

# Single Bass Array Dokumentation



Nils Öllerer

Dezember 2013, Hannover  
Alle Rechte vorbehalten.

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Anforderungen .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Entwicklung.....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Messungen .....</b>	<b>9</b>
3.1	Amplitudengang .....	9
3.2	Zeitverhalten .....	9
3.3	Varianz über mehrere Sitzplätze .....	11
3.4	Nichtlineare Verzerrungen .....	12
3.5	Maximalpegel.....	14
<b>4</b>	<b>Technische Daten .....</b>	<b>15</b>

# 1 Anforderungen

Das Ziel der Entwicklung war ein Subwoofersystem für ein Heimkino. Folgende Anforderungen wurden an das System gestellt.

- Referenzpegel (115 dB)
- Frequenzbereich bis unter 20 Hz
- Raumeinflüsse sollten eliminiert werden
- Geringe Varianz über mehrere Sitzplätze
- Unsichtbar integrierbar

Es wurden diverse Subwoofersysteme evaluiert. Darunter eine Multisubanordnung, das Single Bass Array (SBA) und das Double Bass Array (DBA). Eine detaillierte Dokumentation dieser Untersuchung ist [hier](#) zu finden. Schlussendlich habe ich mich für das rückwärtig bedämpfte SBA entschieden, da es kostengünstiger als das DBA ist und sich gut hinter einer akustisch transparenten Leinwand integrieren lässt.

Es wurde die Entscheidung getroffen, die Tieftöner in geschlossene Gehäuse zu verbauen. Das hat den Vorteil, dass die untere Grenzfrequenz nur von der Entzerrung und dem vorhandenen Verschiebevolumen abhängt. Außerdem sind die Gruppenlaufzeitverzerrungen durch den Abfall mit 12 dB/Okt sehr gering.

Der Raum hat die Maße 6 x 4,8 x 2,2 m (L x B x H).

## 2 Entwicklung

Die Entscheidung fiel zugunsten des Peerless XXLS12 (P830845). Dieser 12“-Langhubtieftöner zeichnet sich durch einen linearen Antrieb und sehr geringe Störgeräusche bei hohen Auslenkungen aus. Verbaut wurden insgesamt 18 Treiber in jeweils 65 l.



Abbildung 1: Peerless XXLS12

Zunächst wurde in einem CAD-Programm die gesamte Front entworfen. Sie besteht aus vier einzelnen Subwoofergehäusen, die drei bzw. sechs Tieftöner beinhalten. Dazwischen werden die Heimkinolautsprecher [HKL-01](#) bündig in die Wand eingelassen.

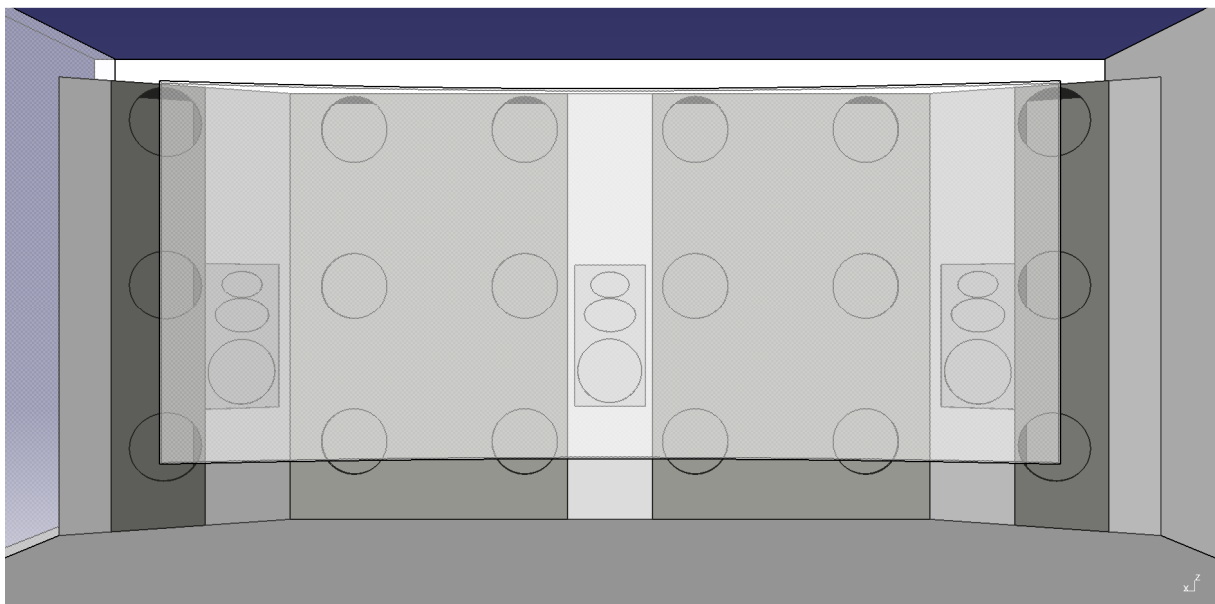
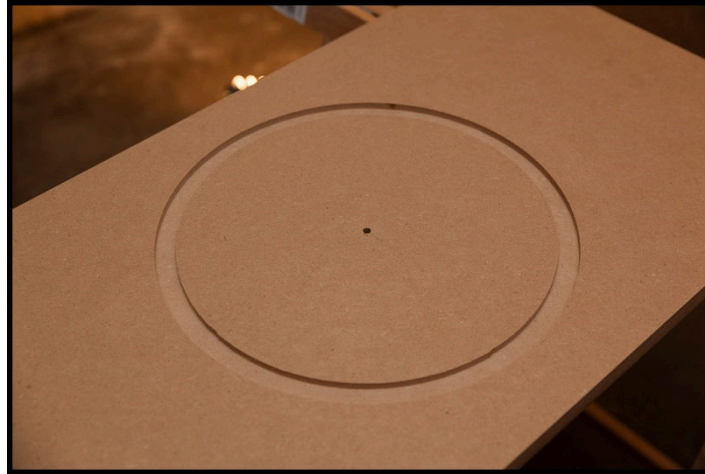


Abbildung 2: CAD-Entwurf der Subwooferfront

Die seitlichen Lautsprecher werden auf den Hörplatz eingewinkelt. Die äußeren Subwoofer stehen dementsprechend etwas weiter im Raum.

