

ARTA-Ringversuch

2. Runde

Auswertung

Rev. 0.5
HWe,19.11.2018

Danksagung

Vielen Dank an Visaton und insbesondere an Friedemann Hausdorf für die Durchführung der Referenzmessung und die Beistellung der Chassis. Dank auch an alle Teilnehmer für die Mitwirkung und die geopferte Zeit.

HWe, 18.11.2018

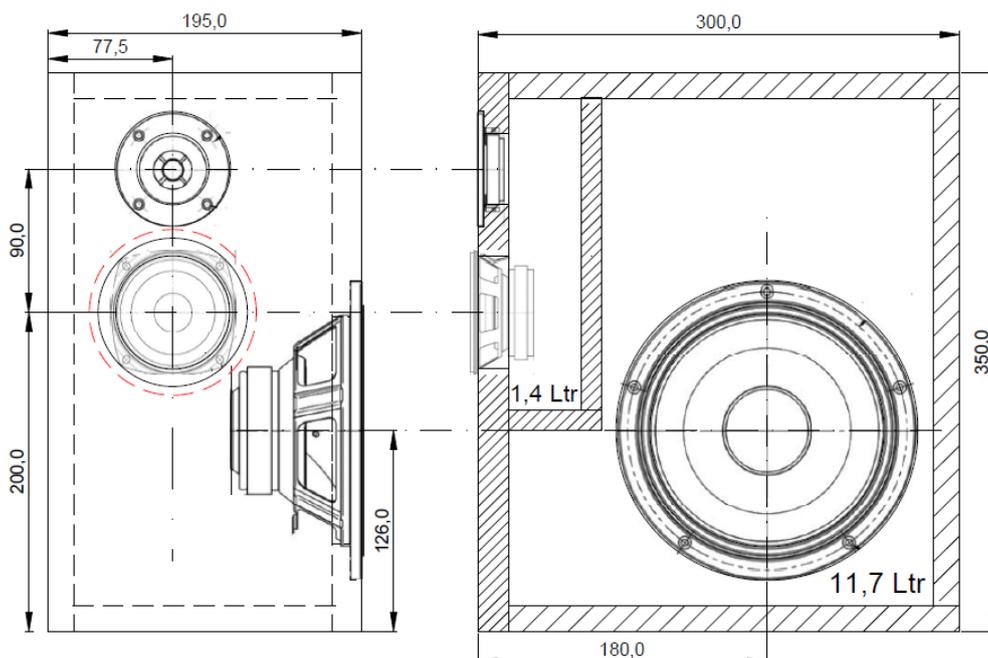
Vorwort

Einige erinnern sich vielleicht noch an den ersten ARTA-Ringversuch irgendwann im Jahr 2006. Kinder, wie die Zeit vergeht!

Es ging damals darum festzustellen, inwieweit sich akustische Messungen bei genau spezifizierten Bedingungen in unterschiedlichen Räumen mit unterschiedlichem Messequipment unterscheiden. Der damalige Versuchsaufbau war äußerst simpel, die Teilnehmer hatten – außer der Wahl der eigenen Messhardware – keinerlei Freiheitsgrade. Die Messung aus dem RAR von Visaton wurde dabei als Referenz gesetzt. Als „Belohnung“ für die Mitwirkung gab es für jeden Teilnehmer eine Kalibrierdatei für das eigene Mikrofon. Die Teilnahmebedingungen und die Auswertung des ersten Ringversuches sollten noch im Netz zu finden sein.

Durch die Verfolgung etlicher Diskussionen in Foren zum Thema Messen und Simulieren entstand die Idee zu einem zweiten Ringversuch. Der Versuchsansatz unterscheidet sich jedoch deutlich von dem der ersten Runde. So wird das Messobjekt kein Breitbänder auf einer offenen Schallwand – wie im ersten Ringversuch - sein, sondern soll messtechnisch eine größere Herausforderung darstellen. Idealerweise sollte man dafür einen 3-Wege-Standlautsprecher wählen, jedoch wird dann der Transport zu den Teilnehmern schnell zur Lästigkeits- und Kostenbarriere.

Als Kompromiss wird als Messobjekt ein auf „Paketversand“ optimierter Lautsprecher zur Verfügung gestellt (DHL < 10 kg, 8,49 €). Es handelt sich um ein kleines, asymmetrisch aufgebautes 3-Wege-System (siehe Bild).



An dieser Stelle soll noch einmal ausdrücklich betont werden, dass bei der Konzeptionierung des Messobjektes nicht primär ein „guter“ Lautsprecher im Fokus stand, sondern ein – gemessen an Größe - anspruchsvolles Messobjekt für den Ringversuch. Ob daraus ein funktionierender Lautsprecher zu entwickeln ist, werden wir sehen. Demzufolge spielte auch die Wahl der Lautsprecher eine untergeordnete Rolle. Sie sollten in erster Linie preisgünstig, wiederbeschaffbar sowie halbwegs kombinierbar sein.

Gewählt wurden W170S-8, FRS8-8 und DTW72 aus dem Hause Visaton. Wobei der hier verwendete FRS8 ein alter Bekannter ist, er stammt noch aus dem ersten Ringversuch. Vom Lautsprecher werden zum Zeitpunkt der Versuchsauswertung Referenzmessdaten vorliegen, die im RAR von Visaton in unterschiedlichen Entfernungen ermittelt wurden (360° horizontal und vertikal).

Die Aufgabe der Teilnehmer besteht darin, diesen Lautsprecher unter gewohnten Bedingungen im heimischen Wohnzimmer, Keller oder Garten zu messen und virtuell - oder wer Lust hat, auch real - eine Frequenzweiche mit BoxSim oder einem anderen Simulationsprogramm zu entwickeln.

Ansonsten gibt es keine weiteren Vorgaben, sondern nur die Verpflichtung, die Rand- und Rahmenbedingungen der Messung für eine nachgeschaltete Analyse in einem vorbereiteten Protokoll zu beschreiben.

Das wären:

- die Abmessungen des Raumes, in dem gemessen wurde,
- die Positionierung von Messobjekt und Mikrofon im Raum,
- die Durchführung einer Messung mit mindestens 1 sec Messdauer (44,1 kHz, 128 k) mit dem Tieftöner des Messobjektes zwecks Abschätzung der Nachhallzeit des Raumes,
- die Lieferung aller Messdaten, bevorzugt ARTA (pir, imp). Es sind auch andere Formate wie txt, frd, zma möglich, jedoch sind die Auswertemöglichkeiten dann eingeschränkt.
- Daten der virtuellen Frequenzweiche

Weitere Details und Erläuterungen sowie die Mailadresse für den Datenrücklauf werden im Messprotokoll zu finden sein, das das Messobjekt begleiten wird.

Die Auswertung wird nach Beendigung des Ringversuches im Visaton-Forum veröffentlicht. Sie soll den Anstoß für eine nachgeschaltete öffentliche Diskussion geben.

Viel Spaß!

HWe, 28.06.2018

Auswertung des 2. Ringversuches

Inhalt

Allgemeine Überlegungen zur Vorbereitung der Messungen

- Abschätzung der Übergangsfrequenzen
- Simulationen
- Anforderungen an die Messung
 - Abschätzung der Fernfeldbedingungen
 - Abschätzung der Nahfeldbedingungen
 - Abschätzung der Lage des Baffle Steps
 - Überlegungen zur Messung des Seitenbasses

Rahmenbedingungen für die Messungen

- Eingesetzte Hard- und Software
- Die Messräume
- Gewählte Messanordnungen

Auswertungen – Vergleich mit Referenzmessungen

- Mikrofonvergleich
- Impedanzmessungen
- W170S8
 - Fernfeld
 - Nahfeld
- FRS8-8
 - Fernfeld
 - Nahfeld
- DTW72
- Ground Plane
- Simulationen

Zusammenfassung

Literatur

Abkürzungen

Anhang

- Einzelvergleich Mikrofone
- Einzelvergleich W170S8
- Einzelvergleich FRS8-8
- Einzelvergleich DTW72
- Einzelvergleich Simulationen

ALLGEMEINE ÜBERLEGUNGEN ZUR VORBEREITUNG DER MESSUNGEN

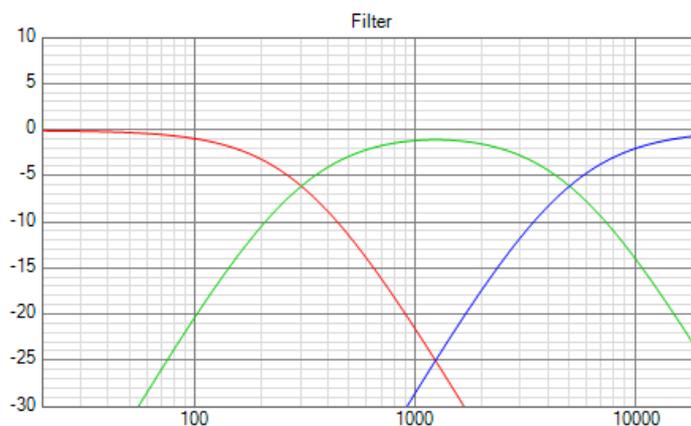
Da Gehäuse und Chassis vorgegeben sind, erscheint es sinnvoll, sich im Vorfeld der Messungen Gedanken über den möglichen Einsatz/die Aufstellung des Testlautsprechers zu machen. Erfahrungsgemäß ist die Ankopplung von Seitenbässen nicht unkritisch und sollte – insbesondere bei kurzen Hörabständen – je nach gewünschter Ausrichtung/Abstrahlrichtung in der Messstrategie berücksichtigt werden [01].

Da die Halbfeldfrequenzgänge und Impedanzgänge aller Chassis bekannt sind, besteht die Möglichkeit, vorab per Simulation eine virtuelle Entwicklung zwecks Abschätzung möglicher Probleme vorzunehmen. Das ist entweder sehr komfortabel direkt mit BoxSim oder über einige Zwischenschritte mit anderen geeigneten Programmen wie z.B. VituixCAD möglich.

Abschätzung der Übergangsfrequenzen:

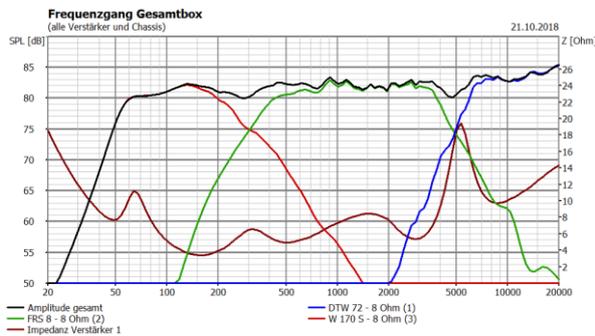
<p>Visaton DTW 72 Frequenzgang und Impedanz</p> <p>SPL [dB]</p> <p>Z [Ohm]</p> <p>— Amplitude bei 1 Watt, 1m — Impedanz [Ohm]</p>	<p>DTW72 $f_s = 3000 \text{ Hz}$ $S_D = 2 \text{ cm}^2$</p>	<p>Visaton Empfehlung → $5000 \text{ Hz}, 12\text{dB}$</p>
<p>Visaton FRS 8 - 8 Ohm Frequenzgang und Impedanz</p> <p>SPL [dB]</p> <p>Z [Ohm]</p> <p>— Amplitude bei 1Watt, 1m — Impedanz [Ohm]</p>	<p>FRS8-8 $f_s = 120 \text{ Hz}$ $Q_{ts} = 1,04$ $V_{as} = 0,9 \text{ L}$ $S_D = 31 \text{ cm}^2$</p>	<p>$VB = 1,4 \text{ L} \rightarrow$ $Q_{tc} = 1,33, f_c = 154 \text{ Hz}$ $\text{min } 2 \times f_c = 308 \text{ Hz}$</p>
<p>Visaton W 170 S - 8 Ohm Frequenzgang und Impedanz</p> <p>SPL [dB]</p> <p>Z [Ohm]</p> <p>— Amplitude bei 1Watt, 1m — Impedanz [Ohm]</p>	<p>W170S-8 $f_s = 36 \text{ Hz}$ $Q_{ts} = 0,52$ $V_{as} = 38 \text{ L}$ $S_D = 129 \text{ cm}^2$</p>	<p>Seitenbass → Bündelung ab ca. 200 Hz → möglichst tief trennen $VB = 11,7 \text{ L} \rightarrow$ $Q_{tc} = 1,08, f_c = 74,5 \text{ Hz}$</p>

Nach diesen Überlegungen sollten die Übergangsfrequenzen also bei ca. 300 Hz und 5000 Hz liegen.

