

Varianten des Double Bass Arrays

1. Inhalt

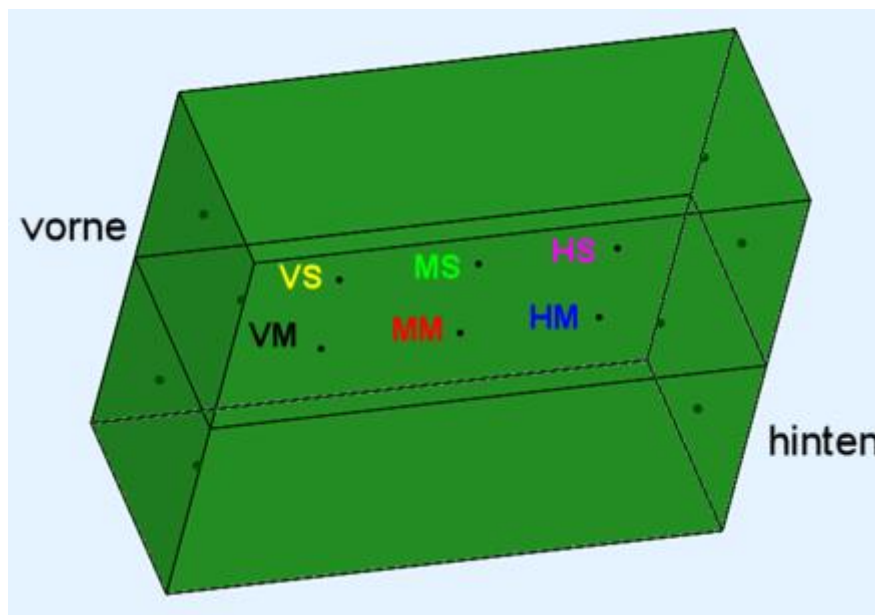
1.	Inhalt.....	1
2.	Motivation.....	2
3.	Simulation.....	2
4.	Mono-DBA.....	5
4.1.	4 Treiber pro Gitter	5
4.2.	4 Treiber vorne, 2 Treiber hinten	6
4.3.	4 Treiber vorne, 1 hinten.....	7
4.4.	2 Treiber pro Gitter auf $\frac{1}{2}$ der Höhe.....	8
4.5.	2 Treiber pro Gitter auf $\frac{1}{4}$ und $\frac{3}{4}$	9
4.6.	1 Treiber pro Gitter in der Wandmitte.....	10
4.7.	Variante für Leinwände bzw. LED-Wände.....	11
5.	Stereo-DBA	13
5.1.	1 Treiber pro Gitter auf $\frac{1}{4}$ und $\frac{3}{4}$	13
5.2.	1 Treiber pro Gitter auf $\frac{1}{2}$ der Höhe.....	15
5.3.	1 Treiber pro Gitter auf dem Boden.....	16
5.4.	1 Treiber pro Gitter auf $\frac{1}{4}$ und $\frac{1}{2}$	17
6.	Pseudo-DBA mit nur einem Gitter.....	19
6.1.	Verzögerung = $2 \times$ Raumlänge.....	19
6.2.	Verzögerung = $1 \times$ Raumlänge.....	20
7.	Effizienzoptimiertes DBA.....	22
8.	Richtungsoptimiertes DBA für Mehrkanalsysteme	24
9.	Doppel-DBA	26
10.	Optimierte Ansteuerung unterhalb der 1. Längsmode	27
11.	Fazit	28

2. Motivation

Es soll untersucht werden, ob ein Double Bass Array so reduziert werden kann, dass seine Funktion nur minimal beeinträchtigt wird. Das Ziel ist, alternative Anordnungen zu finden, die Kosten sparen und in nicht optimalen Räumen integrierbar sind. Z.B., wenn eine Tür die ideale Position eines Treibers blockiert.

3. Simulation

Die Simulationen wurden mit ABEC durchgeführt. Der virtuelle Raum hat die Maße 6 x 4,8 x 2,4 m. Die Messpositionen waren 1,5, 3 und 4,5 m von der vorderen Wand entfernt und noch einmal gedoppelt auf 1 m Entfernung von der Mitte in Richtung Seitenwand. Insgesamt sind es also sechs Messpunkte.



Farben der Messpositionen im Amplitudengang:

- **Schwarz:** Vorne Mitte
- **Gelb:** Vorne Seite
- **Rot:** Mitte Mitte
- **Grün:** Mitte Seite
- **Blau:** Hinten Mitte
- **Lila:** Hinten Seite

Raummoden (bis 120 Hz):

- **Länge:** 29 Hz, 57 Hz, 86 Hz
- **Breite:** 36 Hz, 71 Hz, 107 Hz
- **Höhe:** 71 Hz

Es wird jeweils ein vorderes Tieftongitter und ein hinteres aus idealen Punktschallquellen modelliert. Das hintere ist invertiert und verzögert. Die Verzögerung entspricht der Laufzeit, die der Schall benötigt, um die Raumlänge zu passieren. Weiterhin ist das Signal des hinteren Gitters leicht abgeschwächt, um die geringe Wanddämpfung zu kompensieren.

Die beiden Gitter werden im Folgenden nicht immer symmetrisch sein. In diesen Fällen wurde der Schalldruckpegel des hinteren Gitters so angepasst, dass es dem einer symmetrischen Anordnung entspricht. Wenn hinten z.B. nur halb so viele Treiber wie vorne arbeiten, werden sie mit dem doppelten Signalpegel gespeist.

Zusätzlich wurde vor alle Tieftöner ein flacher Hochpass geschaltet, der den Abfall eines geschlossenen Subwoofers simuliert. Das kompensiert den starken Anstieg zu tiefen Frequenzen der Grenzflächenverstärkung („Druckkammereffekt“) und erzeugt Amplitudengänge, die der Realität relativ nah kommen.

Es wurde bei jeder Simulation geprüft, ob die 1. Längsmode im gesamten Raum auch wirklich keine Auswirkungen mehr hat. Dazu wurde der Schalldruckpegel als Sonogramm dargestellt (Draufsicht). Im Folgenden wird dieses Diagramm nicht bei jeder Simulation veröffentlicht, da Unterschiede praktisch nicht vorhanden waren. Die Varianzen sind im gesamten Raum extrem gering.

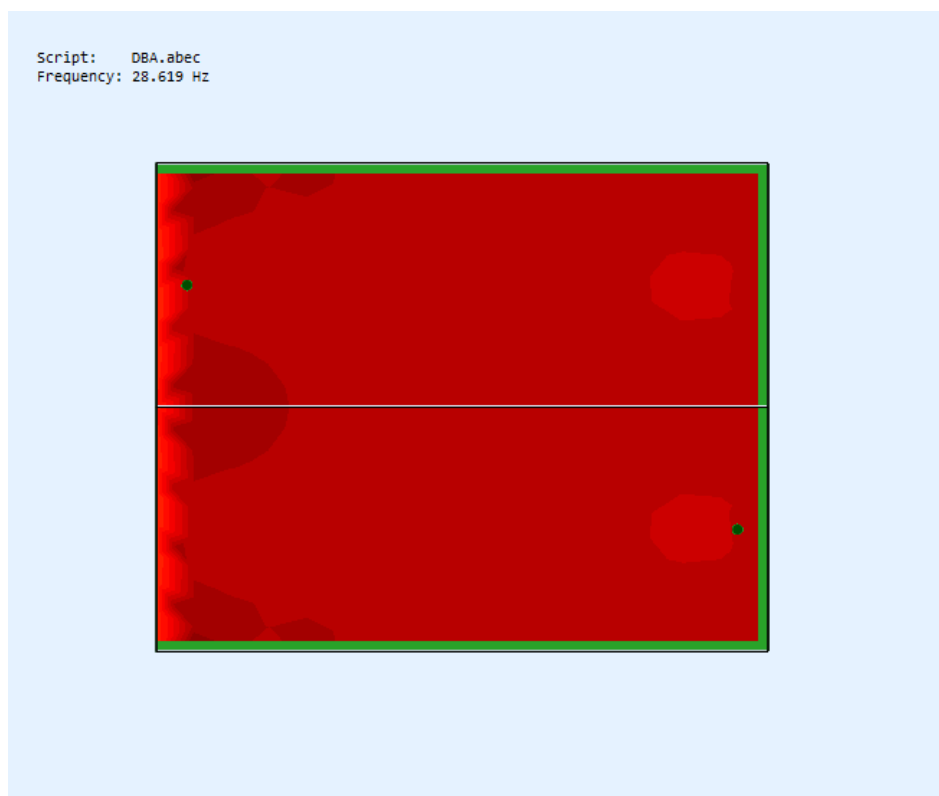


Abbildung 1: 28 Hz bei einem Double Bass Array

Zum Vergleich ein Sonogramm, bei dem nur das vordere Gitter aktiv ist. Die starke Ausprägung der 1. Längsmode ist gut zu erkennen. Diese macht sich auch im Amplitudengang als Erhöhung bemerkbar.

Script: DBA.abec
Frequency: 28.619 Hz

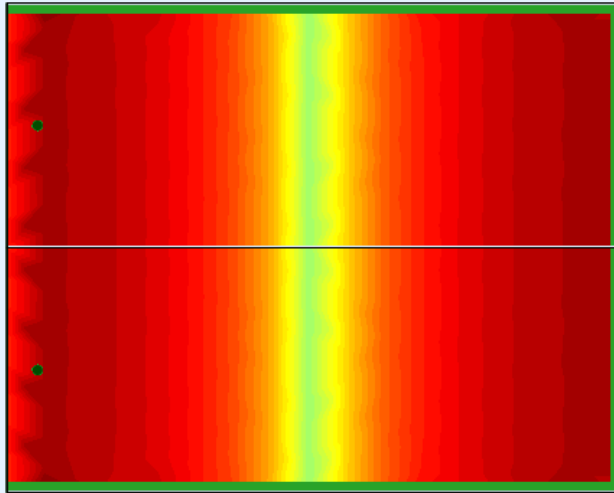
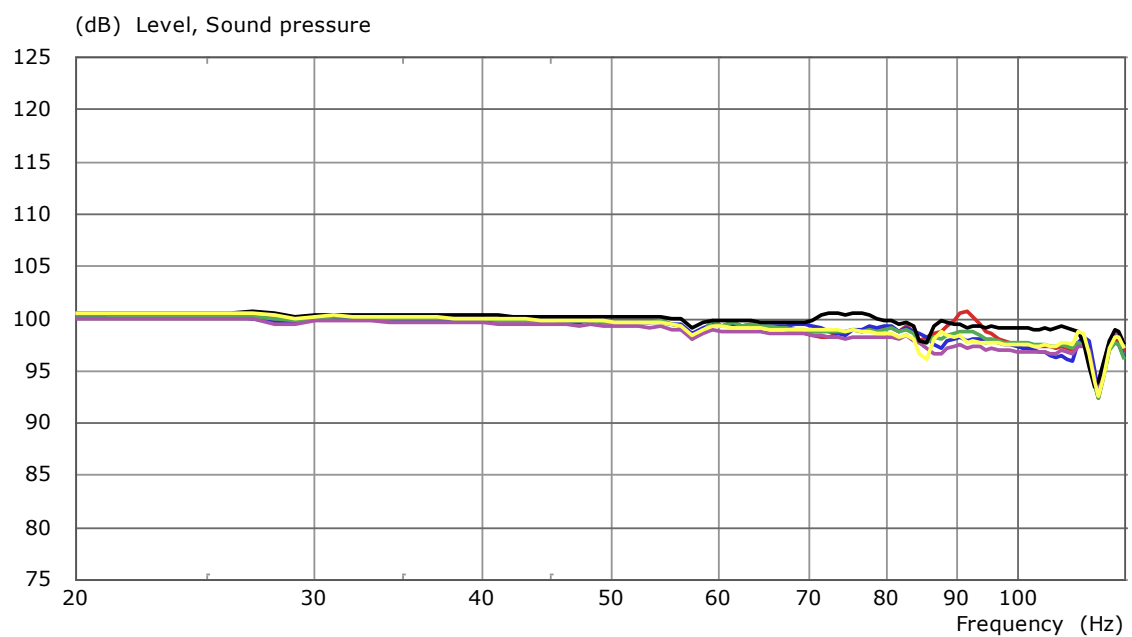
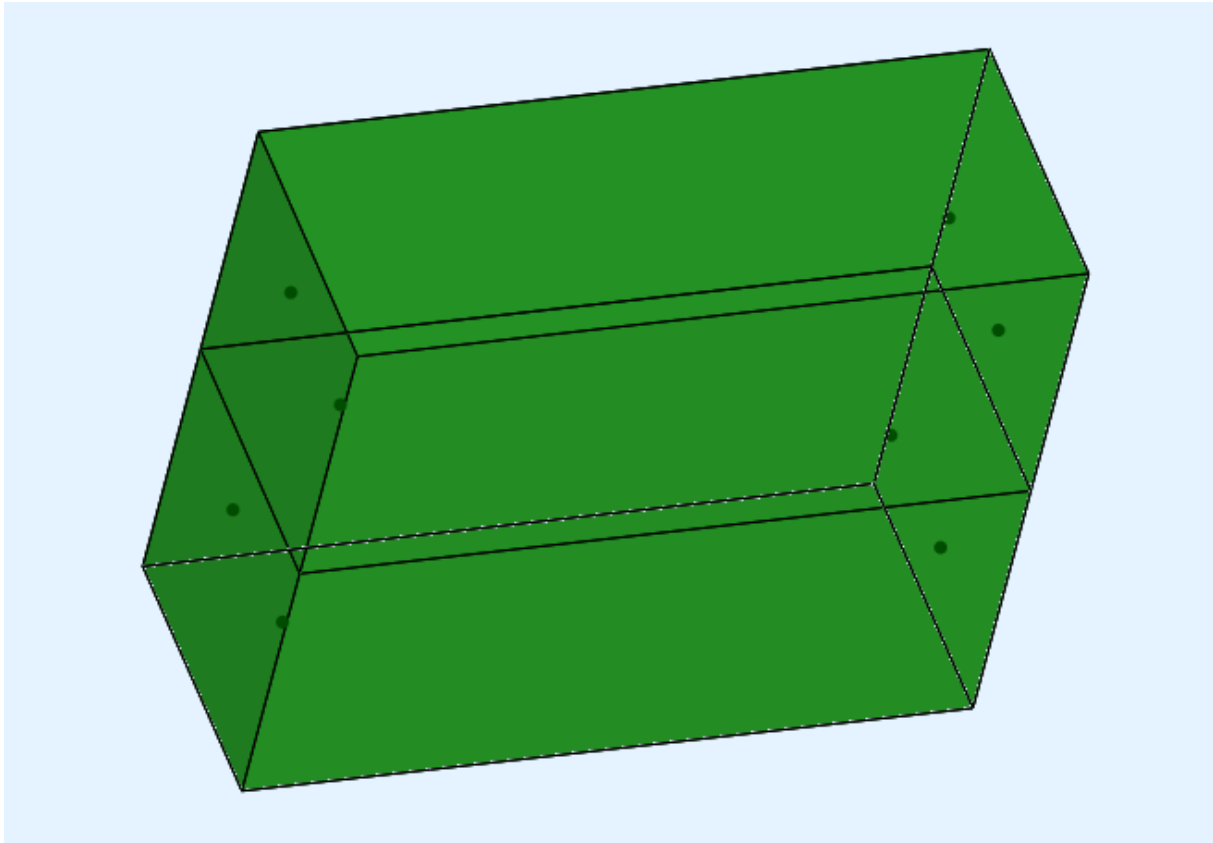


