PERFEKTER BASS – BERICHT UND ANLEITUNG

# DOUBLE BASS ARRAY – EINE ANLEITUNG

SEBASTIAN HENNIG

# *Einleitung*

Der Traum vom linearen Frequenzgang – fast jeder, der sich für hochwertige Musik- und Filmwiedergabe interessiert, hat ihn. Irgendwo muss man damit anfangen, dachte ich mir letztes Jahr im Frühling. Über mehrere Jahre hatte ich eine Odyssee hinter mir, um den perfekten Heimkino- und Musikklang im heimischen Wohnzimmer zu ermöglichen. Zwar habe ich ein ziemlich kompromisslose und technische Einrichtung, trotzdem sollte der Raum für meine Verhältnisse wohnlich bleiben. Ein paar kleinere Absorber für die Frequenzen darüber sind zwischenzeitlich eingezogen. Doch der Bass blieb nahezu unangetastet. Da der Bassbereich nur extrem schwer zu linearisieren ist, wollte ich sehen, wie ich dort, ohne mehrere Kubikmeter Absorbermaterial einsetzen zu müssen, zu einem hochwertigen Ergebnis komme. Also beschäftigte ich mich intensiv mit dem DBA. Ich kam zu dem Schluss, dass ich das Ganze versuchen wöllte, auch ohne, dass es ausführliche Anleitungen gäbe. Damit Gleichgesinnte es einfacher haben, habe ich beschlossen, das ganze Projekt ausführlich zu dokumentieren. Mir ging es in erster Linie um eine lineare Basswiedergabe, da ich fast ausschließlich Filme schaue.

Natürlich haben mir eine Reihe von Leuten geholfen, bei denen ich mich an dieser Stelle bedanken möchte. Vielen Dank an Thomas Brand für ein Spitzenhörerlebnis in seinem Raum, Hilfestellungen bei der Auswahl und Konfiguration der Subwoofer. Danke auch an Magnus Raabe von MR-Akustik, für weiterführende, raumakustische Hilfestellungen bei immer wieder auftretenden theoretischen und praktischen Problemen. Weiterhin möchte ich der Firma Nubert für Ihre tollen Produkte, eines der nettesten Foren im deutschsprachigen Raum und den erstklassigen Service danken. Ein spezieller Dank geht an Herrn Martin Bühler, einen der Verkaufsleiter bei der Nubert electronic GmbH und ebenso an Herrn Christoph Meiler, die mir ebenfalls immer mit Rat und Tat zur Seite standen.

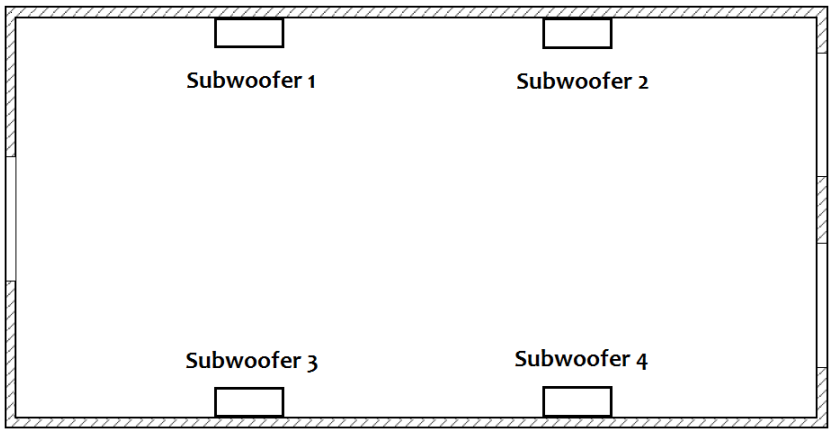
# *Grundlagen*

## *Was ist ein DBA?*

"DBA" ist die Kurzform für Double Bass Array. Es beschreibt den theoretischen Aufbau von 4 oder mehr Subwoofern, um eine homogene und regelmäßige Anregung des Basses am Hörplatz und im gesamten Hörraum zu ermöglichen. In der kleinsten Ausbaustufe sind dafür 4 Subwoofer nötig, die am Besten wie in der folgenden Skizze 1 zu sehen ist, aufgebaut werden. Ein DBA lässt sich beliebig erweitern und komplexer gestalten. Der Bass wird immer besser angeregt, der Aufwand steigt aber überproportional im Vergleich zum Nutzen.

**Voraussetzungen**:

- Mindestens 4 Subwoofer
- Einen DSP (Digitaler Signal-Prozessor, siehe nächste Seite), bei dem eine Verzögerung (Delay) und eine Invertierung des Signals einstellbar sind
- Ein Raum, der die ensprechende Aufstellung zulässt (siehe Skizze 1)




Skizze 1: Hier sieht man die Grundriss-Skizze für einen Raum mit idealem DBA: Die Grundfläche ist rechteckig und die Membranen der Subwoofer befinden sich auf 1/4 und 3/4 der Raumbreite (und idealerweise an der Kopf- und Rückwand des Raumes). Die Subwoofer sind eingedreht, damit die Membranen so dicht wie möglich an der Wand stehen. Das regt den Raum und die Moden maximal an. Dadurch kann man die Raummoden maximal auslöschen. Wellenberge und -täler gleichen sich somit bestmöglich aus.

## *Warum ein DBA?*

Ein DBA ist eine Möglichkeit, den Bass regelmäßig anzuregen und dabei nicht nur an einer festen Hörposition ein ideales akustisches Erlebnis zu gewährleisten. Auf theoretischer Ebene kann man so alle Raummoden (unter perfekten Bedingungen) auslöschen oder zumindest stark bändigen.

## *Kostenpunkt*

Je nachdem mit welcher Lautstärke man hören möchte, oder ob der DSP[1] direkt im Subwoofer integriert sein soll, muss man unterschiedlich viel Geld einplanen. In der Regel wird man aber den Preis von 4 Subwoofern + externen DSP zahlen müssen. Dadurch kommen sehr schnell 4-stellige Beträge zustande. In meinem Fall (Subwoofer mit integriertem DSP) ist 4-mal ein AW-1300 zum Einsatz gekommen, mit dem sich die Gesamtkosten auf runde 4800 € belaufen.

[1] Ein DIGITALER SIGNALPROZESSOR (engl. digital signal processor, DSP) dient der kontinuierlichen Bearbeitung von digitalen Signalen (z.B. Audio- oder Videosignale) durch die digitale Signalverarbeitung. (aus: `http://de.wikipedia.org/wiki/Digitaler_Signalprozessor`)

## *Nubert NuLine AW-1300*

Der Nubert NuLine AW-1300 bietet für 1185 € alles was man für ein DBA braucht. Mit einer unteren Grenzfrequenz von 24 Hz bei -3 dB ist er auch mehr als heimkino- und musiktauglich. Die Einstellungen lassen das einfache und schnelle Konfigurieren mittels DSP zu.
Die bidirektionale Fernbedienung erleichtert die Steuerung enorm.
Erhältlich ist der AW-1300 in 5 Farben unter: http://www.nubert.de.

Abb. 1: AW-1300, schwarz.

**Fakten**:

- Aktiver Subwoofer mit 440 Watt Endstufe
- 24–150 Hz bei −3 dB
- DSP-Elektronik für vielfältige Klangoptimierung
- Komfortable, bidirektionale Funkfernbedienung
- 2 leistungsfähige 22-cm-Longstroke-Chassis für beeindruckenden Tiefgang

**DSP im AW-1300**:

- Flexibler Tiefpassfilter (Einstellung der oberen Grenzfrequenz) zur Anpassung an kleine Satelliten- oder große Standlautsprecher
- Flexibler Hochpassfilter (Einstellung der unteren Grenzfrequenz) als Subsonic-Filter und zur Kompensation des Druckkammereffekts in kleineren Räumen
- Delay-Funktion und Polaritätsumkehr für perfekten Gleichtakt mit den anderen Boxen des HiFi- oder Surround-Systems
- Ausgang mit variablem Hochpass (untere Grenzfrequenz) zur Entlastung der Satelliten im Bassbereich

## *Externer vs. interner DSP*

Ein interner DSP hat einige Vorteile:

- Die Einstellungen sind 100 % mit den Subwoofern kompatibel (Man kann davon ausgehen, dass das Signal korrekt invertiert wird)
- Das DBA ist autonom
- Korrekte Master–Slave-Ansteuerung
- einfacheres Handling möglich (alle Einstellungen (Lautstärke/Phase) in einem Menü)

Nachteile:

- Ist der Master-Subwoofer defekt, muss man nach Austausch alle Subwoofer neu konfigurieren
- ein interner DSP kostet in der Regel im Vergleich zum DSP-losen Pendant einen Aufpreis

Die Nachteile des internen DSP sind die Vorteile des Externen. Dazu kommt noch der Nachteil, das ein schlechter Rauschabstand des externen DSP sich evtl. negativ als Brummen oder Rauschen bemerkbar machen kann.