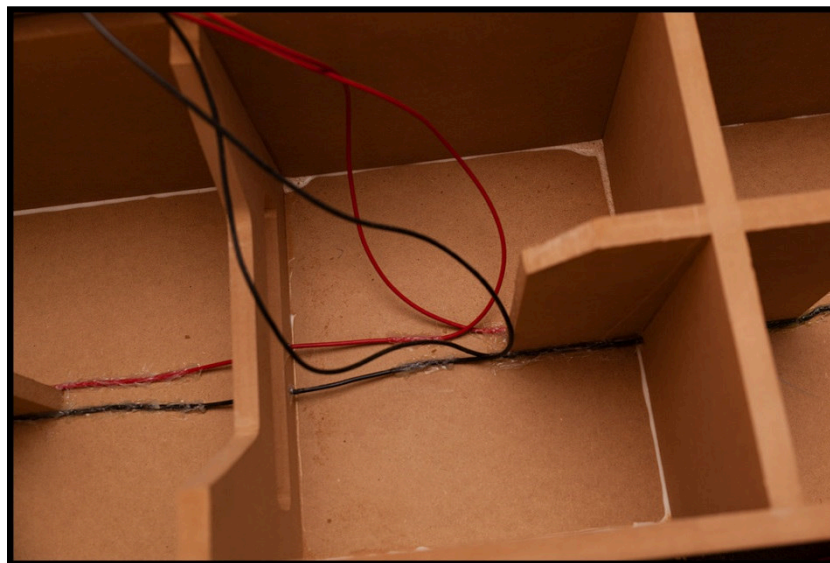
Als Material kam MDF zum Einsatz. Mit einer Oberfräse wurde die Aussparung für die Tieftöner gefräst. Somit ließen sie sich bündig einbauen.



**Abbildung 3: Fräsung für bündige montage**

Insgesamt 144 Einschlagmuttern wurden verbaut, damit die Treiber möglichst fest mit dem Gehäuse verbunden sind.

Die 4 mm<sup>2</sup>-Kabel wurden an der Gehäusewand befestigt, damit sie bei großen Auslenkungen nicht am Gehäuse klappern. Die Gehäuse wurden innen mit Verstrebungen versteift.



**Abbildung 4: Befestigung der Kabel**

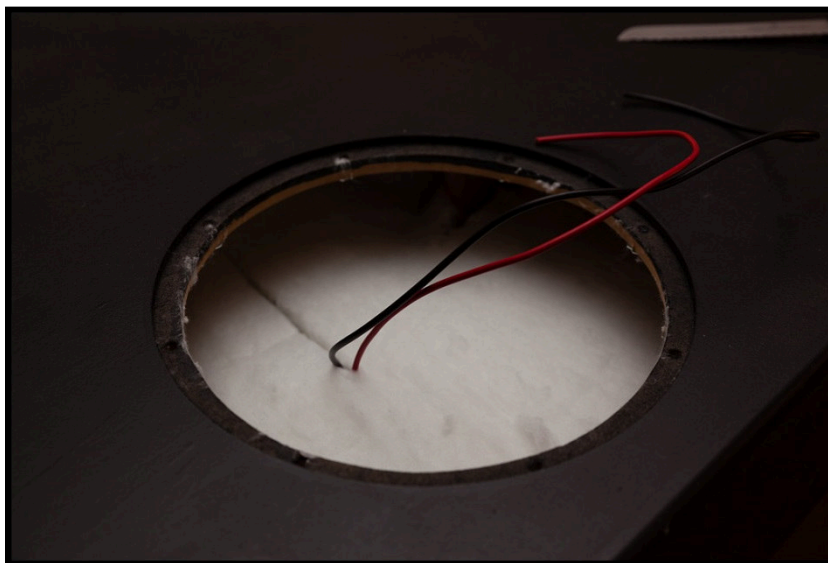
Die Kanten der Gehäuse wurden mit einem Bündig- und Rundfräser bearbeitet, damit das MDF bei der Positionierung im Raum möglichst nicht abplatzt.





**Abbildung 5: Zwei Säulen vor dem Lackieren**

Nach dem Lackieren mit schwarzer, matter Farbe, konnte das Dämpfungsmaterial eingebracht werden. Es handelt sich um Caruso Iso Bond. Dieses dämpft Gehäusemoden, die möglicherweise durch harmonische Verzerrungen angeregt werden. Außerdem vergrößert es das virtuelle Volumen.



**Abbildung 6: Caruso Iso Bond**

Der letzte Schritt war die Verlotung der Treiber mit den Kabeln.

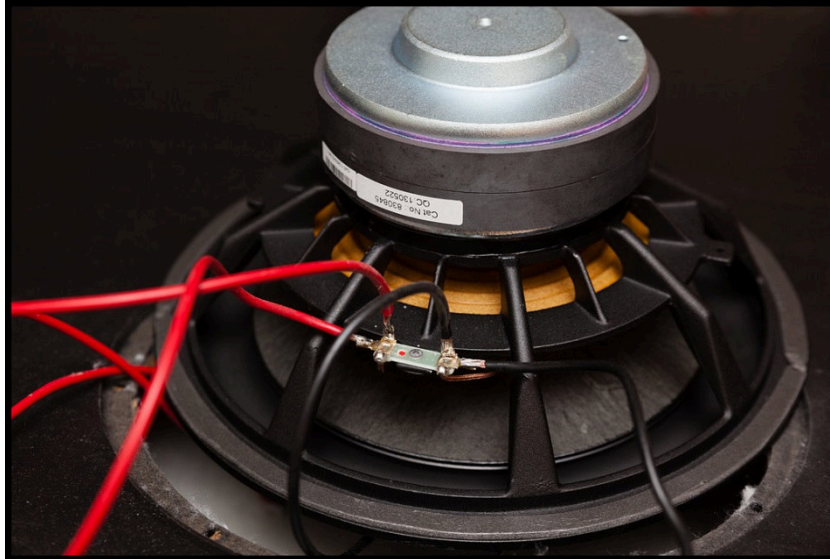


Abbildung 7: Lötkontakte

Es sind jeweils drei Treiber pro Säule parallel geschaltet. Drei dieser Säulen wiederum in Reihe. Das ergibt im Minimum 5,4 Ohm, was für handelsübliche Endstufen kein Problem darstellt.