Abbildung 2: 28 Hz bei aktivem vorderen Gitter (unbedämpftes SBA)

4. Mono-DBA

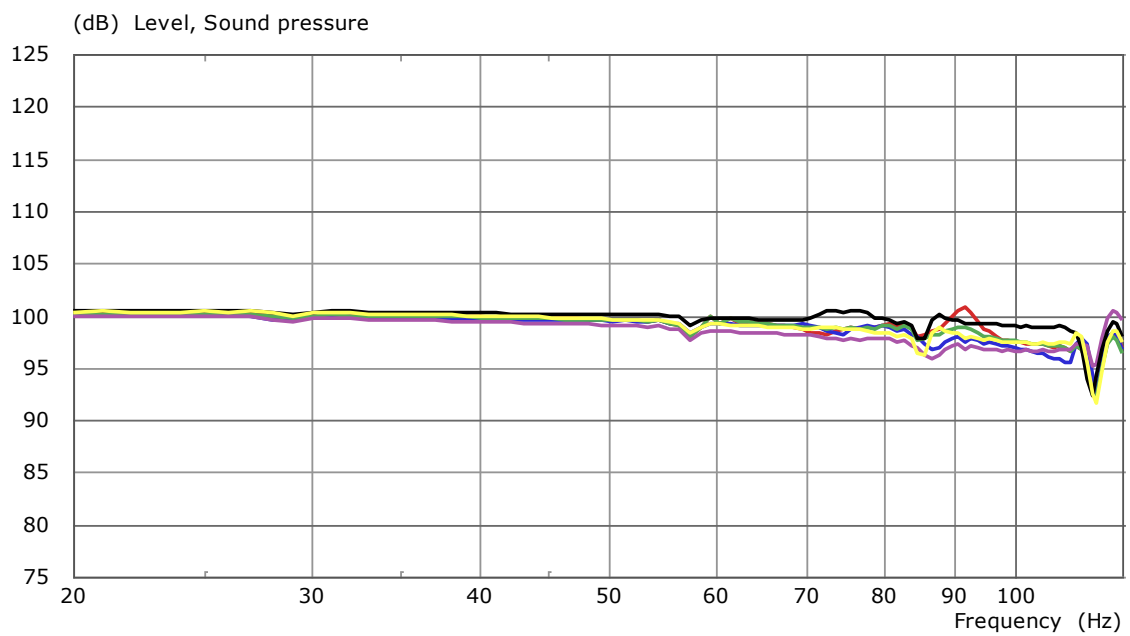
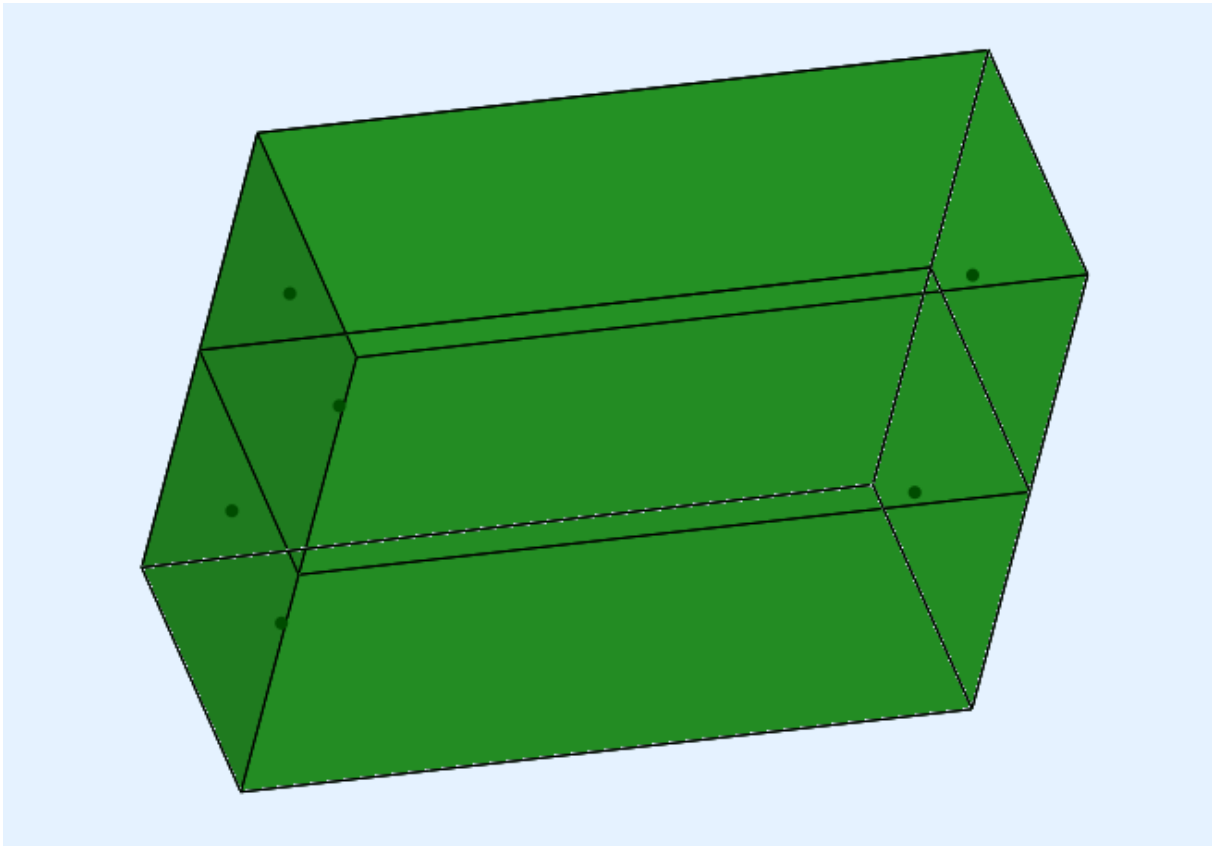
4.1. 4 Treiber pro Gitter

Dies simuliert die typische DBA-Anordnung mit vier Treibern pro Gitter auf $\frac{1}{4}$ und $\frac{3}{4}$ der Breit und Höhe.



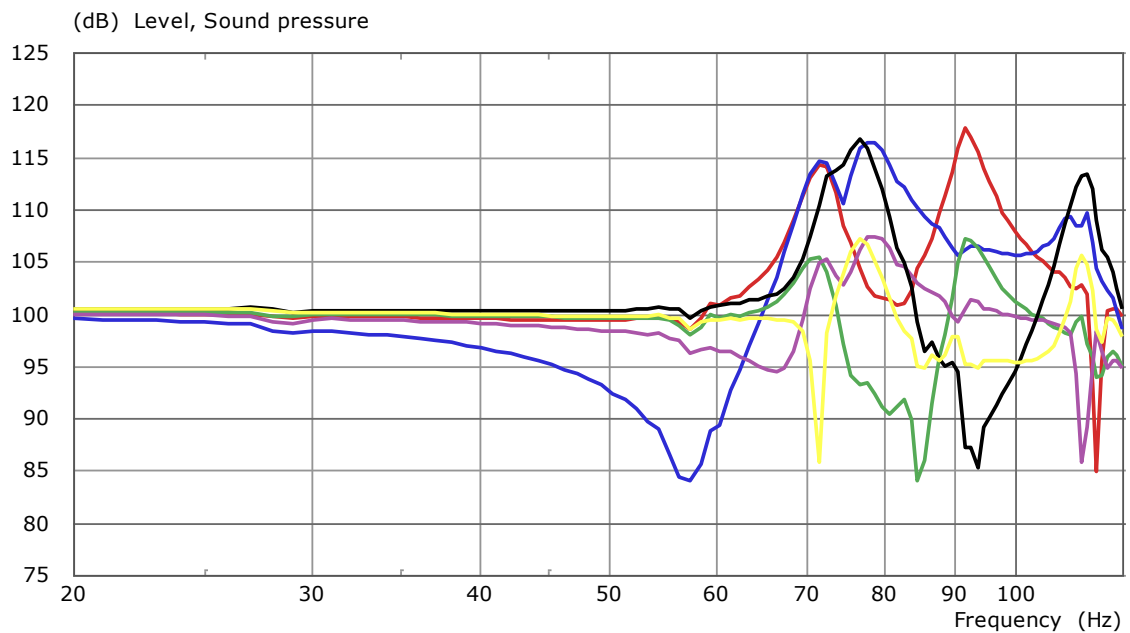
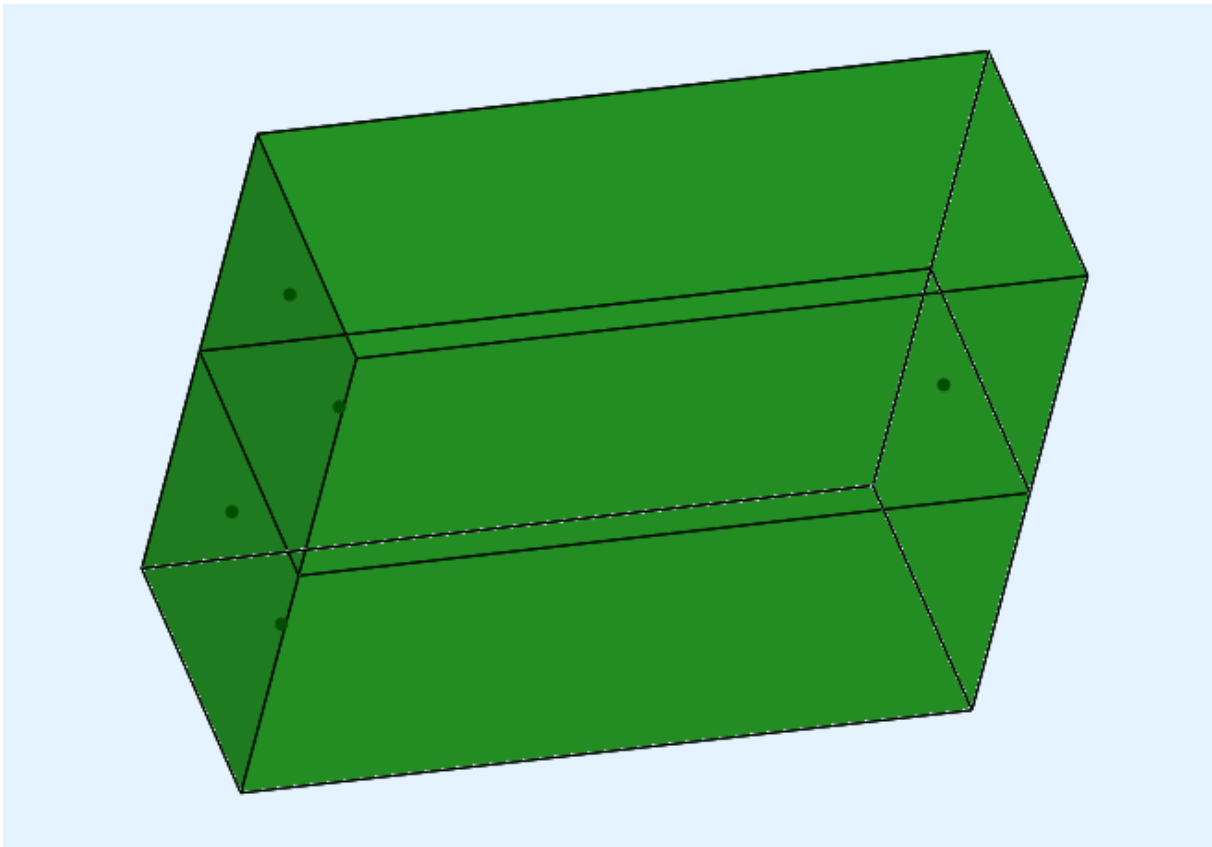
4.2. 4 Treiber vorne, 2 Treiber hinten

Das hintere Gitter wurde halbiert und die Subwoofer auf $\frac{1}{2}$ der Raumhöhe positioniert.



