

Kantendiffraktion: Rundung vs. Fase

Inhalt

Motivation	2
Simulationen	3
Harte Kante	3
Abrundung.....	5
Fase.....	7
Variation des Winkels.....	9
Variation der Laufzeit	11
Beispiel anhand eines 2-Wegers	12
Einfache Kante.....	13
Fase.....	14
Waveguide und einfache Kante	15
Waveguide und Fase	16
Fazit	17

Motivation

Bei einem Lautsprecher erzeugen die Kanten der Schallwand eine Diffraktion und damit eine Sekundärschallquelle, die sich mit dem Direktschall überlagert und ein Interferenzmuster erzeugt. Dieses Interferenzmuster beeinflusst unter anderem das Abstrahlverhalten. Dem wird in der Regel mit Abrunden oder einer Fase entgegengewirkt.

Abrundung und Fase werden meist äquivalent behandelt. In diesem Dokument soll es um die Wirkungsweisen beider Maßnahmen gehen und sie gegenüberstellen.

Um die Effekte zu veranschaulichen wurde eine kleine Schallquelle in der Mitte einer kreisförmigen Schallwand mit einem Radius von 10 cm per BEM simuliert. Die kleine Schallquelle hat den Vorteil, dass sie im Übertragungsbereich keine Richtwirkung besitzt. Die kreisförmige Schallwand sorgt dafür, dass die Interferenzeffekte von allen Richtungen auf dieselben Frequenzen fallen, was die Betrachtung deutlich vereinfacht.

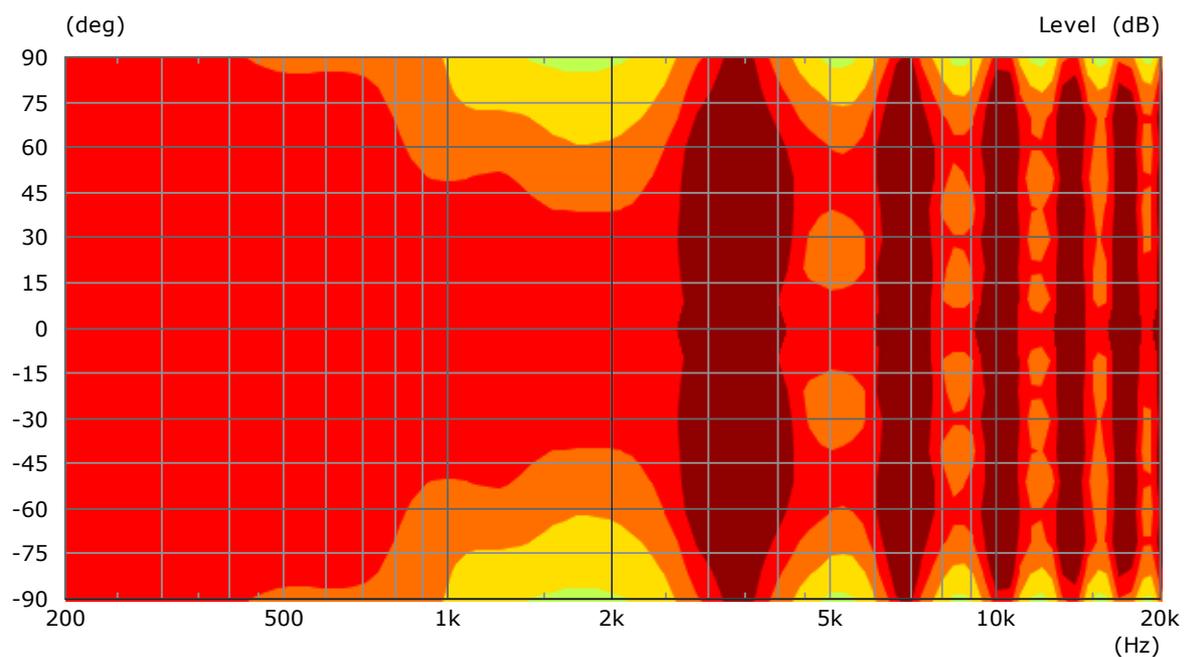
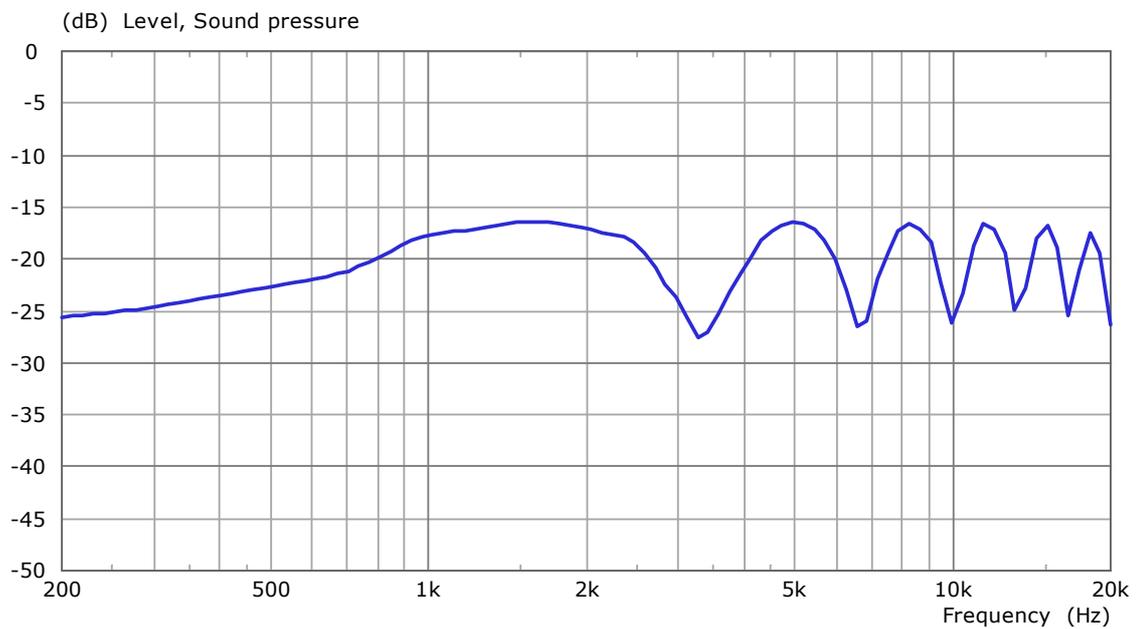
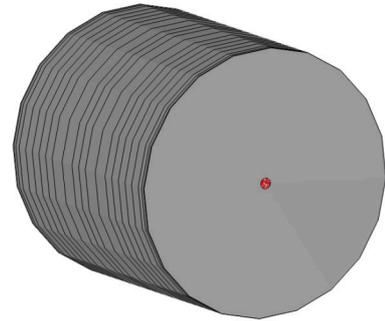
Dargestellt sind jeweils der Amplitudengang unter 0° und das Abstrahlverhalten in unendlicher Entfernung.

Simulationen

Harte Kante

Die harte Kante erzeugt ein starkes Interferenzmuster. Die Sekundärschallquelle überlagert sich mit dem Direktschall unter 0° so, dass die Summe um ± 6 dB schwankt.