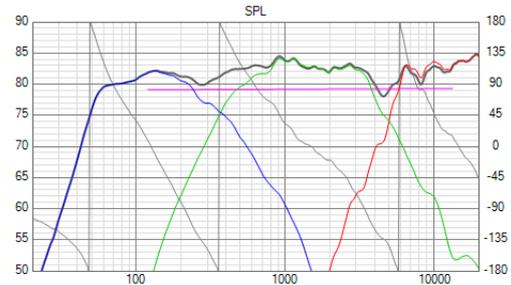


Simulationen

Nachfolgend zwei Simulationen, die auf Basis der veröffentlichten Daten von Visaton ermittelt wurden. Bei Anwendung von BoxSim werden die Gehäuseeinflüsse direkt mit berücksichtigt, im Falle von VituixCAD müssen die Halbraumfrequenzgänge (2 Pi) zunächst mit SPL-Trace erfasst und dann mit dem Diffraction Tool bearbeitet werden, bevor sie für die Simulation der Frequenzweiche verwendet werden können [02].



BoxSim



VituixCAD via SPL-Trace und Diffraction Tool

Beiden gezeigten Simulationen liegt eine identische Frequenzweiche zugrunde. Bei den aufgezeigten Unterschieden in der Nachbearbeitung der Daten ist es nicht verwunderlich, dass es Unterschiede zwischen den beiden Simulationen gibt, dennoch sind die charakteristischen Merkmale in beiden Simulationen vergleichbar. Der Maximalpegel sollte gemäß BoxSim bei ca. 90 dB liegen, der Lautsprecher ist also nichts für Lauthörer.

Anforderungen an die Messung

Aufgrund der tiefen Trennfrequenz zwischen TT-MT sollten die Messungen noch mindestens 2 Oktaven unterhalb 300 Hz valide sein.

Abschätzung der Fernfeldbedingungen

Eine Faustregel für die Abschätzung der Fernfeldbedingungen besagt:

$$\text{Messdistanz FF} = 3 \times \text{größte Abmessung der Box} = 3 \cdot (L^2 + B^2 + H^2)^{0,5}$$

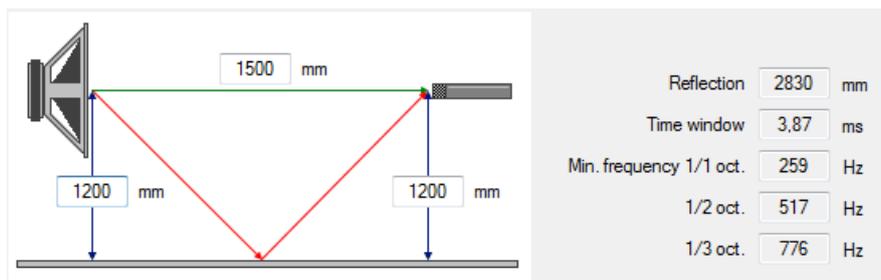
Für die Testbox ergibt sich somit:

$$\text{Messdistanz FF} = 3 \times (0,195^2 + 0,350^2 + 0,300^2)^{0,5} = 1,50 \text{ m}$$

D.h. ab ca. 1,50 m sollten alle Diffraktionseffekte vom Mikrofon erfasst werden.

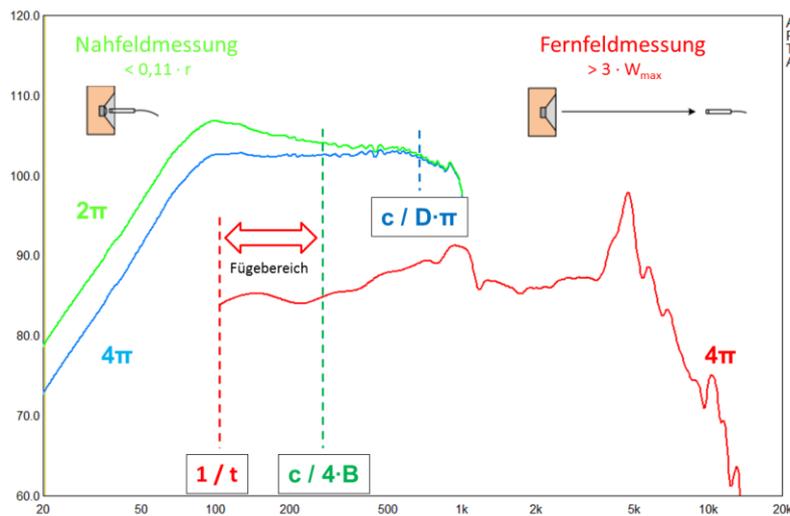
Was bedeutet das für eine übliche Indoor-Messung?

Das sich ergebende Messfenster bei einer durchschnittlichen Raumhöhe von 2,40m und einer Messdistanz von 1,50m ist wie folgt:



Es wird deutlich, dass die oben genannte Anforderung mit einer normalen Indoor-Messung nicht erreicht werden kann. Um 2 Oktaven unter $f_{\bar{u}}$ zu kommen, müsste der Lautsprecher bei einer Messdistanz von 1,50 m in ca. 2,50 m Höhe gemessen werden. Das bedingt dann eine Outdoor-Messung oder eine große Halle. Alternativ würde eine Ground-Plane-Messung [05], [08] infrage kommen, was allerdings ebenfalls Outdoor oder Halle bedeuten würde.

Als dritte Möglichkeit verbleibt die sogenannte „Quasi-Freifeldmessung“ [03], [06], [07]. Hierbei wird eine Nahfeldmessung mit einer gefensterten Fernfeldmessung zusammengefügt. Durch das Fenstern bzw. durch die kurze Messdistanz werden störende Reflexionen ausgeblendet bzw. unterdrückt, was dann in Summe quasi einer Freifeldmessung entspricht. Beim Fügen sind sowohl der Gültigkeitsbereich der Fernfeld- als auch der Nahfeldmessung zu beachten.



Abschätzung der Nahfeldgrenzen

Obergrenze der Gültigkeit der Nahfeldmessung: $f_{\text{Max NF}} = c / (D_M \times \pi) = 10950 / D_M$ [cm]

Maximale Messdistanz für die Nahfeldmessung: $D_{\text{Max Mess}} = 0,11 \times D/2$

mit $c = 344$ m/s und $D_M =$ Durchmesser Membran

Damit ergeben sich für den Mitteltöner FRS8-8 folgende Werte:

$$f_{\text{Max NF}} = 10950 / 6,28 = 1743 \text{ Hz}$$

$$D_{\text{Max Mess}} = 0,11 \times 6,28/2 = 0,345 \text{ cm} = 3,5 \text{ mm}$$

Desgleichen für den Tieftöner W170S8:

$$f_{\text{Max NF}} = 10950 / 12,80 = 855 \text{ Hz}$$

$$D_{\text{Max Mess}} = 0,11 \times 12,80/2 = 0,70 \text{ cm} = 7,0 \text{ mm}$$

Zur Abschätzung der Frequenz, bei der NF und FF sinnvoll gefügt werden können, ist es ferner wichtig zu wissen, ab wann der sogenannte Baffle-Step wirksam wird.

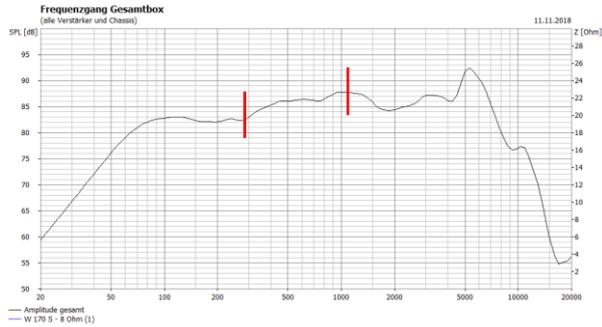
Abschätzung der Lage des Baffle-Steps

Untere Frequenzgrenze für den Baffle Step: $f_{u \text{ BS}} = c / (4 \times B)$

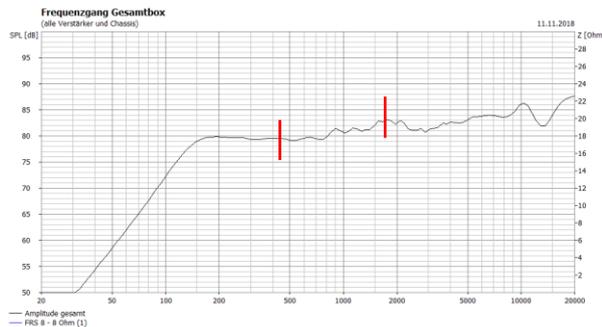
Obere Frequenzgrenze für den Baffle Step: $f_{o \text{ BS}} = c / B$

mit $B =$ Breite der Schallwand

Nachfolgend die Berechnung sowie die BoxSim-Simulationen für den W170S8 und den FRS8.



W170S8 (Seite, B = 30 cm):
 $f_{uBS} = 344 / (4 \times 0,300) = 286 \text{ Hz}$;
 $f_{oBS} = 344 / 0,300 = 1146 \text{ Hz}$



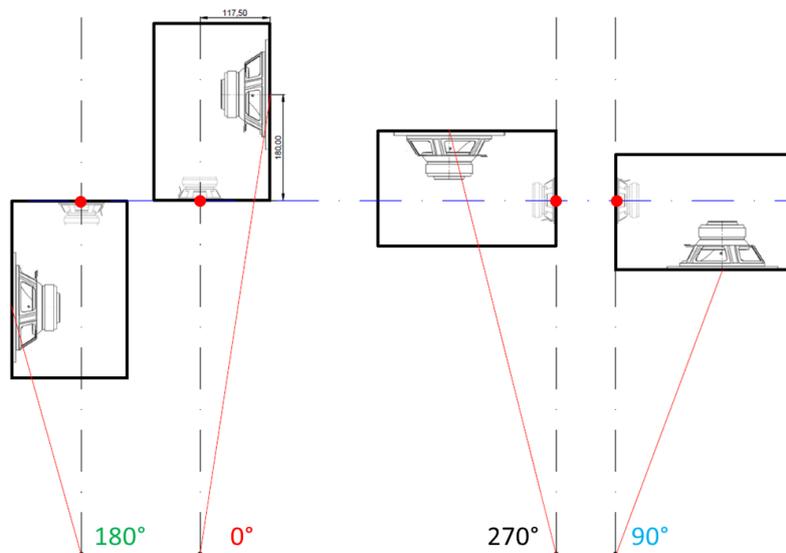
FRS8 (Front, B = 19,5 cm):
 $f_{uBS} = 344 / (4 \times 0,195) = 441 \text{ Hz}$;
 $f_{oBS} = 344 / 0,195 = 1764 \text{ Hz}$

Es ist ersichtlich, dass die Berechnung der Lage des Baffle-Steps und Simulation beim W170S8 recht gut übereinstimmen. Beim FRS8 lässt sich erahnen, dass es ebenfalls passen könnte. Das heißt, das Fügen von NF und FF für die Quasi-Freifeldfrequenzgänge für den W170S8 sollte unterhalb 286 Hz bzw. für den FRS8 unterhalb 441 Hz erfolgen.