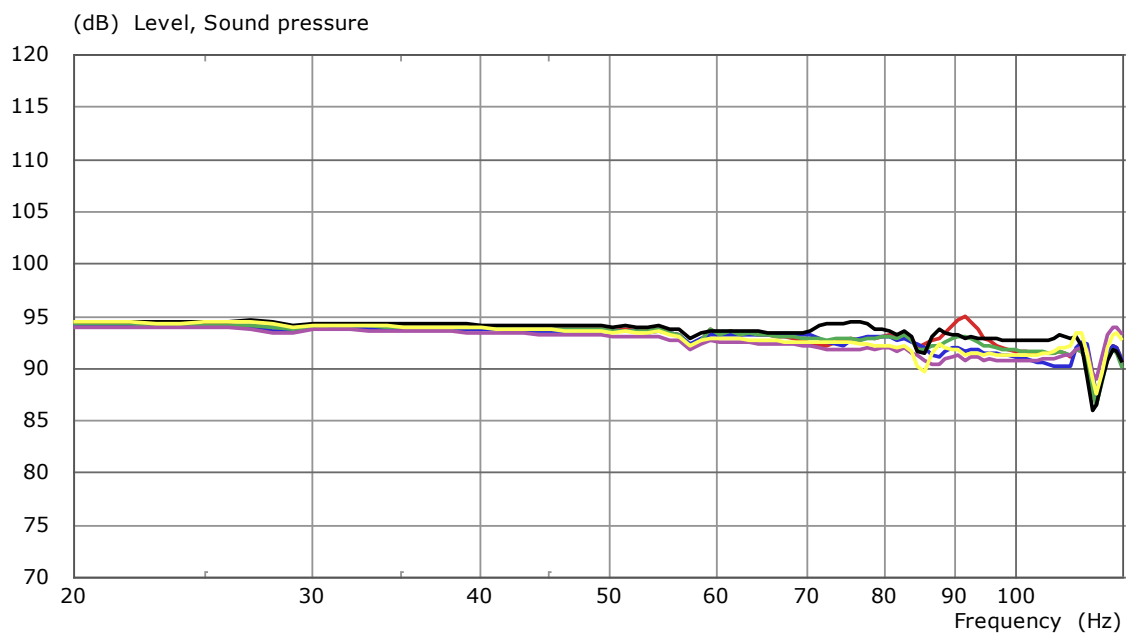
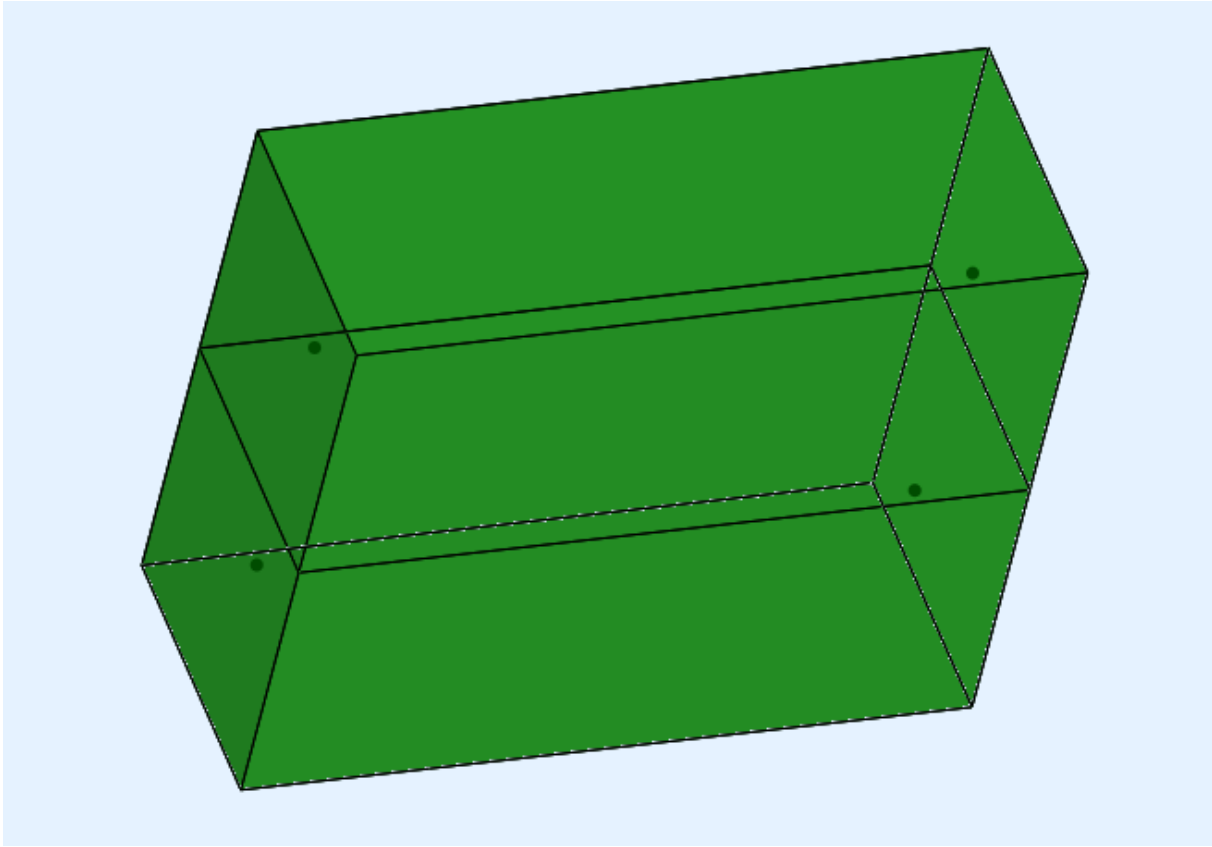
4.3. 4 Treiber vorne, 1 hinten

Das hintere Gitter wurde weiter auf einen Treiber reduziert, der sich auf $\frac{1}{2}$ der Wandbreite und -höhe befindet.



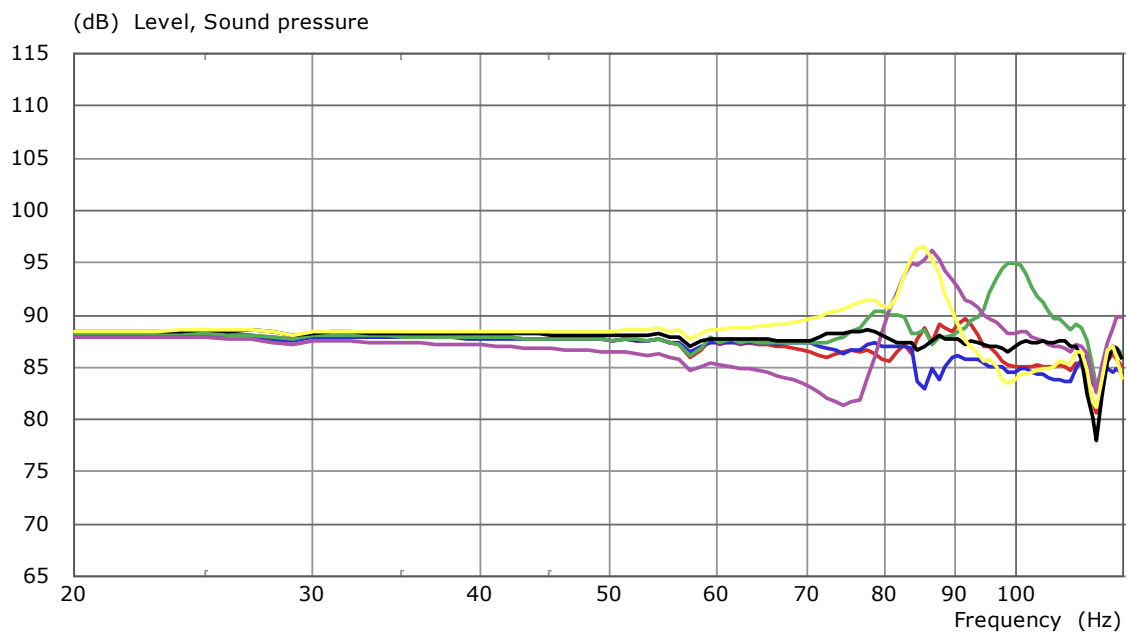
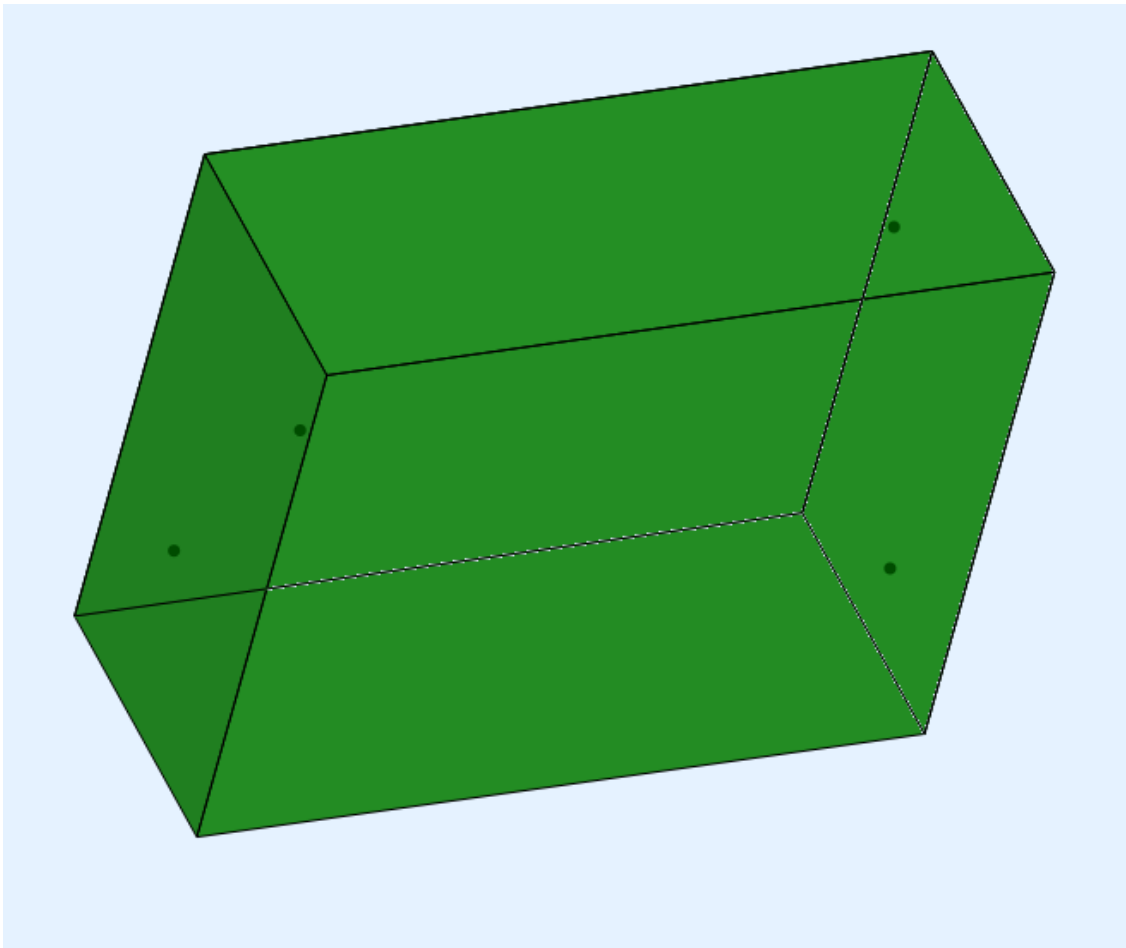
4.4. 2 Treiber pro Gitter auf $\frac{1}{2}$ der Höhe

Beide Gitter wurden halbiert und die Treiber auf $\frac{1}{2}$ der Raumhöhe positioniert.