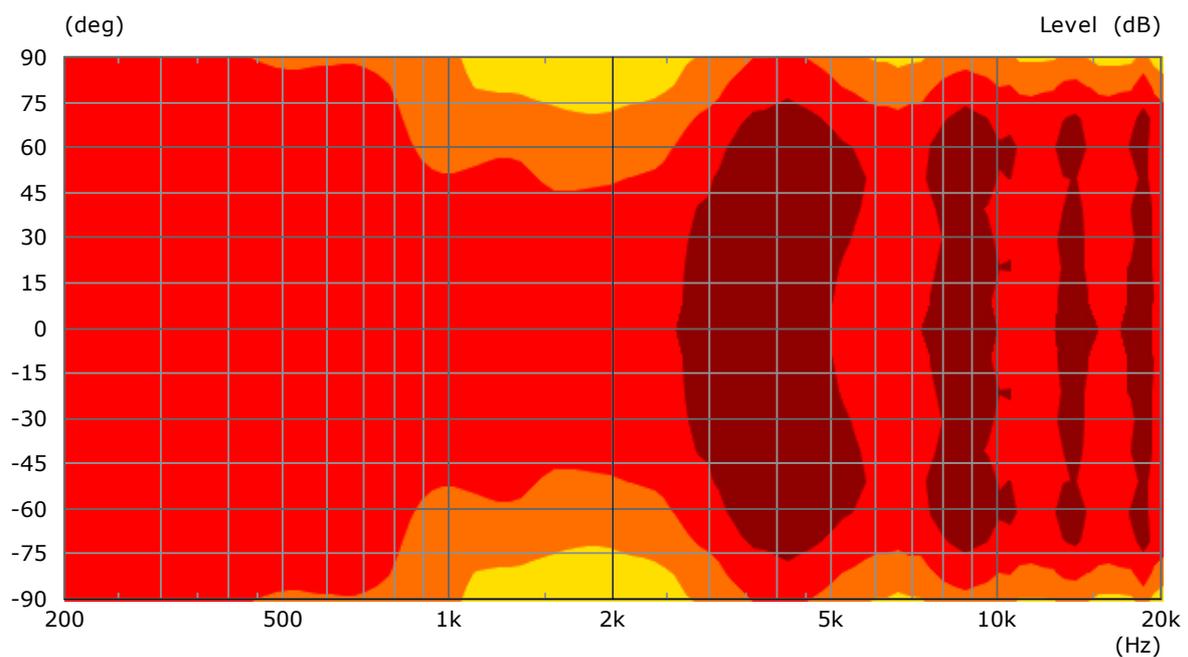
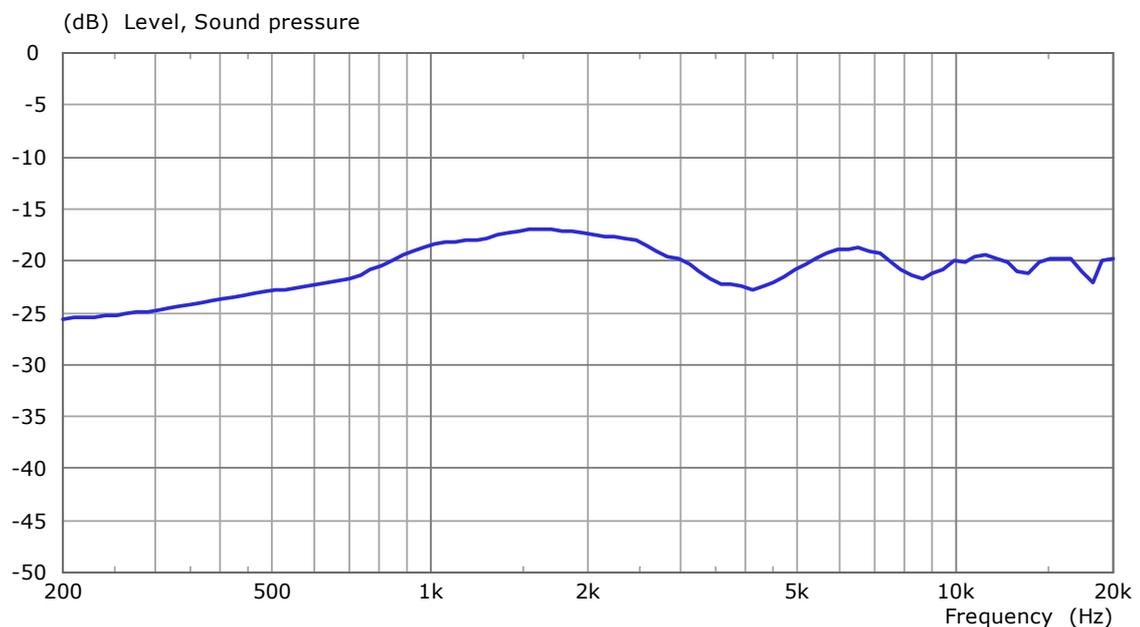
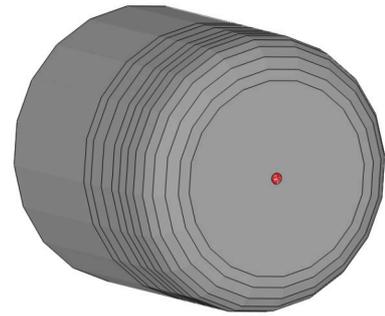
Die erste Überhöhung tritt in dem Frequenzbereich auf, dessen halbe Wellenlänge dem Abstand des Schallquellenmittelpunktes zur Kante (also dem Radius der Schallwand) entspricht.



Abrundung

Als erstes fällt auf, dass die Abrundung die Sekundärschallquellen im Frequenzbereich etwas nach oben verschiebt. Die Schallwand wird also bezüglich der Interferenzen verkleinert.

