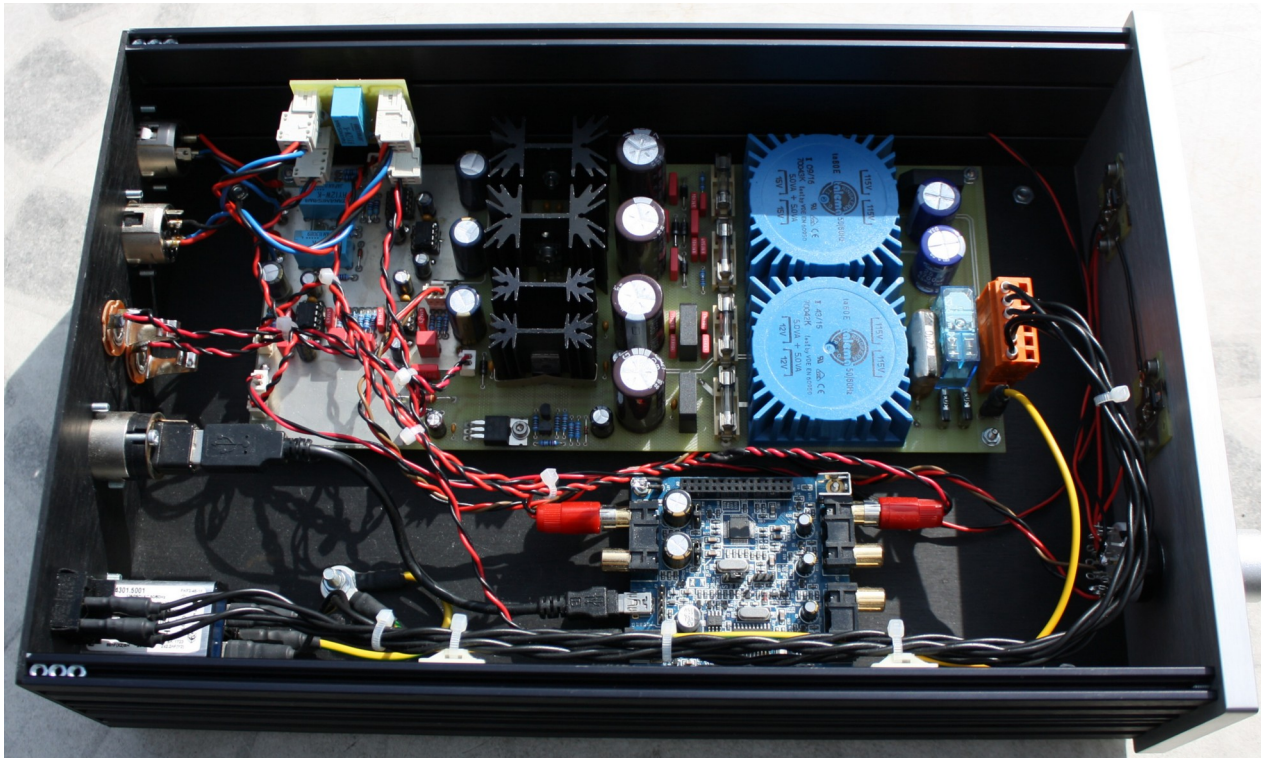
Die Elektronik besteht aus den folgenden Komponenten:

- Eingang mit der Umsetzung des symmetrischen Signals auf ein unsymmetrisches
- miniDSP 2x4 Board mit Software 2x4 Advanced
- Aktiver 24/48dB 1kHz Butterworth Tiefpassfilter
- Ausgang mit der Umsetzung des unsymmetrischen Signals auf ein symmetrisches