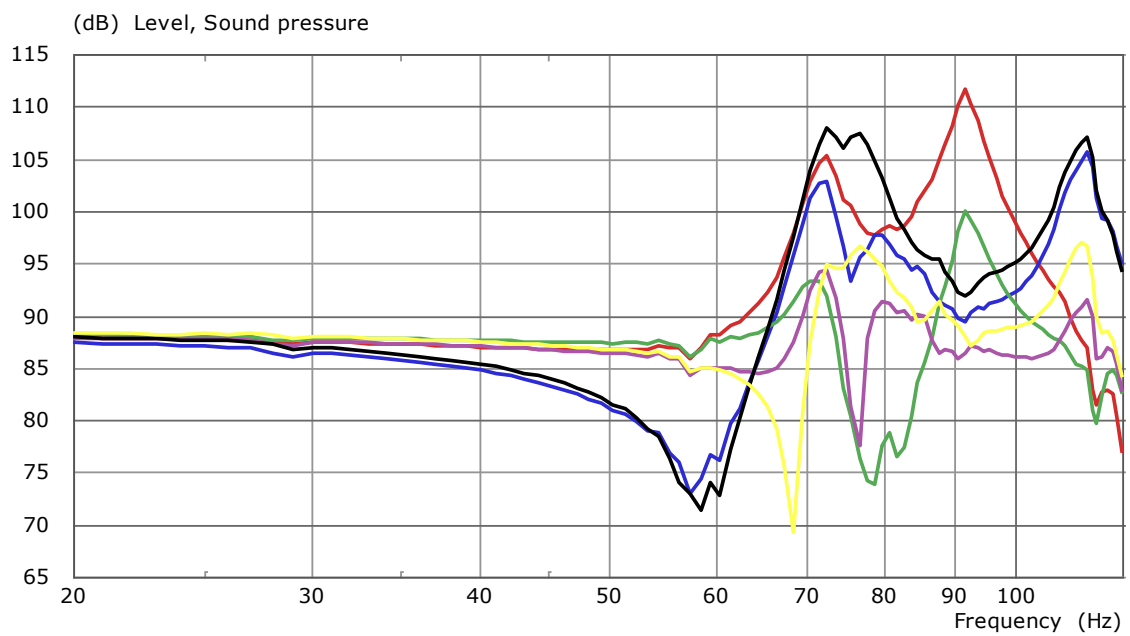
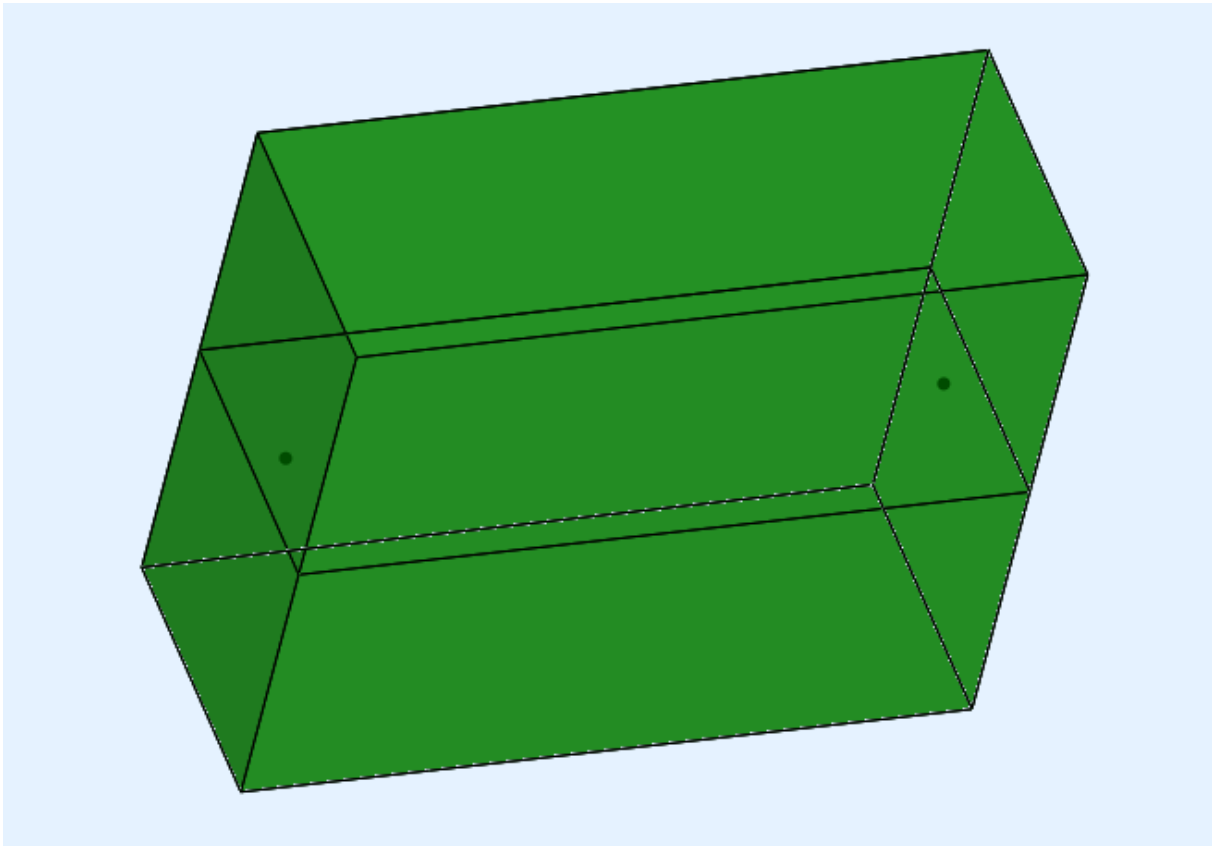
4.5. 2 Treiber pro Gitter auf $\frac{1}{4}$ und $\frac{3}{4}$

Nun sind die Treiber auf $\frac{1}{4}$ und $\frac{3}{4}$ der Raumbreite und –höhe angebracht. Das hintere Gitter ist dabei punktsymmetrisch zu dem vorderen.



4.6. 1 Treiber pro Gitter in der Wandmitte

Beide Gitter wurden auf einen Treiber reduziert, der sich auf $\frac{1}{2}$ der Wandbreite und -höhe befindet.



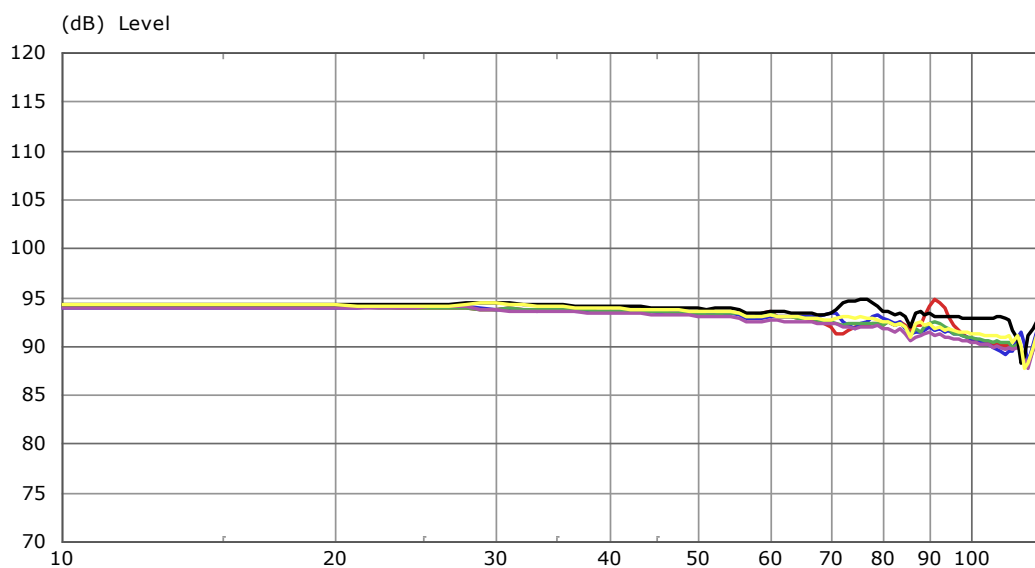
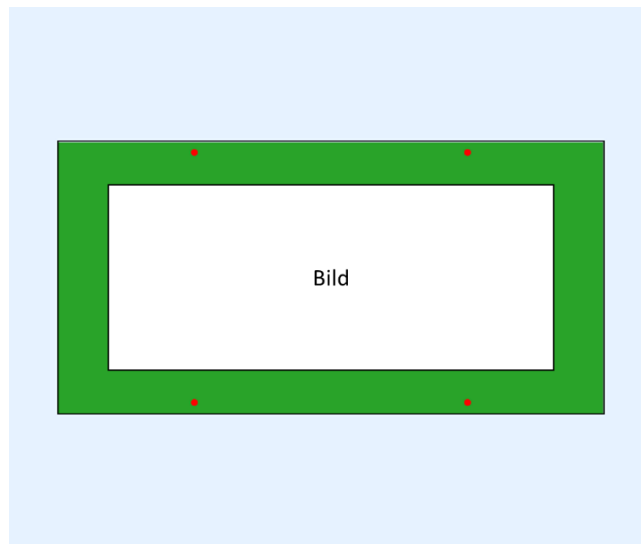
4.7. Variante für Leinwände bzw. LED-Wände

Bei LED-Wänden oder akustisch nicht transparenten Leinwänden ergibt sich das Problem, dass die Subwoofer eines DBAs nicht auf $1/4$ der Raumbreite und -höhe angebracht werden, weil das Bild im Weg ist. Zum Glück ist das auch gar nicht notwendig. Denn mit einem Trick funktioniert ein DBA auch etwas abgewandelt.

Die Maße typischer Heimkinoräume stehen meist in folgendem Verhältnis:

Länge > Breite > Höhe

Das heißt, bei der Höhe kann am ehesten Kompromisse bezüglich der Subwooferanordnung eingegangen werden, weil deren Moden im Frequenzbereich höher angesiedelt sind. Im Folgenden wurde ein DBA mit 4 Treibern pro Gitter simuliert. Die Treiber befinden sich weiterhin auf $1/4$ und $3/4$ der Raumbreite, aber direkt am Boden bzw. unter der Decke. Da das Bild in der Regel nicht die volle Höhe einnimmt, ist dort meist noch Platz für die Subwoofer.



Da sich die Treiber direkt am Boden und an der Decke befinden, regen sie die Vertikalmoden maximal an. Nun gibt es aber folgende Eigenschaft, die sich hier zunutze gemacht wird: **zwei gegenüber angeordnete Treiber löschen die 1. Mode vollständig aus.**

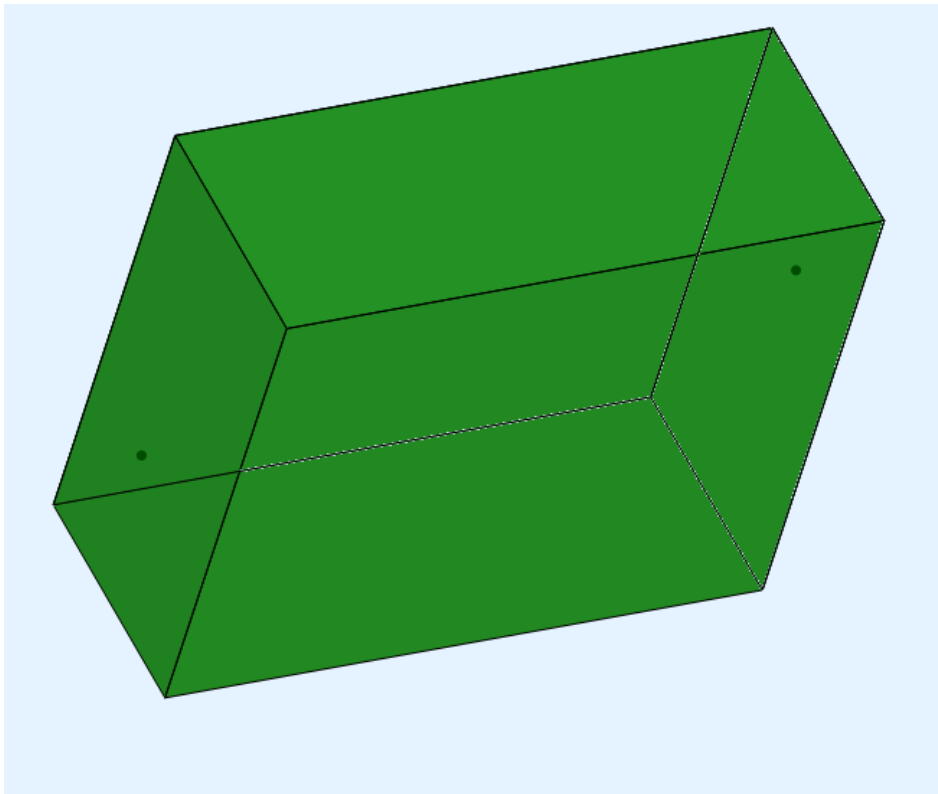
Bei der zweiten Mode funktioniert das nicht. Diese befindet sich aber bei gängigen Deckenhöhen im Bereich von 114 - 171 Hz und liegt damit außerhalb des Übertragungsbereichs bzw. an dessen oberer Grenze. Da in dem Bereich bereits der Tiefpass eingesetzt hat, ist ihr Pegel deutlich abgeschwächt.

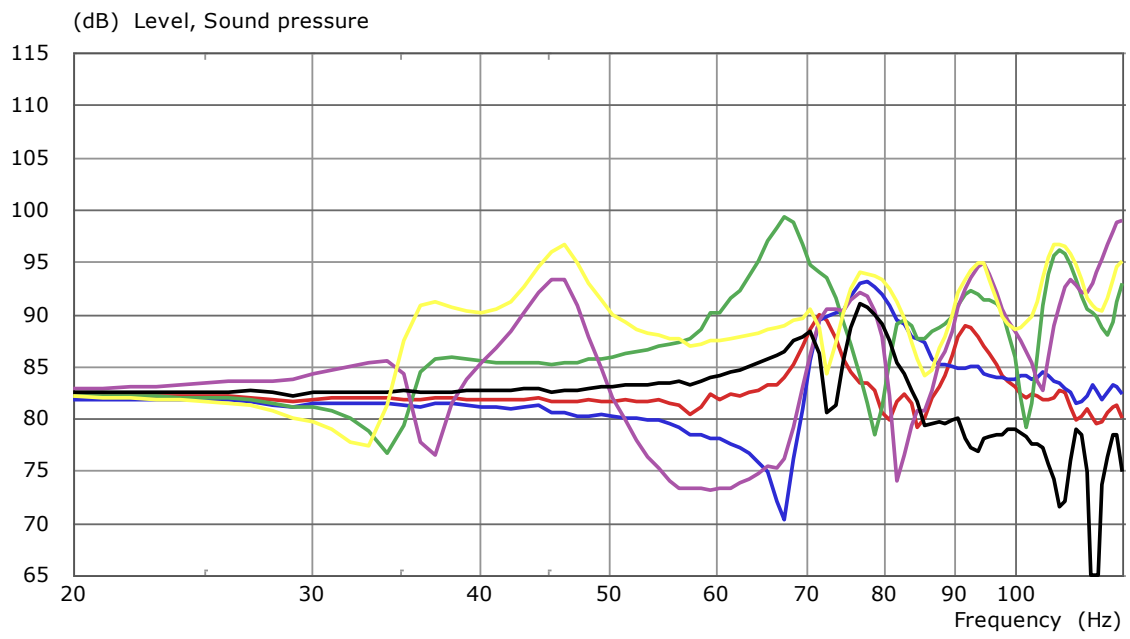
5. Stereo-DBA

Für Stereophonie kann es sinnvoll sein, auch den Bass Stereo wiederzugeben. Das ist bei den Anordnungen nicht möglich, die auf einen monauralen Bass optimiert sind. Die folgenden Simulationen enthalten jeweils nur einen Treiber pro Gitter, die bezüglich der Breite auf einer Seite angeordnet sind.