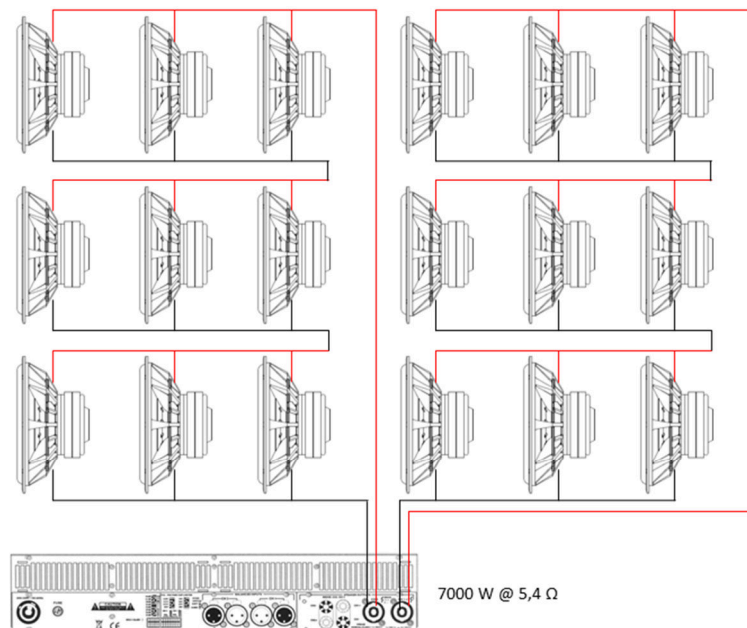


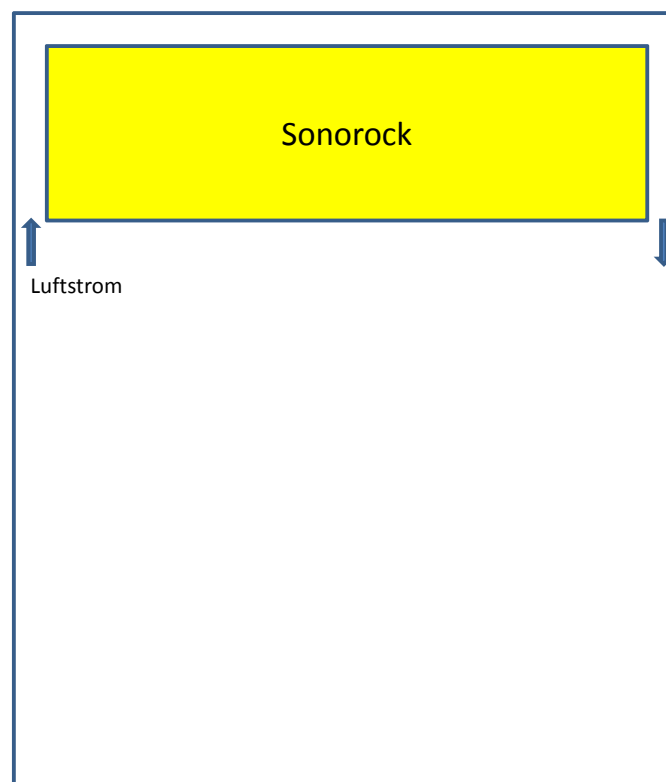
Abbildung 8: Verschaltung der 18 Treiber

Nach dem Aufstellen und Verschrauben mit der Wand und dem Betonboden, wurden die Frontlautsprecher zwischen den Subwoofern installiert. Sie sind entkoppelt gelagert, so dass keine Schwingungen zwischen Subwoofer und HKL-01 übertragen werden.



**Abbildung 9: Fertige Front**

Als letzter Schritt wurde der rückwärtige Absorber gebaut. Er dient dazu, die Längsmoden zu dämpfen und somit einen linearen Amplitudengang und schnelles Abklingen zu gewährleisten. Er besteht aus 55 cm dicker Steinwolle (Sonorock) und wurde 10 cm hinterbelüftet, um Schimmelprobleme zu vermeiden.



**Abbildung 10: Rückwärtiger Absorber (Draufsicht)**



### 3 Messungen

#### 3.1 Amplitudengang

Der Amplitudengang im Raum zeigt eine sehr tiefe untere Grenzfrequenz von ca. 4 Hz. Dies ist dem Druckkammereffekt zu verdanken. Der Bereich der 1. Längsmode weist eine Überhöhung auf, die allerdings nicht lange nachschwingt, wie im Abklingspektrum zu sehen ist. Generell sind die Welligkeiten gering. Für einen linearen Amplitudengang zwischen 3,3 – 200 Hz sind wenige Filter im Equalizer notwendig.