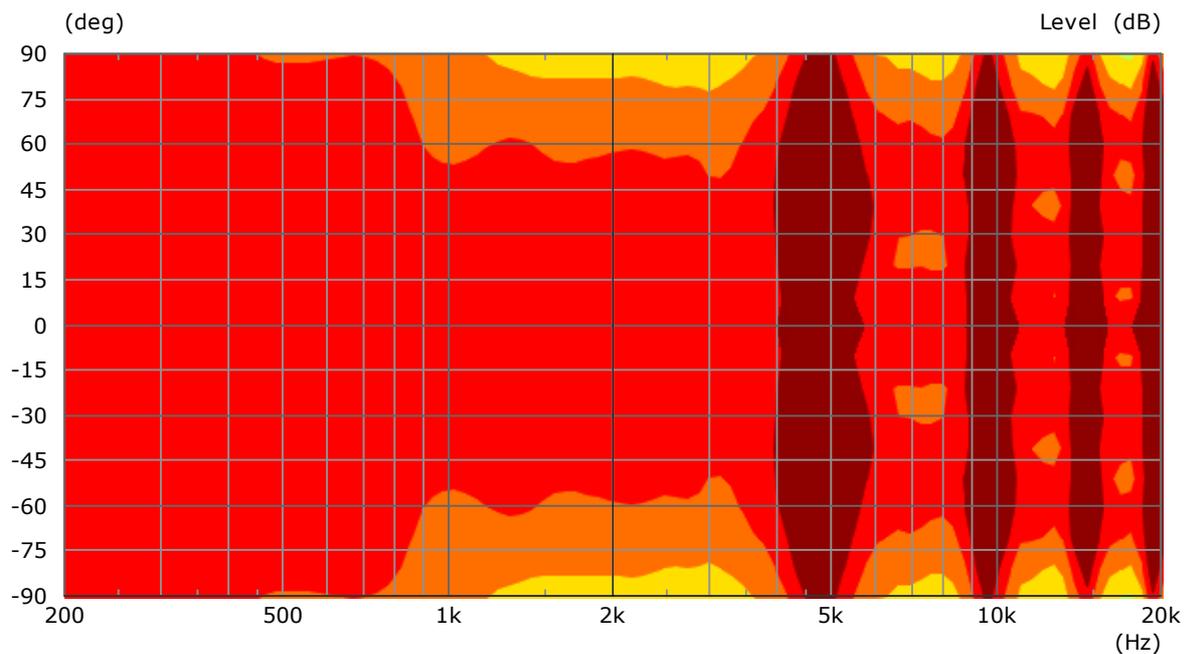
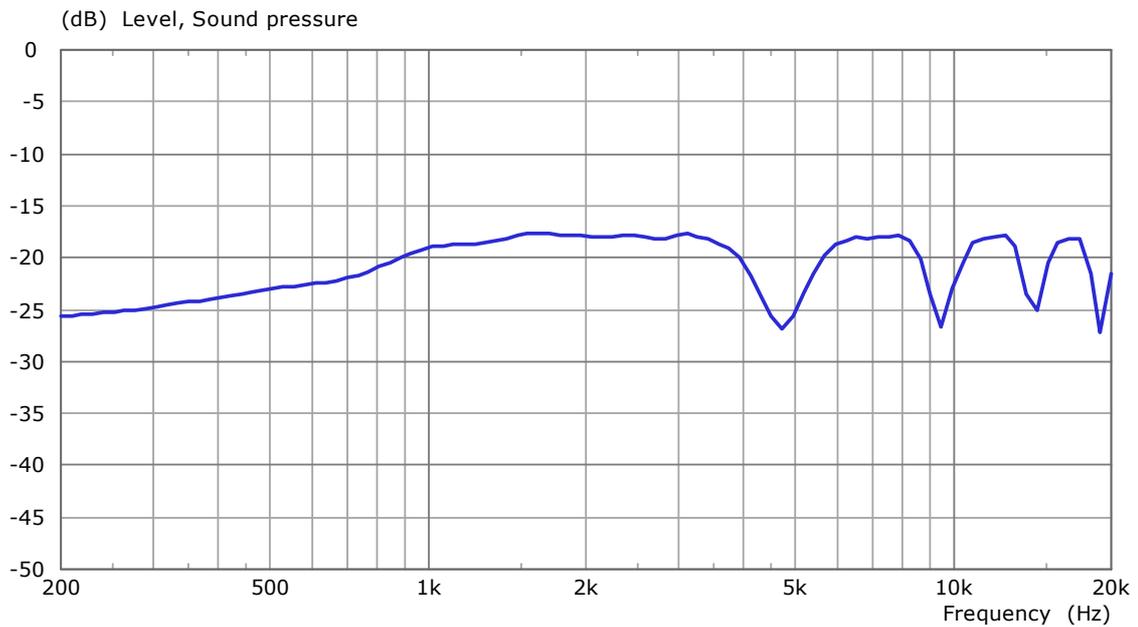
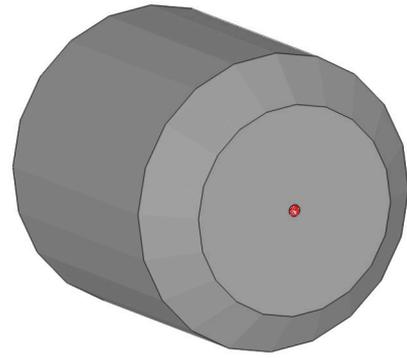
Weiterhin wird die Amplitude der Sekundärschallquellen vor allem im oberen Frequenzbereich stark abgeschwächt. Im unteren Bereich fällt die Abschwächung geringer aus, weil der Radius der Abrundung im Verhältnis zur Wellenlänge zu klein ist. Dass die Sekundärschallquelle im Hochton nicht komplett eliminiert ist, könnte seine Ursache in der approximierten Rundung des 3D-Modells haben. Das wurde nicht weiter untersucht.



Fase

Bei der Fase dagegen wird die Amplitude der Sekundärschallquellen nicht abgeschwächt. Die Fase sorgt dafür, dass die Schallwand bis zur inneren Kante (r_1) verkleinert wird. Das hat zur Folge, dass sich das Interferenzmuster im Frequenzbereich nach oben verschiebt.

Weiterhin erzeugt die äußere Kante (r_2) eine Tertiärschallquelle. Also eine Sekundärschallquelle der Sekundärschallquelle, die sich wiederum mit dem Direktschall überlagert.

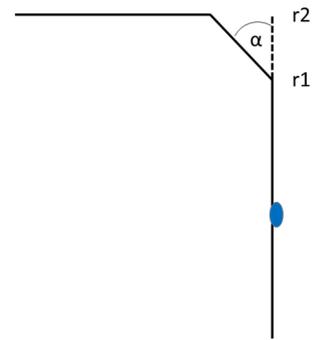


Wenn r_1 und r_2 so gewählt werden, dass die Laufzeiten von Sekundär- und Tertiärschallquelle zu ihren Primärschallquellen identisch sind, nehmen die Überhöhungen die Form eines Plateaus an. Somit entsteht im Bereich der ersten Überhöhung ein relativ großer Frequenzbereich (fast drei Oktaven), der ein nahezu konstantes Abstrahlverhalten aufweist. Dies ist bei einem Verhältnis von $r_1 = \frac{r_2}{\sqrt{2}}$ der Fall.

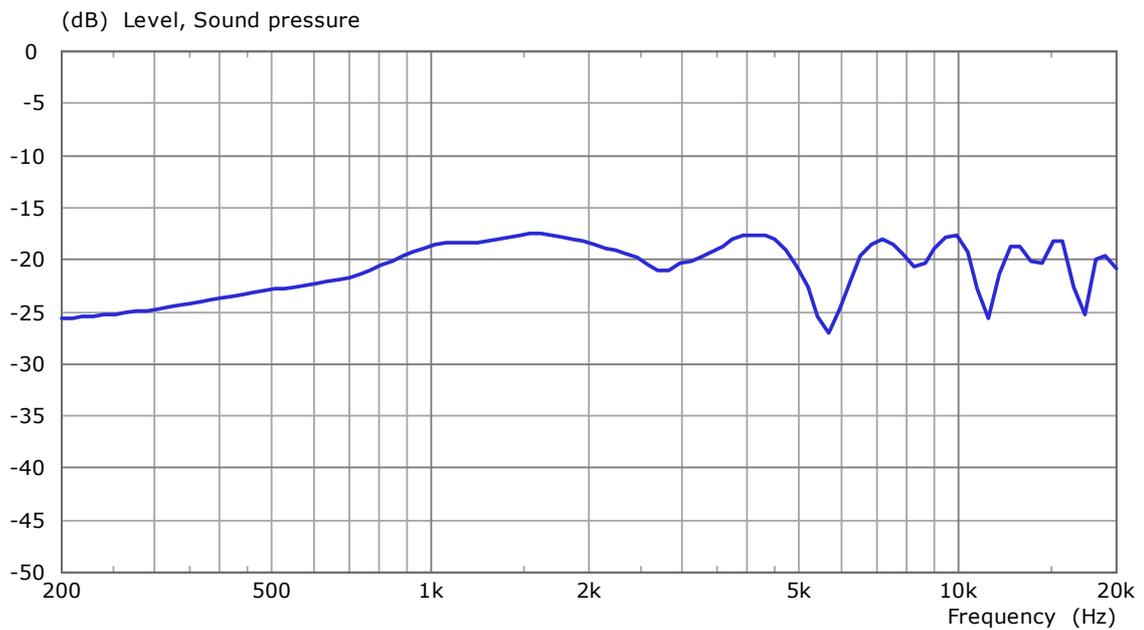
Dieses besonders günstige Verhältnis lässt sich auch auf rechteckige Schallwände mit zentrisch platzierter Schallquelle übertragen, allerdings weniger stark ausgeprägt. Bei komplexeren Schallwänden und azentrischen Treiberpositionen funktioniert das dagegen nicht mehr so trivial.

