



Technische Daten:

Prinzip:	2 Wege Koaxdesign Bassreflex
Frequenzbereich(-3dB):	42Hz – 30000Hz
Kennschalldruck:	90dB @2,82V
Impedanz (nominell):	8Ω (linearisiert)
Größe (H x B x T):	45cm x 36,5cm x 37cm

Bestückung:

Koaxialtreiber:	Radian 5312Neo BE
-----------------	-------------------

Wieso, weshalb, warum...

Vintage Look ist in der Lautsprecherwelt „in“. Genau aus diesem Grund haben wir uns dazu entschlossen einen Lautsprecher zu entwerfen, der diesem Look entspricht. Da der Lautsprecher mit modernsten Methoden entwickelt wurde stand der Name hierfür auch sofort fest: PostRetro. Dazu haben wir auch einen für dieses Projekt perfekten Lautsprecher am Lager. Der Radian 5312Neo BE. Radian ist in der Hifiwelt weniger bekannt, da sich der Hersteller eher auf professionelle Kunden spezialisiert hat. Dennoch sind die Treiber allesamt auch für typische Hifianwendungen sehr interessant.

Der 12“ große Tieftöner, mit sehr potentem Neodymantrieb und Papiermembran mit harter Aufhängung, besitzt einen Kompressionstreiber mit einer ungewöhnlich großen 3“ Berylliummembran, welcher koaxial hinter dem Tieftonmagnet angeflanscht wurde.



Abbildung 1: 3“ Berylliummembran

Das macht den Treiber natürlich sehr interessant für einen kleinen Lautsprecher, welcher idealerweise eine hohe Sensitivität aufweist und eine Linearisierung der Impedanz besitzt, um auch mühelos von schwächeren und nicht laststabilen Röhrenendstufen problemlos angetrieben zu werden.

Die Antriebskraft des Tieftöners ist so hoch, dass es nicht so leicht ist dem Treiber tiefe Töne zu entlocken. Die nötige Länge des Bassreflexkanals wird dabei meist meist derart groß, dass es entweder zu Problemen mit dem Kanal kommt, oder aber die komplette Länge nur schwer oder gar nicht im Gehäuse untergebracht werden kann. Dank 3D Modellierung fallen aber solche Probleme sofort auf und können bereits in der Konstruktionsphase beseitigt werden. Wir haben uns für zwei DN75 Rohre entschlossen, da es die Rohre auch mit der für uns benötigten Krümmung gibt. Zudem sind in die Rohre gleich Anschlüsse für weitere Verlängerungen integriert. So lassen sich die Reflexkanäle sehr einfach in der Länge regulieren und machen die Lautsprecher bei der Tieftonabstimmung an die persönlichen Bedürfnisse anpassbar.



Abbildung 2: Anordnung und Position der Reflexkanäle (variable Länge; hier die längste Version der Kanäle)

Bei der Abstimmung wurde auf eine neutrale Wiedergabe mit sehr gleichmäßigem Abstrahlverhalten geachtet. Selbstverständlich sollten die Verzerrungen ebenfalls sehr niedrig sein. Mittlerweile sind Rechner so effizient und schnell, dass Simulationen mit enormer Parametrie bzw. Detaillierung sehr exakt durchgeführt werden können. Das folgende Bild zeigt den Vergleich der Messung mit der Simulation unter einem Winkel von 15°.

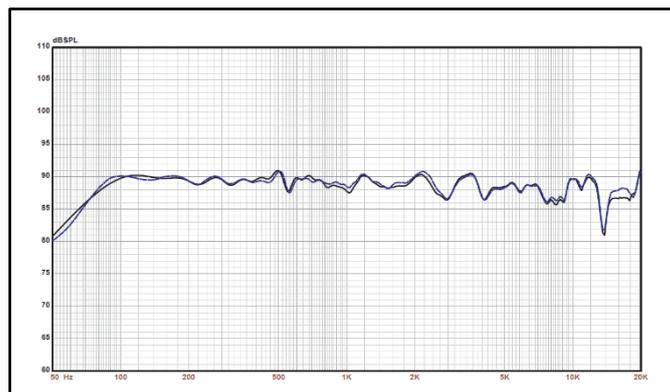


Abbildung 3: Vergleich der Simulation mit der Messung

Der Lautsprecher wurde unter dem Referenzwinkel von 15° optimiert. Das war wichtig, da der Superhochtonbereich ab 10kHz durch das Gewicht der Hochtonmembran sehr stark an Schalldruck verliert. Linearisiert man nun auf Achse, dann bricht der Hochtonbereich unter allen anderen Winkeln weg. Das schadet dem Abstrahlverhalten enorm, und der Lautsprecher muss dann sehr exakt auf den Hörer eingewinkelt werden, da sonst zu viel Energie im Hochtonbereich fehlt. Deswegen haben wir unter Winkel optimiert und auf Achse den entsprechenden Bereich ab 10kHz belassen, um genug Energie in den Hörraum zu transportieren. Das kann schaltungstechnisch sehr trickreich sein, zählt sicher aber aus.

Abbildung 4 zeigt das Verhalten des unbeschalteten Lautsprechers und der Bassreflexkanäle. Wie man dem Diagramm entnehmen kann fällt der Hochtonbereich ab ca. 8kHz recht schnell ab, was der enorm großen 3“ Membran und deren Eigengewicht geschuldet ist. Was man ebenfalls gut erkennen kann sind Interferenzeffekte durch das Horn. Die Einbrüche um 2,8kHz, 6kHz und 9kHz entstehen durch destruktive Interferenz, da der Schall unter andrem (hierbei entstehen auch andere Phänomene wie Modenbildung, etc.) an der Hornführung reflektiert wird. Dieses Verhalten wird unter verschiedenen Winkeln deutlich besser.