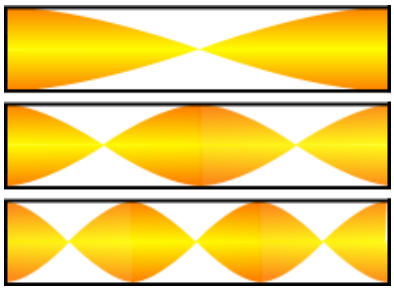
# *Theorie*

## *Raummoden*

Raummode ist ein Fachbegriff der Akustik. Er beschreibt stationäre Eigenschaften stehender Wellen[2] mit einer Eigenfrequenz in geschlossenen Räumen, wobei vor allem die Auswirkung auf den Höreindruck der darin befindlichen Menschen von Interesse ist.

[2] Eine stehende Welle entsteht, wenn eine Schallwelle zwischen zwei parallelen Wänden reflektiert wird. Für Größenordnungen typischer Wohnräume (2,5–10 m) gilt dies für Frequenzen zwischen ∼ 17 und 170 Hz. Der eingehende Schall und der reflektierte Schall addieren und überlagern sich. An den Wänden herrscht dabei immer maximaler Schalldruck, was man an den Druckbäuchen in Skizze 2 erkennen kann.

Die Wellen sind in diesem Zusammenhang ausschließlich akustische Schallwellen. Die Luft in Hohlräumen kann mit verschiedenen Eigenfrequenzen schwingen. Eine Raummode ist dabei eine den Raum ausfüllende Eigenform der Luft während sie mit einer Eigenfrequenz schwingt. Die Schwingung pendelt dabei zwischen zwei gegensätzlichen Auslenkungszuständen. Die Raummoden zeigen also, wo sich im Raum Schwingungsknoten und Schwingungsbäuche bei bestimmten Eigenfrequenzen im Raum ausbilden. Für den Beobachtungszeitraum wandert die Welle nicht mehr durch den Raum, sondern hat feste Amplituden-Maxima und -Minima. Die Schwingungsknoten sind Nullstellen der Amplitude, das heißt, an der Stelle, an der ein Knoten auftritt, ist keine Auslenkung. Bei Räumen gibt es sechs Freiheitsgrade für Eigenschwingungen, was zu einer mehrdimensionalen Zusammensetzung der möglichen Eigenfrequenzen und deren Schwingungsformen führt. Grundsätzlich wird die Anzahl der maximal möglichen Freiheitsgrade durch die herrschenden Zwangsbedingungen wieder reduziert. Die Freiheitsgrade für Moden in Räumen lassen sich für Berechnungen in guter Näherung auf drei begrenzen.



Skizze 2: Die Skizze zeigt die ersten 3 Raummoden zwischen zwei harten Wänden.

In der Praxis bedeutet dies, dass zum Beispiel für Wohnräume mit Hifi-Anlagen der Höreindruck sich mit der Hörposition im Raum ändert. Abhängig von der Raumakustik bilden sich speziell bei üblichen Wohnraumabmessungen einige Wohnraummoden im tiefen Frequenzbereich aus, die sehr störend wirken können. Von vorrangiger Bedeutung sind jene Moden, die am stärksten ausgebildet sind. (aus: `http://de.wikipedia.org/wiki/Raummode`)

## *Wie wirkt sich das in der Praxis aus?*

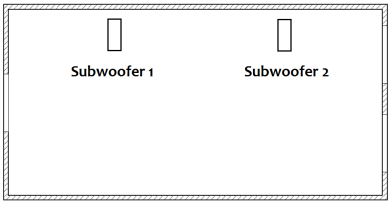
Zur einfacheren Vorstellung zunächst eine Analogie zum Wasser:

Wirft man einen Stein in Wasser breiten sich Wellen in alle Richtungen gleichmäßig aus. Das ist der Idealzustand auch für Schall, hier heißt das Ganze "Freifeld". Hat man hingegen eine Kaffeetasse, in die man ein Zuckerstück wirft, werden vom Rand die Wellen reflektiert und es gibt Täler und Berge. Genau diesen Zustand hat man in jedem Raum mit einem Subwoofer: Die Wellen werden reflektiert und schaukeln sich zu Bergen oder Tälern auf, einige passen genau in den Raum, weil ihre Länge ein ganzzahliger Bruchteil der Raumlänge ist. Das sind stehende Wellen, im der Raumakustik "Raummode" genannt. Durch geschickte Aufstellung kann man die meisten Raummodengleichmäßiger anregen oder sogar fast auslöschen (Erfahrungsgemäß haben sich die 1/4- bzw. 1/5-Regeln bewährt).

Nimmt man nun mehrere Stücke Zucker und wirft sie in die Kaffeetasse: Einige Wellen überlagern sich so, dass keine Berge und Täler mehr entstehen oder sich die Frequenz verschiebt. Beim Prinzip des SBA[3] wirft man die Zuckerstücke an definierten Punkten in die Tasse, um gezielt in einer Raumrichtung die Berge und Täler zu vermeiden (Raummoden).

[3] Single Bass Array, 2 Subwoofer stehen in der Front des Raumes und sollen (mit geeigneter Bedämpfung der Rückwand) ein harmonisches, modenfreies Anregen der Bassfrequenzen ermöglichen.

Einen Schritt weiter geht das DBA: Hier werden vorn und an der Rückseite je 2 Subwoofer aufgestellt (oder auch beliebig mehr) und die hinteren bekommen ein invertiertes Signal mit Verzögerung. Für die praktische Vorstellung eignet sich hier ein Schwimmbad besser, als eine Kaffeetasse (wo sollen die ganzen Zuckerstücke dann auch hin).




Skizze 3: Die Skizze zeigt die Aufstellung eines klassischen SBAs.

Angenommen 4 Turmspringer, an je 2 gegenüberliegenden Seiten des Beckens, sollen ins Wasser springen. Springen alle zugleich, erhält man in der Mitte des Beckens die größtmögliche Welle, die unerwünschte Raummode also. Lässt man hingegen 2 Springer auf einer Seite leicht zeitverzögert in das Becken springen (und zwar so, dass genau dann, wenn die Welle das gegenüberliegende Ende erreicht, die anderen Springer eintauchen), so kann man im Bestfall die Raummode eliminieren, oder zumindest viel weniger anregen. Jetzt ist das sicher für die Turmspringer eine nicht zu unterschätzende Herausforderung, für Subwoofer zum Glück nicht. Denn ein geeignetes Gerät kann die Verzögerung und Invertierung des Signals bereitstellen. Im besten Fall ist das Ergebnis eine glatte Wasserdecke, ohne Berge und Täler.

# *Bericht zu meinem DBA*

Schon länger hatte ich Überlegungen zum DBA angestellt. Da mein Wohnzimmer nicht allzu groß ist, ließ sich mit meiner Standbox-Kombination (2 × NuLine 284) zwar ein halbwegs brauchbares Ergebnis mit 1/4–1/5 Aufstellung erzielen. Allerdings war das am Hörplatz immer nur ein Kompromiss, und ich hatte nur die Wahl, die eine Mode mehr und die andere weniger anzuregen.

Danach war die Überlegung, ein SBA (zumindest ein SBA ohne massive Dämmung der Rückwand) umzusetzen. Dazu kaufte ich 2 gebrauchte AW-1000, die im Stereobetrieb ab 50 Hz und im Filmbetrieb im Vollbereich eingesetzt wurden. Als Übergangslösung war das in Ordnung, die 42 Hz Mode wurde jedoch weiterhin voll angeregt, was zu teilweise unerträglichen Filmsequenzen führte, in denen es so schien, als würde das ganze Wohnzimmer vibrieren. Tatsächlich war die 42 Hz Mode mit ca. 10 dB über normal angeregt, das ist ein über 2-facher Pegel in diesem Bassbereich und damit absolut nicht akzeptabel (siehe Abb. 3). Der DSP im Yamaha konnte nicht dazu genutzt werden, die Mode abzusenken[4].

Es blieben mir nun fünf Optionen:

1. Hörplatz ändern
2. Subwoofer ändern
3. DBA + externer DSP
4. DBA + interner DSP
5. auf Subwoofer verzichten und nur auf Körperschallwandler setzen

1. funktioniert aufgrund der Raummaße und der verhältnismäßig großen Couch nicht. 2. & 3. waren ernsthafte Möglichkeiten, aber kein mir bekannter Subwoofer ohne DSP ermöglicht bei 40 Hz eine extrem starke Absenkung.

Ich hatte auch schon 4 Subwoofer einer schwedischen Lautsprechermarke vorbestellt, die mich als Neuware insgesamt 2200 € gekostet

Abb. 2: Nubert NuLine 284, schwarz.