Variation des Winkels

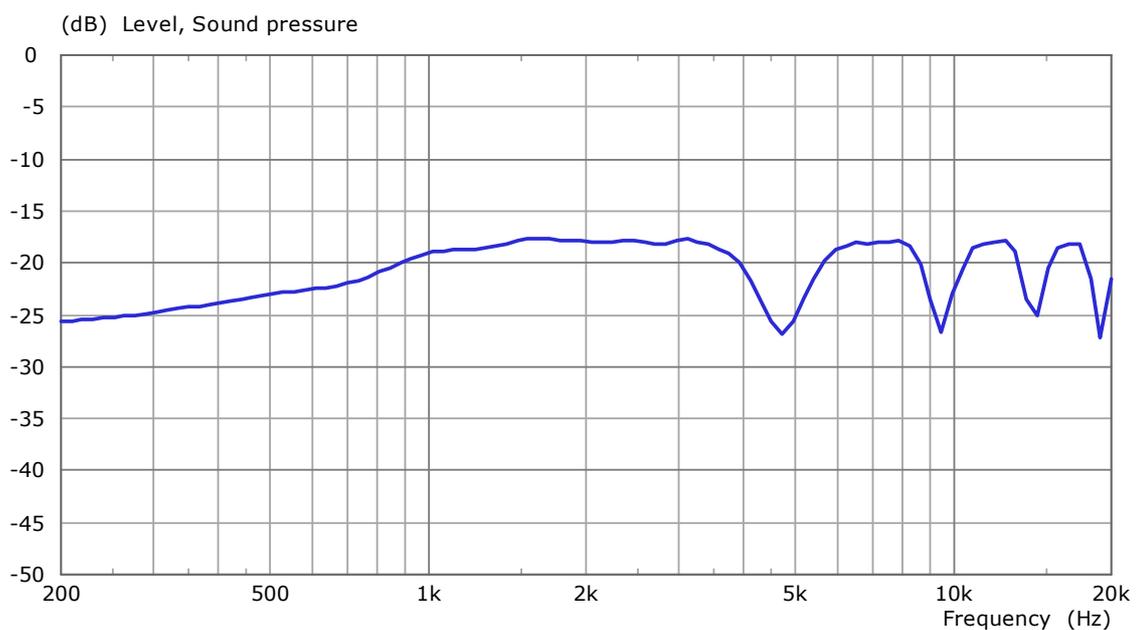
Im Folgenden wurde untersucht, ob der Winkel einen Einfluss auf das Abstrahlverhalten besitzt. Dafür wurden der äußere Radius (r_2) und die Laufzeitdifferenz zwischen Sekundär- und Tertiärschallquelle konstant gehalten. Das hat zur Folge, dass der innere Radius (r_1) variiert. Die Laufzeitdifferenz wurde so gesetzt, dass sie identisch ist zur Laufzeit zwischen Primär- und Sekundärschallquelle.



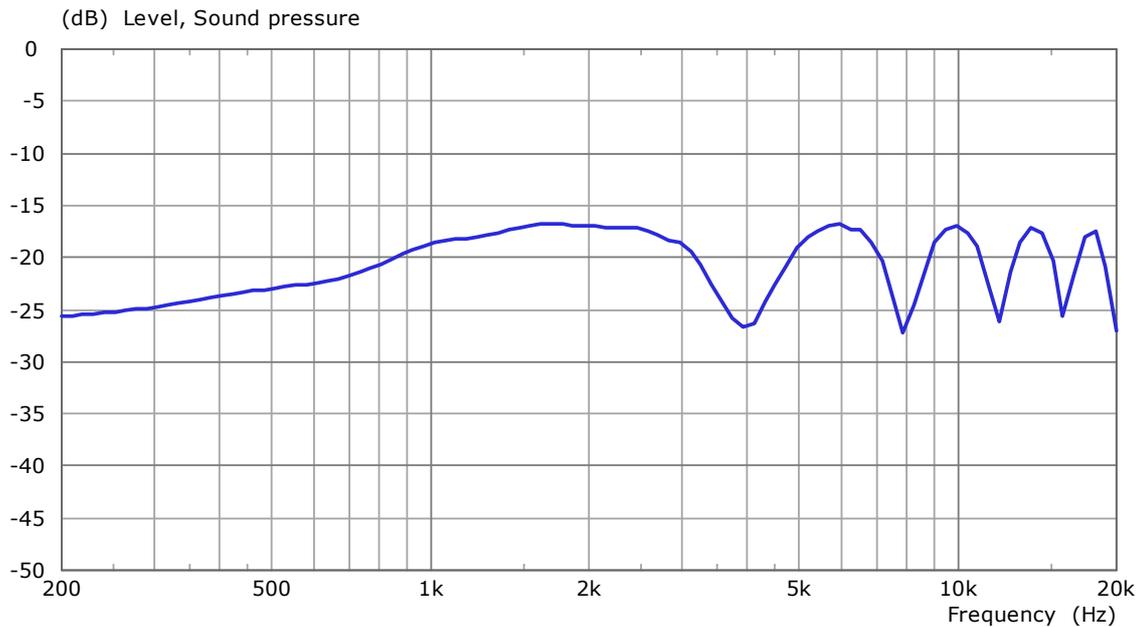
$\alpha = 20^\circ$, $r_1 = 58,8$ mm:



$\alpha = 45^\circ$, $r_1 = 70,7$ mm:



$\alpha = 70^\circ$, $r_1 = 85$ mm:



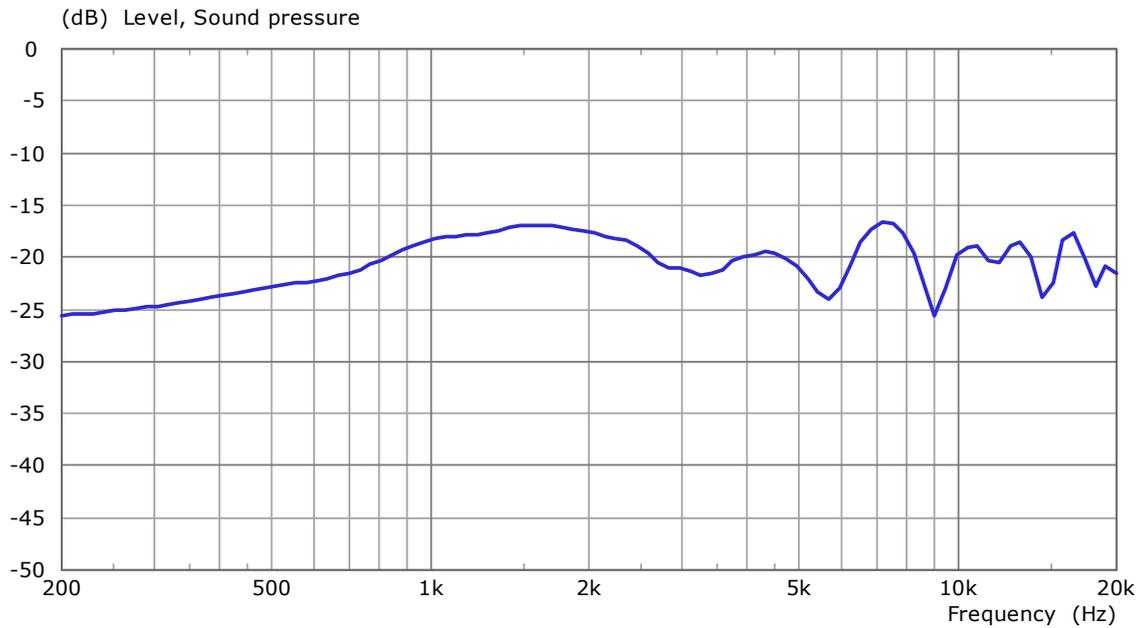
Das Interferenzmuster ist bei allen Winkeln praktisch gleich stark ausgeprägt. Eine Abschwächung findet nicht statt. Das bedeutet, dass der Winkel selbst keine nennenswerte Auswirkung auf die Amplitude der Sekundärschallquelle besitzt. Allerdings ändert sich in diesen Beispielen jeweils das Verhältnis zwischen den Radien r_1 und r_2 und damit der Wellenlängen, bei denen die Minima und Maxima auftreten.