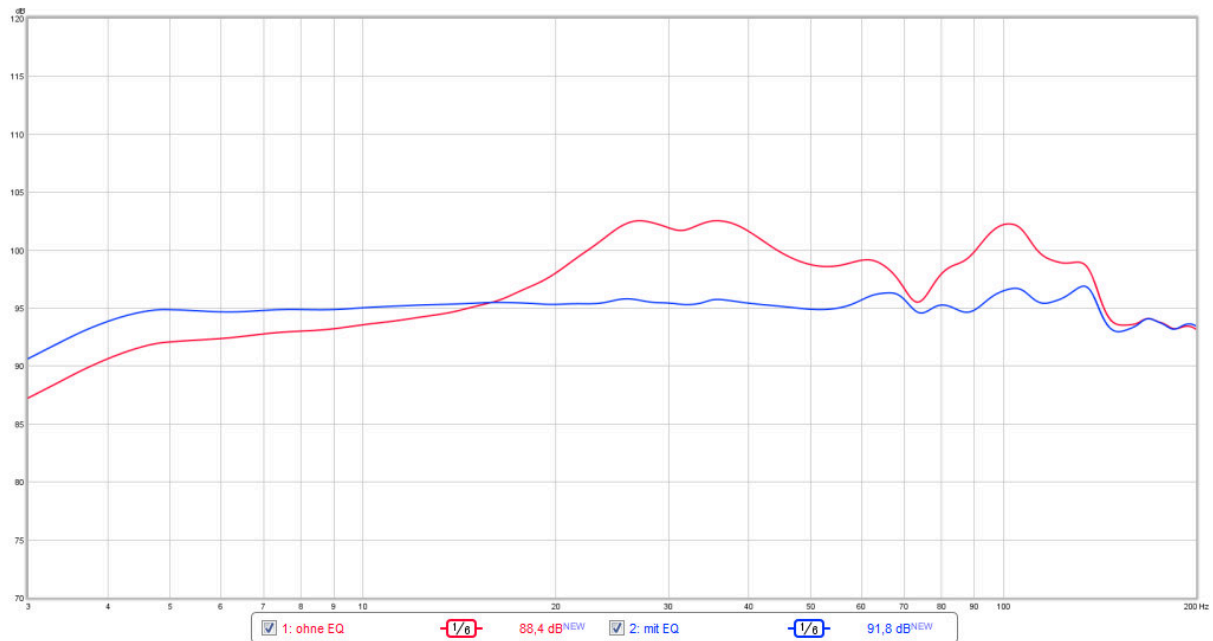


Abbildung 11: Amplitudengang

#### 3.2 Zeitverhalten

Zunächst soll der Ausgangszustand betrachtet werden. Ohne den rückwärtigen Absorber zeigen sich die Längsmoden maximal ausgeprägt. Auch der Einbruch zwischen der 1. und 2. Längsmode ist wie erwartet vorhanden.

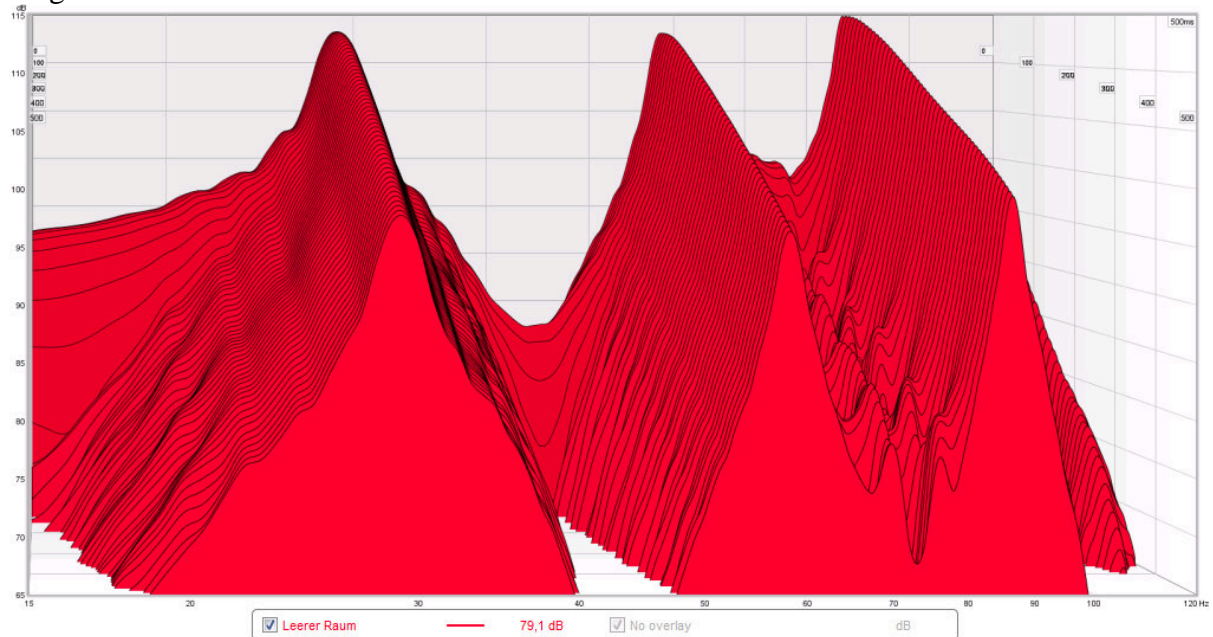


Abbildung 12: Abklingspektrum im leeren Raum

Mit Absorber ergibt sich ein völlig anderes Bild. Die Steinwolle absorbiert die Längsmode fast vollständig und auch die Senke ist komplett verschwunden.