**Fakten**:

- 1 × Hochtöner 26 mm, 1 × 123 mm Mitteltöner, 3 × 150 mm Longstroke-Tieftöner
- 33–23000 Hz bei −3 dB
- Musikbelastbarkeit: 450 Watt

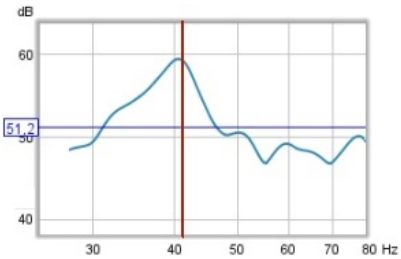



Abb. 3: Frequenzüberhöhung am Hörplatz mit SBA. Die Raummode liegt bei ca. 42 Hz.

[4] Die PEQ des Yamaha AV-Receivers haben im Bereich von unter 80 Hz leider nicht mehr die erhoffte Wirkung gezeigt (darüber hingegen schon). So hat z.B. der Versuch, die 42 Hz-Mode um 12 dB abzusenken, lediglich eine 4 dB-Senkung im gemessenen Frequenzgang bewirkt.

hätten. Schlussendlich haben mich eine ganze Reihe von Gründen davon abgebracht, diese zu kaufen. Zum einen wurde der Termin immer und immer wieder nach hinten geschoben, was für mich als Kunden absolut inakzeptabel ist. (Man vergleiche Nubert: einmal angerufen, am nächsten Tag, waren die Subs da[5]. Dazu kam noch der moralische Bonus, dass man deutsche Arbeitsplätze unterstützt, wenn man Nubertprodukte kauft.) Dann wurde mir zu den Lieferverzögerungen auch noch mitgeteilt, dass man nur 2 Subs in der ersten Lieferung pro Kunde berücksichtigen konnte. Damit wäre aber kein DBA möglich gewesen. Weiterhin wurde mir vom Aufbau eines DBAs abgeraten, "da das in einem normalen Hörraum ohnehin nicht funktioniert". Auch hatte ich mit einem externen DSP an meinen beiden AW-1000 schon mit Knacken beim Einschalten und Brummgeräuschen im Leerlauf zu kämpfen.

Die Entscheidung gegen meine Vorbestellung und die zugehörige Stornierung und die Bestellung der AW-1300 erfolgte am selben Tag.

Die AW-1300 haben einen internen DSP, mit allen oben genannten Vorteilen und ermöglichen schnell und unkompliziert den Aufbau eines DBAs.

Eine weitere Option wäre das NuControl[6] mit 4 AW-1100 oder AW-1000 gewesen, was aber finanziell wohl noch belastender gewesen wäre, Vorteil: mehr Pegel, insbesondere bei 20 Hz. Da aber auch die Erscheinung der NuControl in den Sternen stand (da wurde das aber wenigstens von Anfang an so kommuniziert), fiel auch diese Lösung aus. Hier hätte ich aber aufgrund der verbauten Filter die Sicherheit gehabt, dass nichts brummt oder ähnliches.

5. war schlussendlich ein kurzer Versuch, der auch ganz gut funktioniert hat, aber mir einfach "zu wenig" war, daher ist es 4. geworden: 4 × AW-1300 kombiniert mit NuLine 24 Lautsprechern.

Das das DBA einiges bringt, war schon nach einer ersten groben Aufstellung sofort klar. Statt dem Mix aus Bassloch und Raummode, hatte ich fühlbaren, halbwegs gleichmäßigen Bass sofort am Hörplatz und auch an den meisten anderen Positionen des Raumes. Es war nicht mehr unbedingt ein Körperschallwandler[7] zum Fühlen der tieffrequenten Töne nötig. Dadurch, dass die Raummode nicht mehr den Bassbereich dominierte, waren auch sofort Details zu hören, die ich vorher so nicht wahrnahm.

Natürlich war das ganze noch weit weg vom Idealzustand, für ein "Auspacken, grob aufstellen und 2 Einstellungen im Menü machen[8]", war das aber mehr als in Ordnung.

[5] Nubert-Service: eine sehr kompetente Hotline (☎ 0800 6823780) steht jeden Tag der Woche von 10:00–18:00 Uhr und am Samstag von 9:00–13:00 Uhr zur Verfügung.

[6] Nähere Informationen zur im Frühjahr 2015 veröffentlichten nuControl finden sich unter: `http://www.nubert.de/downloads/nucontrol.pdf`.

Abb. 4: Nubert NuLine 24, schwarz.

**Fakten**:

- 2 × Hochtöner 19 mm, 1 × 123 mm Tieftöner
- 55—27000 Hz
- Musikbelastbarkeit: 170 Watt

[7] Kein Subwoofer im eigentlichen Sinne, aber dennoch verwandt, ist der Körperschallwandler. Er besteht aus einem oder mehreren schwingend gelagerten Gewichten und einer bzw. mehreren Spulen, welche die Gewichte zum Schwingen anregen. Körperschallwandler werden angewendet, um z. B. im Kino Explosionsszenen noch "lebendiger" zu gestalten, indem die Sitze zum Schwingen gebracht werden. In Heimkinos ist der Körperschallwandler noch wenig verbreitet. Der übliche Frequenzgang liegt bei 5 bis max. 45 Hz. (aus: `http://de.wikipedia.org/wiki/Subwoofer`)

[8] Einfach den Slave auf POLARITY "−" und das DELAY auf die Distanz der Subs vorne und hinten stellen (bei mir 4,0 Meter) (natürlich noch die Laustärke auf das selbe Level bringen).

# *Das DBA*

## *Einleitung*

Für ein DBA sollten sich die Subwoofer-Membranen auf 1/4 und 3/4 der Raumbreite befinden und die Chassis so wandnah wie möglich aufgebaut werden. Dadurch wird die Wirkung maximiert. Im Vergleich zum SBA vorher, habe ich sogar Raumplatz gewonnen, da die Subwoofer nicht mehr auf 1/4 der Raumlänge stehen und man daher 2 riesige Klötze mitten im Raum hat. Schlussendlich ist das DBA für mich wohnraumfreundlicher[9], auch wenn das zunächst paradox erscheint. Man kann das gut auf den folgenden Fotos sehen.

[9] Wie man in den Bildern sehen kann, ist der Subwoofer die unauffälligste Komponente des Heimkinos. Während die NuLine 24 prägnant den Raum dominieren, sind die Subwoofer wunderbar ins Ambiente integriert. Ein hoher WAF (Women Acceptance Factor) ist also ein netter Nebeneffekt.

Ich empfinde die AW-1300 mit Ihrer schlanken Bauweise als bedeutend formschöner, als den AW-1100 und die beiden AW-1000 zuvor. Auch die 2 Chassis lassen den Subwoofer viel mehr wie eine Standbox als wie einen Subwoofer erscheinen. Das alleine war schon ein optischer Zugewinn. Da für eine optimale Aufstellung die Subs an die Wand müssen, ist es zusätzlich von Vorteil, dass die Subs nicht so breit sind.

Abb. 5: AW-1100, schwarz.

**Fakten**:

- Aktiver Subwoofer mit 380 Watt Musikleistung
- 19–150 Hz bei −3 dB
- 1 × 310 mm Longstroke-Tieftöner

## *Aufstellung*

Für das DBA wurden die Maße 5,34 m × 4,10 m als Grundfläche benutzt. Man versucht, die Membranen möglichst wandnah zu stellen. Hier wird das durch eine parallele Aufstellung der Subwoofer zur Wand ermöglicht. Die Membranmitten der Subwoofer liegen bei 1/4 und 3/4 der Raumbreite. Damit sollten sich die Quermoden unter der Grenzfrequenz weitesgehend aufheben lassen.

Zur Anschauung kann man unten den Grundriss mit Subwoofern und meiner Hörposition sehen.

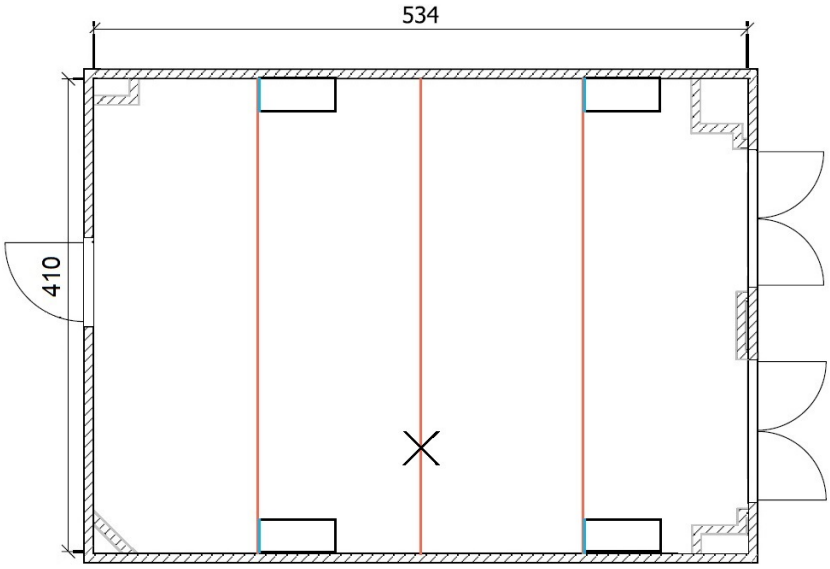



Abb. 6: Grundriss mit Subwoofern, vereinfachte Darstellung als Rechteck. Meine Hörposition liegt bei 2,67 m in der Breite und 3,20 m in der Länge. Die Positionen der Membranen sind blau markiert und die eigentlich vorhandenen Raumecken ausgegraut. Zusätzlich markieren die roten Linien die Positionen von 1/4 Raumbreite, 1/2 Raumbreite und 3/4 Raumbreite.