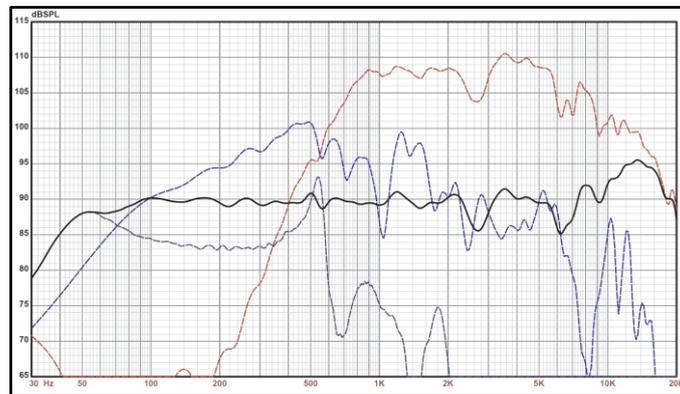


Abbildung 4: Einzelverlauf der Wege unbeschaltet und Reflexkanäle und finale Summe auf Achse 0°

Betrachtet man das Abstrahlverhalten und das Verzerrungsverhalten der einzelnen Treiber genauer, dann ergibt sich eine ideale Trennfrequenz von ca. 650Hz. Da der Kompressionstreiber sehr groß und potent ist, und der Hifeinsatz keine Pegel jenseits der 110dB erfordert, ist diese Trennfrequenz kein Problem für unsere Treiber. Bei der Filterung wurden extrem steile Filter gewählt um den Überlappungsbereich zu minimieren und um den Kompressionstreiber nicht unnötig hoch zu belasten. Im Hochtonbereich kommt ein erweiterter Filter 4. Ordnung zur Anwendung, während sich der Tieftöner mit einem optimierten Filter 3. Ordnung zufriedengibt.

Durch aufwendige Simulationen und einem ungewöhnlichen Schaltungsdesign konnten wir eine Filtersteilheit von 72dB pro Oktave (entspricht einem Filter 12ter Ordnung) erreichen. Das ist extrem steil und hält den Überlappungsbereich der Einzeltreiber um die Trennfrequenz klein. Die Addition ist perfekt was unerwünschte Effekte unter Winkel verhindert. Neben den Filtern kommen auch noch Saugkreise zum Einsatz um das Verhalten des Lautsprechers zu linearisieren bzw. zu verbessern.

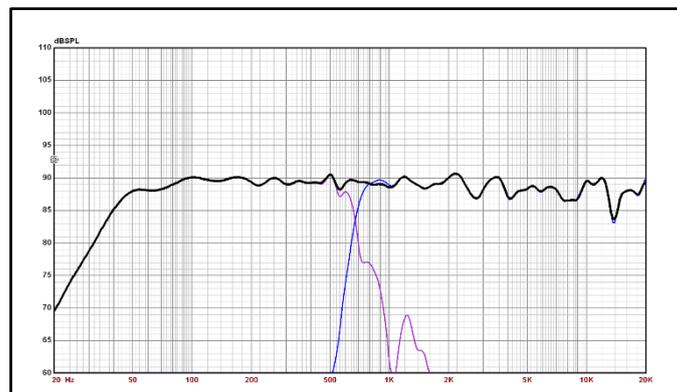


Abbildung 5: Filterung der Einzeltreiber

Ebenfalls viel Aufmerksamkeit wurde der Impedanz gewidmet. Hier wurde mit einer aufwendigen Schaltung das Verhalten soweit angepasst, dass der Verstärker eine nahezu ohmsche Last antreiben muss. Die Schwankungen betragen um den Mittelwert nur $\pm 2,5\text{Ohm}$. Das ermöglicht auch die Nutzung von empfindlichen Verstärkern oder Röhrenverstärkern. Die Impedanzmessung kann man der Abbildung 6 entnehmen.

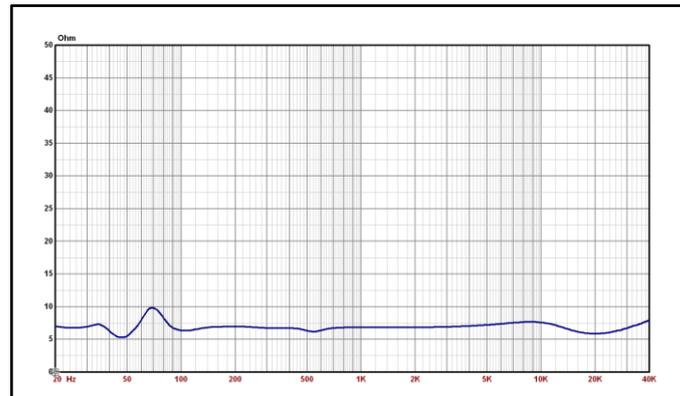


Abbildung 6: Impedanzverlauf mit Linearisierung

Insgesamt ergibt sich das folgende horizontale Abstrahlverhalten, welches sich bis in den Grundtonbereich von 200Hz extrem gleichmäßig ohne Ausreiser auszeichnet.