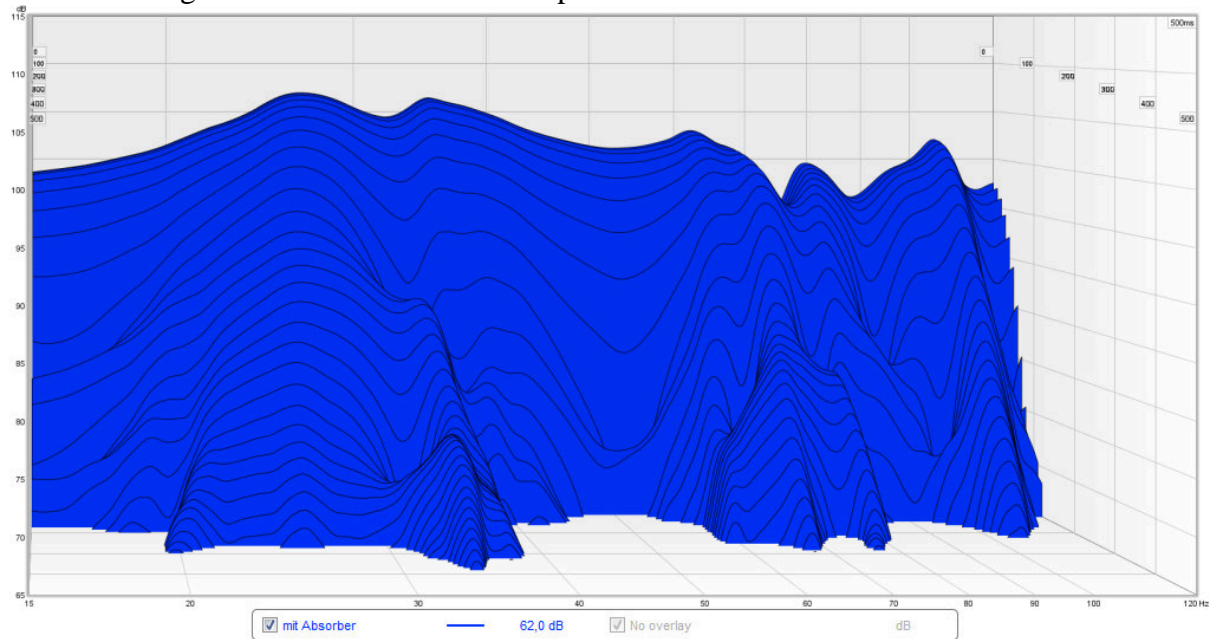


Abbildung 13: Abklingspektrum mit Absorber

Das restliche Abklingen der 1. Längsmode kann durch die Verwendung eines Equalizers weiter reduziert werden. Da die Mode minimalphasigen Charakter besitzt, reicht ein IIR-Equalizer. Dafür ist lediglich ein Peaking-Filter notwendig, der die Güte der Mode möglichst exakt trifft.

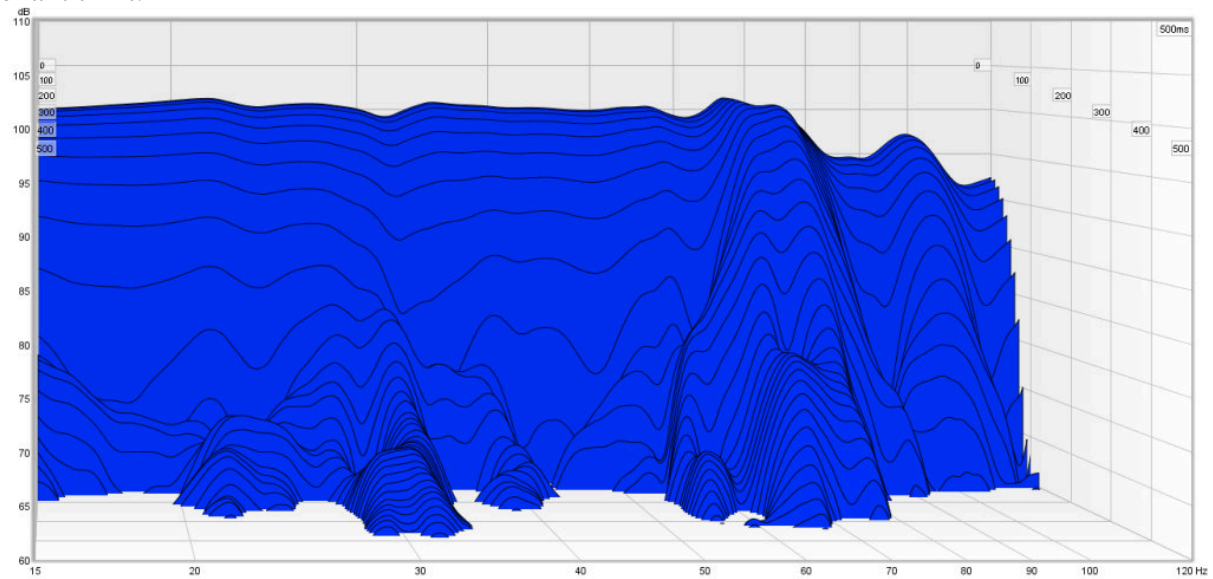


Abbildung 14: Abklingspektrum mit Absorber und Equalizer

In den Gruppenlaufzeitverzerrungen ist zu erkennen, dass nicht nur der Frequenzbereich, sondern auch der Zeitbereich korrigiert wird.

Generell fällt die Gruppenlaufzeit durch die niedrige untere Grenzfrequenz sehr gering aus (<10 ms). Die geschlossenen Gehäuse ermöglichen dieses gutmütige Zeitverhalten.