Als Einstellung in meinem AVR habe ich eine Trennfrequenz von 110 Hz vorgenommen, dadurch wird bis einschließlich der 3. Mode in Längsrichtung der Bass zufriedenstellend linearisiert. Die theroretische obere Wirkfrequenz liegt unter diesem Wert[10]. Subjektiv hat sich aber gezeigt, dass der Bassbereich mit höherer Trennfrequenz immernoch verbessert wiedergegeben wird. Die Einstellung im Subwoofer ist Vollbereichbetrieb bis 200 Hz. Durch die Anzahl der Subwoofer ist der Bass trotz dieser hohen Trennung nicht ortbar (auch subjek-

[10] Die theoretische obere Grenzfrequenz errechnet sich durch Betrachtung des Schallquellenabstands. Das DBA funktioniert theoretisch bis zu einer Frequenz, deren halbe Wellenlänge dem Abstand der Lautsprecher beziehungsweise deren Spiegelquellen zueinander entspricht. Bei einem Abstand von 2,5 Metern z.B. beträgt die Grenzfrequenz:

$$f = \frac{c}{2 \cdot \lambda} = \frac{343\,\mathrm{m\,s^{-1}}}{2 \cdot 2{,}5\,\mathrm{m}} = 68{,}6\,\mathrm{Hz}$$

Das größte Problem im Wohnraum, ist meistens der Abstand der Subwoofer zur Decke. Hier ergeben sich oftmals sehr große Distanzen zur Spiegelquelle, welche die Grenzfrequenz des DBAs theoretisch recht weit nach unten setzen. Der Abstand zur Decke beträgt bei mir 2,5 m. In der Praxis bekommt man oberhalb dieser Frequenz bekommt noch recht gute Basswiedergabe.

tiv für keinen der Besucher meines Kinos). Zusätzlich kommen im Subwoofer Equalizer-Einstellungen zum Einsatz.

Table 1: Verwendete Equalizer-Einstellungen im Subwoofer.

| EQ Nr. | Frequenz | $q$ | dB |
|---|---|---|---|
| 1 | 80 | 4,0 | +6 |
| 2 | 41 | 3,5 | −7 |
| 3 | 70 | 4,5 | −4 |

## *Messungen*

### *Glättung*

Die Glättung gibt an, wie sehr die Messergebnisse gemittelt werden. Damit werden Messfehler und nicht relevante Daten ausgefiltert. Der zugrunde liegende mathematische Algorithmus ist kompliziert und funktioniert nur, wenn man in etwa weiß, was man für ein Ergebnis darstellen will. Das ist im Bereich des Schalls aber einfach: Man will in etwa die Genauigkeit erreichen, die auch das menschliche Gehör erreicht. Laut Fachliteratur ist dies die 1/6 Glättung[11]. Diese sieht auch bedeutend besser aus als eine 1/24 Glättung, gut sieht man dies in Abbildung 7. Ich werde mich im Folgenden also auf die 1/6-Glättungen beziehen, da diese der Genauigkeit des menschlichen Gehör weitesgehend entspricht.

[11] A Goertz and M Laws. Meßtechnische Kriterien zur Beurteilung von PA-Lautsprechern und deren Bedeutung für die klanglichen Qualitäten. Technical report, AUDIO & ACOUSTICS CONSULTING AACHEN, 1998. URL http://www.ifaa-akustik.de/files/VDT98.pdf

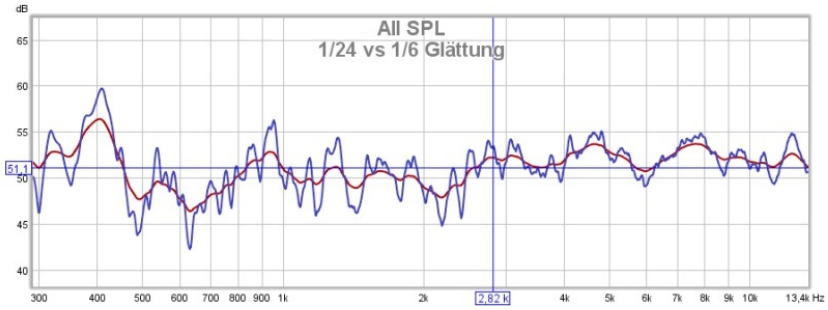



Abb. 7: Hier kann man die Unterschiede zwischen 2 Glättungen im Detail sehen. Rot ist die 1/6 Glättung und blau 1/24.

Die Auswahl hier zeigt nur die Wirksamkeit des DBAs im Vergleich zu den gängigsten Aufstellungsvarianten.

Nun zu den eigentlichen Messungen. Auf jedem Diagramm ist 110 Hz markiert, da dies die Trennfrequenz und damit den Übergang zu den Satelliten darstellt. Als erstes eine Messung des DBA "out-of-the-box": Man sieht sehr gut wie die Raummode bei 42 Hz extrem abgemildert wird. Auch der restliche Frequenzverlauf ist bis auf einen Abfall bei 80 Hz extrem linear.

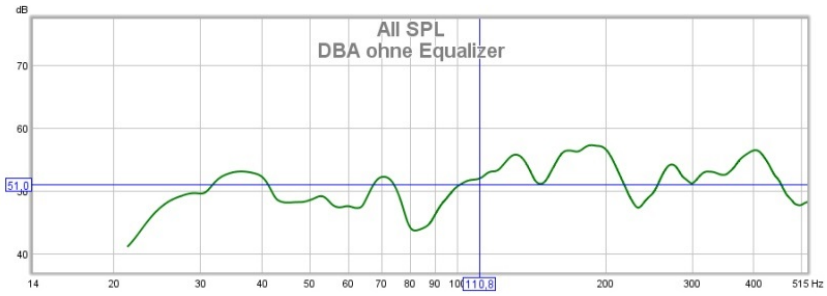



Abb. 8: Hier sieht man in grün den Frequenzganz des DBA ohne die eingestellten Equalizer. Damit kann man schon sehr zufrieden sein.

Danach war es mein Hauptinteresse, die restlichen Welligkeiten aus dem Frequenzdiagramm zu bügeln. Die verwendeten EQ-Einstellungen findet man in Tabelle 1.

Damit erreiche ich folgenden Verlauf.

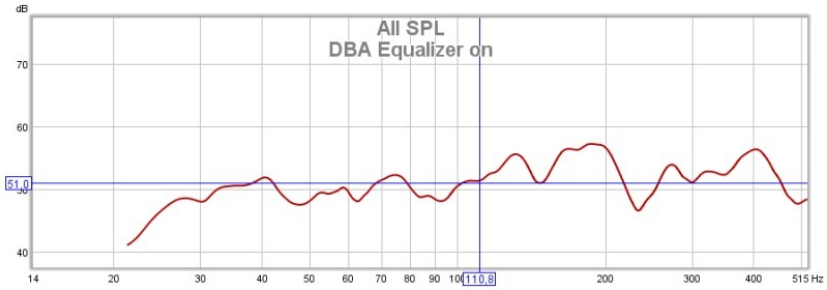



Abb. 9: Hier sieht man in rot den Frequenzganz des optimierten DBA. Sehr viel linearer geht es wohl in einem normalen Raum nicht. Die Abweichung beträgt nun weniger als $\pm 3$ dB.

## *Vergleich DBA mit anderen Aufstellungen*

Kommen wir nun zu einigen kurzen Vergleichen, mehr und ausführlichere Bilder finden sich im Anhang. Zunächst ein Vergleich zwischen dem DBA ohne Equalizer[12] und dem mit:

[12] Die verwendeten Equalizer-Einstellungen waren dabei stets gleich und sind in Tabelle 1 zu sehen.

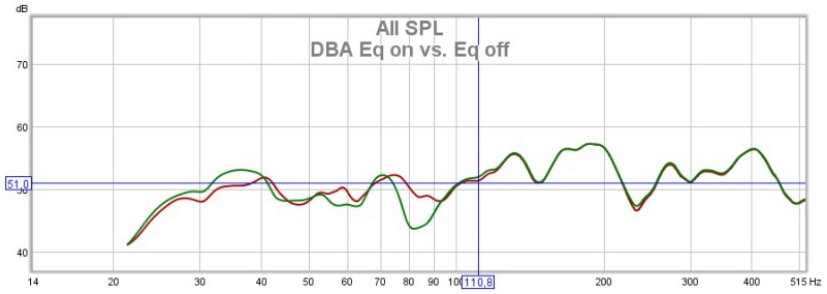



Abb. 10: In rot das DBA mit Equalizern an (und so, wie es derzeit in Verwendung ist) und in grün das DBA ohne Eingreifen. Man sieht noch einmal die deutliche Steigerung der Linearität durch den Equalizer.