Überlegungen zur Messung des Seitenbasses

Sofern die Winkelfrequenzgänge aller Chassis des Testlautsprechers von einer festen Mikrofonposition aus gemessen werden, ist – insbesondere bei kurzen Messdistanzen - auf die Besonderheit des Seitenbasses zu achten.

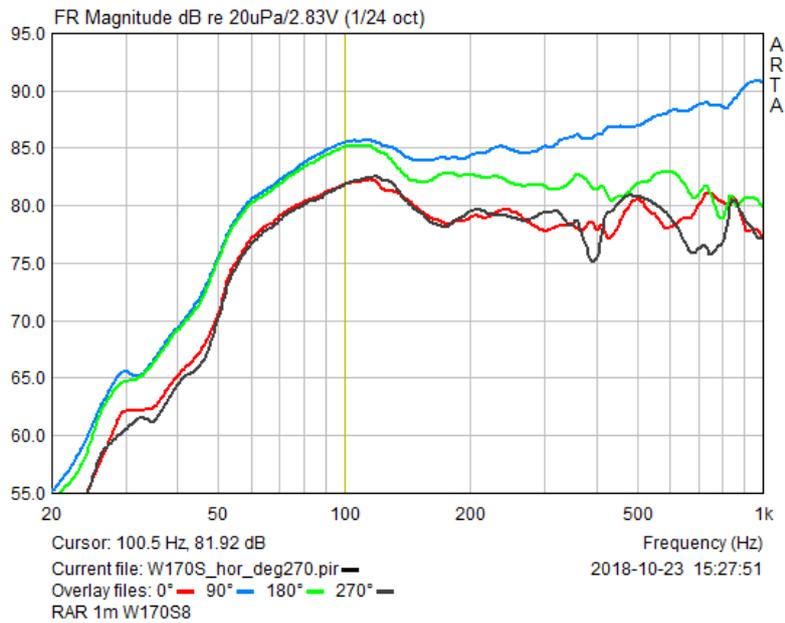
Üblicherweise rotiert der Lautsprecher bei diesen Messungen um eine Bezugsachse. Im Falle des Testlautsprechers soll das die Schallwandebene auf Höhe des FRS8 sein (roter Punkt).



Bei dieser Rotation um den FRS8 liegt der Seitenbass außerhalb der Rotationsachse (siehe Bild) und je nach Winkel ergeben sich für den W170S8 sehr unterschiedliche Messdistanzen. Nachfolgende Tabelle zeigt diese Unterschiede als Distanzen und Pegel auf.

Distanz	Entfernungen in m				rel. Pegelunterschiede in dB				max Diff
	Bass rechts 0°	Bass hinten 270°	Bass vorn 90°	Bass links 180°	Bass rechts 0°	Bass hinten 270°	Bass vorn 90°	Bass links 180°	
0,5	0,694	0,647	0,484	0,349	-2,85	-2,24	0,29	3,13	5,98
1,0	1,188	1,134	0,931	0,832	-1,50	-1,09	0,62	1,60	3,10
1,5	1,686	1,629	1,414	1,327	-1,01	-0,72	0,51	1,06	2,08
2,0	2,184	2,126	1,906	1,825	-0,77	-0,53	0,42	0,79	1,56
4,0	4,182	4,122	3,894	3,823	-0,39	-0,26	0,23	0,39	0,78

So ergibt sich z.B. bei einer Messdistanz von 1,0 m zwischen den verschiedenen Messwinkeln rechnerisch ein max. Pegelunterschied von ca. 3,1 dB.



Messtechnisch wird das im RAR bei 1 Meter mit ca. 3,4 dB @ 100Hz in etwa bestätigt. Damit die Messungen die tatsächliche Abhörsituation auch halbwegs real erfassen, muss für die Fernfeldmessungen also ein hinreichend großer Messabstand gewählt werden, der zumindest in etwa der Abhördistanz entsprechen sollte.

RAHMENBEDINGUNGEN FÜR DIE MESSUNGEN

Eingesetzte Hard- und Software

Nachfolgende Tabelle gibt eine Übersicht über die verwendete Hard- und Software aller Teilnehmer.

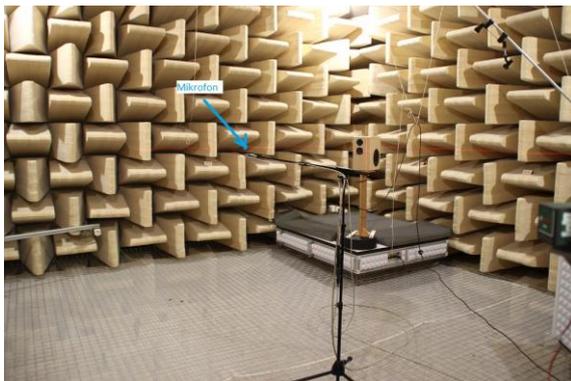
Teilnehmer	Software	Messmikrofon	Mikrofonverstärker
Chlang	ARTA	Stick	Stick
PeterK	DLSA PRO	DLSA PRO	DLSA PRO
Ctrl	ARTA	iSEMcon EMX 7150	Moto Ultra-Lite MK4
DerAxel	ARTA	Earthworks M23	RME Fireface UC
Visaton	ARTA	B&K Typ 4133	B&K Typ 2609
FH	ARTA	DIY Typ MCE 3.11	USB Thomann t.bone
Oldie	ARTA	Neutric Mini SPL	Tascam M-208
Oldie	ARTA	Stick	Stick
UweG	ARTA	Behringer ECM 8000	
Newmir	ARTA		DIY
Spendormania	ARTA	Beyerdynamic MM1	Spartan Cue 110
Wolfgang520	Clio	Clio	Clio
GAGA	ARTA	iSEMcon EMX-7150	Focusrite Scarlett 2i2

Teilnehmer	Soundkarte	Leistungsverstärker
Chlang	Stick	Stick
PeterK	DLSA PRO	
Ctrl	Moto Ultra-Lite MK4	Marantz PM7001
DerAxel	RME Fireface UC	Marantz MA500
Visaton	Realtek ALC887	
FH	Realtek	t.amp PM40C
Oldie	Terratec DMX 6 fire 24/96	Carlsbro M130
Oldie	Stick	Stick
UweG	Steinberg UR22 Mk2	t.amp PM40C
Newmir	M-Audio Transit	DIY TDA2030
Spendormania	Spartan Cue 110	Monacor STA 450D
Wolfgang520	Clio	Clio QCBox
GAGA	Focusrite Scarlett 2i2	Monacor AKB-60

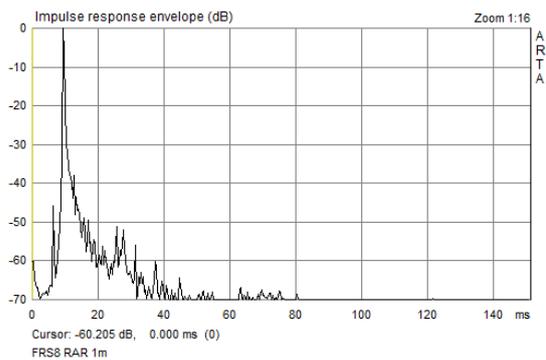
Die Messräume

Die Messungen fanden in sehr unterschiedlichen Messumgebungen statt. Nachfolgende Tabelle gibt eine Übersicht mit einigen Zusatzinformationen.

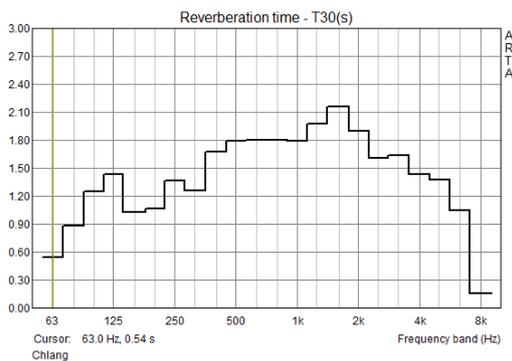
Teilnehmer	Raumtyp	Volumen m ³	Nachhallzeit s	Hallradius m
Chlang	Turnhalle	1728	1,4	2,0
PeterK	Scheune	352	-	-
Ctrl	Wohnraum	54	0,34	0,72
DerAxel	Wohnraum	58	0,24	0,89
Visaton	RAR	343	-	-
FH	Wohnraum	50	0,40	0,64
Oldie	Wohnraum	68	0,31	0,85
Oldie	Wohnraum	68	0,31	0,85
UweG	Innenhof	-	0,51	-
Newmir	Wohnraum	47	0,50	0,55
Spendormania	Wohnraum	44	0,45	0,56
Wolfgang520	Wohnraum	61	0,58	0,58
GAGA	Wohnraum	110	0,50	0,85