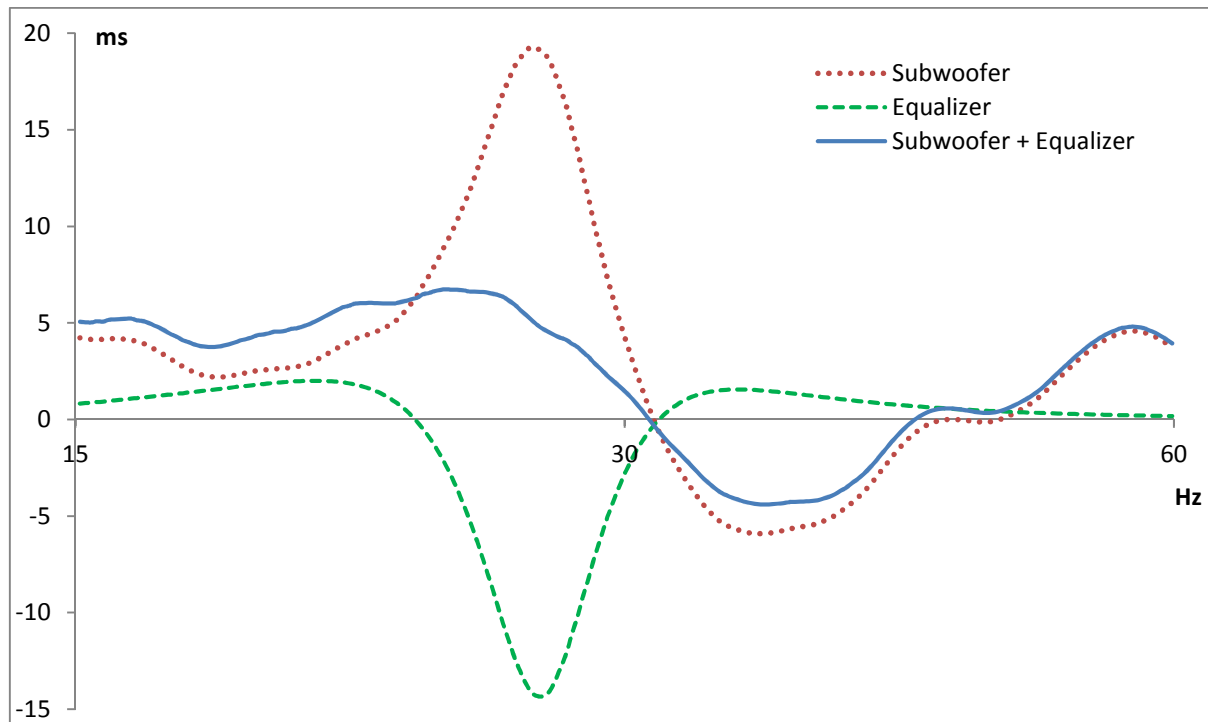


Abbildung 15: Gruppenlaufzeitverzerrungen

### 3.3 Varianz über mehrere Sitzplätze

Es sollte untersucht werden, wie groß die Varianzen an unterschiedlichen Sitzpositionen sind. Da es sich um zwei Sitzreihen handelt, wurden die Messpositionen dementsprechend gewählt. Die Farben der Messpositionen in der schematischen Darstellung entsprechen denen der Messungen.

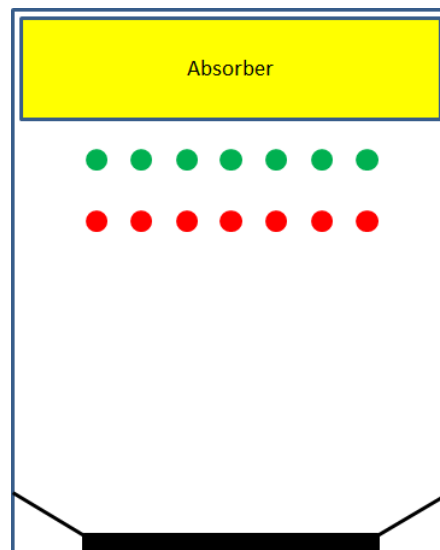


Abbildung 16: Messpositionen



Abbildung 17: Amplitudengänge im Sitzbereich

Wie erwartet, fällt die Varianz in der ersten Sitzreihe sehr gering aus. Die zweite ist im Bereich der 1. und 2. Längsmoden erhöht, was der geringeren Distanz zur Rückwand geschuldet ist. Auch das war zu erwarten, da der Absorber natürlich nicht ideal funktioniert.

### 3.4 Nichtlineare Verzerrungen

Die Messungen der nichtlinearen Verzerrungen sollten im Kontext betrachtet werden. Von dem SBA können nur Messungen direkt im Raum durchgeführt werden, daher können schwingende Teile (z.B. die Tür) die Messung stark beeinflussen. Weiterhin sorgt der Druckkammereffekt dafür, dass die Grundwelle gegenüber den Harmonischen verstärkt wird, was eine Verbesserung der nichtlinearen Verzerrungen gerade im unteren Frequenzbereich mit sich bringt.

Bei 90 dB erreicht K2 in weiten Teilen Werte von maximal 0,2 %. Erst bei 10 Hz steigt es auf 0,7 %. K3 liegt bei um die 0,1 %.