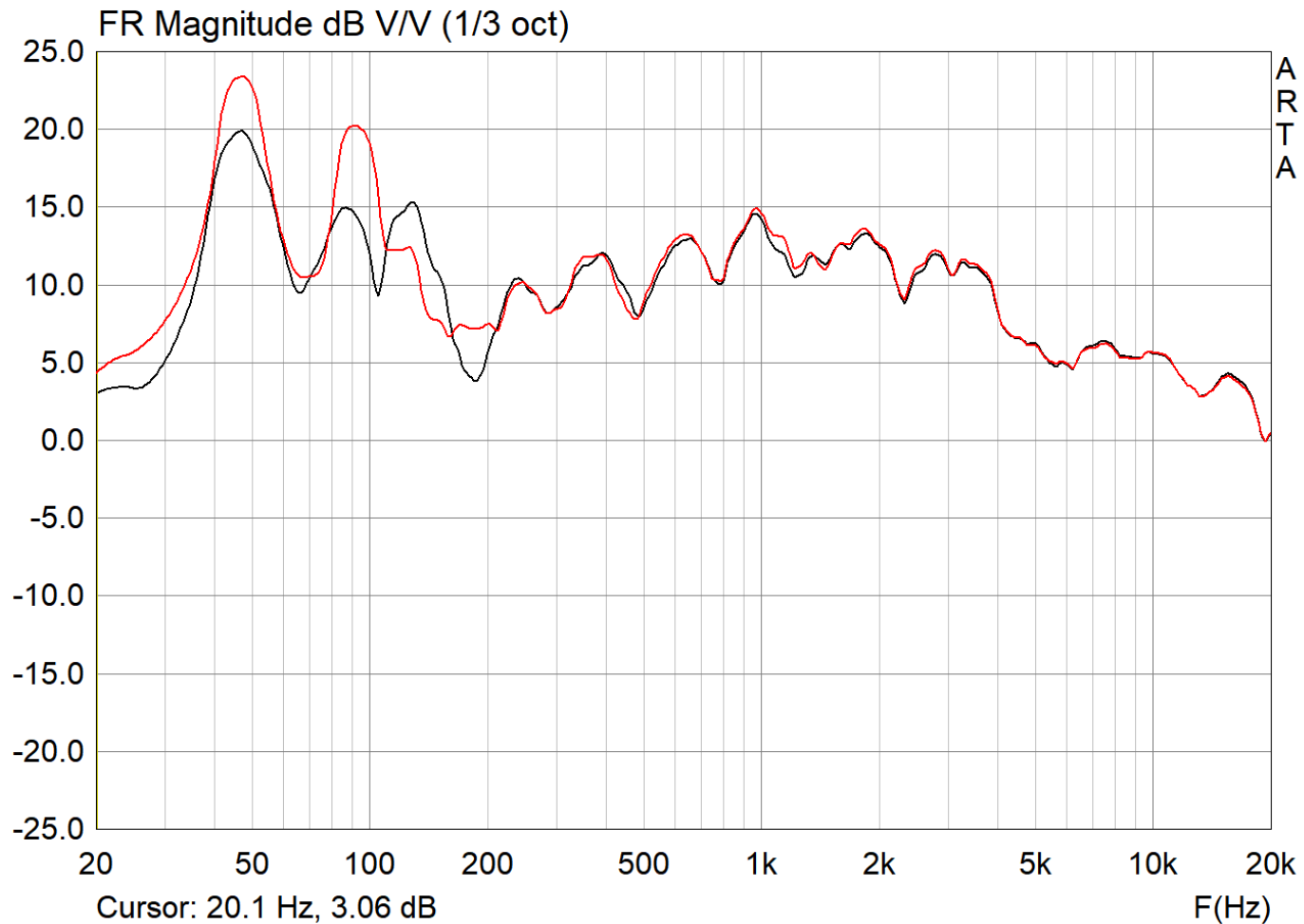


Position des DSP's im Signalflussplan der Anlage

DSP im Subwoofer Kanal



SubDSP mit miniDSP 2x4 Kit



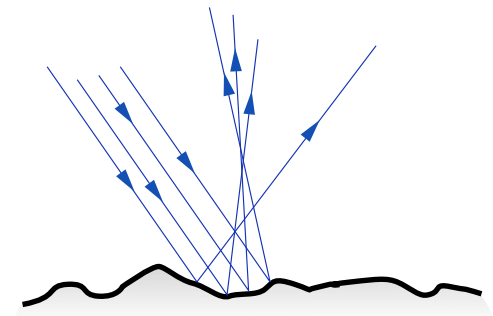
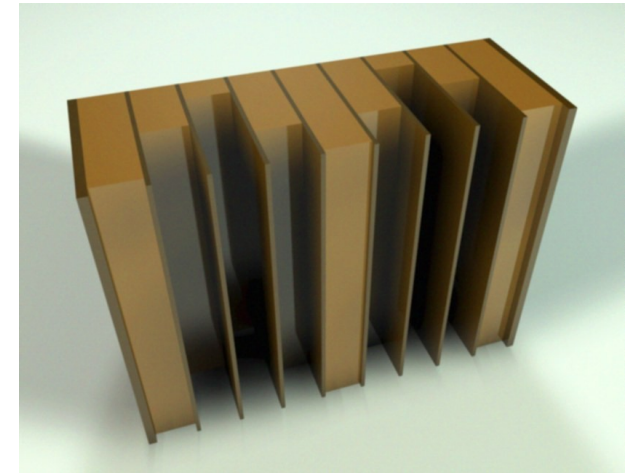
Frequenzgang mit **Aktiv Absorber** und mit **Aktiv Absorber & DSP**

Ein Diffusor ersetzt die Wandreflektion (Einfallswinkel = Ausfallswinkel) durch eine diffuse Reflektion.

Dadurch wird die Wirkung der Reflektion an Wänden teilweise aufgehoben, wodurch die Raumgröße und dessen Beschaffenheit nicht mehr so aufdringlich ist bzw. scheinbar verschwindet.

Typischerweise befinden sich Diffusoren im Tonstudio im nicht bedämpften Bereich des Abhörraums.