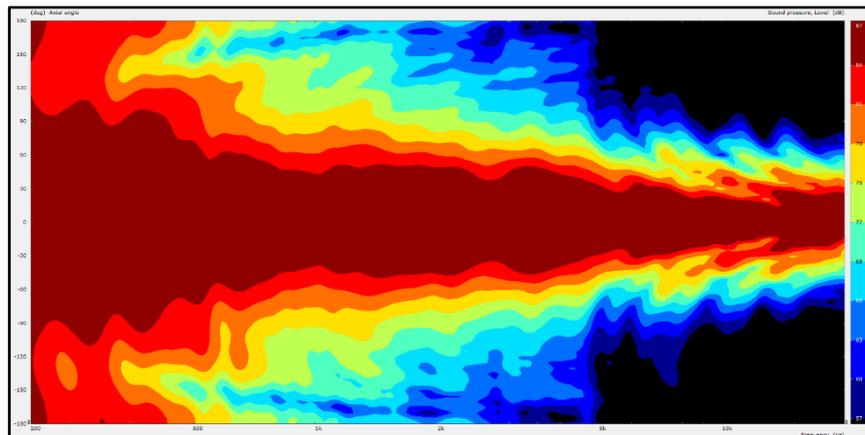


Abbildung 7: horizontales Abstrahlverhalten

Da sich die Gehäusemaße bezüglich der Abmessungen sehr ähneln entspricht dies auch weitestgehend dem vertikalen Abstrahlverhalten. Das ist der große Vorteil von Koaxialsystemen, denn hier kommt es systembedingt nicht zu Interferenzeffekten durch den vertikalen Versatz zwischen Hochtöner und Tieftöner wie bei üblichen Systemen. Gerade das vertikale Verhalten wird meistens nicht veröffentlicht, weil es genau diese Effekte aufzeigt. Extrem genau lässt sich das Verhalten in sogenannten 3D Balloonplots beobachten, welche den Schalldruck der vollen Sphäre bei einer Frequenz abbilden. Diese dreidimensionalen Daten sind aufgrund der vielen Einzelmessungen (2664 Einzelmessungen) sehr aufwendig und zeitintensiv, lohnen sich aber aufgrund der Aussagekraft enorm. Zudem können diese Daten für weitere Simulationen herangezogen werden (Raumakustik, Auralisation, etc...). Im Anhang werden einige Daten zwischen einem typischen 2-Wege Lautsprecher und der Postretro verglichen.

Der Abstrahlwinkel in obiger Abbildung ändert sich nur sehr moderat über der Frequenz. Das macht den Lautsprecher auch in schwierigen raumakustischen Umgebungen nutzbar, wo andere, sehr breit strahlende Konstrukte, eher Schwierigkeiten haben.

Das Wasserfalldiagramm zeigt sich unauffällig und quasi Resonanzfrei. Selbst das Horn zeigt keine Resonanzen oder verlängertes Ausschwingverhalten (außer der extrem kleinen und scharfen Resonanz um 20kHz). Hier spielt die Berylliummembran durch die enorme Formstabilität ihre Stärken aus. Im Bereich um 550Hz ist ein kurzes Nachschwingen zu erkennen, welches aufgrund der Länge der Reflexrohre entsteht. In Abbildung 4 lässt sich diese Resonanz gut erkennen. Die Kanäle schwingen gegenphasig zum Tieftöner, was man am zeitlichen Verlauf der Resonanz im Zerfallsspektrum sieht. Aber selbst diese schwingt insgesamt sehr zügig aus und ist akustisch unauffällig.

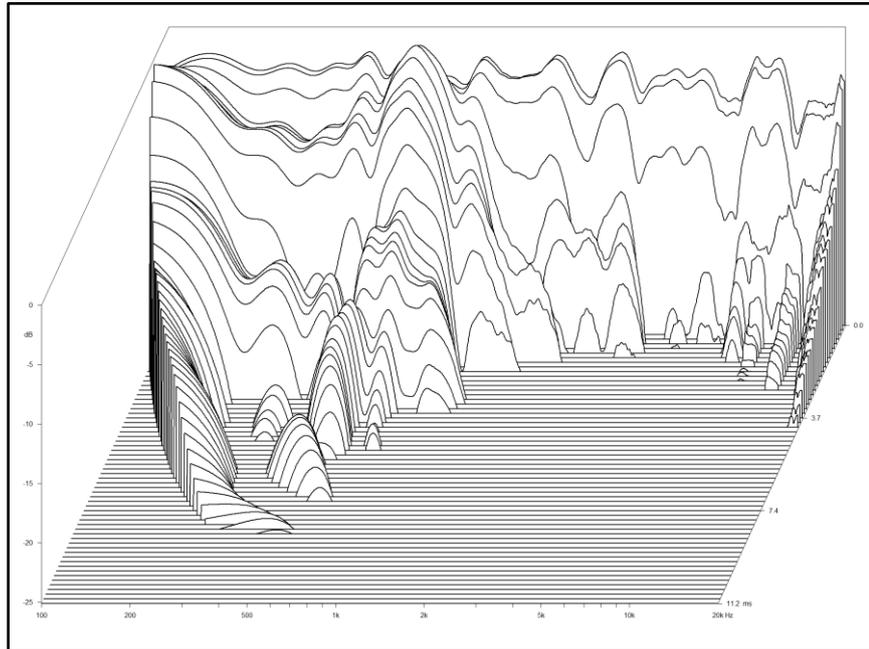


Abbildung 8: Zerfallsspektrum

Die Klirrmessungen sind erwartungsgemäß auf extrem niedrigem Niveau was zu erwarten war. Die Verzerrungen wurden von 80dB bis 100dB erfasst und sind in Abbildung 9 zu sehen. Selbst unter großer Last bleiben die Werte enorm niedrig.