Als nächstes habe ich das DBA mit der klassischen SBA-Aufstellung (2 × AW-1300 auf 1/4, 1/5-Aufstellung) verglichen:

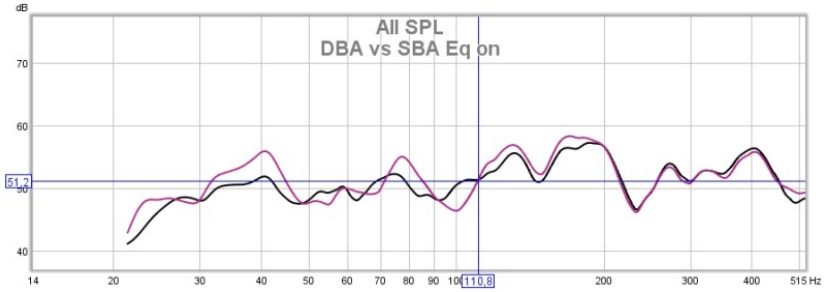



Abb. 11: In schwarz das DBA, in violett das SBA. Hier sind in beiden Fällen die Equalizer an, so bekommt man auch mit einem SBA relativ gute Ergebnisse. Die Raummode wird in erster Linie durch den Equalizer gemindert. Das DBA ist wieder klar linearer.

Wenn man sich das ganze ohne Equalizer ansieht, schneidet das SBA deutlich schlechter ab.

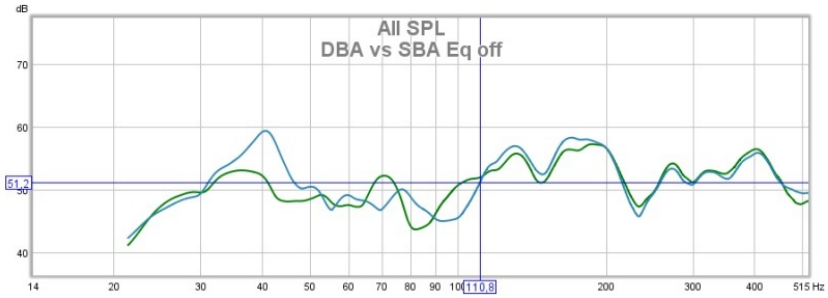



Abb. 12: In grün das DBA, in blau das SBA, jeweils ohne Equalizer. Die Raummode bei 42 Hz wird nahezu gar nicht gemindert. Auch ansonsten gibt es starke Abweichungen von einer linearen Kurve.

Nun der Vergleich zum Klassiker: Das DBA gegen einen einzelnen Subwoofer (AW-1300 af 1/4, 1/4-Aufstellung) mit Equalizer in beiden Fällen.

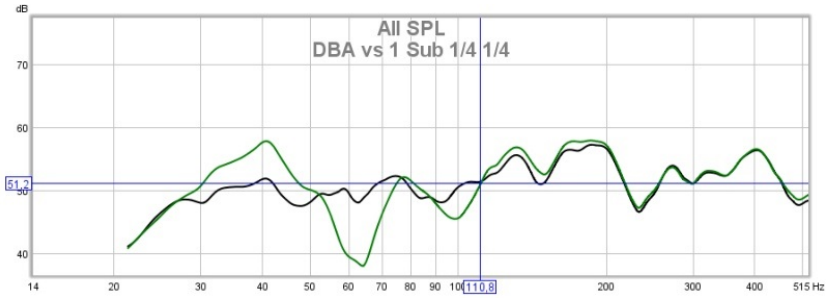



Abb. 13: Der einzelne Subwoofer (in grün) kann dem DBA (schwarz) nichts entgegensetzen. Eventuell könnte man mit ein wenig modifizierter Aufstellung und massiverem Equalizereinsatz noch etwas bewegen. Aber schlussendlich ist man schon mit Equalizereinsatz bei einer Differenz von 20 dB zwischen Raummode und Bassloch. Nicht gerade das, was man unter "linear" versteht.

Häufig liest man von der Empfehlung einer Diagonalaufstellung der Subwoofer, was bei mir allerdings zu einem der schlechtesten

Ergebnisse geführt hat. In der Regel sollte man dafür maximal anregen und dann verzögern und keine Invertierung verwenden. Diese Einstellungen habe ich berücksichtigt. Zunächst mit Equalizer dann ohne.

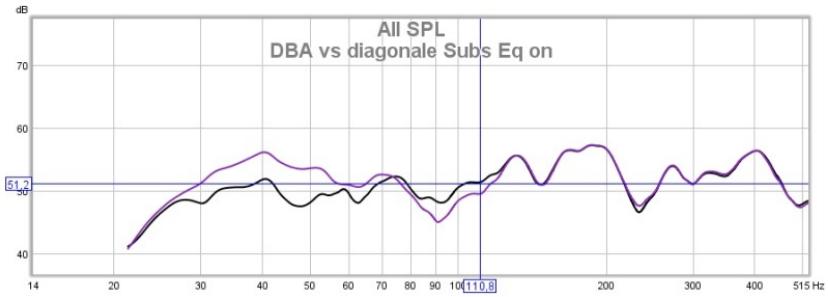



Abb. 14: In schwarz wird das DBA dargestellt in violett das Diagonal-Setup, Equalizer wurden aktiviert. Das Ergebnis sieht gar nicht so schlecht aus, bis auf die breite Überhöhung um die Raummode bei 42 Hz.

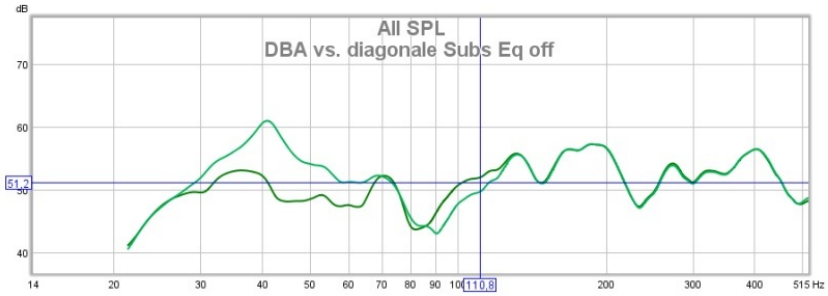



Abb. 15: In dunkelgrün das DBA in Hellgrün die Diagonal-Aufstellung. In beiden Fällen ohne Equalizer. Man sieht im Bereich um 80 Hz diesselbe Schwäche wie beim DBA, aber nur dass der Raummode bei 42 Hz nahezu nichts entgegengesetzt werden kann. Daher ist die Diagonal-Aufstellung nur mit Equalizern zu empfehlen.

Als letztes nocheinmal der komplette Frequenzgang in meiner jetzigen Konfiguration.

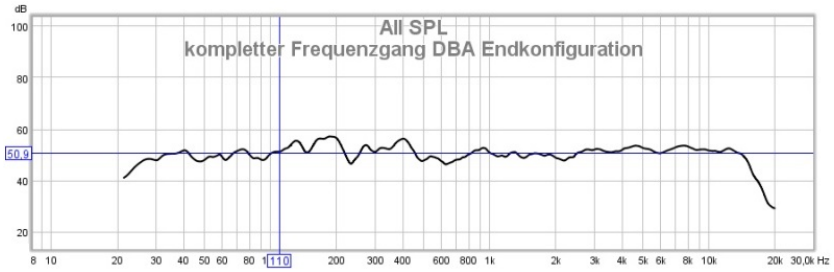



Abb. 16: In schwarz mein aktueller Frequenzgang. Man sieht gut, dass mein Messmikrofon ab 12–15 kHz nicht mehr viel taugt. Ansonsten bin ich sehr zufrieden, werde aber eventuell demnächst mit dem PEQ des Yamaha AVR noch die Frontboxen begradigen.

Weitere Messungen finden sich im anschließenden Anhang.

# *Schlussworte*

Begonnen habe ich mit dem Traum vom linearen Klang, im Bassbereich habe ich dieses Ziel für mich mehr als zufriedenstellend erreicht, das DBA hat meine Erwartungen von dröhnfreiem Bass mehr als erfüllt. In diesem Umfang wäre eine Linearisierung für meinen Hörraum mit keiner anderen Variante (wie diverse Messungen eindrucksvoll belegen) möglich gewesen. Daher bin ich froh, Subwoofer mit DSP, die das ermöglichen, zu besitzen.

Aber es geht immer noch besser, wie der Frequenzverlauf oberhalb der Trennfrequenz des DBA zeigt: Hier liegt noch viel Arbeit vor mir um die restlichen Raumeinflüsse zu mindern.