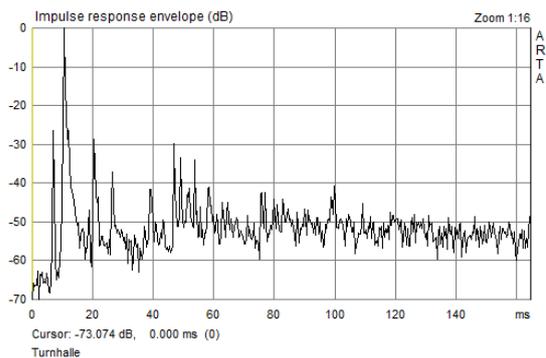
RAR



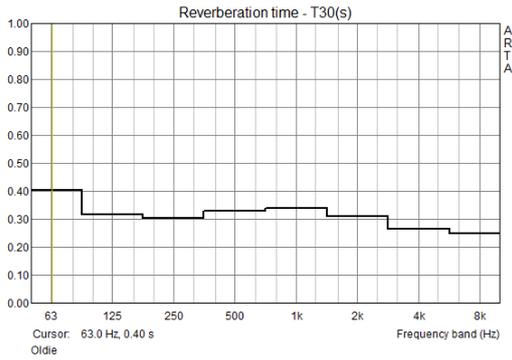
ETC



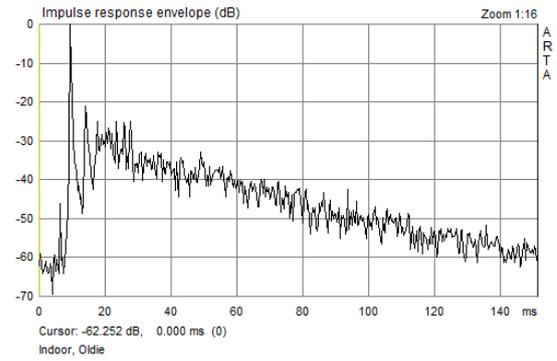
Turnhalle 1728 m³



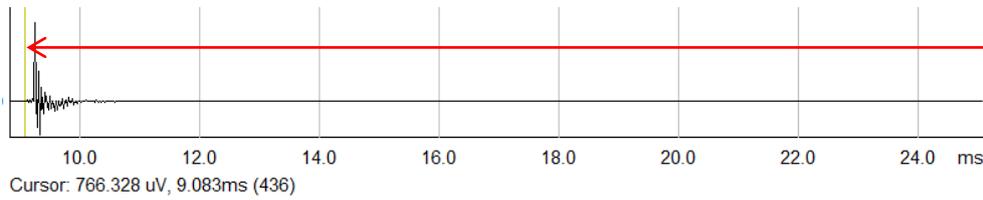
ETC



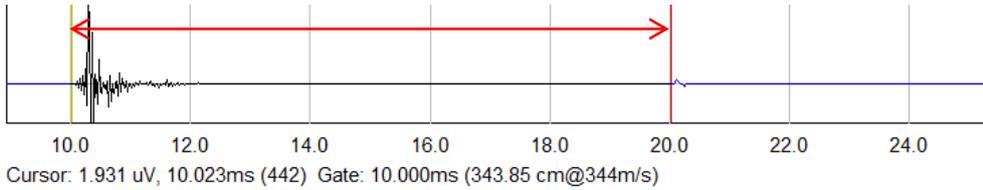
Wohnraum 68 m³



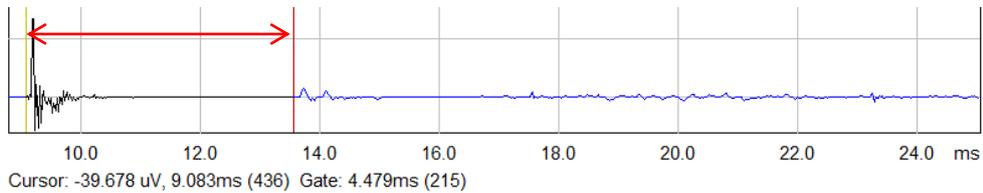
ETC



RAR



Turnhalle



Wohnraum

Impulsantwort aus drei unterschiedlichen Räumen



Quasi-Outdoor



Turnhalle

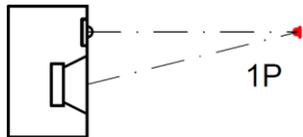


Scheune

Gewählte Messanordnungen

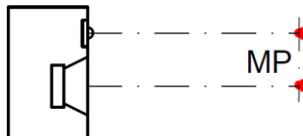
Da es jedem Teilnehmer freigestellt war, seine eigene Messstrategie zu wählen, ist es nicht verwunderlich, dass auch unterschiedliche Vorgehensweisen genutzt wurden.

In der nachfolgenden Aufstellung sind die prinzipiell gewählten Versuchsansätze bei den akustischen Messungen schematisch dargestellt. Es wurden auch Kombinationen dieser Bausteine verwendet, z.B. gefügte Nahfeld- /Fernfeldmessung.



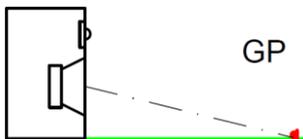
Einpunktmessung

Alle Messungen werden von einer festen Mikrofonposition (roter Punkt) aus durchgeführt.



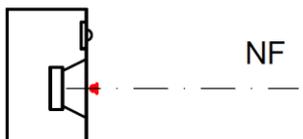
Multipunktmessung

Die Messungen werden jeweils auf Achse des Lautsprecherchassis durchgeführt. Bei der Positionierung des Mikrofons ist darauf zu achten, dass der Abstand konstant bleibt.



Ground-Plane Messung

Das Mikrofon wird direkt auf dem Boden positioniert. Durch den sehr kurzen Abstand des Mikrofons zum Boden wird die Bodenreflexion zu hohen Frequenzen verschoben.



Nahfeldmessung

Die Messung wird im Nahfeld ($d < 0,11 r$) des Lautsprecherchassis durchgeführt. Die Messung bildet bis $f < c / (D \times \pi)$ recht gut das Übertragungsverhalten des Lautsprechers ab.

Aufgrund der unterschiedlichen räumlichen Voraussetzungen (Wohnzimmer, Innenhof, Scheune, Turnhalle) unterscheiden sich auch die realisierbaren Zeitfenster deutlich. Nicht alle Teilnehmer haben zusätzlich zur Fernfeldmessung eine Nahfeldmessung durchgeführt. Je nach Größe des realisierten Zeitfensters kann dies bei der Simulation des Übergangsbereiches zwischen TT/MT bzw. beim Fügen von NF/FF zu Fehleinschätzungen führen.

Erstaunlicherweise wurde auch einkanalig (1CH) gemessen, was später bei der Entwicklung der Frequenzweiche wegen fehlendem Zeitbezug Probleme machen kann.

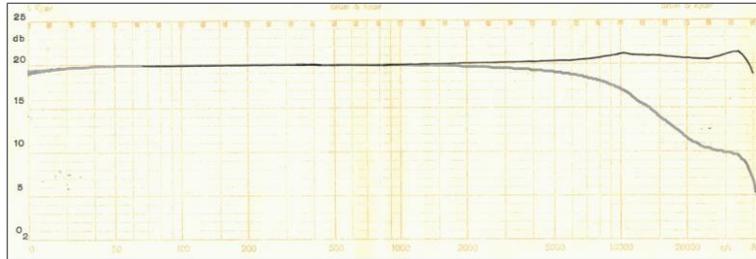
Nachfolgende Tabelle ordnet die eingegangenen Messungen hinsichtlich der genannten Kriterien ein.

	NF		FF < 5 ms		FF > 5 ms	
	1CH	2CH	1CH	2CH	1CH	2CH
Einpunkt	-	-	DerAxel, FH Spendormania	Ctrl, Oldie 2x Newmir Wolfgang520		Visaton PeterK, Chlang Gaga
Multipunkt	-	-		UweG		
Ground-Plane	-	-				Chlang
Nahfeld	DerAxel Spendormania	Chlang, Oldie Newmir Wolfgang520 Gaga	-	-	-	-

AUSWERTUNGEN – VERGLEICH MIT REFERENZMESSUNGEN

Mikrofonvergleich

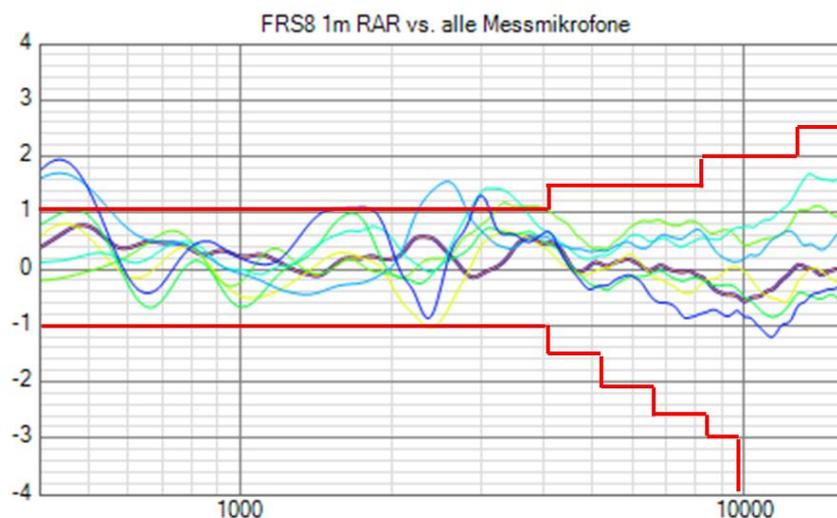
Als Referenzmikrofon diente ein ½“ Bruel & Kjaer Messmikrofon des Typs 4133 von Visaton.



Aufgrund seiner Breitbandigkeit wurde der FRS8-8 als Mess- und Vergleichsobjekt für den Mikrofonvergleich herangezogen. Die Referenzmessung wurde in 1m Abstand bei Visaton im reflexionsarmen Raum (RAR) durchgeführt.

Bewertung der Gesamtstreuung aller Messungen

Nachfolgendes Bild zeigt das Ergebnis des Vergleiches der eingesetzten Mikrofone nach Pegelkorrektur mit dem Referenzmikrofon. Die roten Linien stellen das Toleranzband gemäß IEC 61672-1 für Klasse 1 Mikrofone dar.



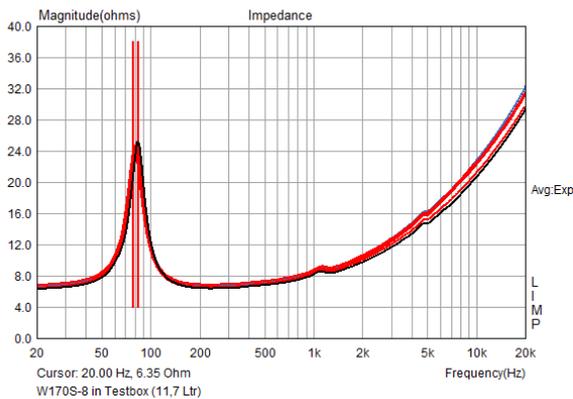
Erfreulicher- aber auch erstaunlicherweise liegen etliche der am Versuch teilgenommenen Mikrofone in diesem Toleranzband. Erstaunlicherweise, weil die Randbedingungen bei der Referenzmessung und den Messungen bei den Teilnehmern sehr unterschiedlich waren. Normalerweise versucht man bei der Freifeldkalibrierung von Mikrofonen möglichst identische Bedingungen für Referenz und DUT herzustellen.

Die Einzelergebnisse für alle Mikrofone inklusive der getätigten Pegelkorrekturen sind im Anhang dargestellt.

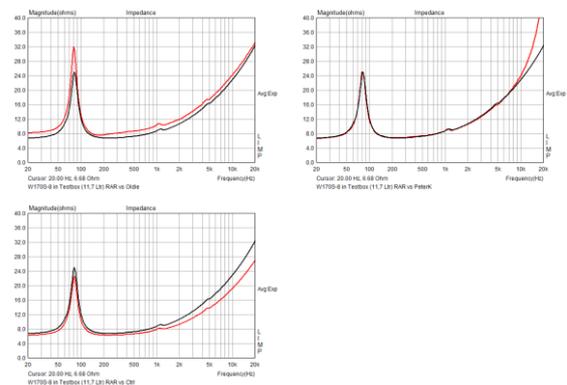
Impedanzmessungen

Mit wenigen Ausnahmen wurden alle Impedanzmessungen mit LIMP durchgeführt. Die Ermittlung von R_E , f_C und Q_{TC} erfolgte ebenfalls mittels LIMP. Beim W170S8 und beim FRS8-8 wird jeweils die Streuung mit +/- 3s durch zwei senkrechte Linien im Diagramm angezeigt. Im rechten Teilbild sind die „Ausreißer“ jeweils einzeln dargestellt.