5.1. 1 Treiber pro Gitter auf $\frac{1}{4}$ und $\frac{3}{4}$

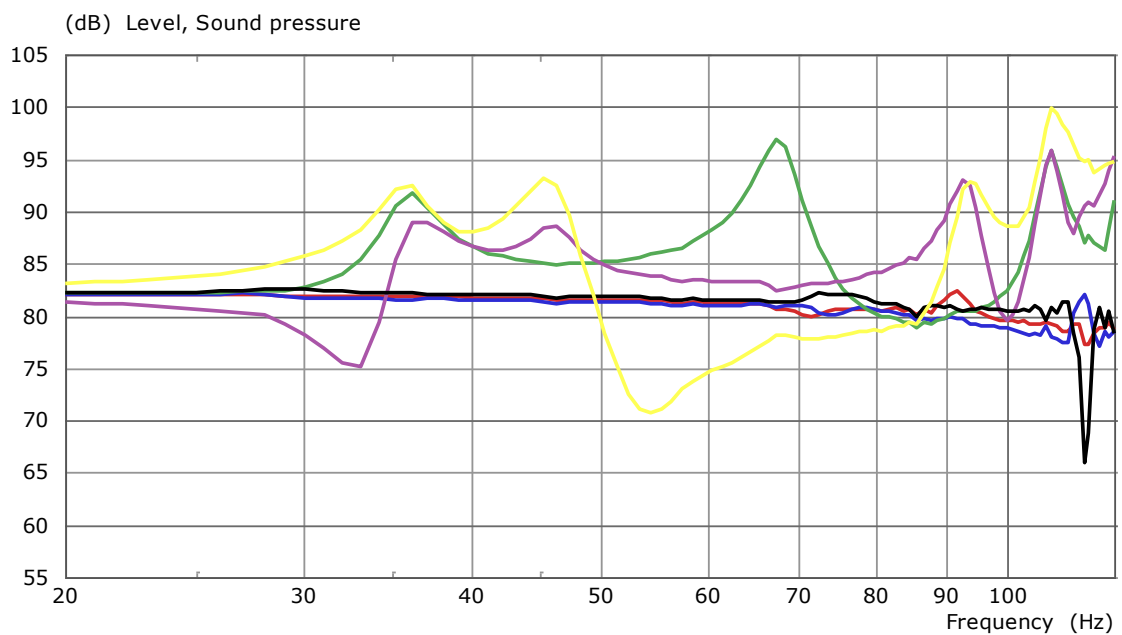
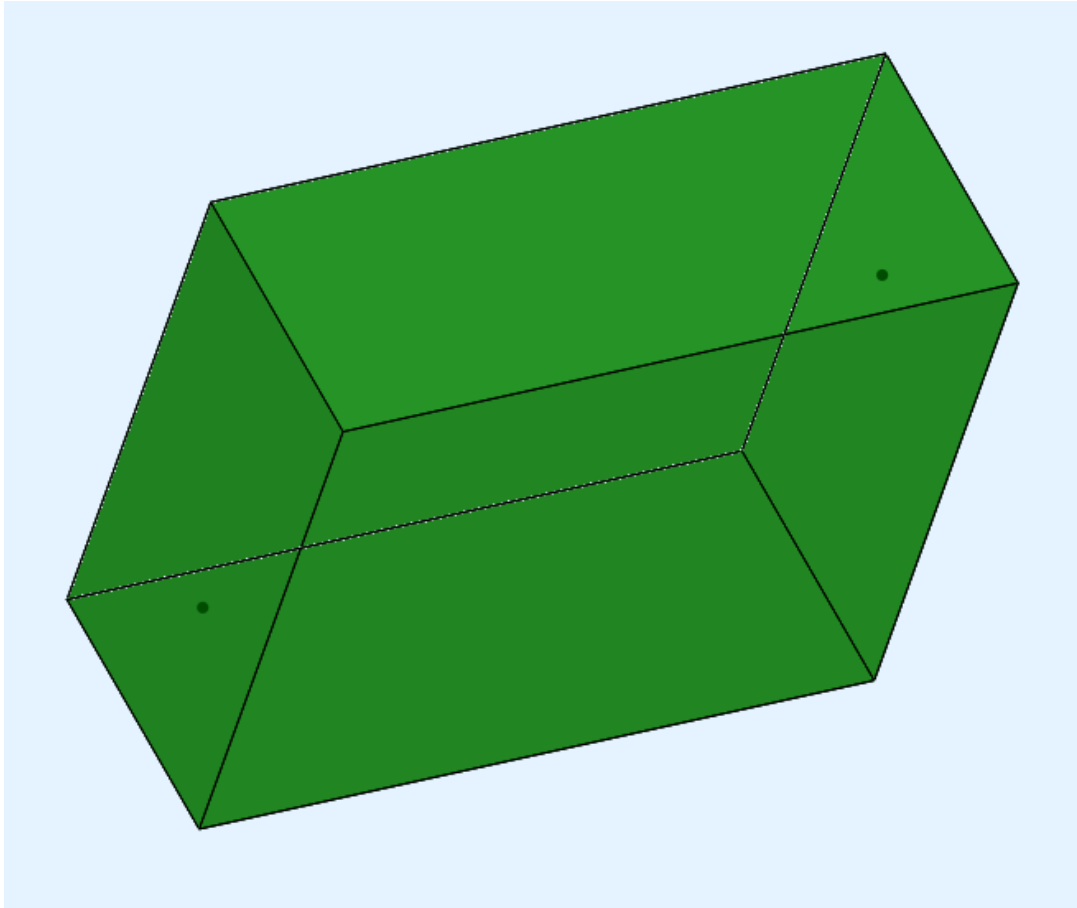
Die beiden Treiber sind auf $\frac{1}{4}$ und $\frac{3}{4}$ der Raumbreite und -höhe positioniert. Das hintere Gitter ist punktsymmetrisch zu dem vorderen angebracht.





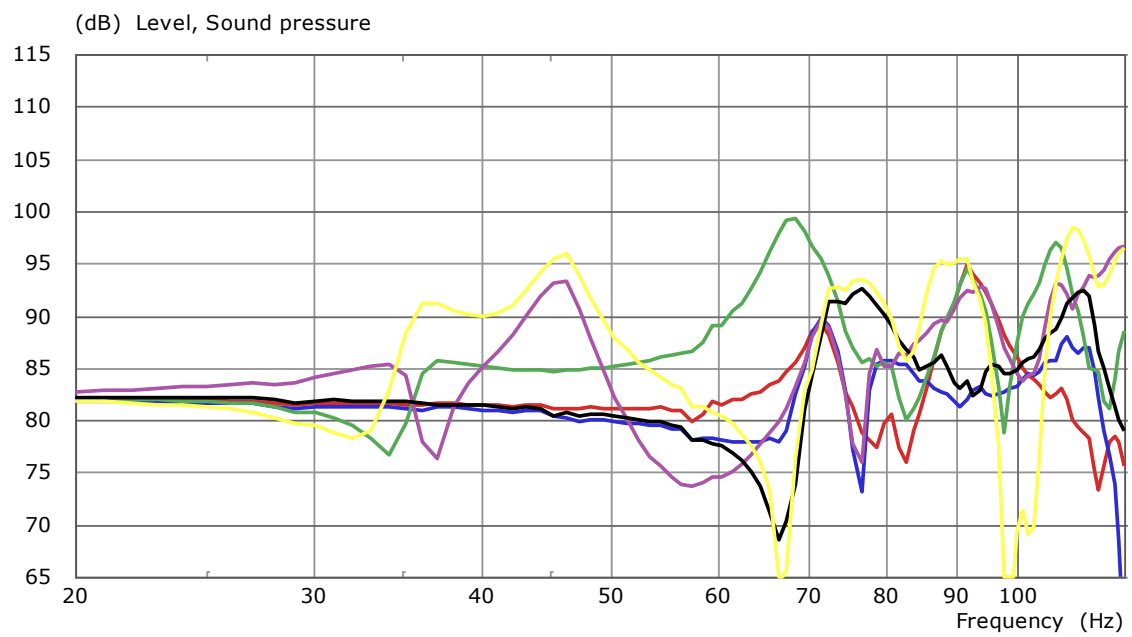
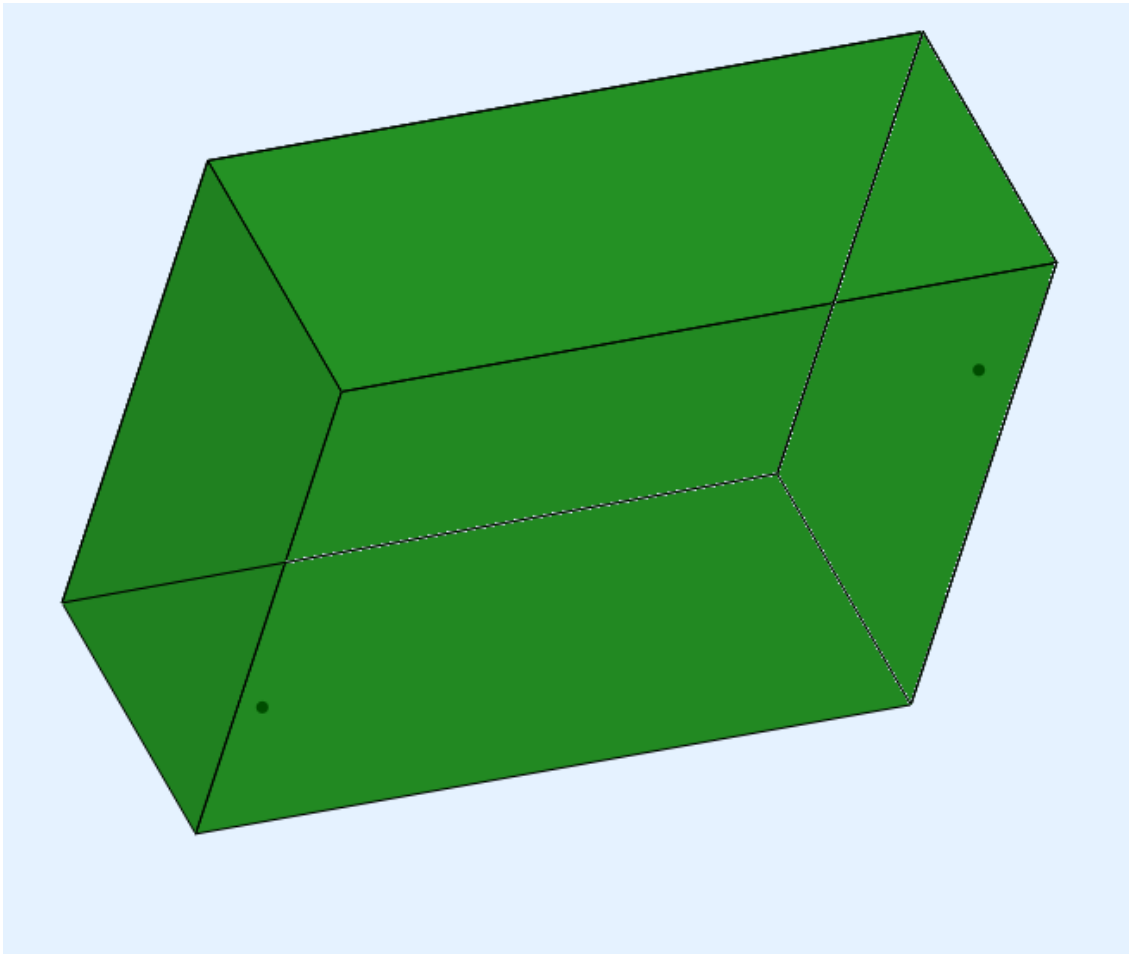
5.2. 1 Treiber pro Gitter auf $\frac{1}{2}$ der Höhe

Die beiden Treiber sind auf $\frac{1}{4}$ und $\frac{3}{4}$ der Raumbreite und auf $\frac{1}{2}$ der Raumhöhe positioniert. Es liegt also eine Punktsymmetrie bezüglich der Breite vor. Der Korridor, in dem das DBA funktioniert, ist relativ eng. Außerhalb der Längsachse nehmen die linearen Verzerrungen stark zu.