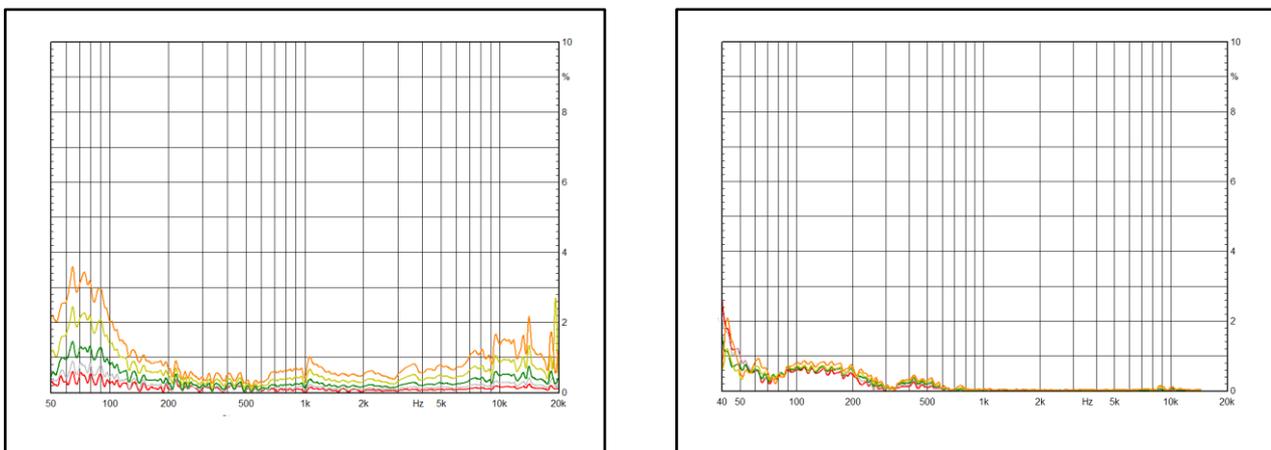


Abbildung 9: Verzerrungen von 80dB bis 100dB (links H2; rechts H3)

Die Bassreflexkanäle der PostRetro wurden aus Standard DN75 Rohren gefertigt. Der Vorteil des Systems ist, das es viele verschiedene Winkel und Rohre gibt, die sich beliebig kombinieren lassen. Ohne diese Winkelstücke wäre es sehr umständlich gewesen, die Kanäle in das Gehäuse zu integrieren und zudem lassen sich hiermit ganz einfach verschiedene Länge einsetzen um den Tieftonbereich an den persönlichen Geschmack anzupassen.

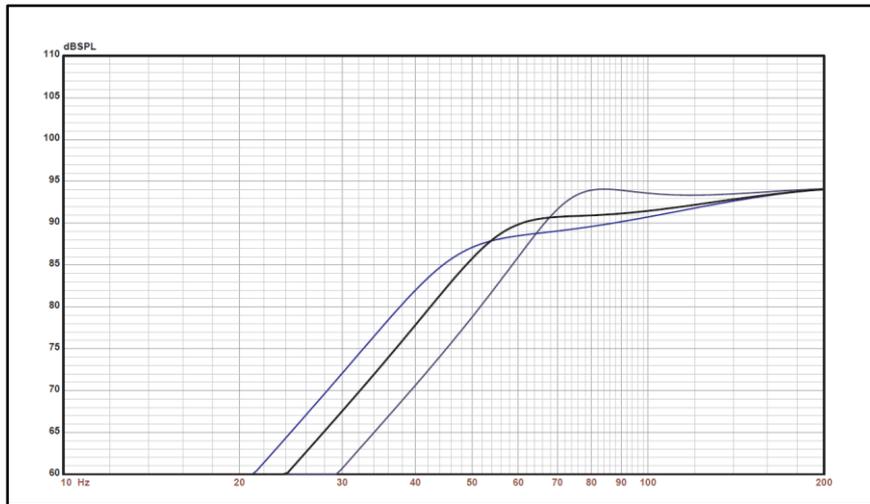


Abbildung 10: Tieftonwiedergabe mit verschiedenen Rohrlängen (Reflexkanäle)

Neben der Tieftonanpassung durch Veränderung der Reflexkanallänge lässt sich auch der Mitten-Hochtonbereich des Lautsprechers über ein kleines Widerstandsnetzwerk an der Weiche anpassen. Dabei senkt sich nicht nur der Hochtonbereich, sondern der komplette Bereich ab ca. 600Hz fällt insgesamt etwas stärker ab. Das ergibt ein etwas dunkleres und kräftigeres Klangbild.