Es scheint ein ideales Verhältnis zwischen den Radien zu geben. Bei ca. 45° liegt der größte Bereich eines nahezu konstanten Abstrahlverhalten vor. Größere Abstände (flachere Winkel) erzeugen einen Einbruch unter 0° (also eine Aufweitung im Abstrahlverhalten) und geringere Abstände (steilere Winkel) bewirken das Gegenteil.

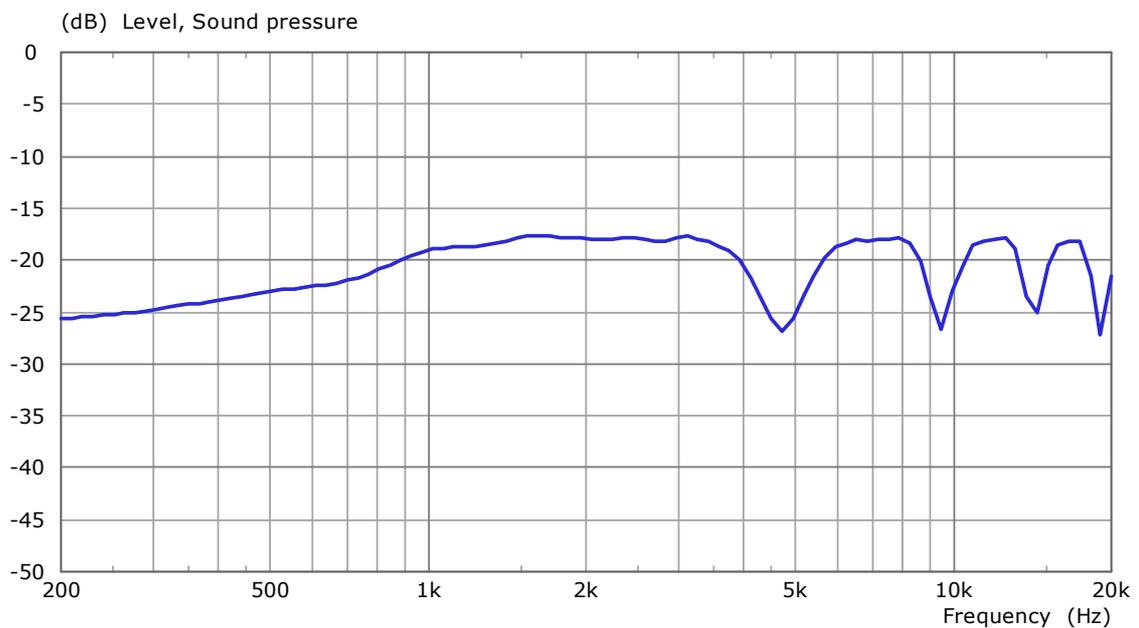
Variation der Laufzeit

Im Folgenden wurden die Radien r_1 und r_2 konstant gehalten und nur der Winkel verändert. Das hat zur Folge, dass die Laufzeitdifferenz zwischen Sekundär- und Tertiärschallquelle variiert. Für das Verhältnis zwischen den Radien wurde $r_1 = \frac{r_2}{\sqrt{2}}$ gewählt.

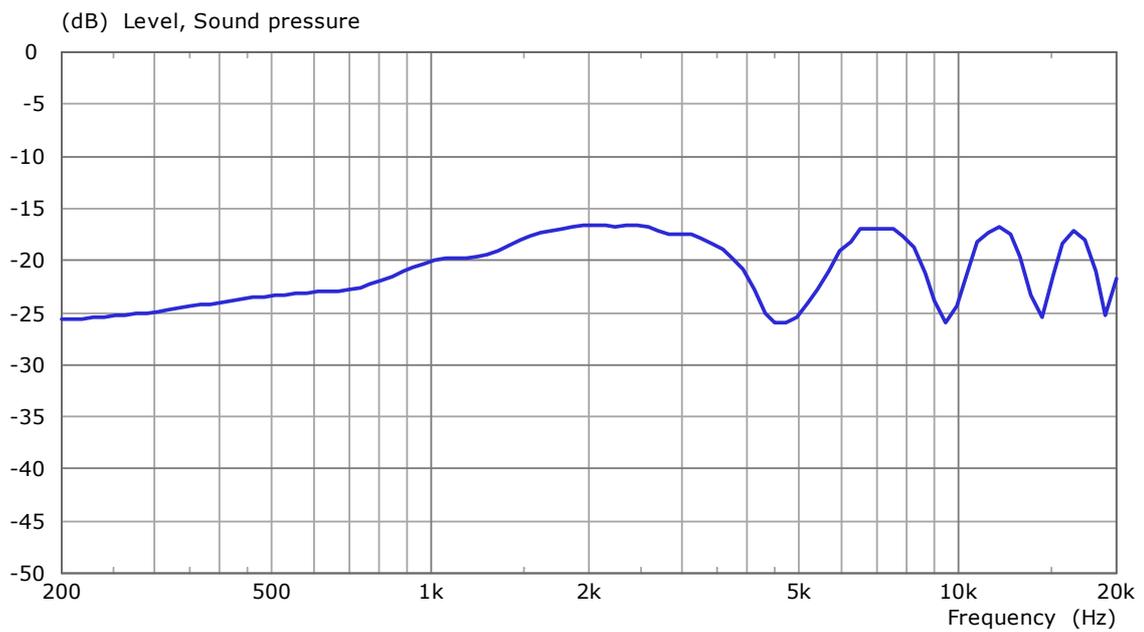
$\alpha = 20^\circ$, $t_{12}/t_{23} = 1,7$:



$\alpha = 20^\circ$, $t_{12}/t_{23} = 1$:



$\alpha = 70^\circ$, $t_{12}/t_{23} = 0,43$:



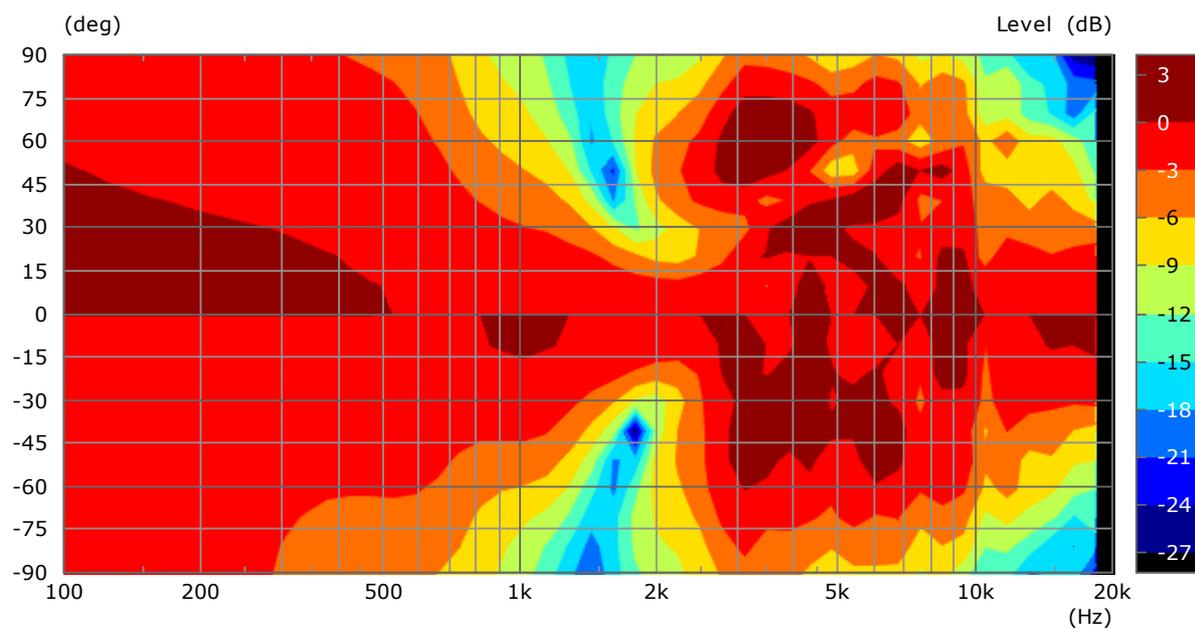
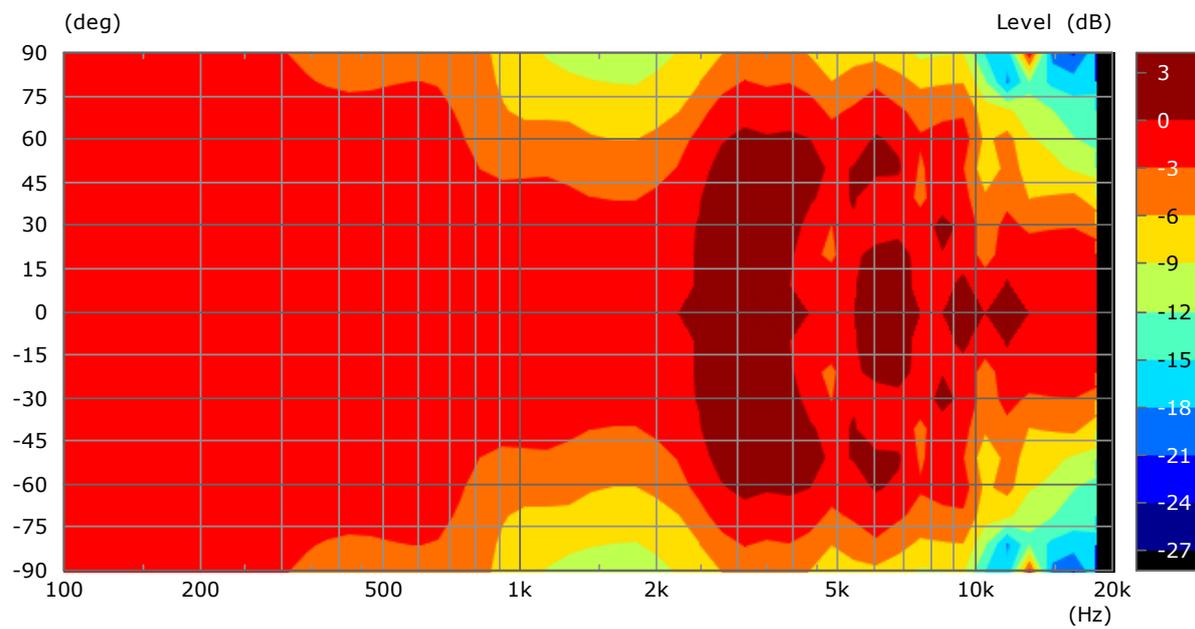
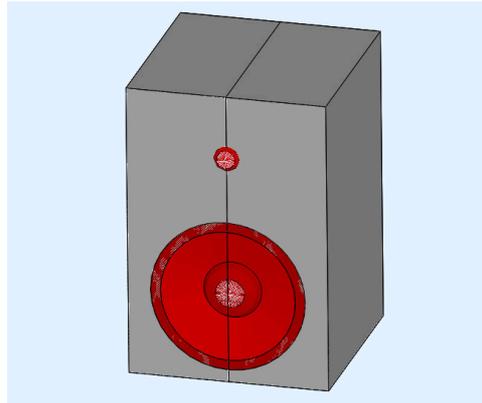
Ein optimales Verhältnis scheint bei identischen Laufzeitdifferenzen vorzuliegen.

Beispiel anhand eines 2-Wegers

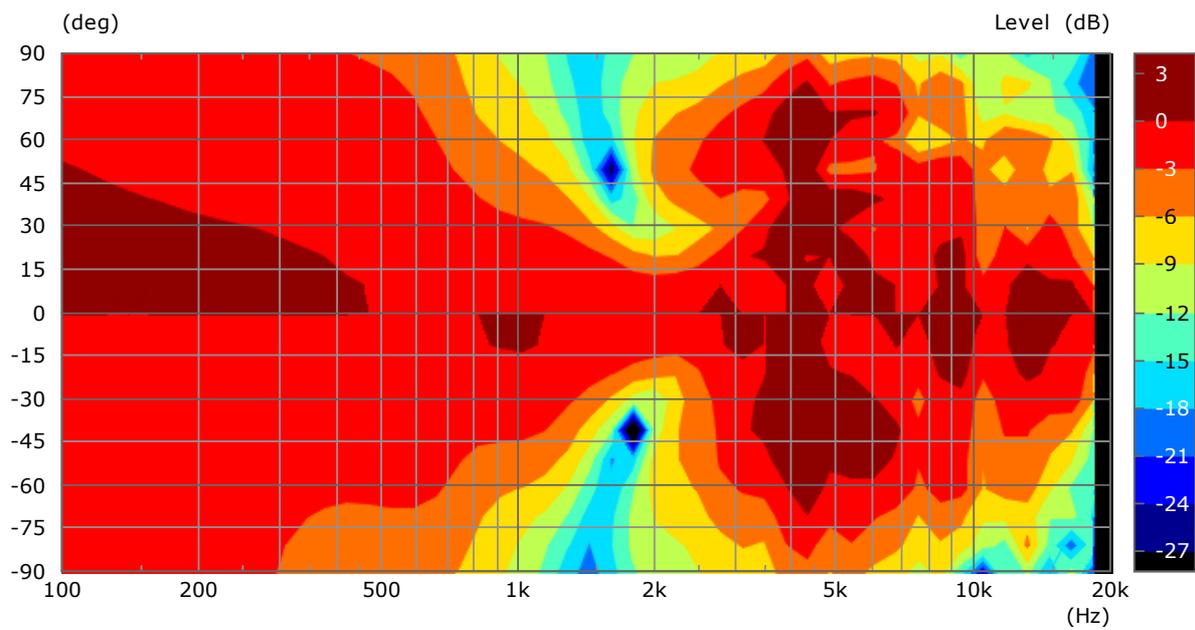
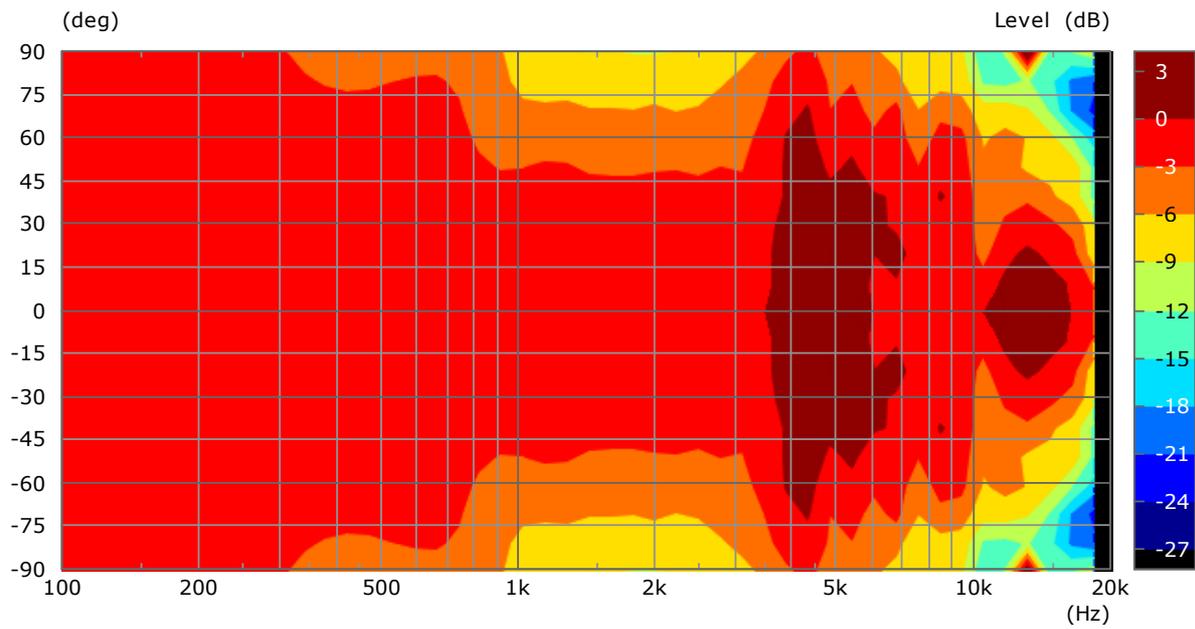
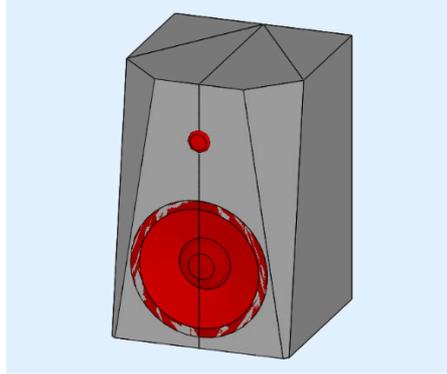
Im Folgenden wurde ein 2-Weger mit 6" Tieftöner und 1" Hochtöner simuliert. Die Gehäuse maße betragen 20 x 30 x 20 cm (BxHxT). Die Trennfrequenz lag bei 1,8 kHz. Die Filtercharakteristik war Linkwitz-Riley 4. Ordnung.