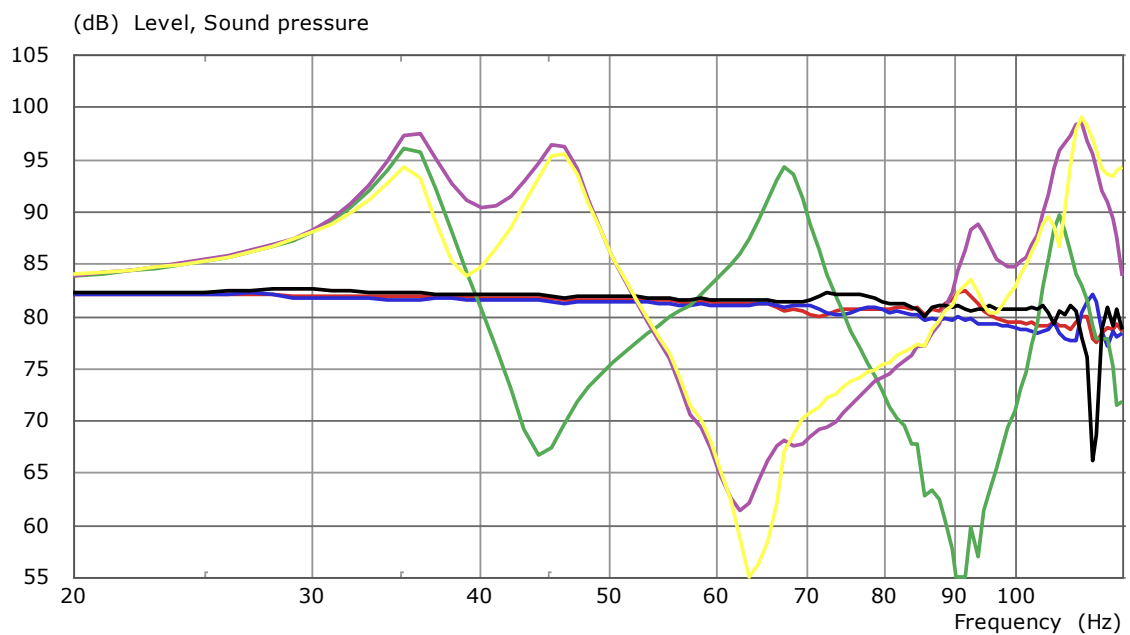
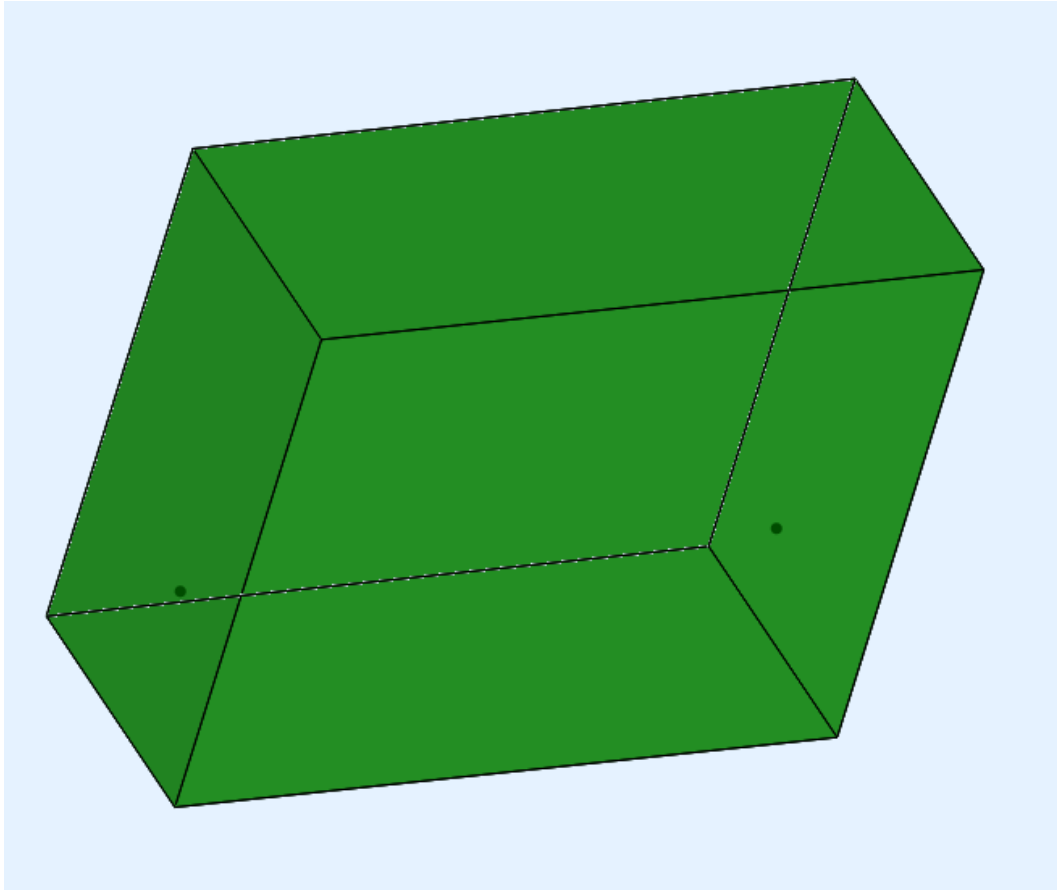
5.3. 1 Treiber pro Gitter auf dem Boden

Hier befinden sich beide Treiber auf dem Boden und $\frac{1}{4}$ und $\frac{3}{4}$ der Raumbreite.



5.4. 1 Treiber pro Gitter auf $\frac{1}{4}$ und $\frac{1}{2}$

Hier befinden sich beide Treiber auf $\frac{1}{2}$ der Raumhöhe und $\frac{1}{2}$ der Raumbreite. Beide Treiber sind bezüglich der Breite in derselben Hälfte platziert. Der Korridor, in dem das DBA funktioniert, ist relativ eng. Außerhalb der Längsachse nehmen die linearen Verzerrungen stark zu.



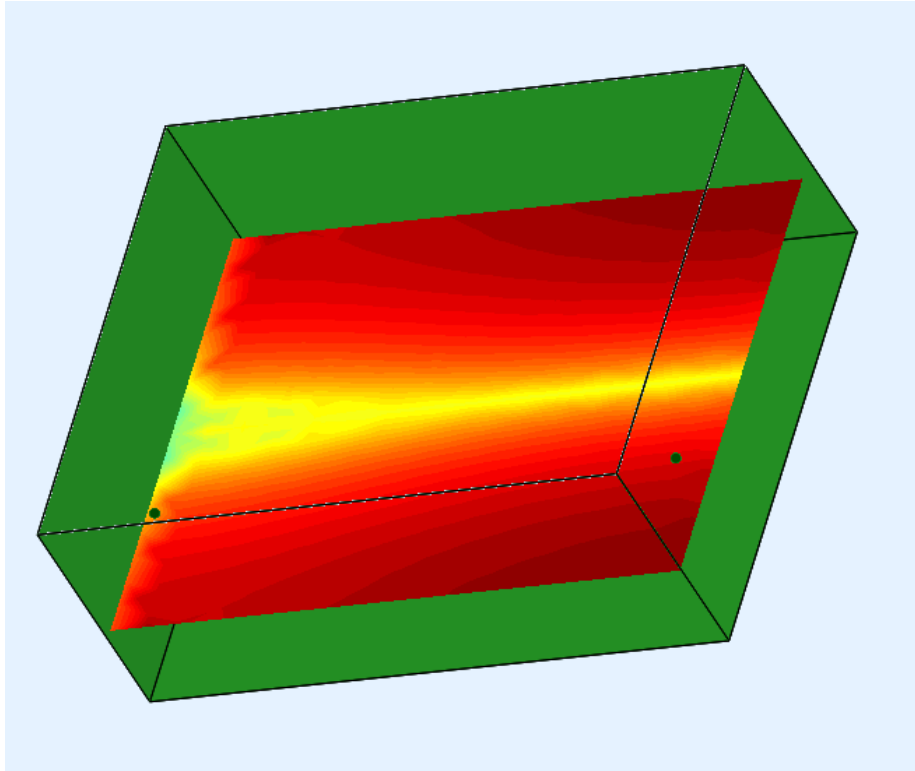


Abbildung 3: Schalldruckpegel bei 35 Hz

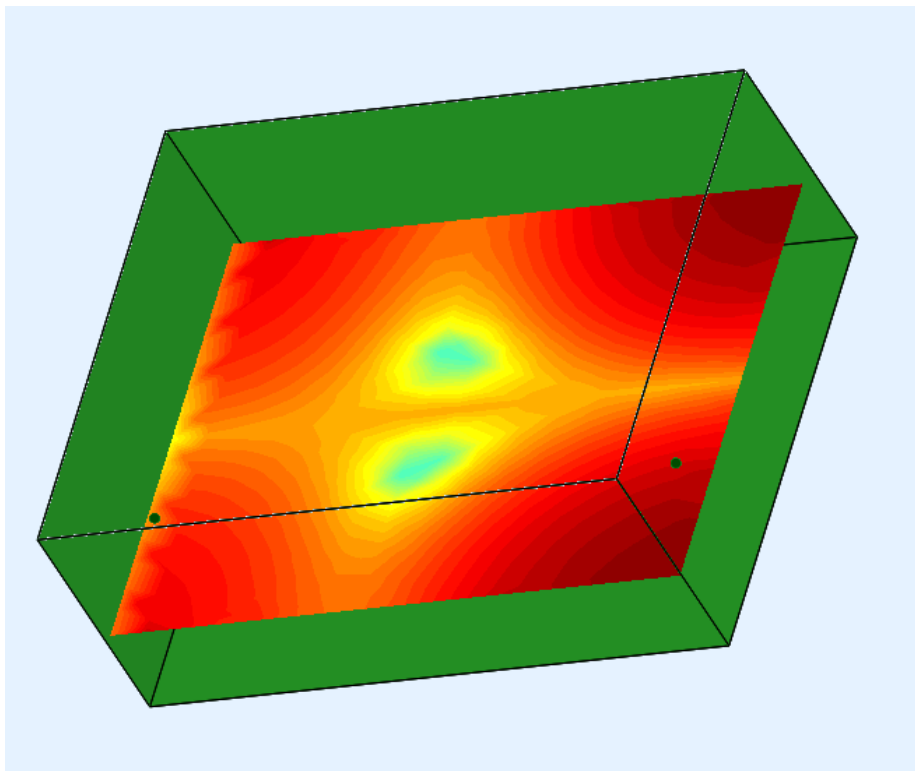


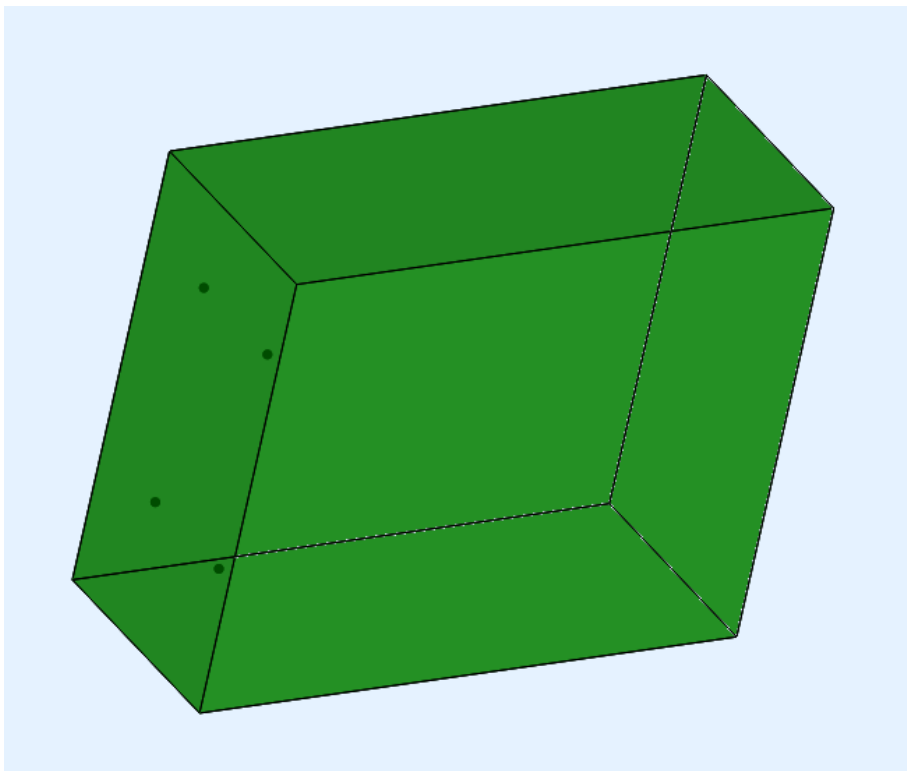
Abbildung 4: Schalldruckpegel bei 40 Hz

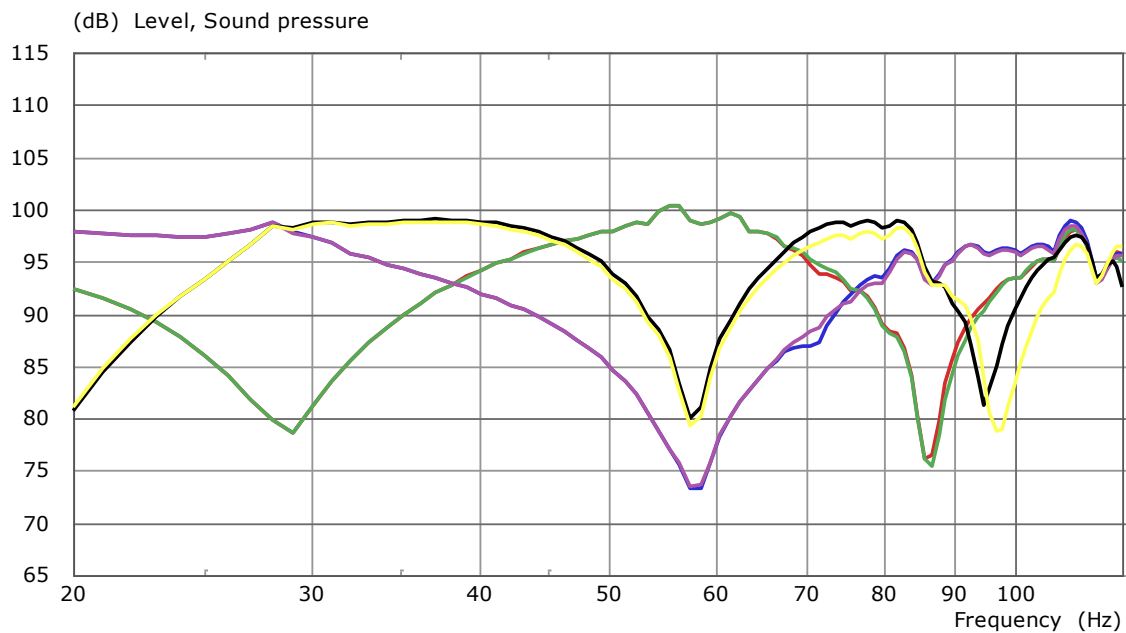
6. Pseudo-DBA mit nur einem Gitter

6.1. Verzögerung = $2 \times$ Raumlänge

Im Folgenden wird nur ein Tieftongitter verwendet, das an der Rückwand reflektiert. Das Signal, das an der Rückwand reflektiert wird, löscht das Signal aus, wenn es wieder an der Front eintrifft. Das heißt, das zweite, invertierte Signal wird bei einer Laufzeit, die zweimal der Raumlänge entspricht, wiedergegeben.