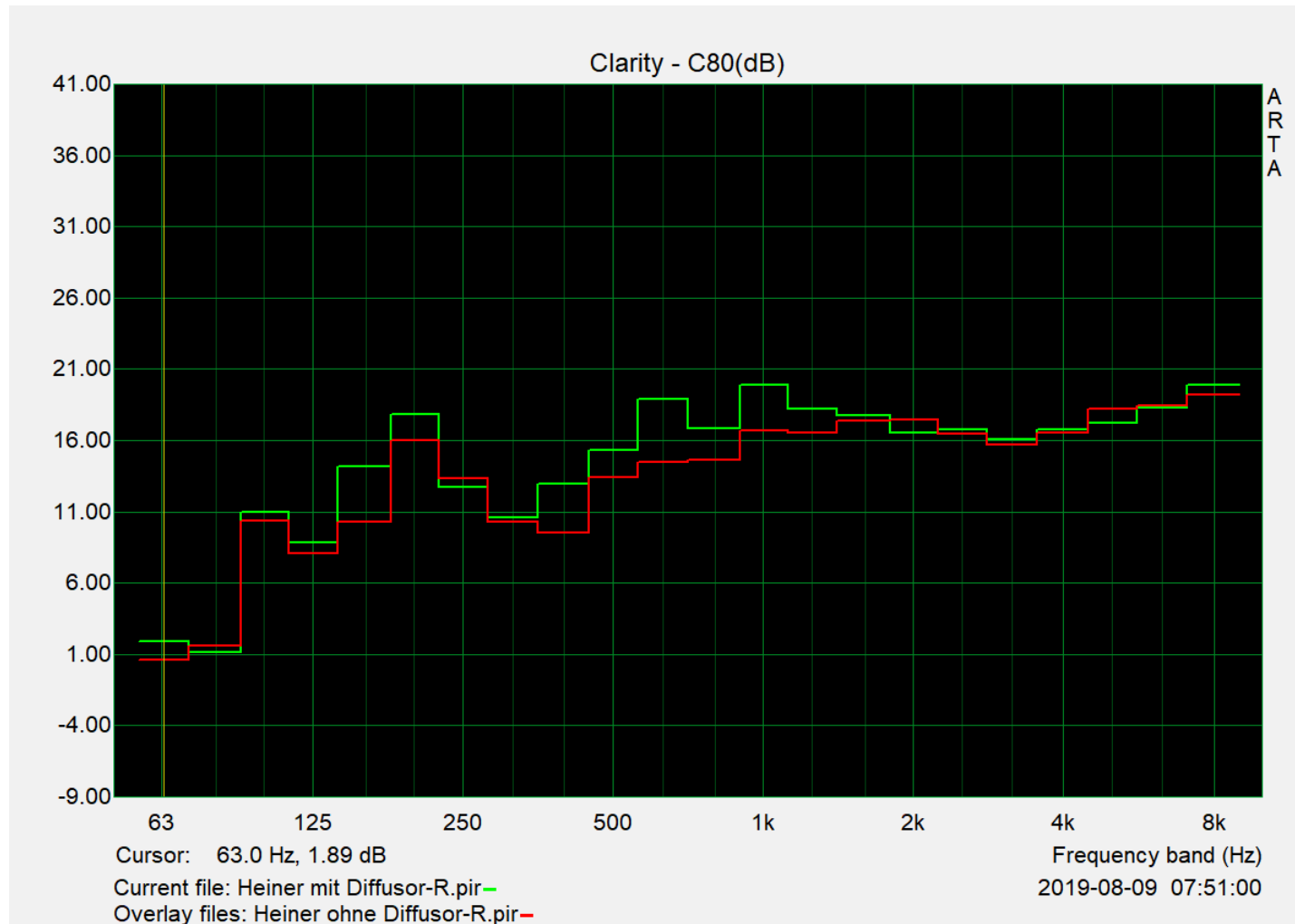
Diffusoren stehen damit im Gegensatz zu den in Studios ebenfalls angewendeten Absorbern, welche den Schall auslöschen sollen.