Dargestellt ist jeweils das horizontale und vertikale Abstrahlverhalten.

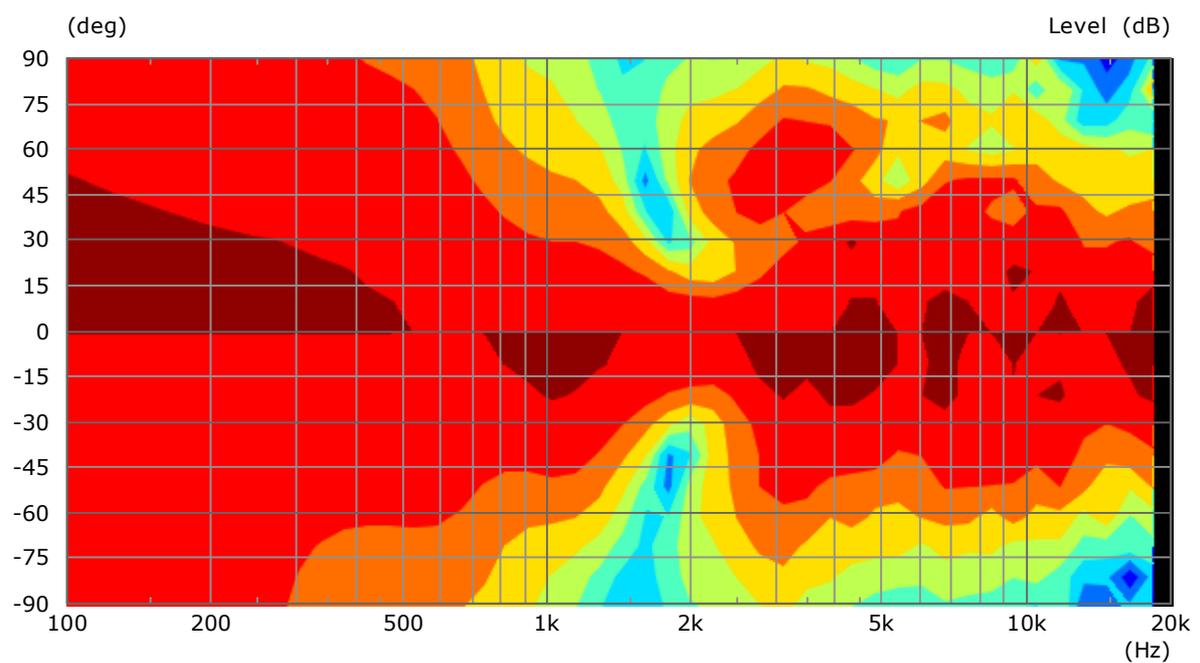
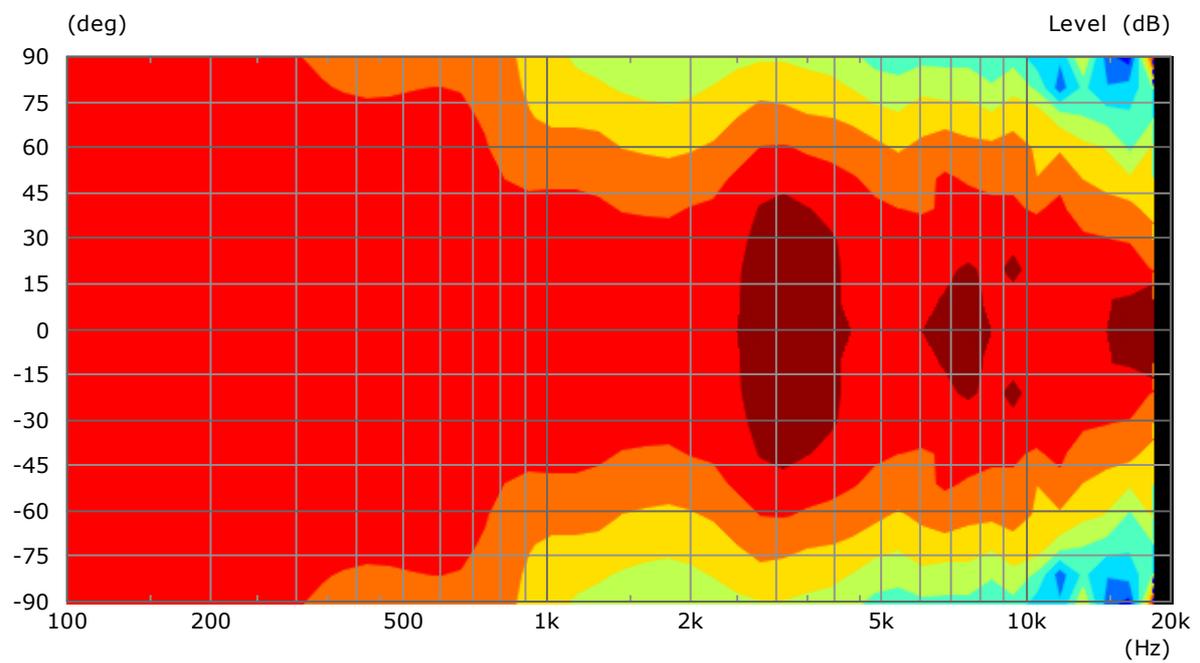
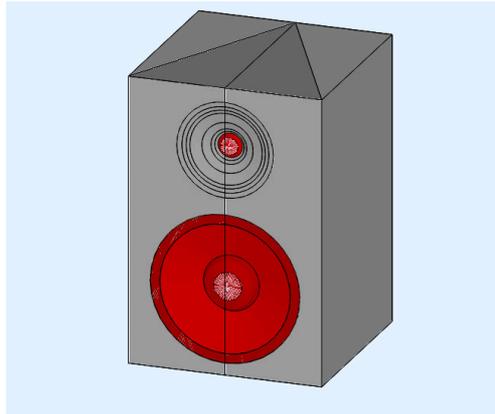
Einfache Kante