Die Idee ist, die Hälfte der Treiber einzusparen. Leider funktioniert das nicht wie erhofft, da der reflektierte Schall einmal den Hörplatz passiert und somit mit dem Direktschall interferiert. Der Amplitudengang wird stark abhängig von der Sitzposition in Längsrichtung.





Im Folgenden wurde ein zusätzlicher Messpunkt an der Rückwand platziert. Wie zu erkennen, funktioniert das Prinzip hier, da sich durch die nicht vorhandene Laufzeitdifferenz kein Kammfilter zwischen Direktschall und Reflexion ausbilden kann.

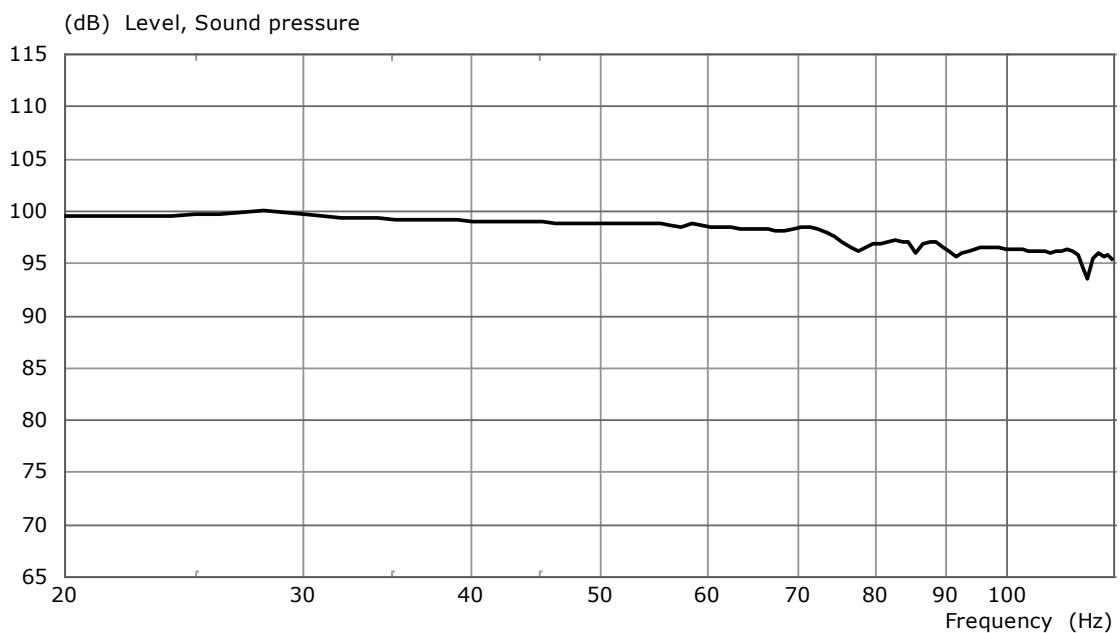
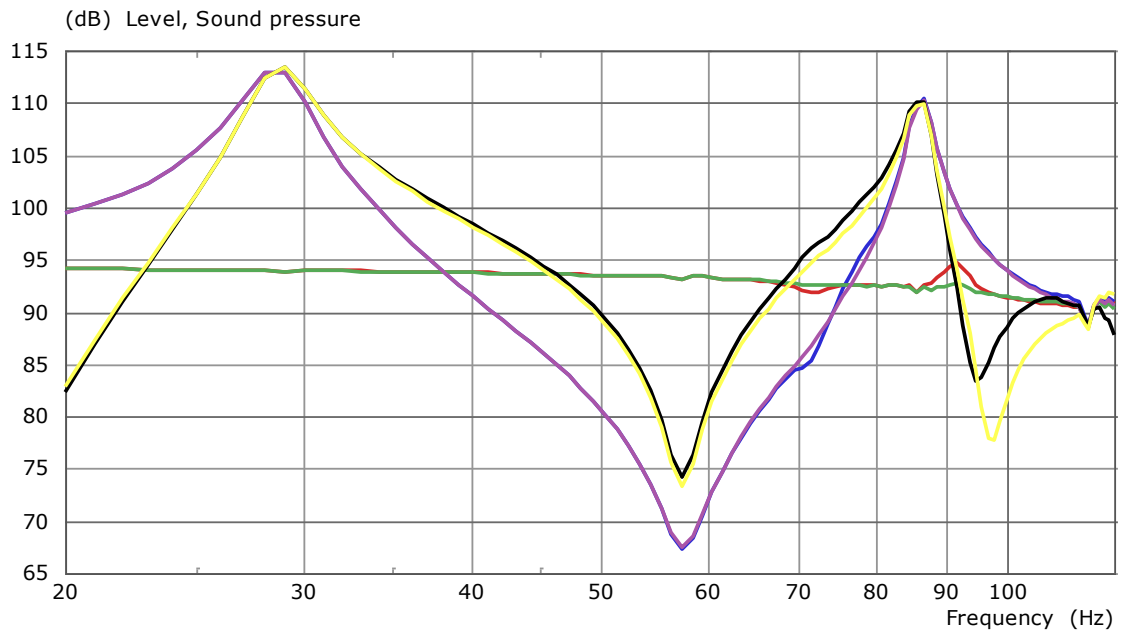


Abbildung 5: Messpunkt an der Rückwand

6.2. Verzögerung = $1 \times$ Raumlänge

Wenn die Verzögerung nur der einfachen Raumlänge entspricht, löschen sich in der Längsmittle alle Moden aus. Im Rest des Raumes sind sie dagegen maximal ausgeprägt.



7. Effizienzoptimiertes DBA

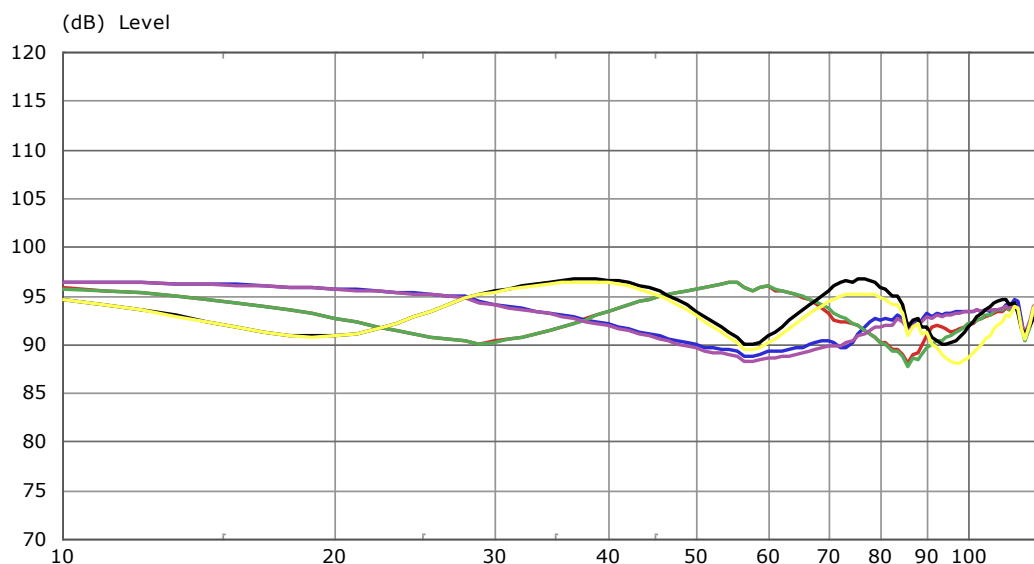
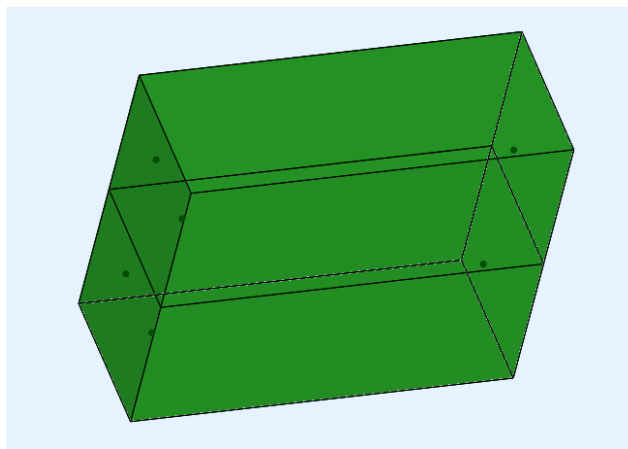
Im Folgenden wird die reduzierte DBA-Anordnung aus 4.2 simuliert und beide Gitter mit Kompensationssignalen belegt. Es handelt sich also um eine Mischung aus DBA und Pseudo-DBA. Das hintere Gitter kompensiert die Moden nur teilweise. Das vordere kompensiert den Rest.

Vorderes Gitter (4 Treiber):

- Nutzsignal (0 dB)
- Kompensationssignal (Pegel: -6 dB, Verzögerung: 2-fache Raumlänge)

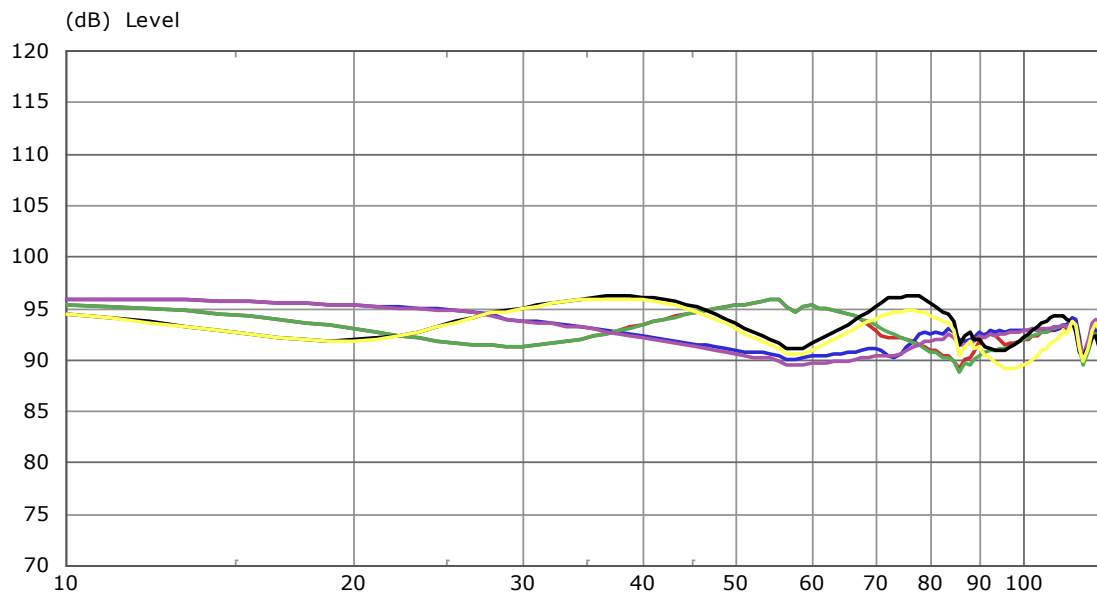
Hinteres Gitter (2 Treiber):

- Kompensationssignal (Pegel: 0 dB, Verzögerung: 1-fache Raumlänge)



Mit dieser Anordnung wird der Kammfilter des Pseudo-DBAs stark abgeschwächt, bleibt aber vorhanden. Das vordere Gitter muss bis zu 3,5 dB des Maximalpegels (begrenzt durch den Hub) für das Kompensationssignal reservieren. Damit ist es effizienter als das reduzierte DBA aus 4.2, bei dem der Maximalpegel bis zu 6 dB durch das hintere Gitter reduziert wird. Die Werte können allerdings in realen Räumen durch die Dämpfung etwas geringer ausfallen.