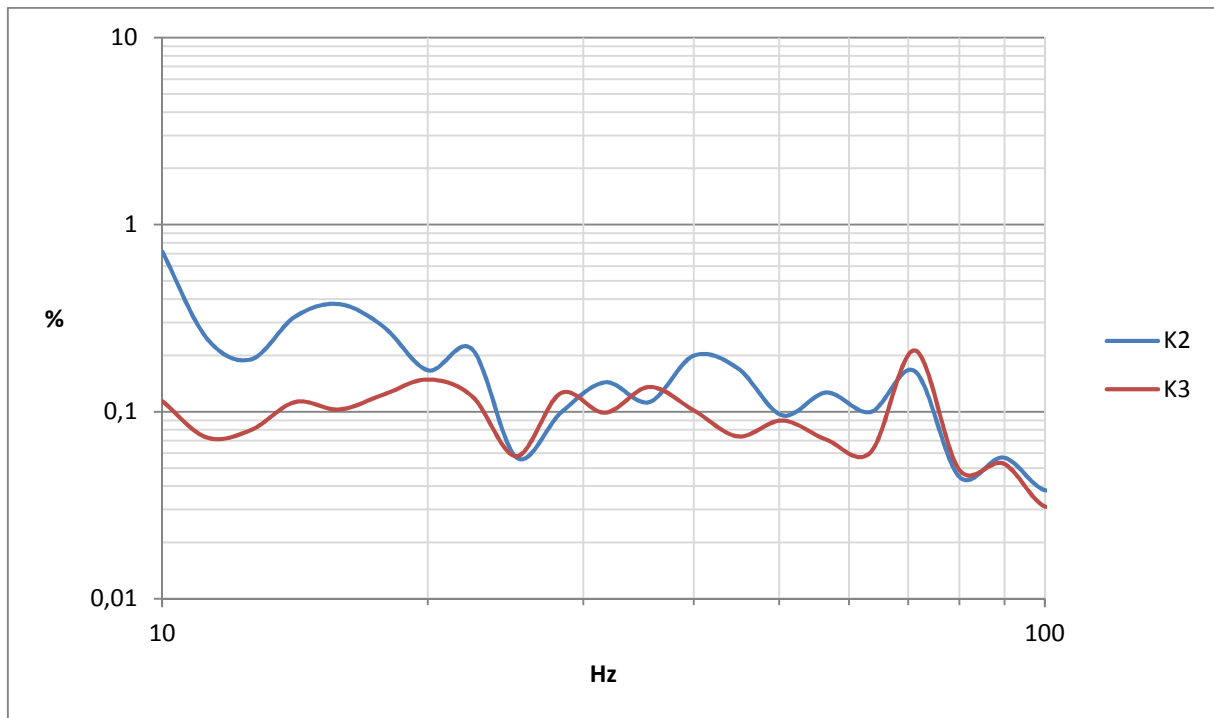


Abbildung 18: Nichtlineare Verzerrungen bei 90 dB

Bei 100 dB steigt K2 unter 20 Hz auf fast 1% an. Darüber verhält es sich gutmütig bei  $< 0,3$  %. Bei K3 kann praktisch kein Anstieg verzeichnet werden.

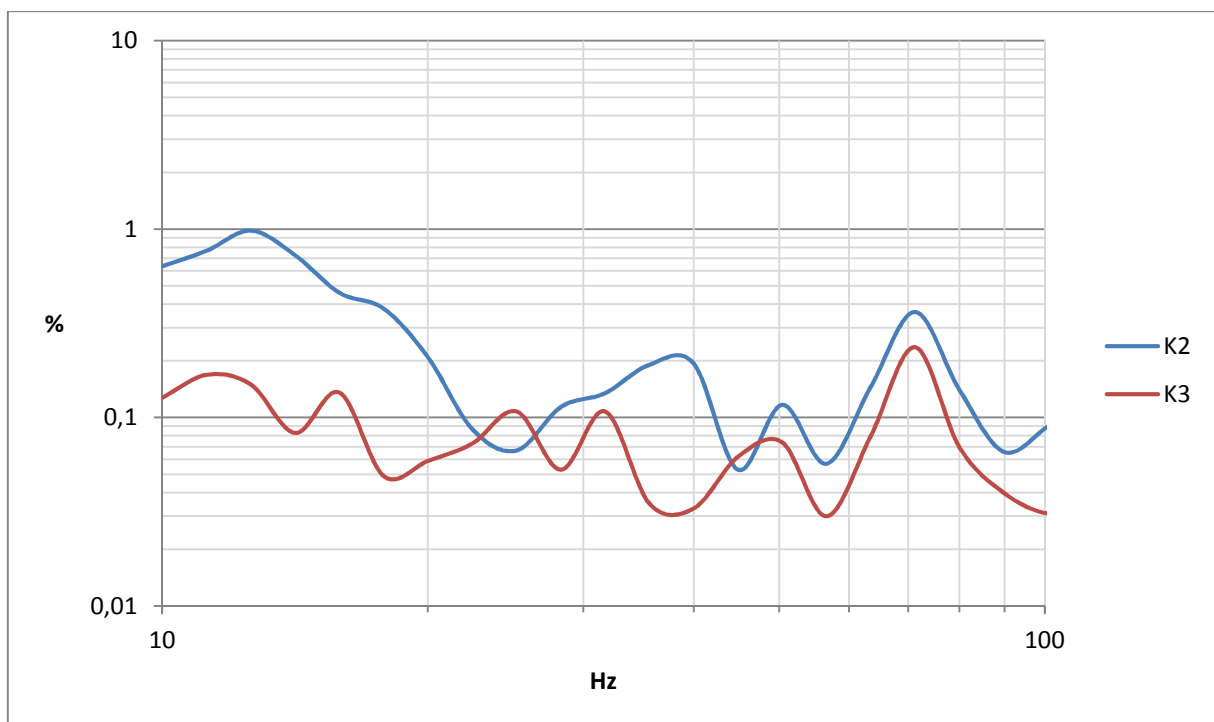


Abbildung 19: Nichtlineare Verzerrungen bei 100 dB

Bei 110 dB steigt K3 oberhalb von 20 Hz auf knapp 0,7 %. Unterhalb von 20 Hz erreicht K2 ein Maximum von 2,5 %. Insgesamt ist das ein sehr gutes Ergebnis.