W170S8-8



W170S8 Impedanzmessungen



W170S8 Impedanzmessungen, „Ausreißer“

Teilnehmer	R_E [Ohm]	f_C [Hz]	Q_{TC}
Visaton	6,45	81,40	1,25
Chlang	6,62	79,90	1,27
Ctrl	6,09	80,90	1,40
DerAxel	6,15	79,10	1,19
FH	6,23	81,80	1,27
Oldie	7,64	80,20	1,36
PeterK		81,70	
UweG	6,14	82,50	1,27
Spendormania	6,25	80,65	1,20
Wolfgang520	-	84,80	1,19
Gaga	6,17	82,83	1,21
Mittelwert	6,42	81,43	1,26
Standardabw.	0,49	1,58	0,07

Werte ohne Ausreißer (rot gekennzeichnet):

Mittelwert	6,26	80,91	1,25
Standardabw.	0,18	1,06	0,05

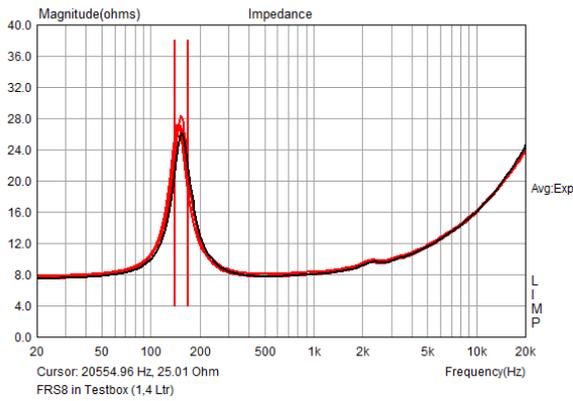
f_C Mittelwert +/- 3s = 81,2 +/- 4,2 Hz

Berechnet aus Herstellerdaten:

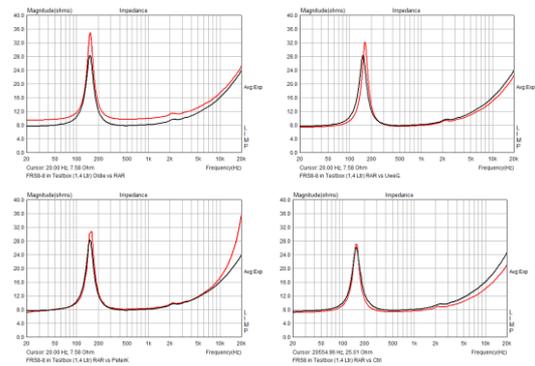
$Q_{TC} = 1,08$

$f_C = 74,5$ Hz

FRS8-8



FRS8-8 Impedanzmessungen



FRS8-8 Impedanzmessungen, „Ausreißer“

Teilnehmer	R _E [Ohm]	f _c [Hz]	Q _{TC}
Visaton	7,60	152,50	1,18
Chlang	7,80	151,40	1,15
Ctrl	7,10	154,60	1,32
DerAxel	7,40	147,60	1,13
FH	7,60	152,50	1,18
Oldie	9,40	154,90	1,43
PeterK		157,30	
UweG	7,40	163,10	1,30
Spendormania	7,47	155,83	1,14
Wolfgang520	-	165,10	1,14
Gaga	7,47	162,77	1,20
Mittelwert	7,69	156,15	1,22
Standardabw.	0,67	5,48	0,10

Werte ohne Ausreißer (rot gekennzeichnet):

Mittelwert	7,48	155,25	1,22
Standardabw.	0,20	4,85	0,10

f_c Mittelwert +/- 3s = 154,2 +/- 13,7 Hz

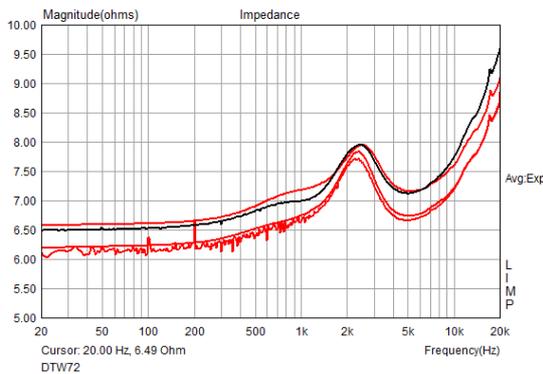
Berechnet aus Herstellerdaten:

Q_{TC} = 1,33

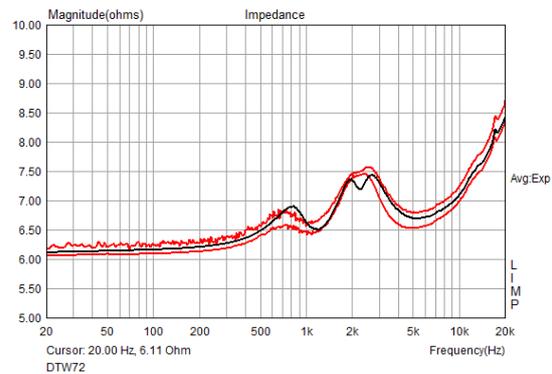
f_c = 154 Hz

DTW72

Die Messergebnisse des Hochtöners kann man in zwei Gruppen einteilen: Mit und ohne Nebenmaximum. Des Weiteren sind in den Diagrammen noch andere Artefakte zu erkennen.



Impedanzmaximum bei f_s



Nebenmaximum bei 700-800 Hz

Laut Friedemann Hausdorf ist das Phänomen der Nebenmaxima bei Visaton wohl bekannt und zwar nur bei Kalotten: „Da gibt es verschiedene winzige Volumina, die über den Luftspalt verbunden sind. Wenn das Ferrofluid den Luftspalt nicht völlig abdichtet, sind die Volumina durch einen Kanal verbunden und bilden verschiedene Resonanzen. Andere Undichtigkeiten können den gleichen Effekt haben. Die Frage ist nur, warum das mal auftaucht und mal nicht. Das kann ich mir nur durch Temperaturunterschiede und mechanische Einflüsse während des Transports erklären“.

Eine weitere Erklärung für die Nebenmaxima könnten unterschiedlich hohe Messspannungen sein. Die Unterschiede im Betragsoffset von ca. 0,3 bis 0,4 Ohm sind durch unterschiedliche Kabellängen, Kontaktwiderstände bzw. fehlende Kabelkompensation erklärbar.

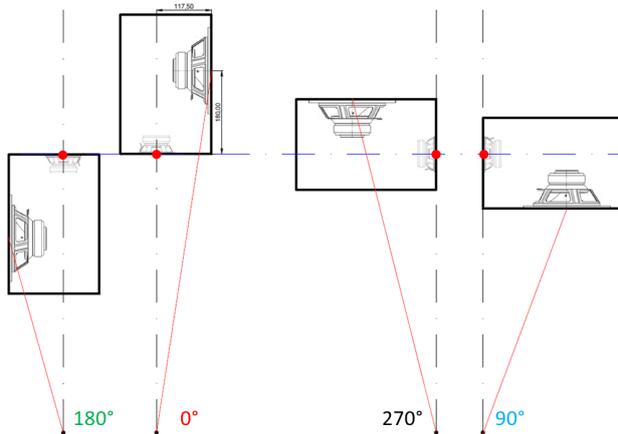
Zusammenfassung Impedanzmessungen

Insgesamt sind die Streuungen bei den Impedanzmessungen größer als erwartet. So fallen z.B. die Messungen vom Teilnehmer Oldie durch ein um ca. 1,2 - 1,7 Ohm höheres R_E auf. Ein Teil dieser Streuungen ist durch unterschiedliche Kabellängen und -qualitäten sowie Kontaktwiderstände zu erklären. Andere Auffälligkeiten – wie z.B. an den Messungen des DTW72 zu beobachten - könnten durch temperatur- und spannungsabhängige Ferrofluid-effekte entstehen sowie bei den verrauschten Messkurven von überlagerten elektrischen Störungen herrühren.

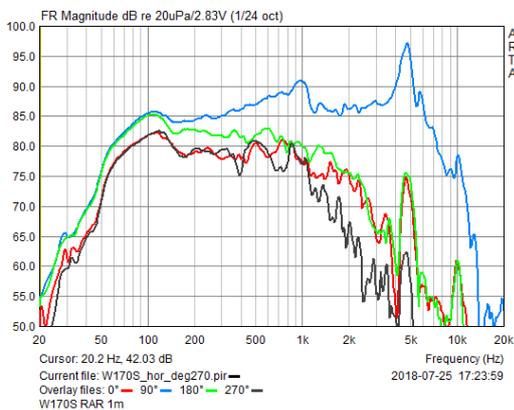
Die Parameter R_E , Q_{TC} und f_c wurden mit LIMP aus den Messdaten ermittelt. Die Streuungen sind unter Berücksichtigung der sehr unterschiedlichen Rahmenbedingungen, unter den die Messungen stattgefunden haben, erfreulich gering. Um hierfür ein Beispiel zu nennen: Die Temperaturen variierten bei den Impedanzmessungen in einem Bereich von 18° bis 35° Celsius.

W170S8

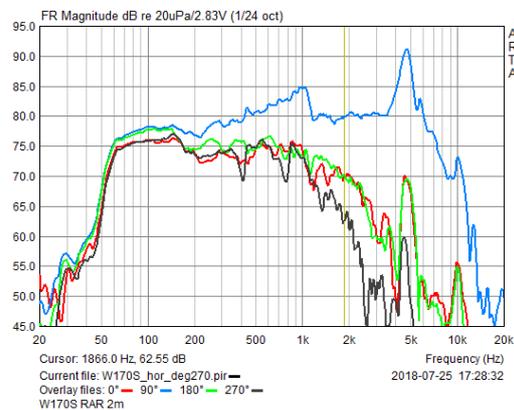
Wie bereits in den Vorüberlegungen ausgeführt, kann der Seitenbass in Räumen, die nur eine kurze Messdistanz zulassen, eine Herausforderung sein. Der Rotationsradius um die Bezugsachse (hier FRS8, roter Punkt) beträgt im Falle des Testlautsprechers 21,5 cm.



Die nachfolgenden beiden Bilder zeigen die Messungen für 0°, 90°, 180° und 270° bei 1m und 2m im RAR. Die Farben der Gradangaben entsprechen den Farben der Kurven in den Bildern. Ferner sind die maximalen Pegelunterschiede durch die Veränderung der Messdistanz ausgewiesen.

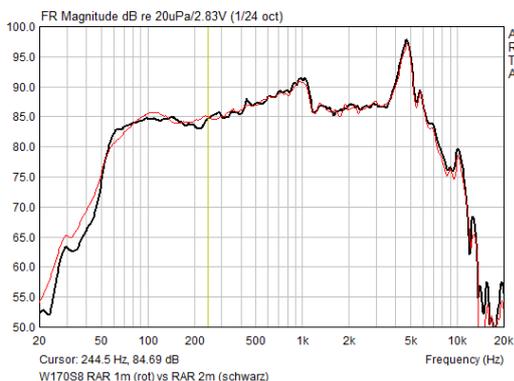


RAR Distanz 1m: 3,7 dB @ 100Hz

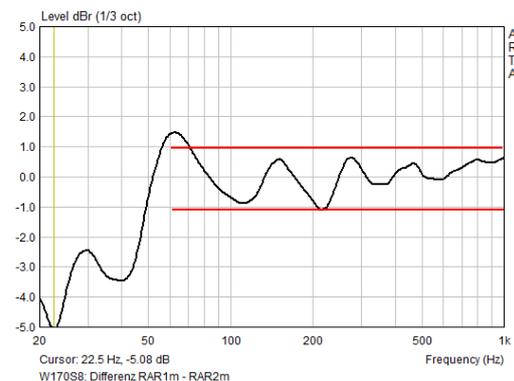


RAR Distanz 2m: 2,3 dB @ 100Hz

Den Ergebnissen ist zu entnehmen, dass auch in reflexionsarmen Räumen die Messungen tieffrequent nicht frei von Raumeinflüssen sind. Zur Information: Die untere Grenzfrequenz des RAR von Visaton beträgt ca. 70 Hz [10].



RAR 1m (rot) vs RAR 2m (schwarz)



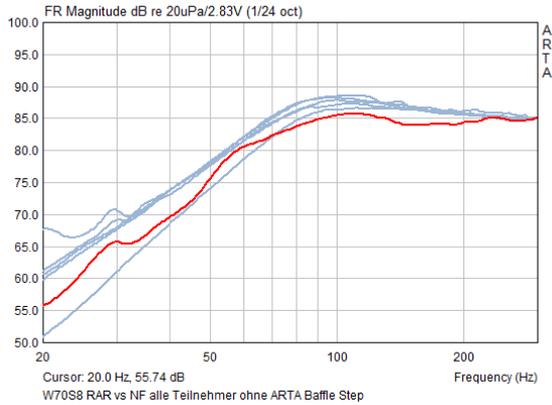
Differenz RAR 1m – RAR 2m

Obenstehendes linkes Bild zeigt den Vergleich der Messungen im RAR zwischen ein und zwei Meter Abstand. Rechtes Teilbild zeigt die pegelkorrigierte Differenz der beiden Messungen, wodurch die untere Grenzfrequenz von 70 Hz innerhalb eines Toleranzbandes von ca. +/- 1 dB bestätigt wird. Grundsätzlich nehmen auch im RAR die Einflüsse des Raumes auf das Messergebnis mit zunehmendem Messabstand zu.