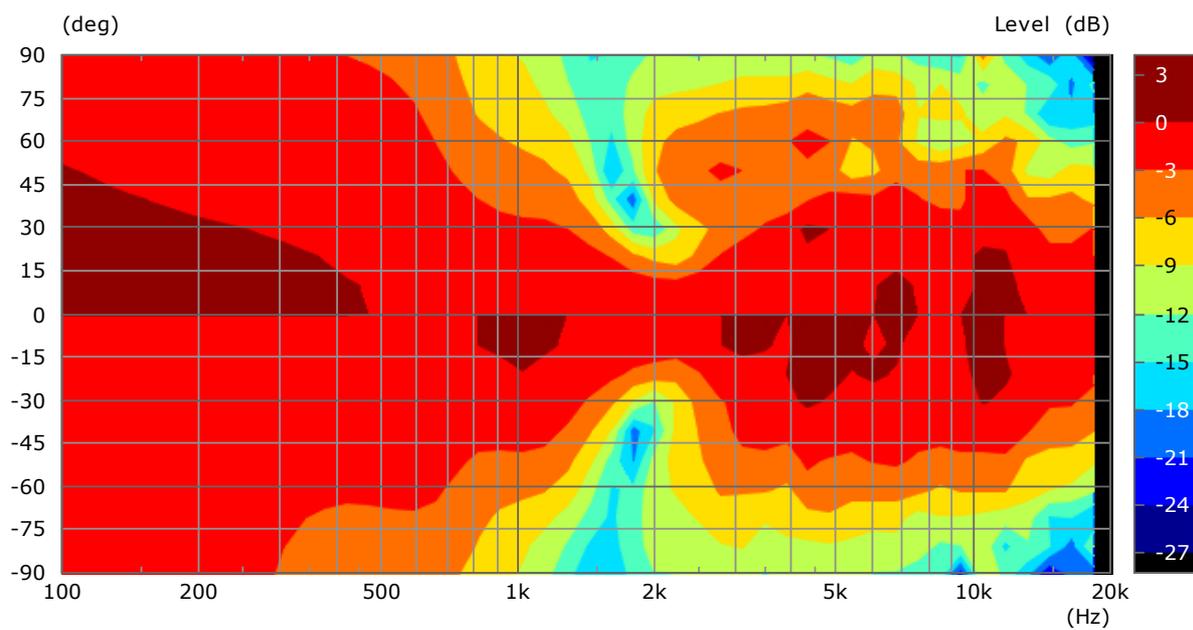
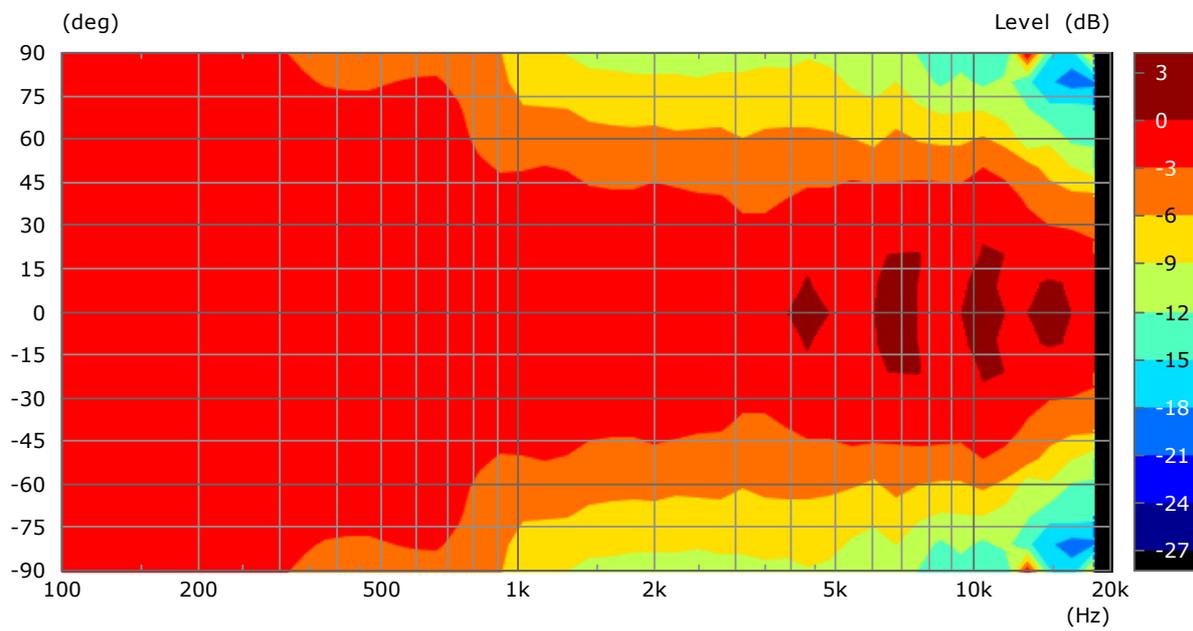
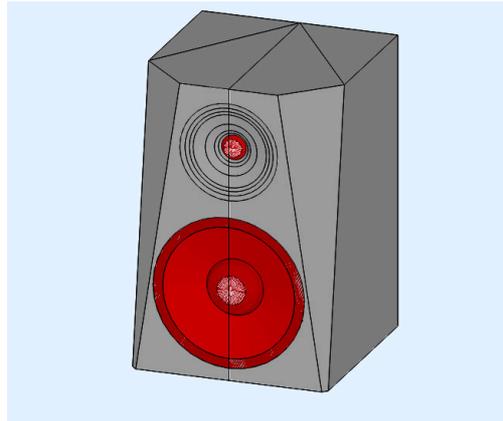
Fase



Waveguide und einfache Kante



Waveguide und Fase



Fazit

Während sowohl die Abrundung als auch die Fase die effektive Schallwand verkleinern, ist dieser Effekt bei der Fase deutlich stärker ausgeprägt. Weiterhin schwächt nur die Rundung die Amplitude der Sekundärschallquellen und damit der Interferenzen ab. Es ist also immer genau zu untersuchen, welche Maßnahme für ein bestimmtes Konzept die bessere ist.

Die Auswirkungen von Schallquellen, die selbst eine Richtwirkung aufweisen (große Membran oder Horn/Waveguide) wurden in diesem Dokument nicht betrachtet. Es sei jedoch gesagt, dass diese sehr effektiv im Abschwächen von Sekundärschallquellen sind.