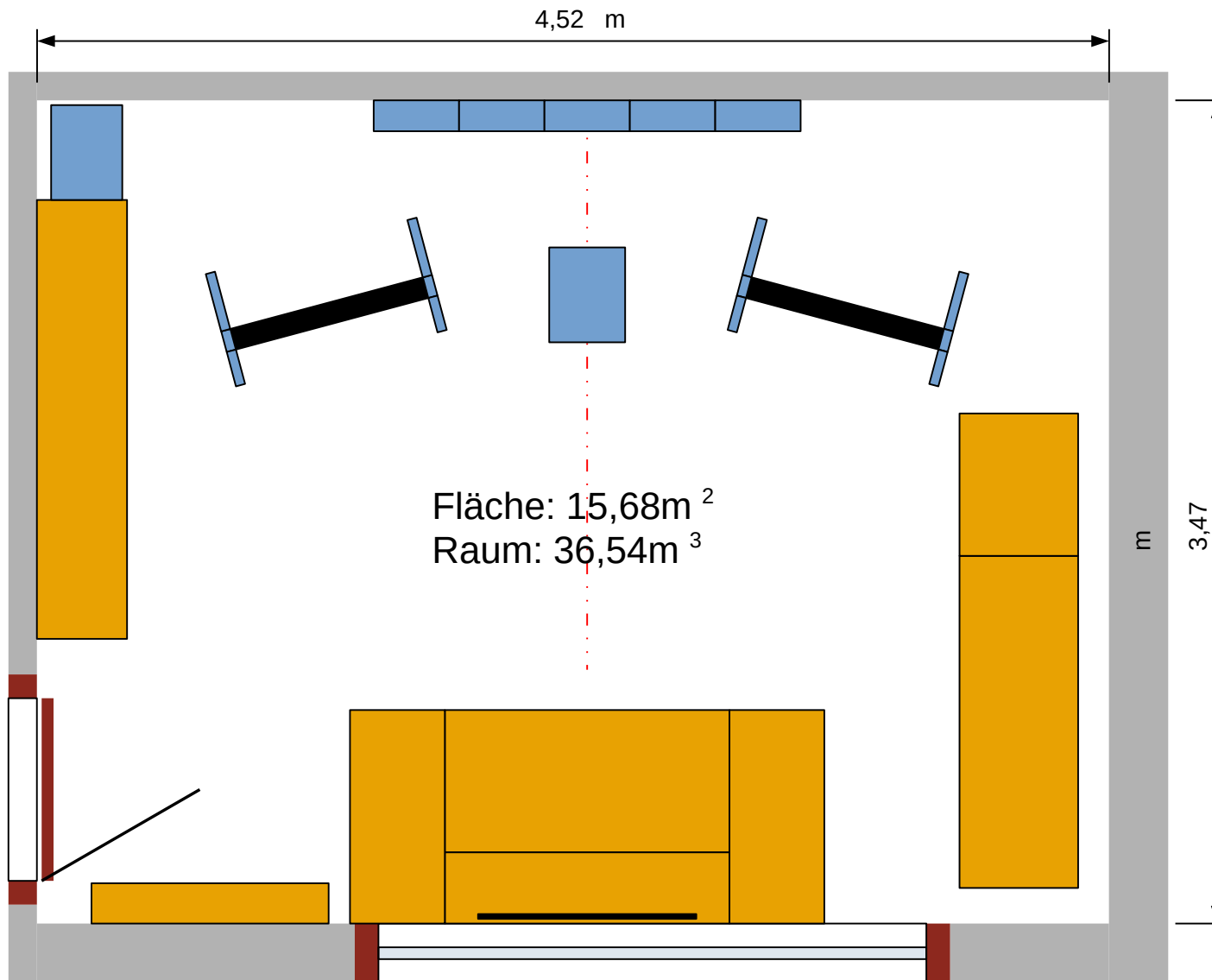
Bildquellen: rechts oben - Von Musikproducer - Eigenes Werk, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=45536086>
rechts unten - CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=342801>