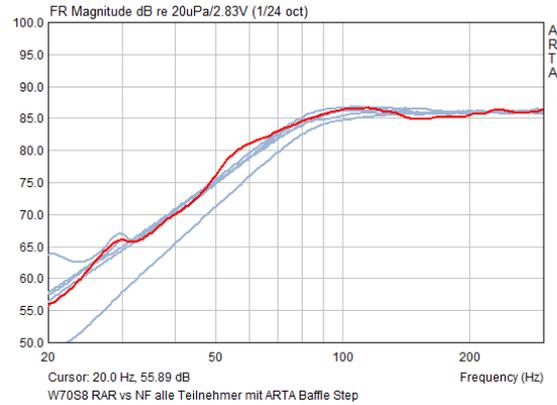
Wie gut werden nun die Referenzmessungen durch die Teilnehmer abgebildet? Zunächst vergleichen wir die Messungen im Nahfeld.

Nahfeld

W170S8, Nahfeld, pegelkorrigiert mit/ohne ARTA Baffle Step Korrektur im Vergleich zur RAR-Messung (rot)



W170S8 ohne ARTA Baffle Step

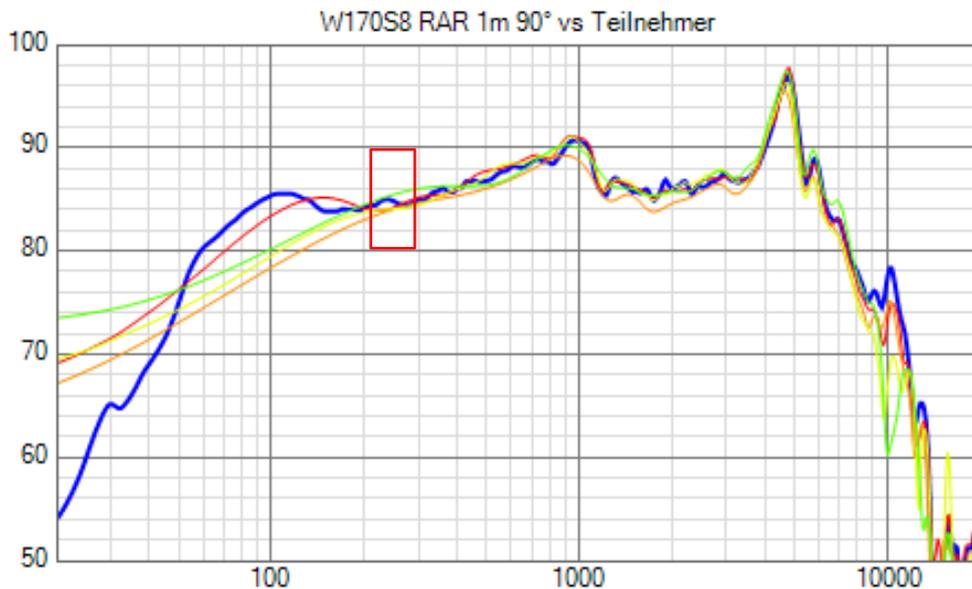


W170S8 mit ARTA Baffle Step

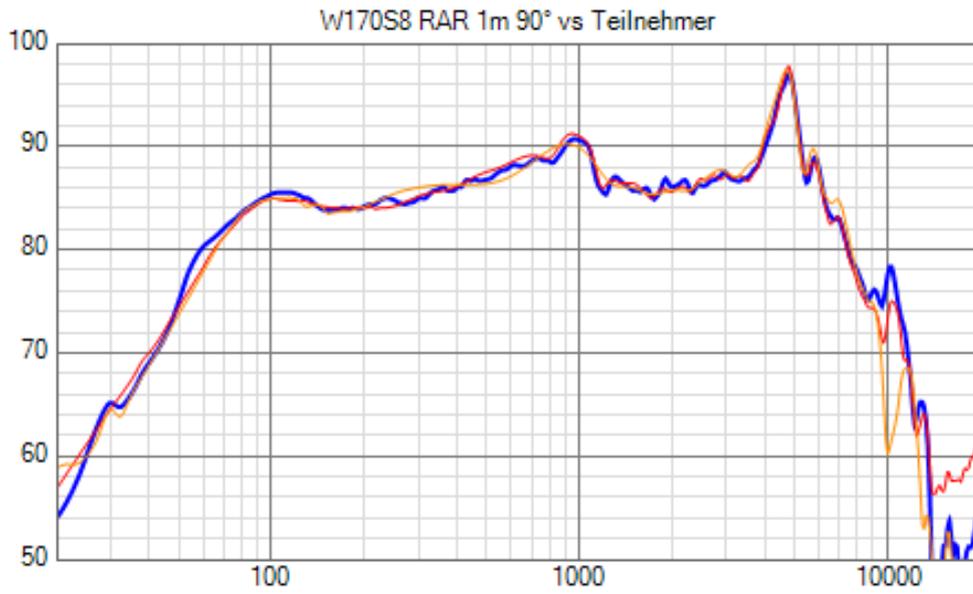
Mit einer Ausnahme sind alle Baffle Step korrigierten Nahfeldmessungen (rechtes Teilbild) in guter Übereinstimmung mit der Messung im RAR bei einem Meter (rot).

Fernfeld

Jetzt vergleichen wir die Messungen unter 90° im RAR (blau) bei einem Meter mit den gefensterten Messungen der Teilnehmer.

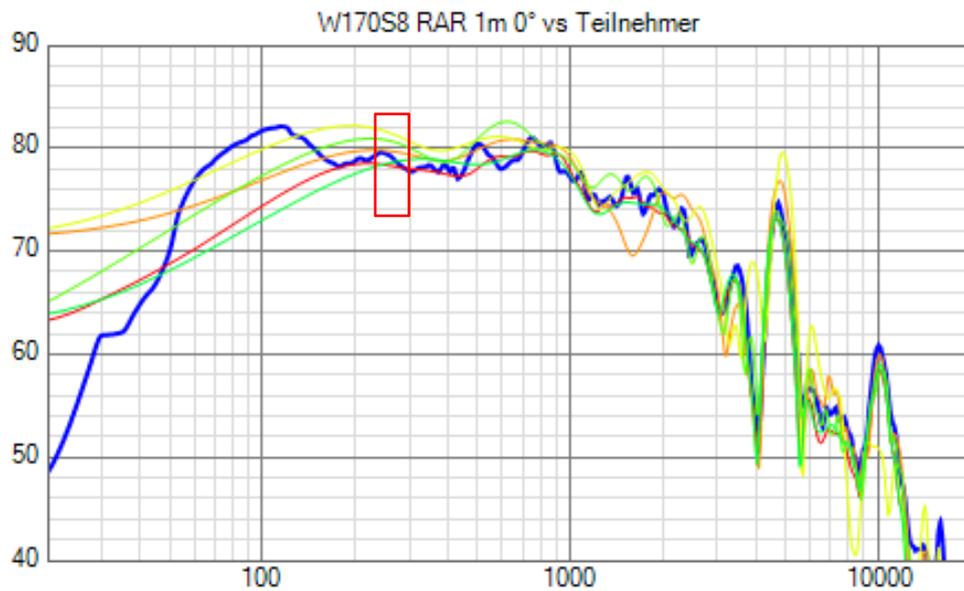


RAR 1m, 90°, Gefenstert 3,00 ms bis 9,25 ms

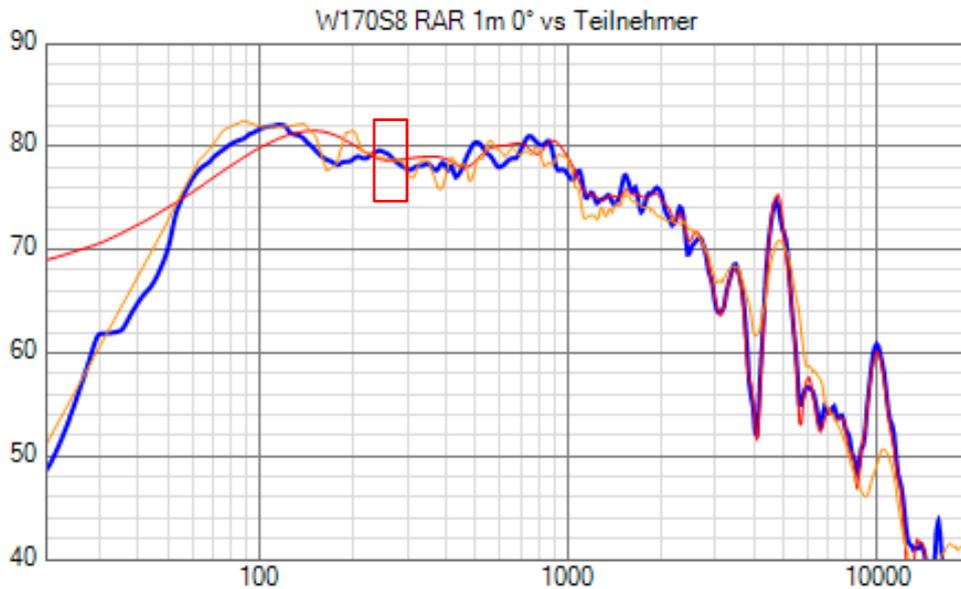


RAR 1m, 90°, Merged NF - FF

Und nun die Messungen unter 0° im RAR (blau) bei einem Meter im Vergleich mit den gefensterterten Messungen der Teilnehmer.

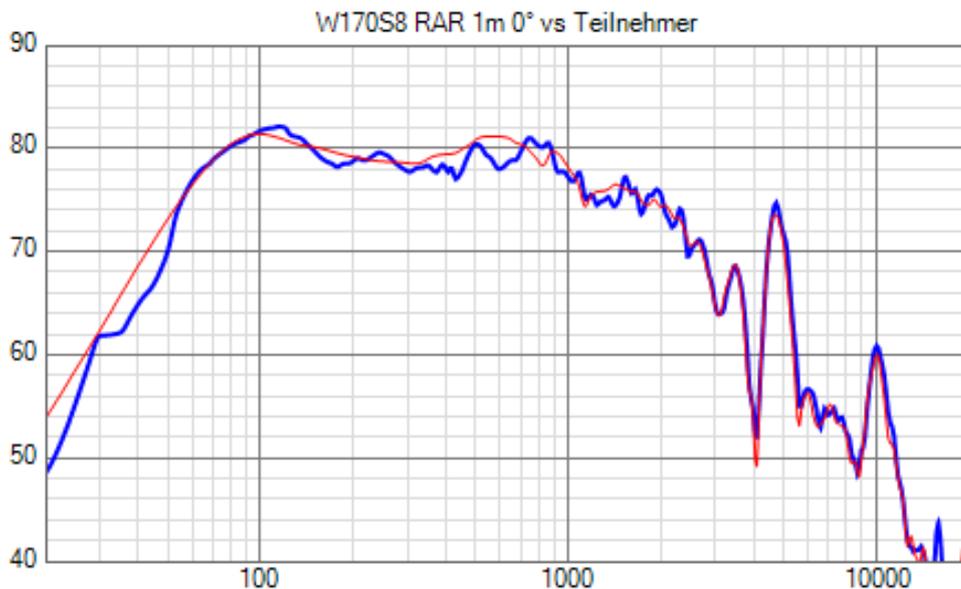


RAR 1m, 0°, Fenster < 5ms



RAR 1m, 0°, Fenster > 5 ms
 PeterK, Scheune (orange), 10,9 ms; Chlang, Turnhalle (rot), 9,25 ms

Und die Messungen unter 0° im RAR (blau) bei einem Meter im Vergleich mit der Ground-Plane Messung von Chlang.