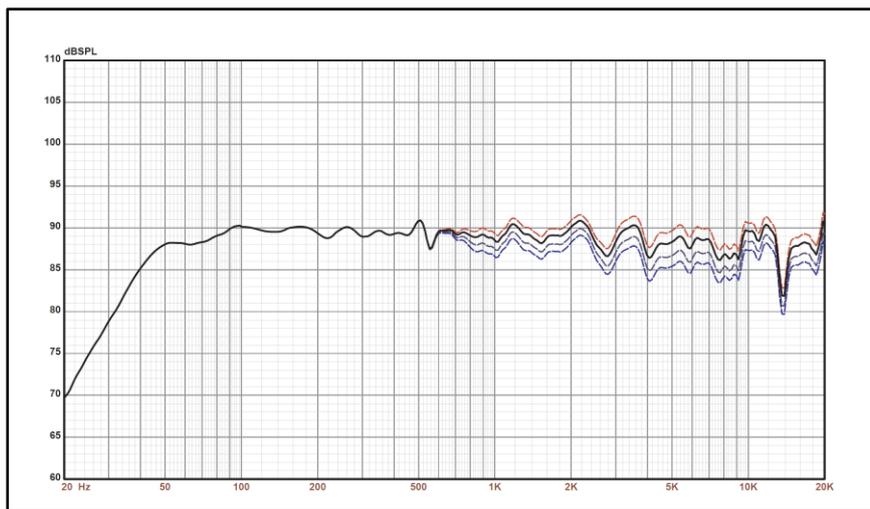


Abbildung 11: Anpassung des Mittel-Hochtonbereichs

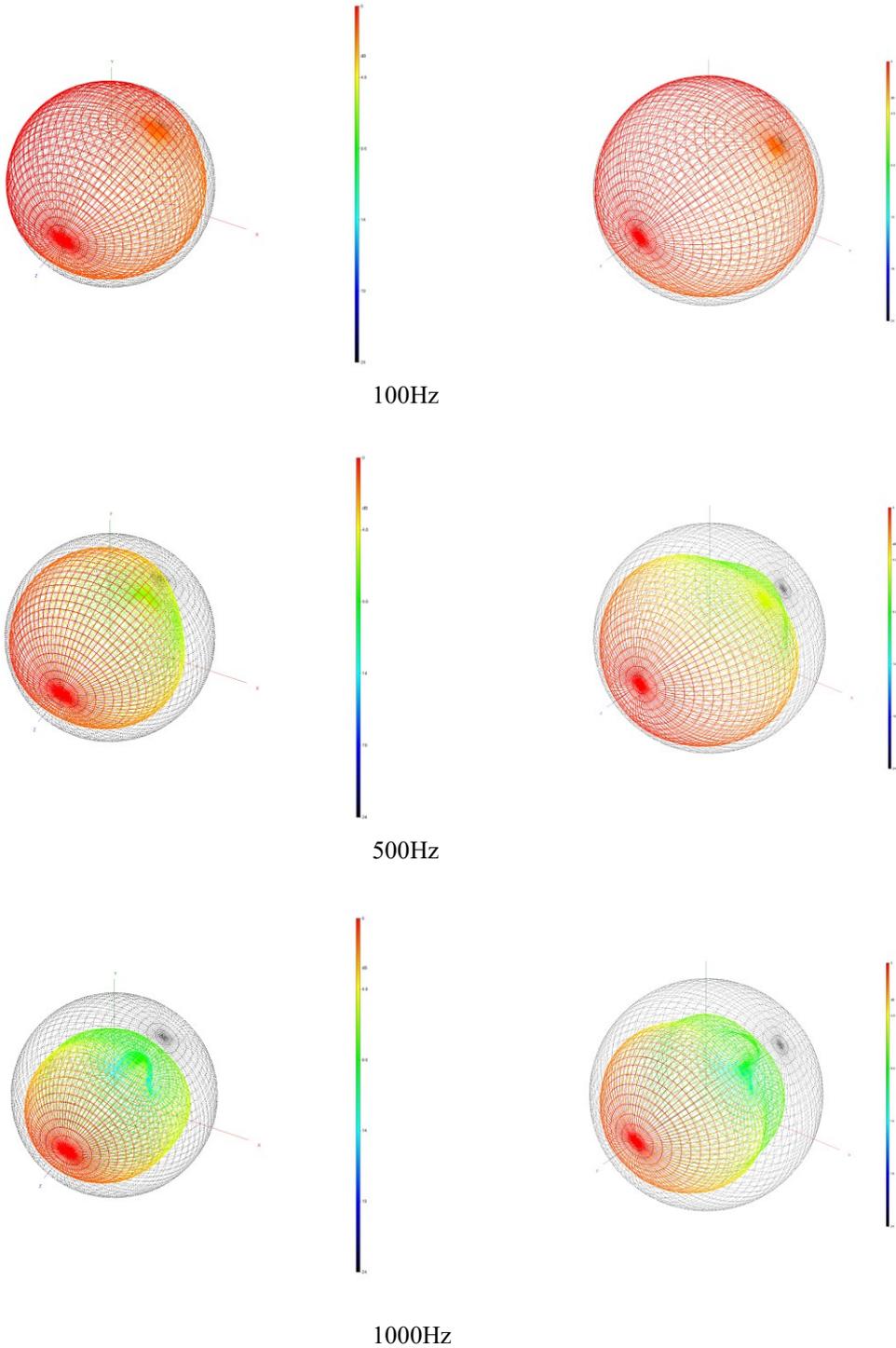
Wie man sieht lässt sich die PostRetro recht gut und umfangreich an die persönlichen Geschmäcker anpassen. Gerade über die Weiche kann man die Anpassung sehr komfortabel und schnell durchführen. Man könnte sogar einen Schalter einbauen, der den Mittel-Hochtonbereich stufenweise reduziert. Die fertige aufgebaute Weiche ist hierfür vorbereitet.

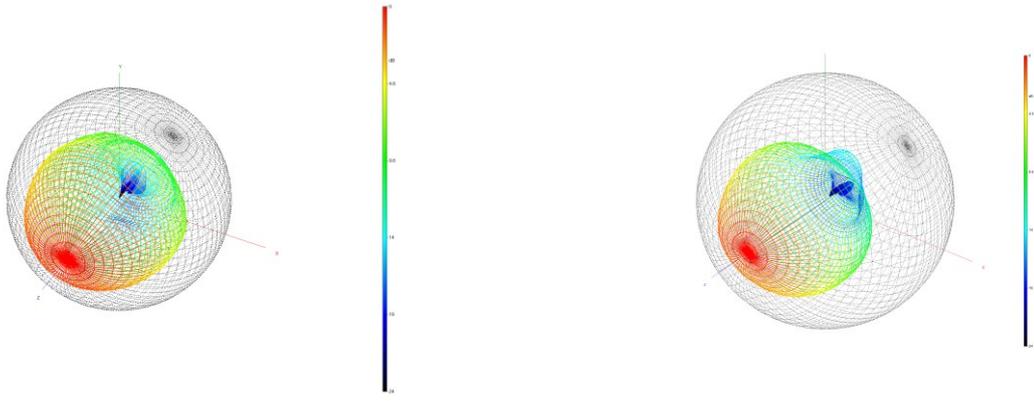
Anhang

Im Folgenden sind 3D Balloonplots unterschiedlicher Frequenz von einem sehr gut beleumundeten 2-Wege Lautsprecher und der PostRetro zu sehen. Sehr gut kann man hier die unterschiedlichen Abstrahlcharakteristiken der verschiedenen Konzepte erkennen.