# *Anhang*

## *Einzelmessungen*

Alle Einzelmessungen, Beschreibung im Bild oder rechts daneben. Die Messungen sind nicht allgemeingültig, sondern nur für meinen Raum an meinem Hörplatz.

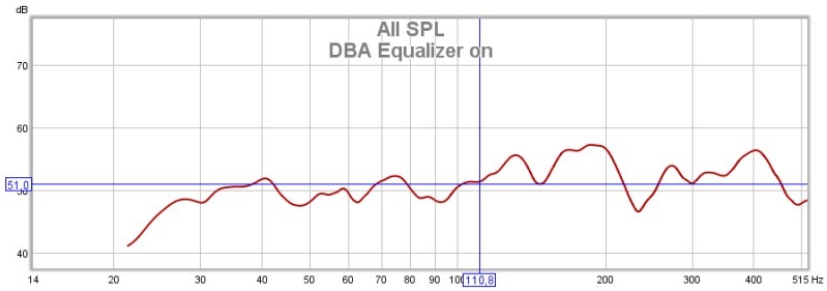



Abb. 17: Noch einmal das DBA mit allen Equalizern.

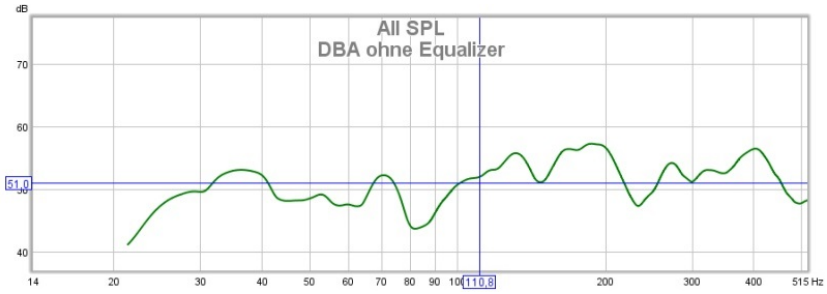



Abb. 18: Noch einmal das DBA ohne Equalizer.

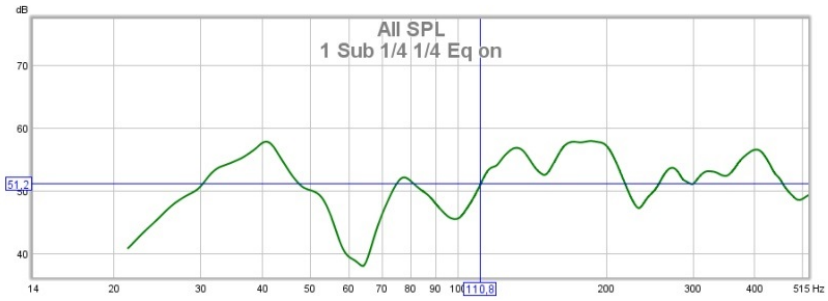



Abb. 19: Klassische Aufstellung auf 1/4 1/4 des Raumes mit Equalizern.

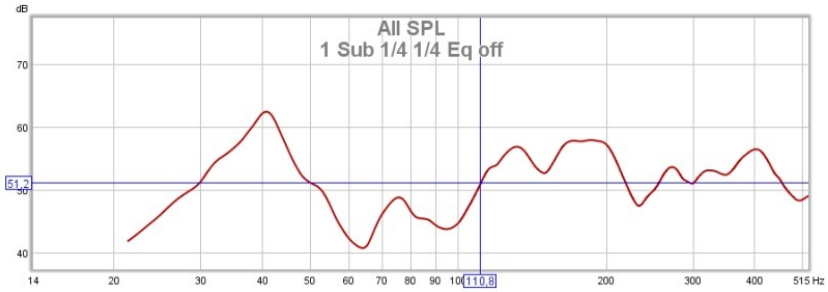



Abb. 20: Klassische Aufstellung auf 1/4 1/4 des Raumes ohne Equalizer.

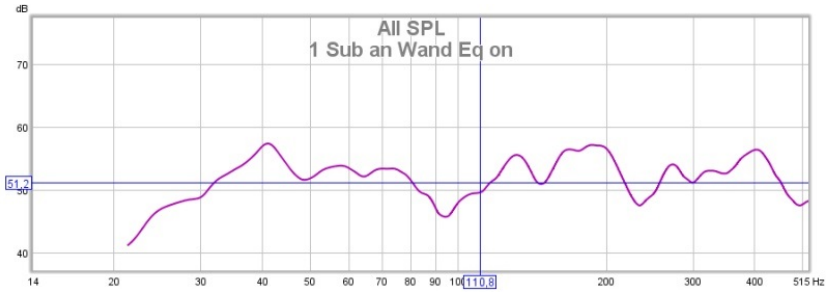



Abb. 21: 1 Subwoofer an der Wand mit Equalizern. Nicht allzu schlecht, aber auch nicht allzu gut.

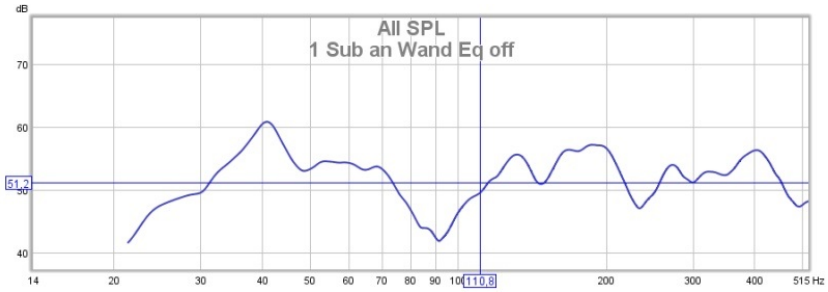



Abb. 22: 1 Subwoofer an der Wand ohne Equalizer. Höchste Anregung der Mode. Ein gutes Beispiel wie man einen Subwoofer nicht platzieren sollte.

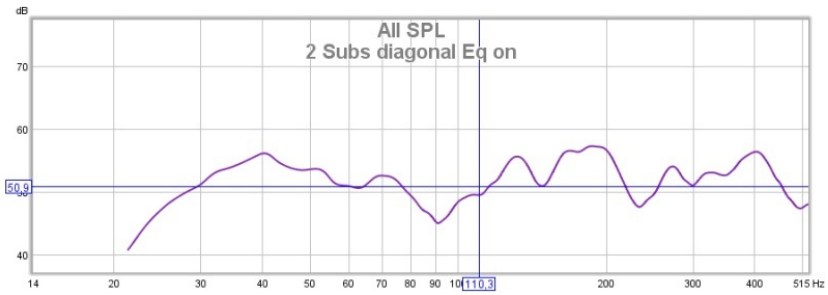



Abb. 23: 2 Subwoofer diagonal aufgestellt. Equalizer wurden aktiviert. Das Ergebnis sieht halbwegs in Ordnung aus. Die Equalizer sorgen für ein eindeutige Verbesserung.

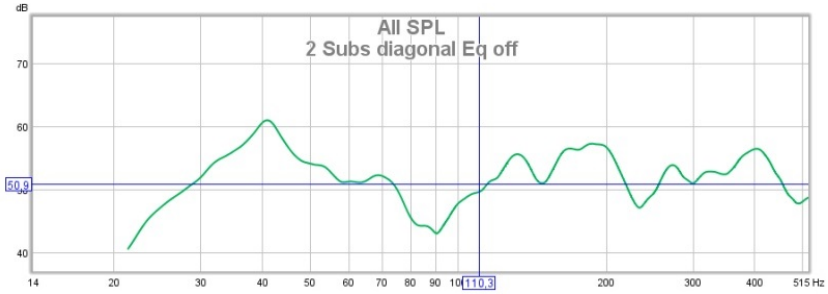



Abb. 24: Immer wieder empfohlene Variante für gleichmäßige Bassanregung. Dafür sollte dann aber der Hörplatz auch stimmen, ansonsten einer der schlechtesten Frequenzgänge im Test.

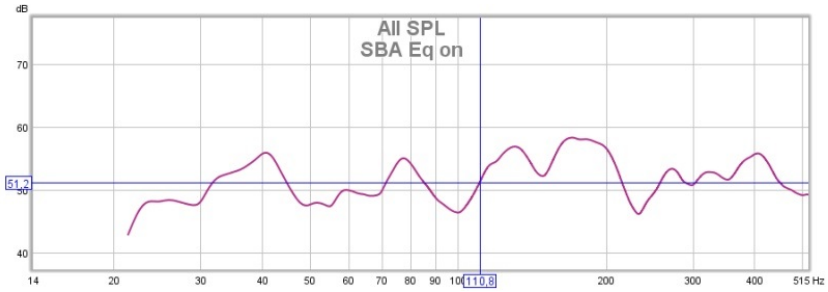



Abb. 25: Das SBA mit Equalizern, eine der wenigen Varianten, wo der EQ bei 80 Hz sich negativ auf den Frequenzgang auswirkt. Gut zu sehen im Vergleich zur folgenden Abbildung.