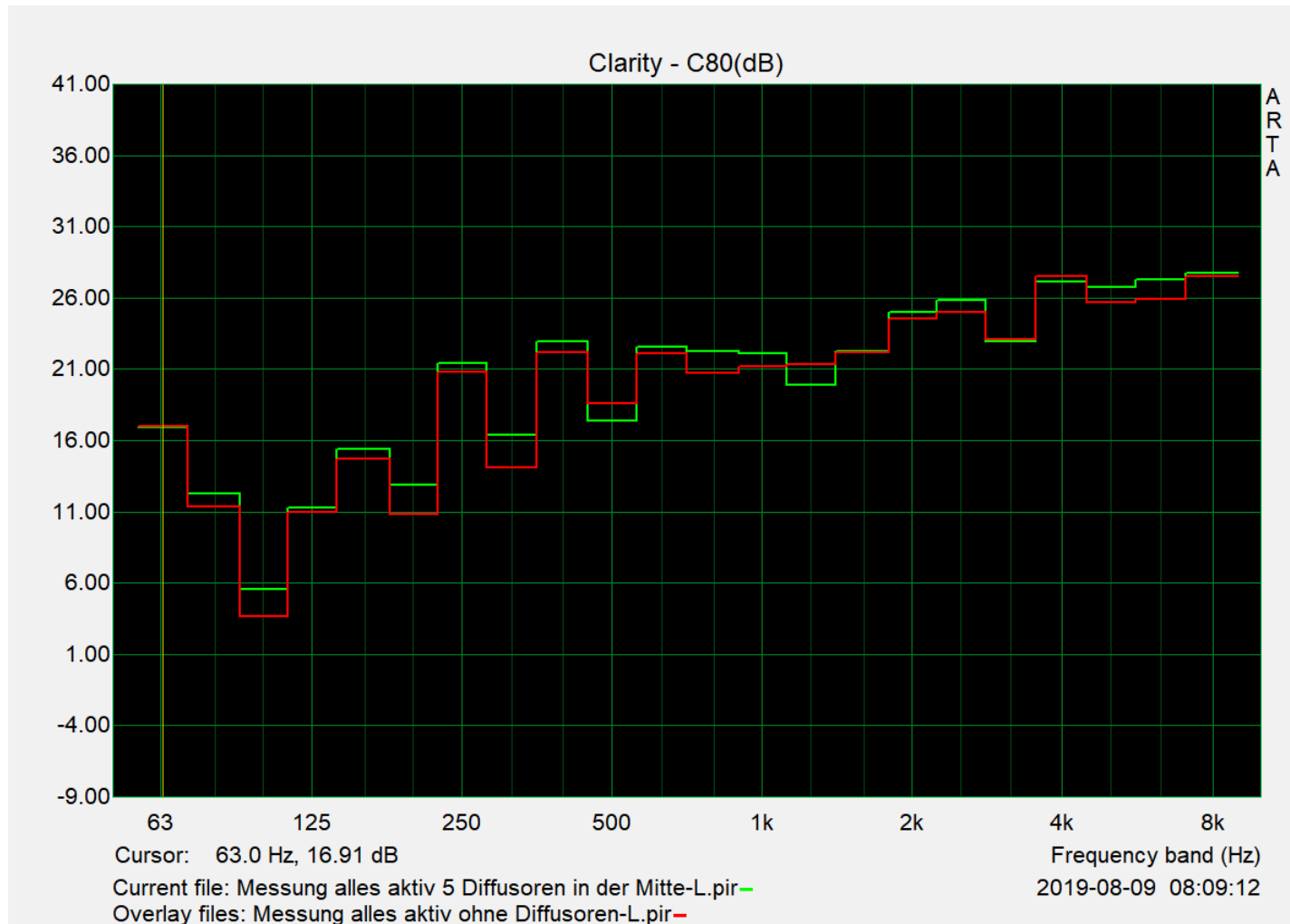


5 Selbstbau-Diffusoren im Raum von H. Fischer



Klarheit **ohne** und **mit** Diffusoren (Raum H. Fischer)





Klarheit **ohne** und **mit** Diffusoren (Raum R. Stens)