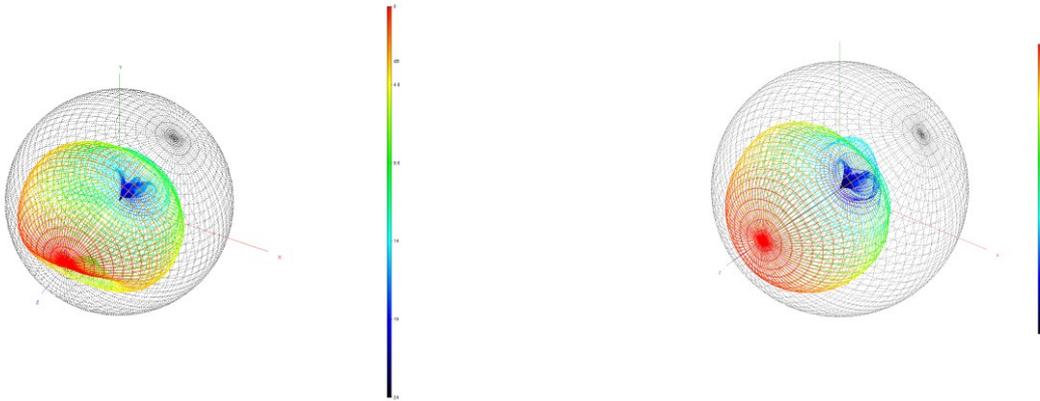
2-Wege Lautsprecher

PostRetro

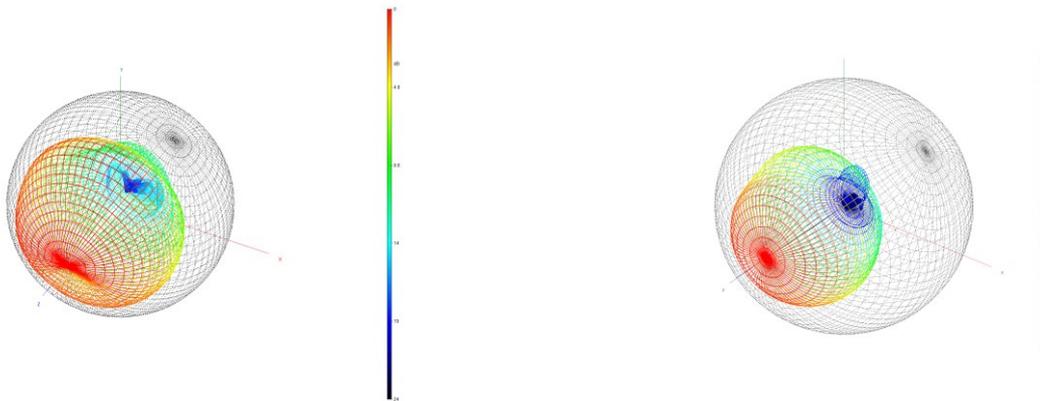




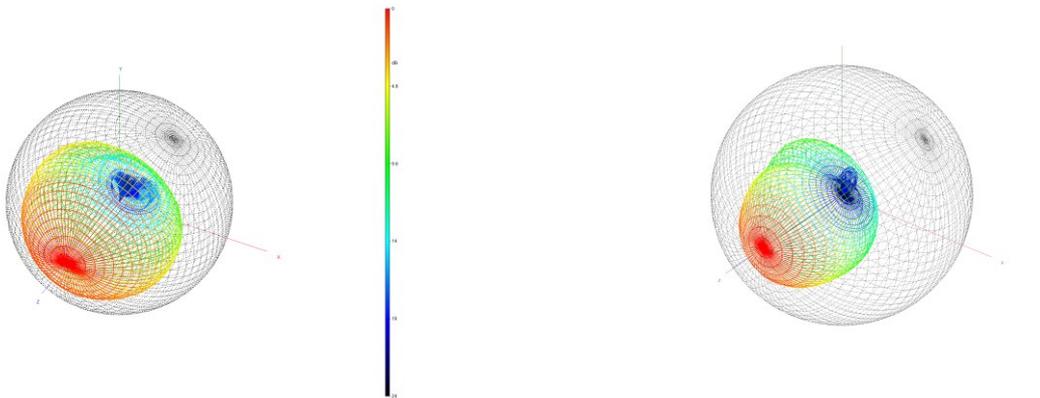
2000kHz



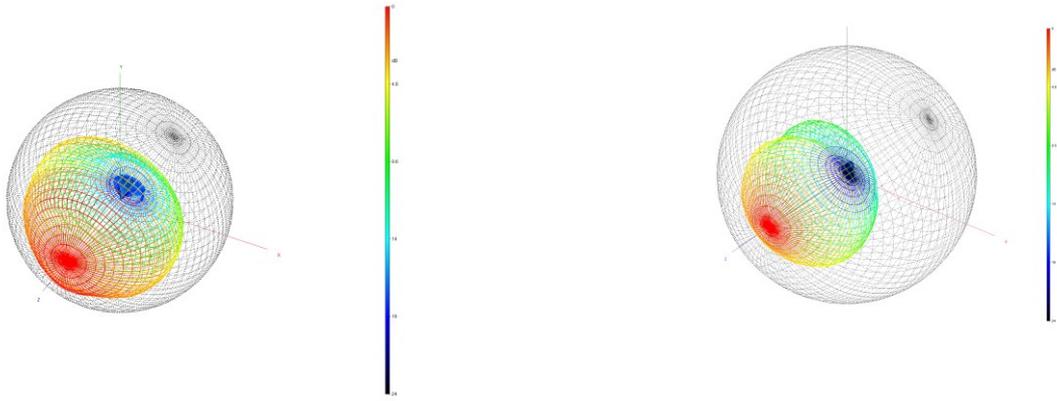
3150Hz



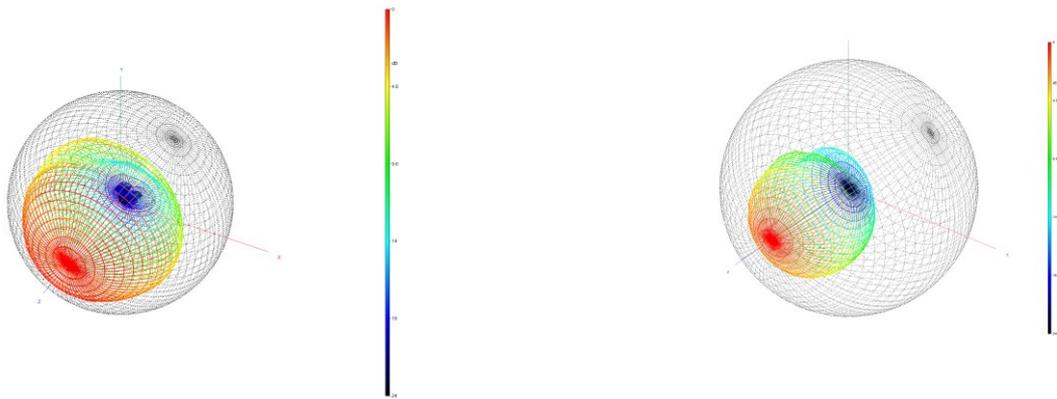
4000Hz



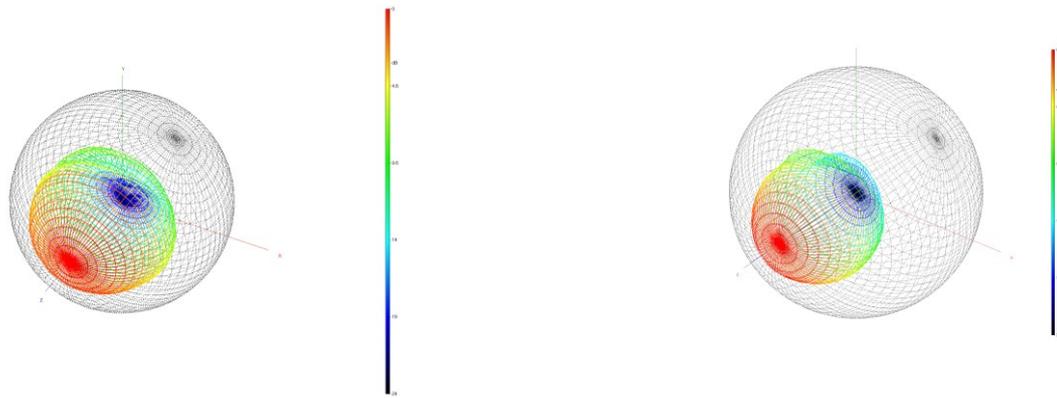