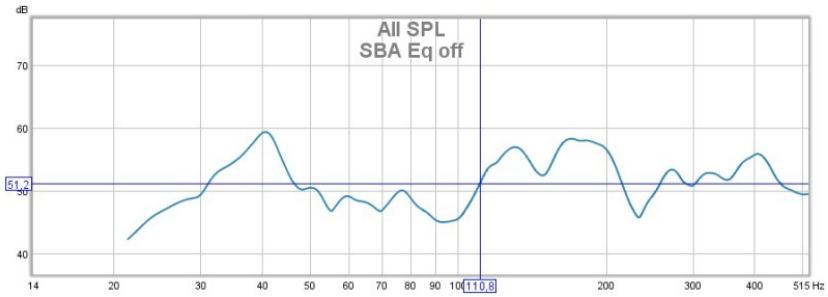



Abb. 26: Das SBA ohne Equalizer. Die Raummode wird nicht abgeschwächt.

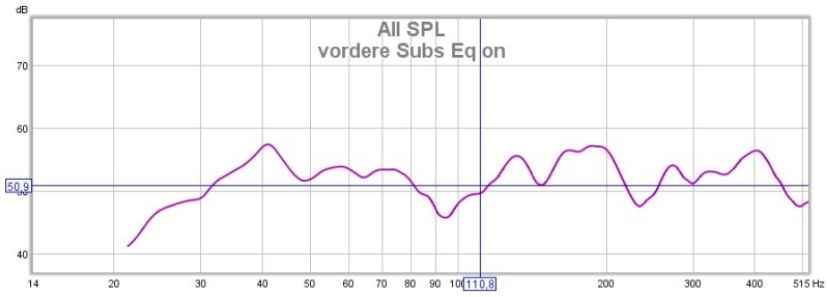



Abb. 27: 2 Subwoofer an der Stirnseite des Raumes, mit Equalizern. Die Equalizer verbessern das Ergebnis stark, trotzdem ungeeignete Ergebnisse mit dieser Aufstellung.

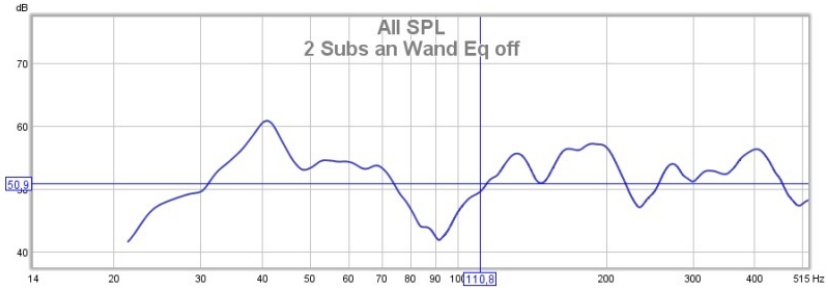



Abb. 28: 2 Subwoofer an der Stirnseite des Raumes, ohne Equalizer. Ein weiteres Beispiel für "so sollte man Subwoofer nicht aufstellen". Extreme Anregung von Raummoden, Resultat: starke Überhöhung und Absenkung.

## *Vergleichsmessungen DBA*

Hier eine komplette Auflistung aller Vergleiche. Näheres weiter oben.

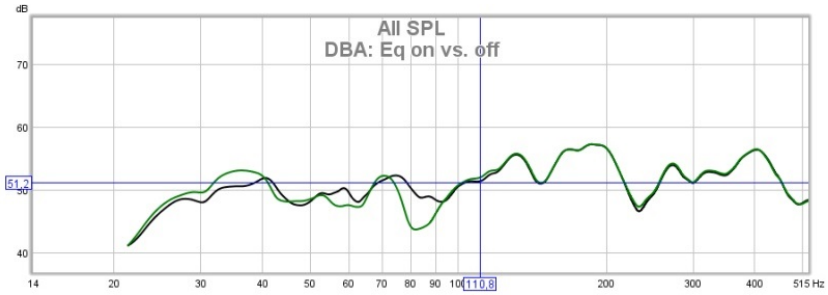



Abb. 29: 2 mal DBA, Equalizer an: schwarz, Equalizer aus: grün. Der Equalizer sorgt nochmal für eine Verbesserung.

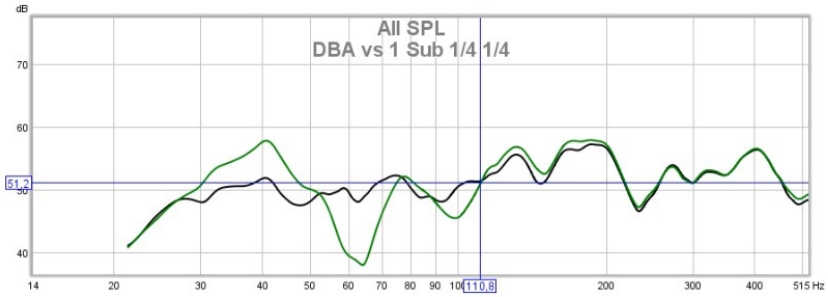



Abb. 30: DBA (schwarz) gegen 1 Subwoofer auf 1/4 1/4 (grün). Leider überzeugt der Klassiker nicht vollumfänglich.

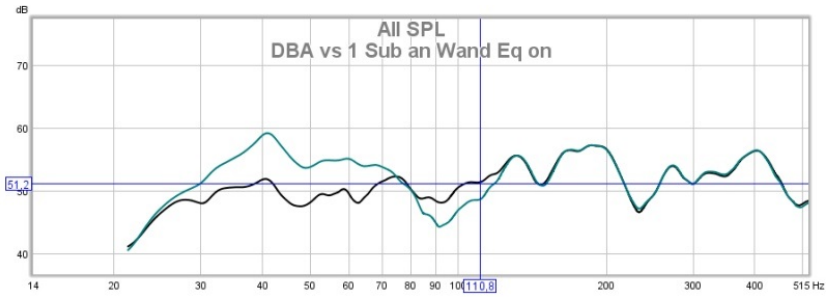



Abb. 31: DBA (schwarz) gegen 1 Subwoofer (grün) direkt an der Wand, jeweils mit Equalizer an. Auch 1 Subwoofer an der Wand scheint kein geeigneter Gegner für das DBA zu sein.

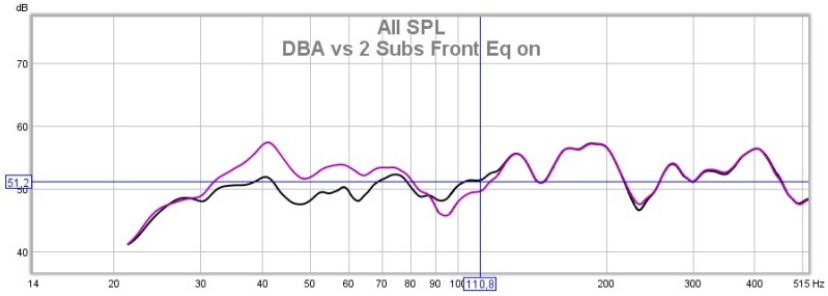



Abb. 32: DBA (schwarz) gegen 2 Subwoofer (violett) direkt an der Wand, jeweils mit Equalizer an. 2 Subwoofer vs. DBA, der Sieger steht eindeutig fest: das DBA.

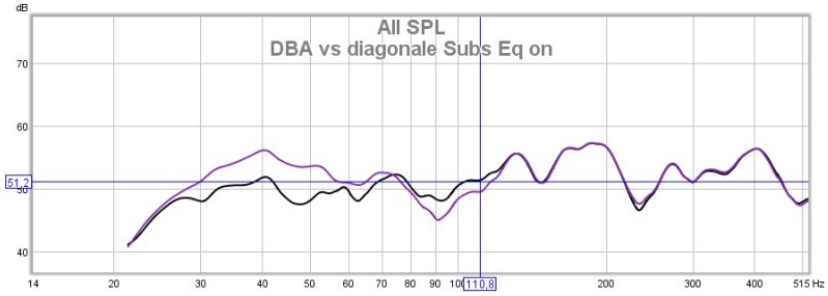



Abb. 33: DBA (schwarz) gegen 2 Subwoofer diagonal (violett) direkt an der Wand, jeweils mit Equalizer an. Klare Überhöhungen im Raummodenbereich, könnten wohl nur durch mehr und stärkere Equalizer-Einstellungen ausgeglichen werden.