Noch etwas effizienter wird es, wenn beide Gitter denselben Gesamtpegel erzeugen, also zeitgleich limitieren. Das wird erreicht, indem der Pegel des hinteren Gitters um 1,75 dB erhöht wird und der Pegel des vorderen Kompensationssignals dementsprechend um 1,75 dB reduziert wird. Somit ergibt sich insgesamt ein Verlust an Maximalpegel von bis zu 3 dB. Der Kammfilter wird durch diese Maßnahme noch etwas reduziert.



8. Richtungsoptimiertes DBA für Mehrkanalsysteme

Bei Mehrkanalsystemen (Surround) mit Lautsprechern im „Small“-Betrieb (also Umleitung des Basses auf den Subwoofer) führt ein DBA zu dem Problem, dass die Lokalisation des Basses immer aus Richtung des primären Gitters wahrgenommen wird. Also in der Regel von vorne. Das passt zwar zu der Lokalisationsrichtung der drei Frontlautsprecher, aber nicht zu der der Surroundlautsprecher.

Um das zu verbessern, kann mit den vorhandenen Tieftongittern ein zweites DBA erzeugt werden. Bei diesem ist das primäre Gitter das hintere und das vordere sorgt für die Auslöschung. Die Richtung korreliert damit viel stärker zu der der Surroundlautsprecher.

Hinweis: in den folgenden Zeichnungen für ein 7.1-System sind die Tieftongitter nicht enthalten, sondern nur die Richtung des von ihnen erzeugten Schalls.



Abbildung 6: Richtung des Tieftons vom Signal der Frontkanäle

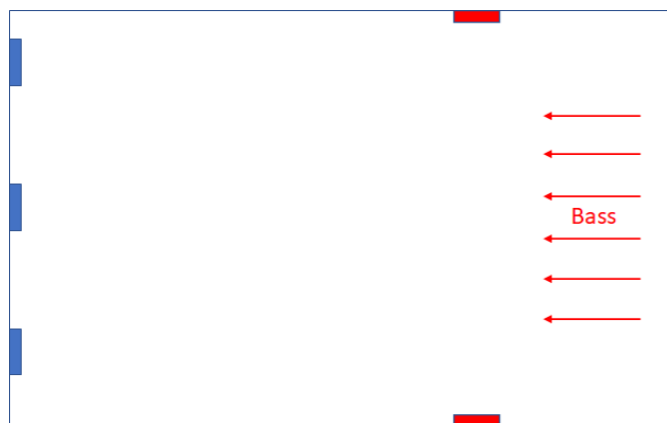


Abbildung 7: Richtung des Tieftons vom Signal der Surroundkanäle

Die Signale für beide DBAs können in einem frei konfigurierbaren DSP erzeugt und addiert werden. Die summierten Signale werden am Ende auf die beiden Tieftongitter gelegt.

Routing für das vordere DBA: L, C, R, LFE

Routing für das hintere DBA: SL, SR, SBL, SBR

Da nun bei entsprechendem Quellmaterial auch zwei DBAs im Raum gleichzeitig aktiv sein können, ergibt sich das Problem, dass die Addition nur in einer Ebene rein konstruktiv ist. Diese wird normalerweise in einem Heimkino über die Anpassung von Verzögerungen auf die 1. Sitzreihe gelegt.

Für alle anderen Ebenen erzeugen die beiden ebenen Wellen auch destruktive Interferenzen. Allerdings ist das Problem eher zu vernachlässigen, da die Surroundkanäle selten Tiefton mit hohem Pegel enthalten. Der Vorteil der verbesserten Lokalisation der Surroundkanäle überwiegt deutlich.

9. Doppel-DBA

Es kam die Idee auf, beide DBAs aus Kapitel 8 für den gesamten Bass zu nutzen, um einen höheren Maximalpegel zu erzielen. Die Idee unterliegt allerdings einem Denkfehler. Denn bei einem herkömmlichen DBA müssen die Treiber im hinteren Gitter praktisch dieselbe Auslenkung erzeugen wie die im vorderen. Damit ist die mechanische Grenze bezüglich der Auslenkung gleichzeitig erreicht. Eine Reserve existiert nicht. Wird nun das Signal des zweiten DBAs dazu addiert, so nimmt auch die Auslenkung entsprechend zu. Im schlechtesten Fall handelt es sich um eine Addition von +6 dB, was eine Verdopplung der Auslenkung bedeutet. Der Maximalpegel kann somit nicht erhöht werden.

Weiterhin erzeugen zwei gegenüberliegende DBAs nur in einer Ebene eine rein konstruktive Interferenz. In einem Heimkino entspräche das genau einer Sitzreihe. Davor und dahinter ergeben sich Auslöschungen. Im Folgenden sind zwei Beispiele für verschiedene Verzögerungen des hinteren DBAs zu sehen.

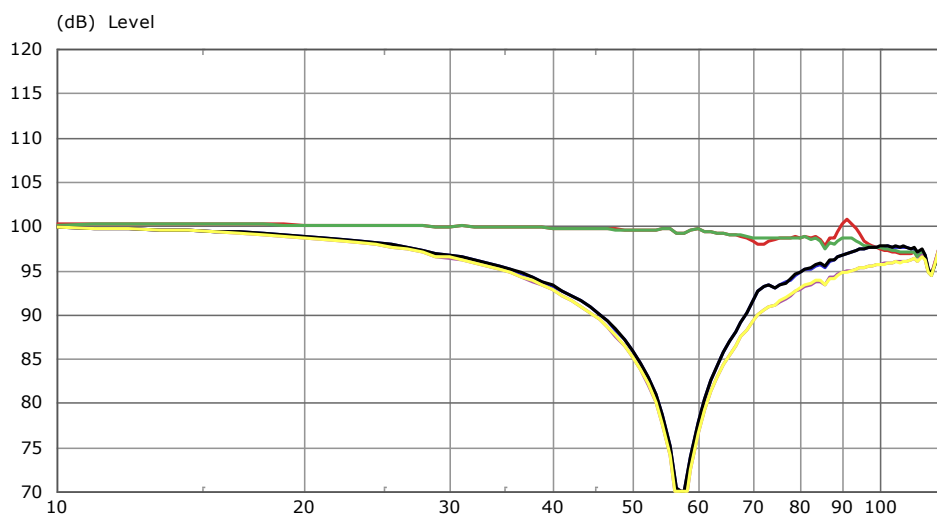


Abbildung 8: Verzögerung für $\frac{1}{2}$ der Raumlänge

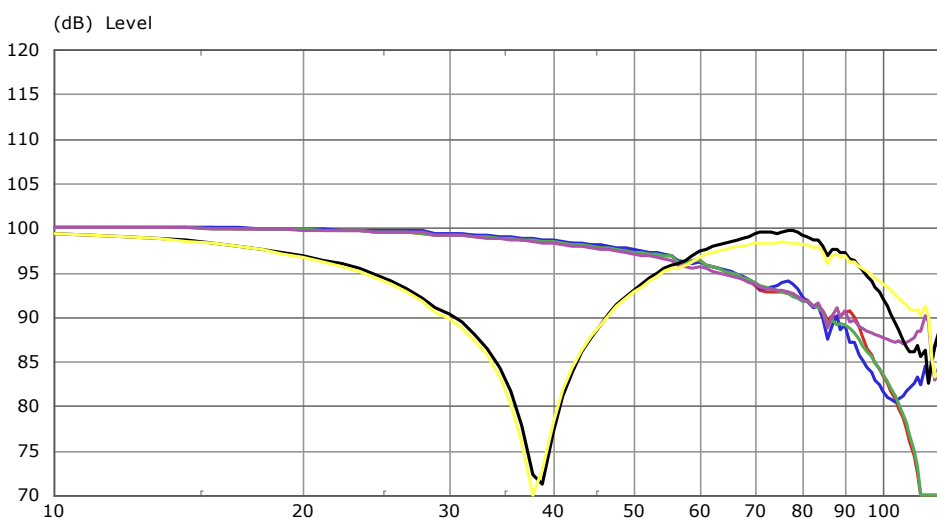
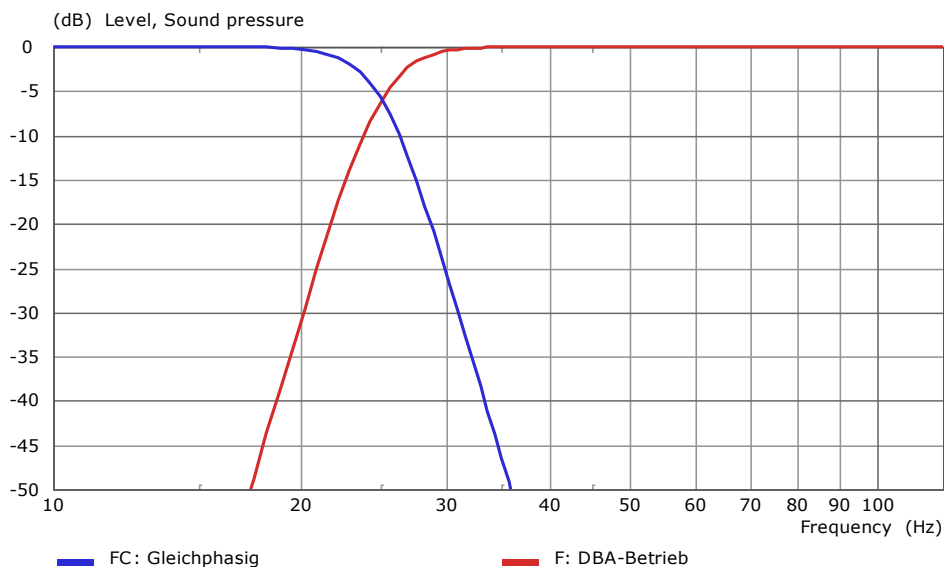


Abbildung 9: Verzögerung für $\frac{1}{4}$ der Raumlänge

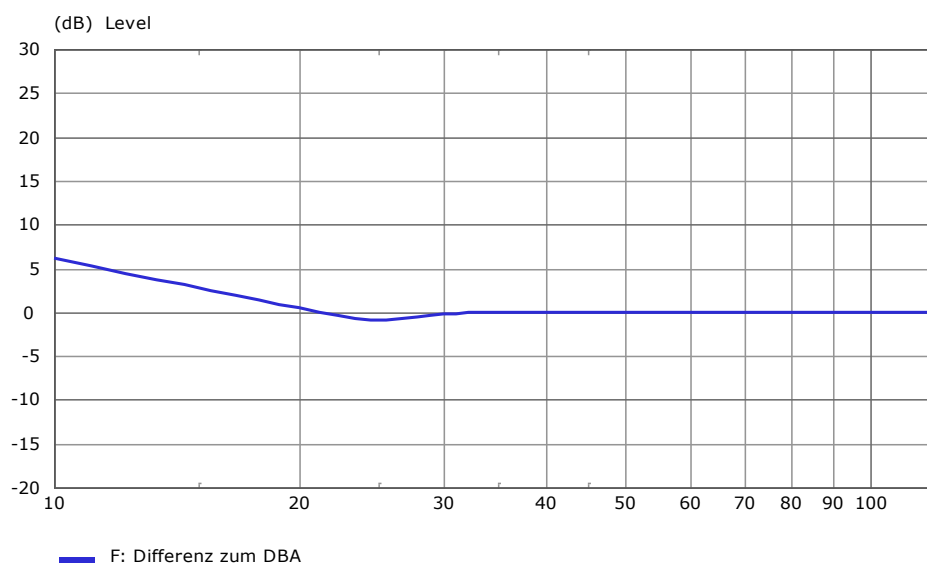
10. Optimierte Ansteuerung unterhalb der 1. Längsmode

Unterhalb der 1. Längsmode ist die aktive Auslöschung an der Rückwand nicht mehr notwendig. Das hintere Tieftongitter kann in diesem Frequenzbereich gleichphasig und ohne Verzögerung betrieben werden. Das hat den Vorteil, dass der Maximalpegel steigt.

Im Folgenden wurde simuliert, dass das hintere Tieftongitter unterhalb von 25 Hz gleichphasig und ohne Verzögerung angesteuert wird und über 25 Hz der aktiven Auslöschung dient. Beide Signale wurden summiert und auf das hintere Gitter gelegt. Die Trennung erfolgt mit 8. Ordnung.



Anschließend wurde die Differenzkurve zum vollständigen DBA an einem der Messpunkte erzeugt. Es zeigt sich, dass der Gewinn an Schalldruckpegel erst ab ca. 20 Hz einsetzt und zu tiefen Frequenzen hin steigt. Bei 10 Hz werden ca. +6 dB im Vergleich zum vollständigen DBA erreicht. Somit hält sich der Nutzen im relevanten Übertragungsbereich in Grenzen.



11. Fazit

Die 1. Längs- und Breitenmoden werden von allen Anordnungen komplett ausgelöscht.

Die reduzierten Anordnungen 4.2 und 4.4 funktionieren fast genauso gut wie die komplette DBA-Anordnung. Das heißt, dass bereits mit zwei Treibern pro Gitter sehr gute Ergebnisse erzielt werden können.

Für Stereophonie und einen einzelnen Sitzplatz entlang der Längsachse des Raumes lassen sich bereits mit 2 Treibern sehr gute Ergebnisse erzielen. Hier scheint 5.2 außerhalb der Längsachse die geringsten Abweichungen zu erzeugen.

Für Mehrkanalsysteme wurde eine Möglichkeit aufgezeigt, die Lokalisation im Small-Betrieb zu verbessern.

Weiterhin kann die hintere Gitterdichte geringer ausfallen als die vordere. Da in vielen realen Wohnräumen der Pegel des hinteren Gitters ohnehin abgesenkt werden kann, können die Kosten der Gesamtanordnung somit optimiert werden.