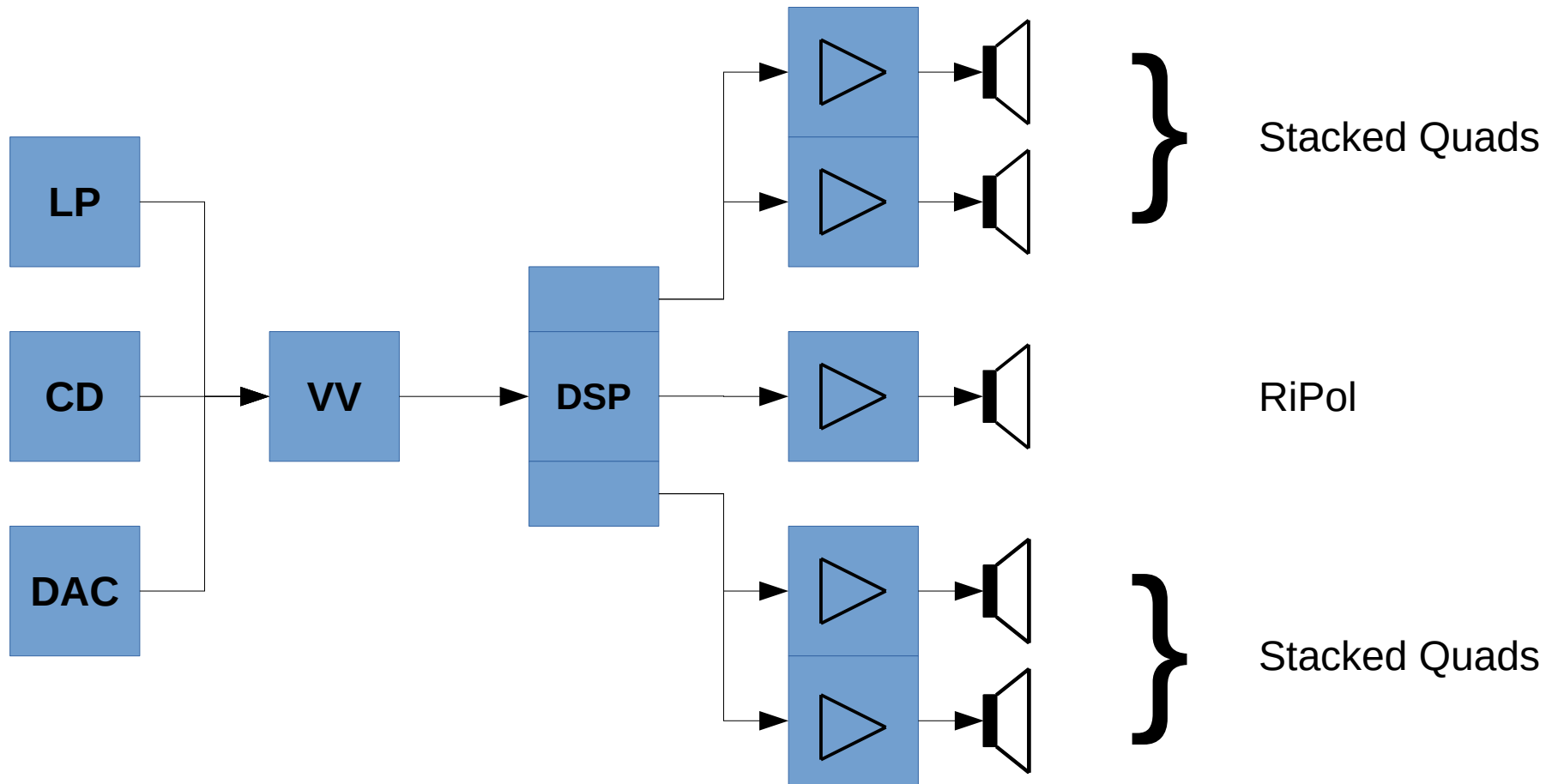
Heiner hat mir meinen Bass geklaut !

Nach einer Einhörzeit aber ist mir bewusst geworden, dass ich sehr wohl Bassinformationen hatte. Es war kein Dröhnen im Bass mehr im Raum, sondern z.B. klar umrissene Bassläufe eines Kontrabasses oder einer Bass-Drum.

Heiner hat mir mein Dröhnen genommen und mir einen detaillierten Bass Bereich gegeben !

In meinem Raum kann ich ohne die Maßnahmen zur Korrektur der Nachhallzeit und des Frequenzganges im Bass **nicht** mehr hören.

Die Ergebnisse mit den Diffusoren sind in meinem Raum und meiner Anlage eher ambivalent. Allerdings sind die Ergebnisse im Raum von H. Fischer so überzeugend das wir weitere Versuche in meinem Raum durchführen werden.



Verglichen mit dem 1. Blockschaltbild ist es nur der Austausch von 3 Buchstaben (AFW in DSP).
Für mich ist es ein Paradigmenwechsel.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.

Kontaktaufnahme:

E-Mail: info@rstaudio.de
Web: www.rstaudio.de

ACT Stammtisch der AAA:

Restaurant „Zum goldenen Herzen“
Markt 26-28
47638 Straelen

1x im Monat nach Absprache

Nächster Termin: Mittwoch der 20.11., 19 Uhr