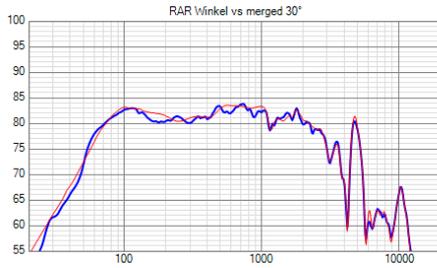


RAR 1m, 0°, Chlang, Ground Plane, Gefenstert 25,00 ms

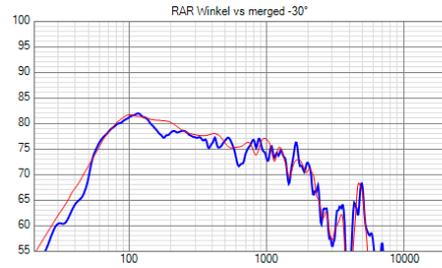
Abschließend ein beispielhafter Vergleich der „Quasi-Freifeldmessungen“ mit der Messung im RAR unter verschiedenen Winkeln. Das Fügen von Nah- und Fernfeldmessung wurde mittels des VituixCAD-Tools „Merger“ getätigt [12].

Im direkten Vergleich zwischen den beiden unterschiedlichen Messfenstern auf der nächsten Seite zeigt sich kein großer Unterschied. Aber Achtung, das Fügen von NF-FF mit kurzen Messfenstern kann etlichen Zufälligkeiten unterliegen (siehe hierzu letztes Bild auf Seite 20). Je nach Pegel der Fernfeldmessung im Fügebereich können sehr unterschiedliche Ergebnisse entstehen. Für eine zuverlässige Fügung von Nah- und Fernfeld sollten möglichst die Regeln von Seite 7 beachtet werden.

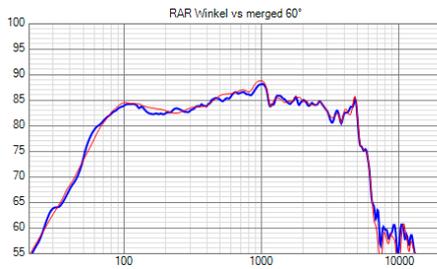
Quasi-Freifeld (rot) vs RAR, Messfenster ca. 9 ms (Chlang)



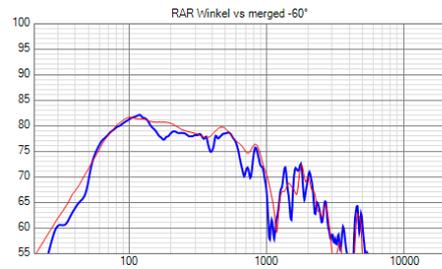
+30°



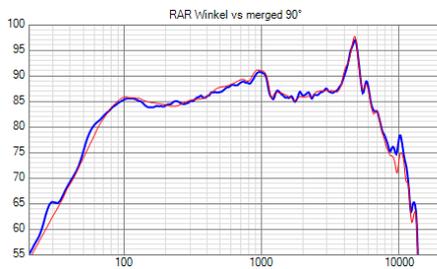
-30°



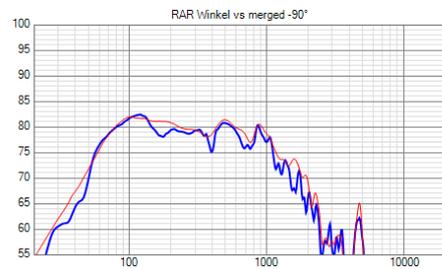
+60°



-60°

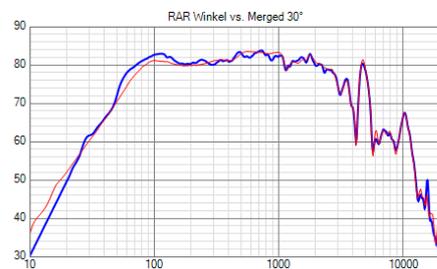


+90°

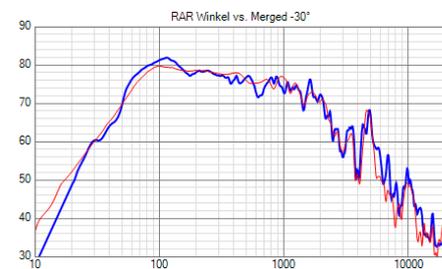


-90°

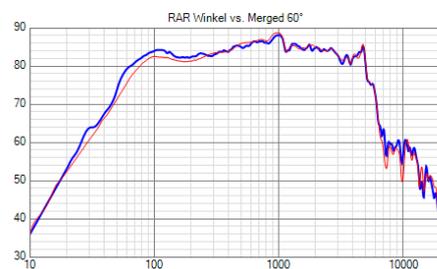
Quasi-Freifeld (rot) vs RAR, Messfenster ca. 3 ms (Newmir)



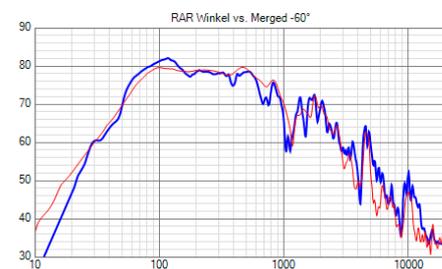
+30°



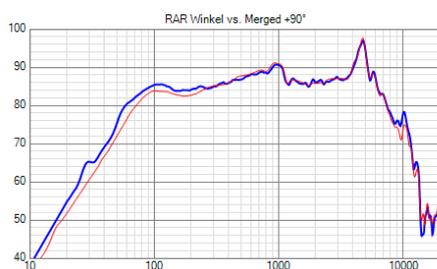
-30°



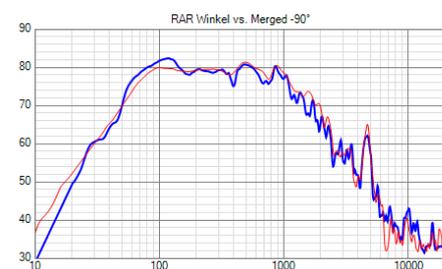
+60°



-60°



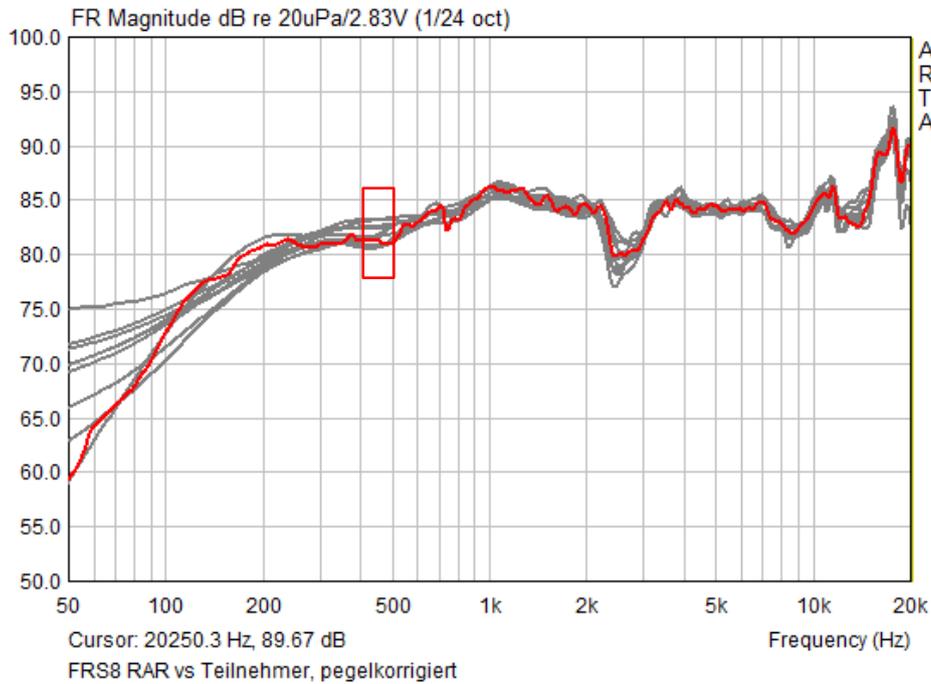
+90°



-90°

FRS8-8, Fernfeld

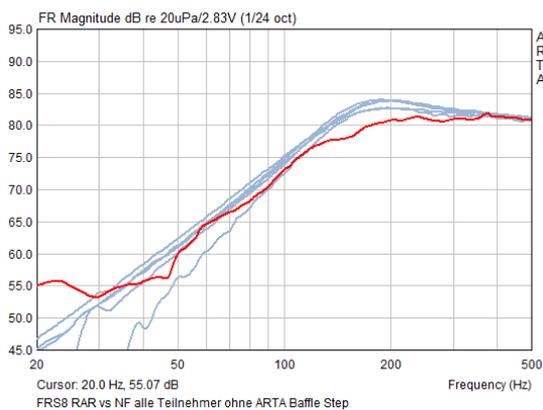
Die pegelkorrigierten Messungen der Teilnehmer passen im Vergleich zu den Messungen im RAR (rot) bei 1m oberhalb 500 Hz recht gut. Unterhalb 500Hz werden die Streuungen in Abhängigkeit von der Größe des Messfensters größer. Der Einbruch bei 2,5 kHz ist kein Serienproblem, sondern lediglich dem verwendeten FRS8-8 aus dem Jahr 2005 zuzuschreiben.



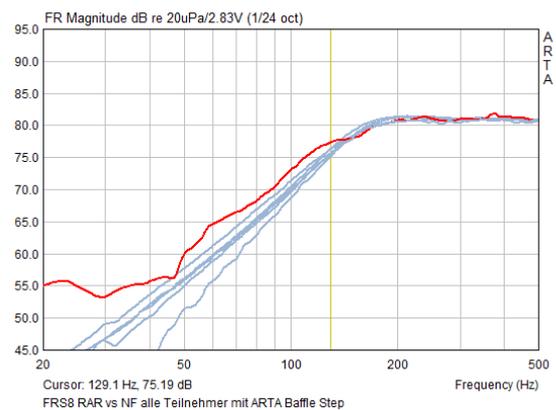
Gefensterete Fernfeldmessungen der Teilnehmer im Vergleich zum RAR (rot)

FRS8-8, Nahfeld

Nachfolgende Bilder zeigen die pegelkorrigierten Nahfeldmessungen mit/ohne ARTA Baffle Step Korrektur im Vergleich zur RAR-Messung (rot).