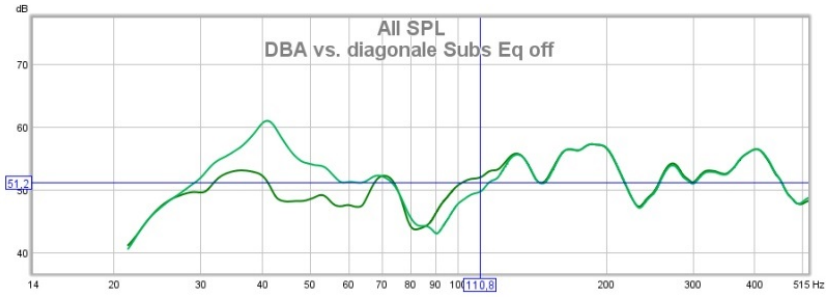



Abb. 34: DBA (grün) gegen 2 Subwoofer diagonal (violett) direkt an der Wand, jeweils mit Equalizer aus.

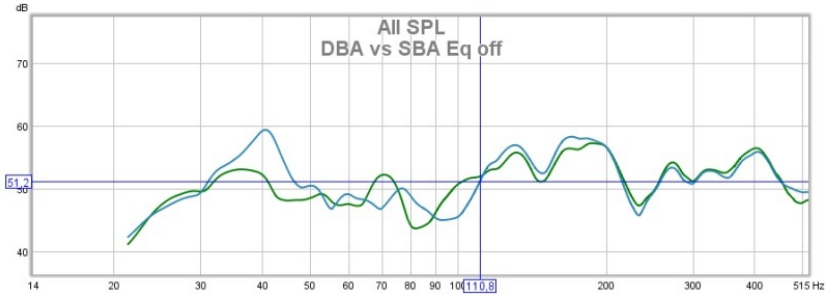



Abb. 35: DBA (grün) gegen 2 Subwoofer (SBA, blau), jeweils Equalizer aus. Die Raummode bleibt bestehen, das SBA ist hier wirkungslos.

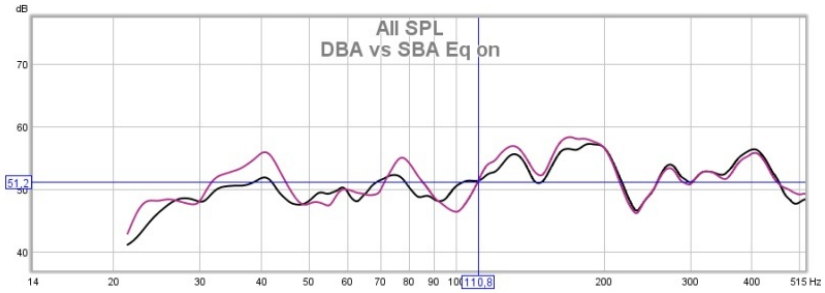



Abb. 36: DBA (schwarz) gegen 2 Subwoofer (SBA, violett), jeweils Equalizer an. Die Equalizer verbessern das Setup nur zum Teil, ein Ausreißer nach oben bleibt bei 80 Hz, verursacht durch einen Equalizer.

## *Vergleichsmessungen non-DBA*

Nun noch ein paar Messungen die kein DBA enthalten.

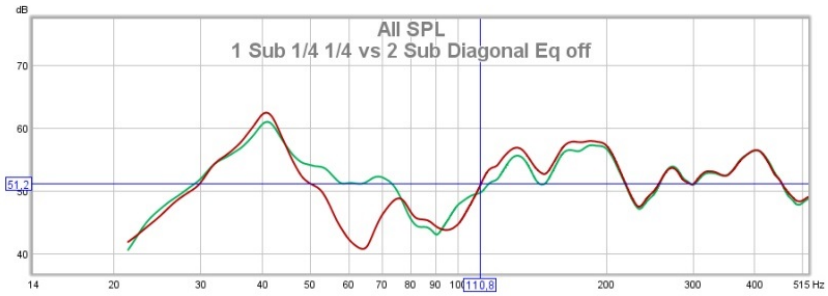



Abb. 37: Die Diagonal-Aufstellung (grün) und die Aufstellung 1/4 1/4 mit einem Subwoofer (rot), ohne Equalizer. Die Frequenzgänge ähneln sich stark, wobei die Diagonal-Aufstellung leicht besser abschneidet.

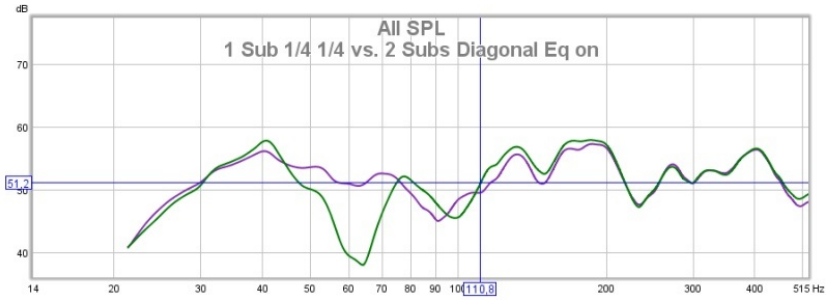



Abb. 38: Die Diagonal-Aufstellung (violett) und die Aufstellung 1/4 1/4 mit einem Subwoofer (grün), mit Equalizer. Hier sieht man wie stark eine Diagonal-Aufstellung von Equalizern profitieren kann. Insgesamt bräuchte man aber wohl bedeutend mehr Equalizer, um ein besseres Ergebnis zu erhalten.

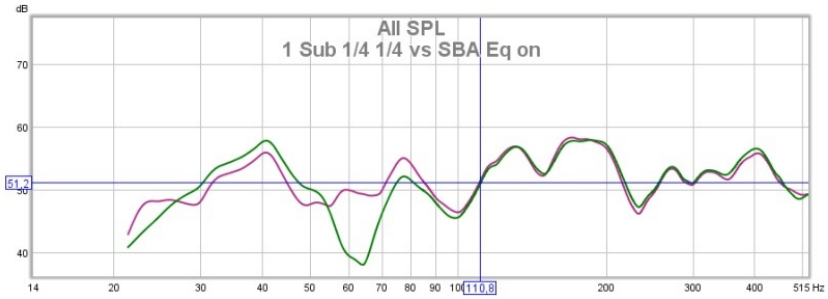



Abb. 39: SBA (violett) vs. 1/4 1/4 1 Subwoofer (grün) mit Equalizern. Das SBA ist klar linearer, und würde ohne den EQ bei 80 Hz noch ein wenig besser aussehen. Einzig die Raummode lässt sich nicht komplett bändigen.

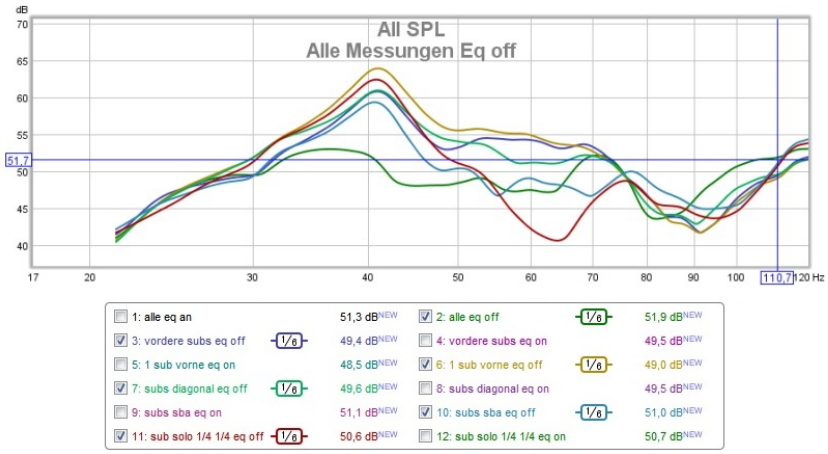



Abb. 40: Alle Messungen, bei denen der Equalizer aus ist.

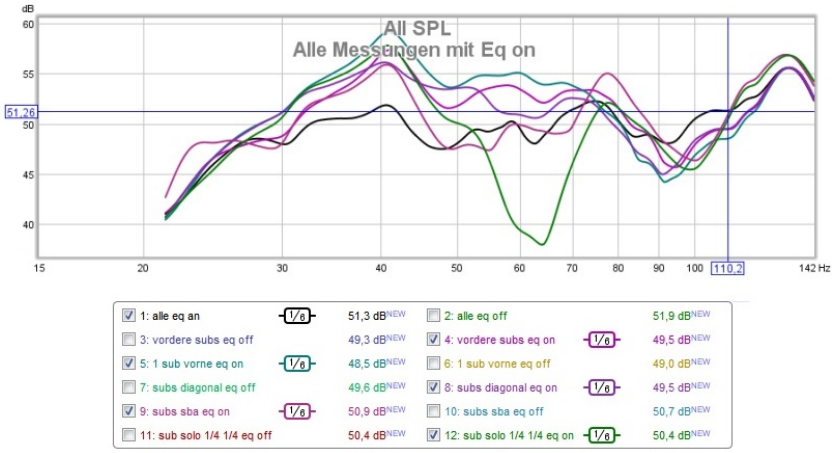



Abb. 41: Alle Messungen, bei denen der Equalizer an ist.