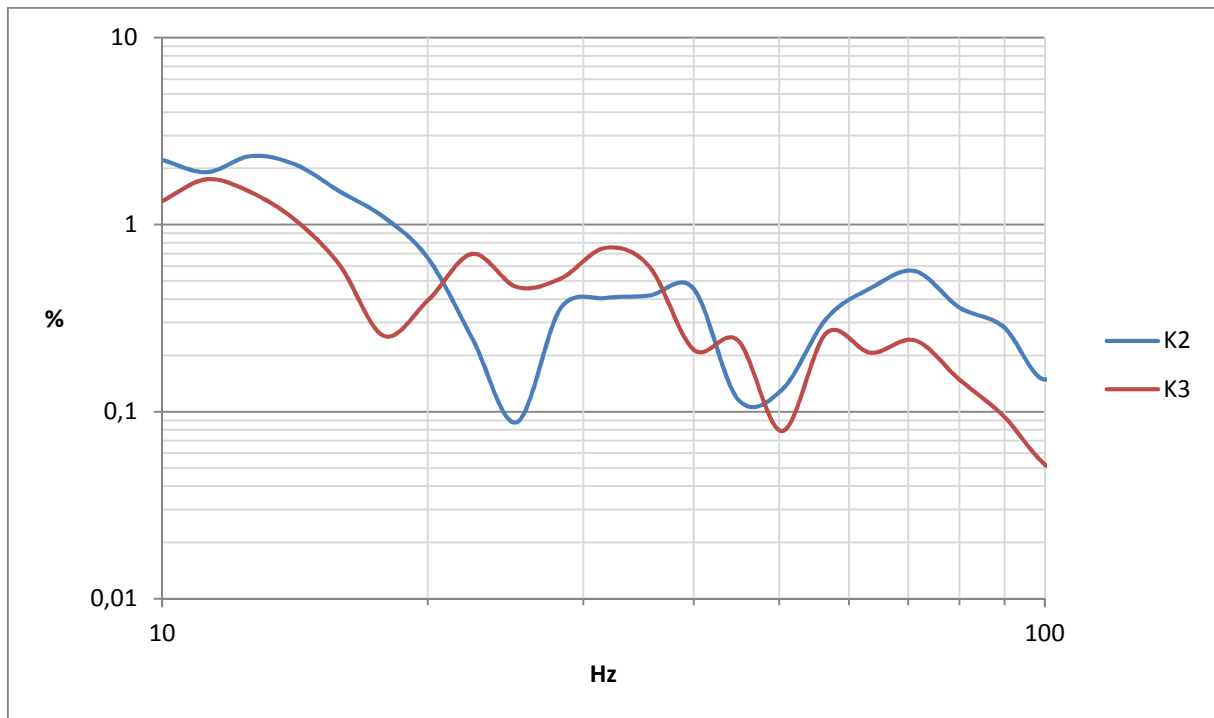


Abbildung 20: Nichtlineare Verzerrungen bei 110 dB

### 3.5 Maximalpegel

Im Folgenden wurde der Maximalpegel an Hand von CEA-Bursts bestimmt. Der Schalldruckpegel wurde so lange erhöht, bis Störgeräusche deutlich hörbar waren oder sich der gemessene Schalldruck nicht mehr linear weiter erhöht hat. Gründe hierfür sind das Erreichen von  $X_{\max}$  der Treiber bzw. der maximalen elektrischen Leistung der Endstufe.

Die Messung ist der Simulation gegenübergestellt. Weiterhin wurde der Druckkammereffekt gemessen und zu dem Schalldruckpegel der Simulation addiert. Die Abweichung zwischen Messung und Simulation beträgt ca. 2 dB im unteren Frequenzbereich.

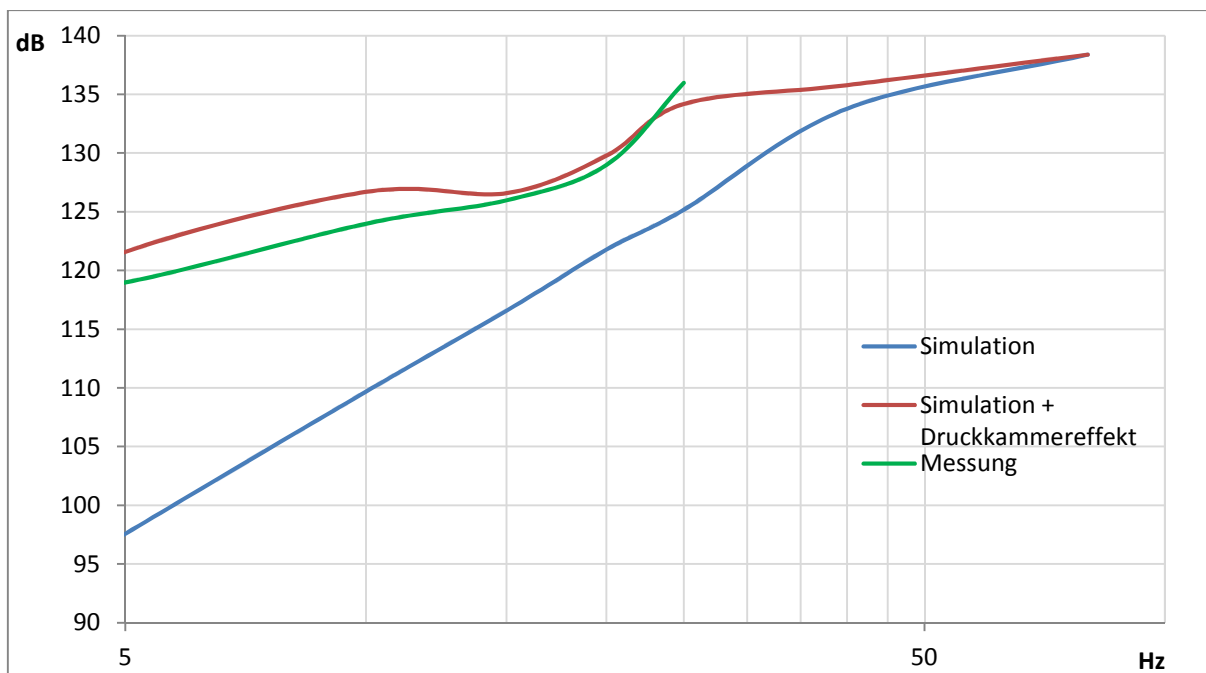


Abbildung 21: Maximalpegel

## 4 Technische Daten

<b>Tieftöner:</b>	18 × Peerless XXLS12
<b>Membranfläche:</b>	8836 cm <sup>2</sup>
<b>X<sub>max</sub>:</b>	± 12,5 mm
<b>Frequenzganz:</b>	3,8 Hz – 120 Hz (± 1,5 dB)
<b>Klirrfaktor (25 Hz):</b>	0,1 % @ 100 dB 0,5 % @ 110 dB
<b>Maximalpegel:</b>	>130 dB @ >20 Hz 130 dB @ 20 Hz 124 dB @ 10 Hz 119 dB @ 5 Hz
<b>Endstufe:</b>	2 x 3500 W RMS @ 5,4 Ω
<b>Subsonicfilter:</b>	kein
<b>Abmessungen:</b>	420 x 200 x 20 cm (B x H x T)
<b>Rückwärtiger Absorber:</b>	55 cm Steinwolle + 10 cm Luft