5000Hz



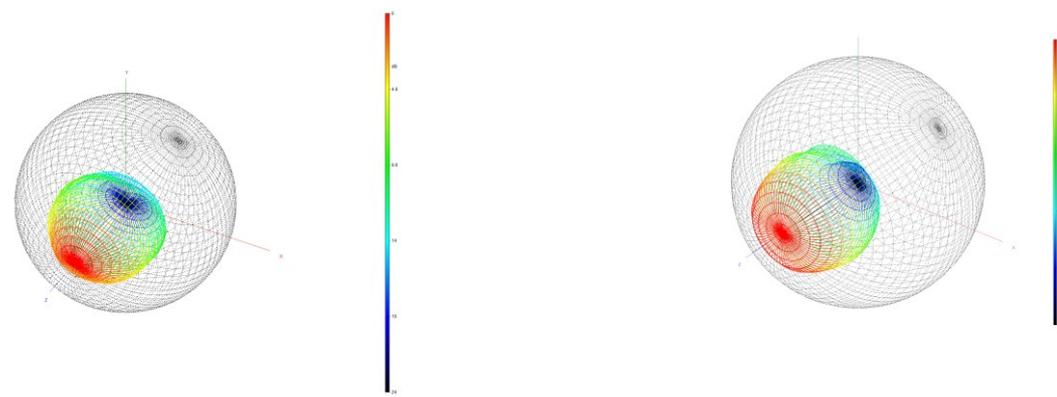
6000Hz



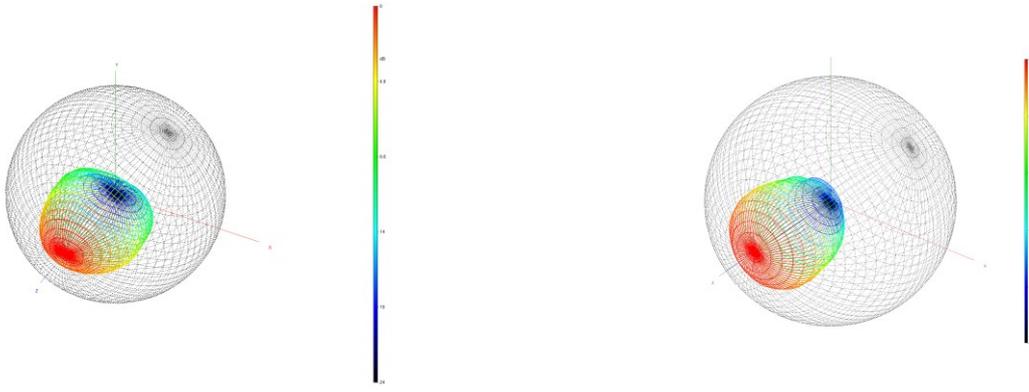
8000Hz



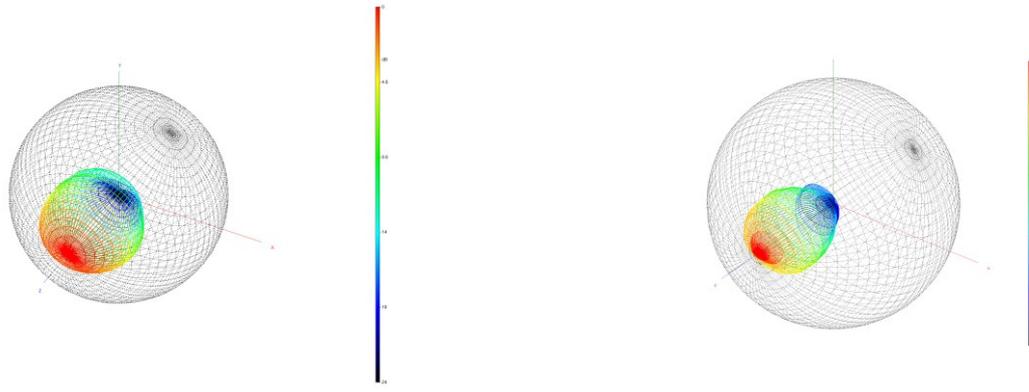
10000Hz



12500Hz

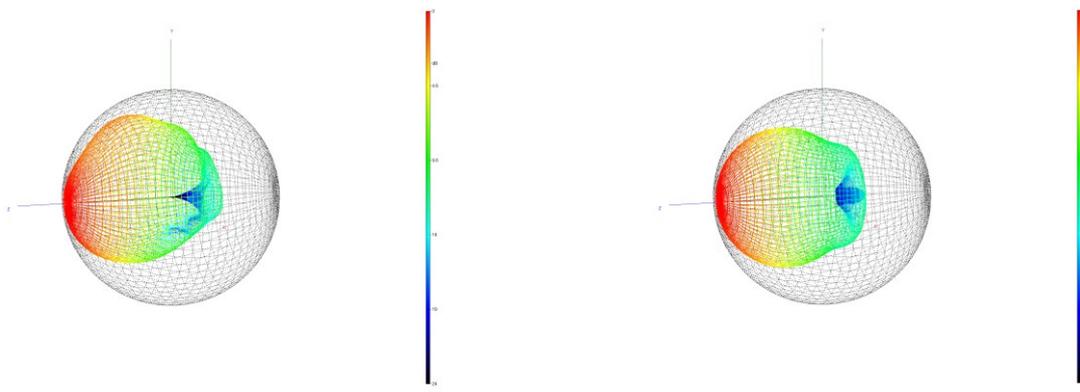


16000kHz



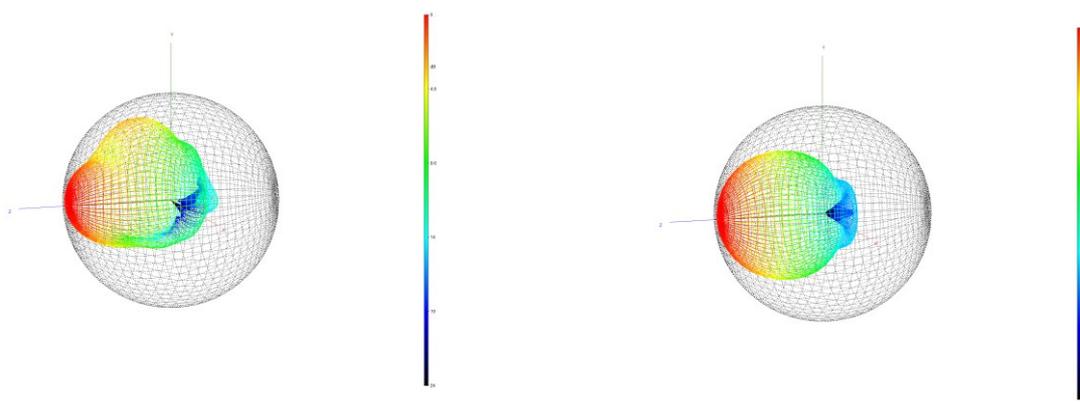
20000kHz

Um das unterschiedliche Verhalten der Konzepte visuell zu verdeutlichen bilden wir noch jeweils zwei Frequenzen um die Trennfrequenz ab um den Überlappungsbereich hervorzuheben. Hier wurde die Hauptachse etwas gedreht um das Verhalten besser zu erkennen.



2000Hz

650Hz



2500Hz

800Hz