FRS8 ohne ARTA Baffle Step Korrektur

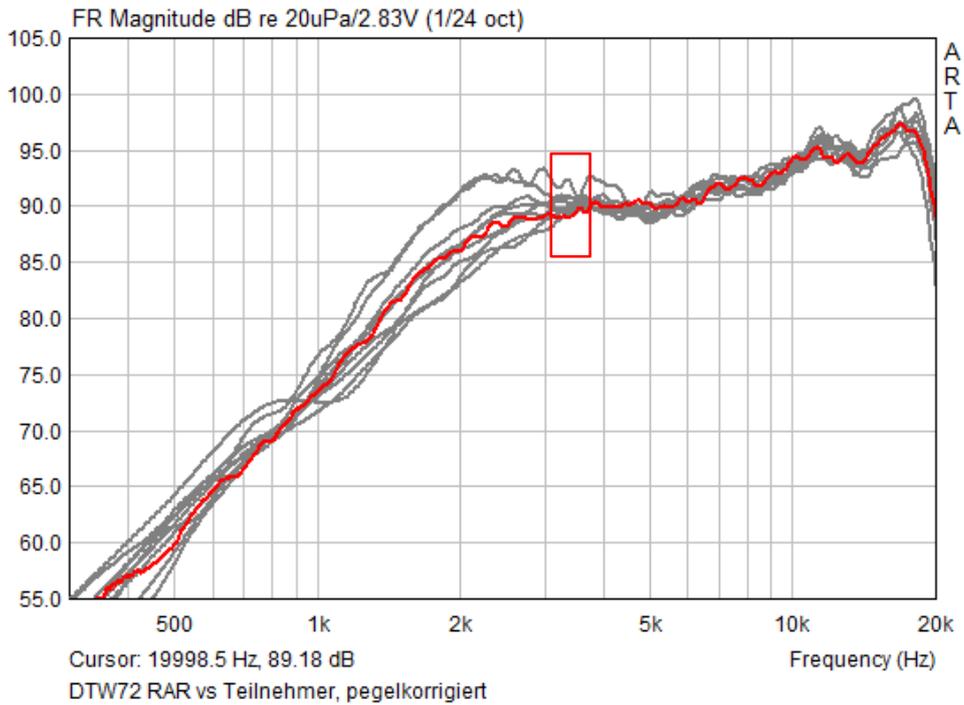


FRS8 mit ARTA Baffle Step Korrektur

Auch beim FRS8-8 sind alle Baffle Step korrigierten Nahfeldmessungen (rechtes Teilbild) – zumindest im für die Weichenentwicklung relevanten Bereich - in guter Übereinstimmung mit der Messung im RAR bei einem Meter (rot).

DTW72

Nachfolgendes Bild zeigt die Messung des DTW72 im RAR (rot) bei 1m im Vergleich mit den pegelkorrigierten Messungen der Teilnehmer. Oberhalb 3 kHz liegen die Messungen in einem Bereich von +/- 1,5 dB, unterhalb 3 kHz beginnen die Messwerte stark zu streuen.

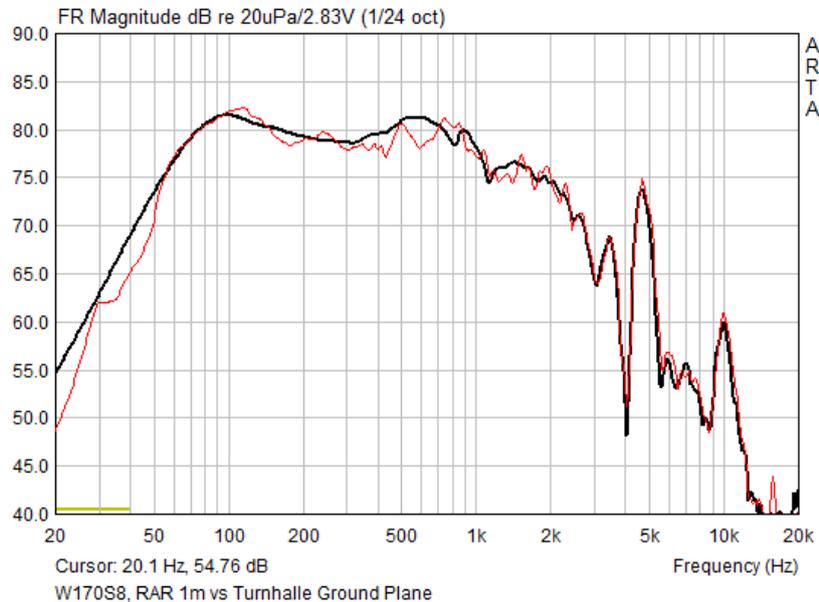


Gefenstertere Fernfeldmessungen der Teilnehmer im Vergleich zum RAR (rot)

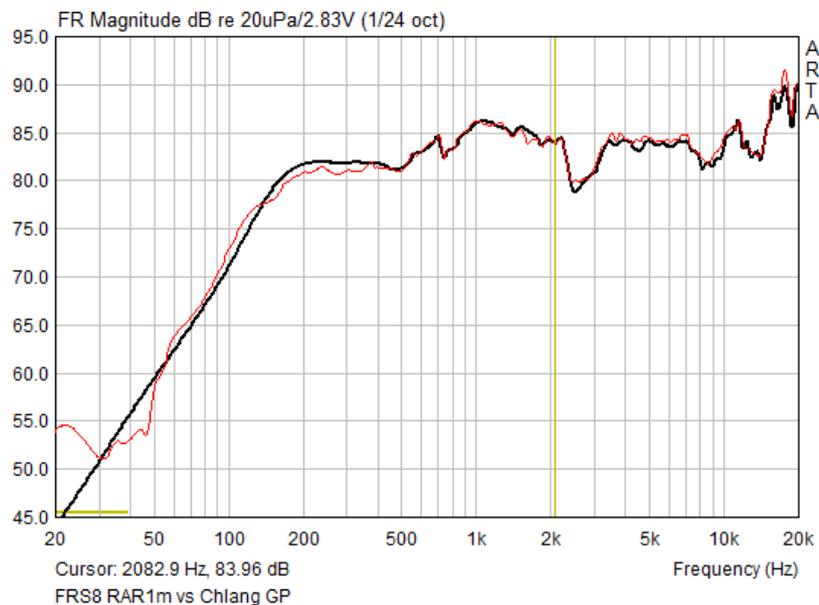
Ein Versuch einer Erklärung für die Streuungen unterhalb 3 kHz ist im Kapitel Impedanzmessungen zu finden.

Ground Plane Messungen

Leider wurden nur von einem Teilnehmer (Chlang) Ground Plane Messungen durchgeführt. Die Messungen fanden in einer großen Turnhalle ($V = 1728 \text{ m}^3$, $RT_{BB} = 1,40 \text{ s}$, $r_H = 2,00 \text{ m}$) statt, der Messabstand betrug 2,58 m und das Messfenster 25,00 ms.



W170S8, RAR (rot) vs. Ground Plane

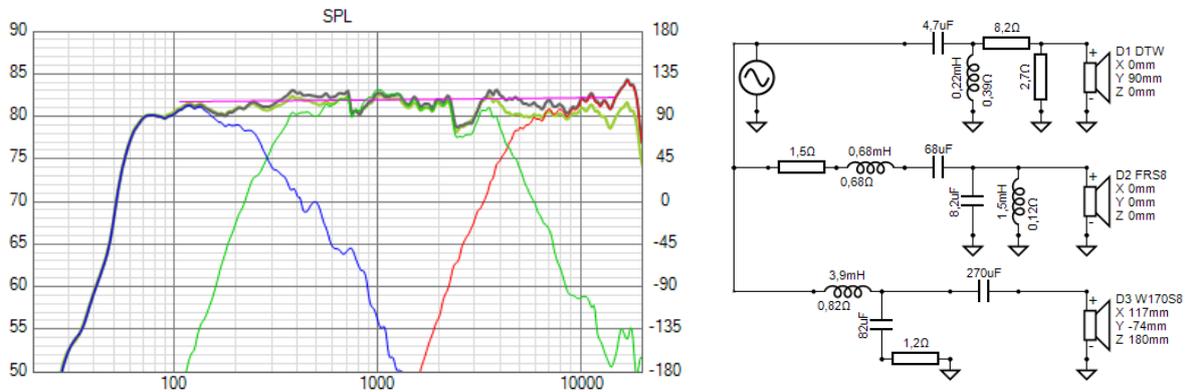


FRS8-8, RAR (rot) vs. Ground Plane

Die Ground Plane Messung mit einem Messfenster von 25ms (40 Hz) bildet die RAR-Messung recht gut über den gesamten Frequenzbereich ab, wenn auch nicht mit derselben Auflösung. Sofern die Möglichkeit besteht, ist GP also eine empfehlenswerte Variante. Eine auch im trauten Heim halbwegs funktionierende Lösung ist in [08] beschrieben.

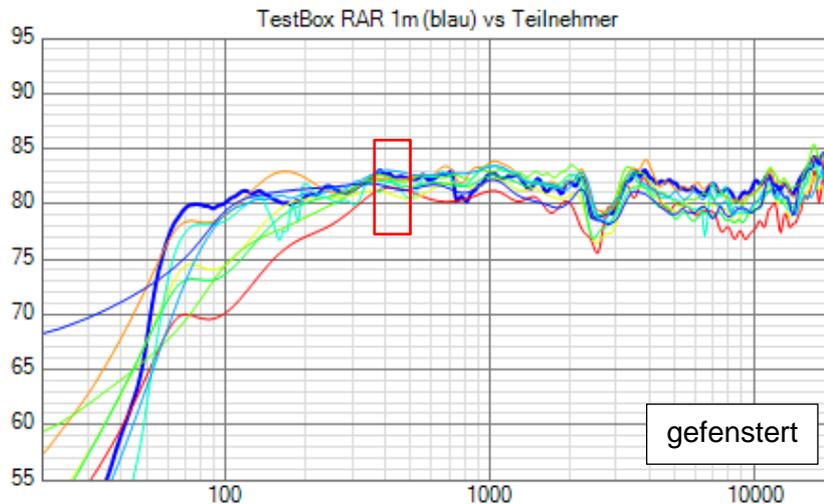
Simulationen

Zwecks Schaffung einer Vergleichsmöglichkeit für den kompletten Lautsprecher wurde auf Basis der RAR-Daten in 1 Meter eine Frequenzweiche entwickelt. Bei der Weiche handelt es sich um eine einfache, mit BoxSim optimierte 12 dB Konfiguration. Für den Tieftöner wurde zusätzlich ein GHP-Kondensator eingesetzt.



In die Vergleichsweiche werden die Messdaten aller Teilnehmer importiert. Dafür wurde aufgrund der Einfachheit des Datenexports VituixCAD verwendet.

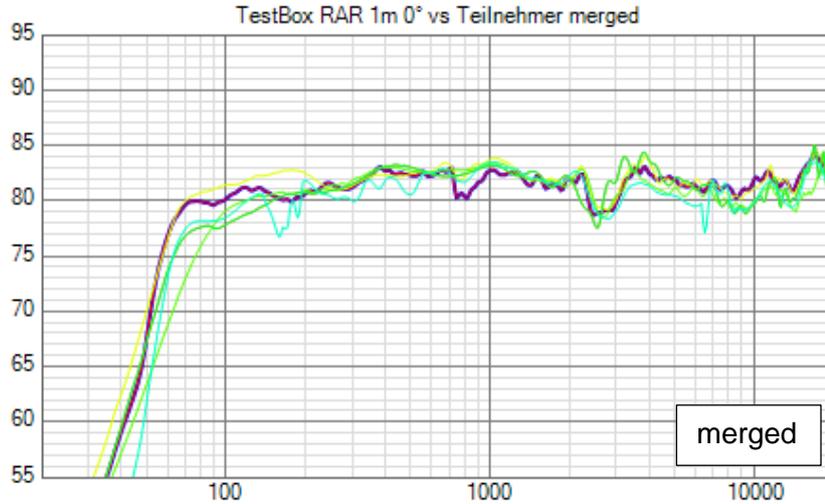
Da einige Teilnehmer im 1CH-Mode gemessen haben und dadurch die Phasenbeziehung zwischen den Chassis verlorengegangen ist, wurde für diesen Fall die Simulation mit Minimum Phase und der Eingabe der geometrischen Positionen der Chassis durchgeführt.



Vergleich Simulation mit Teilnehmerdaten (SPL) mit der Simulation mit RAR-Daten (blau, fett).

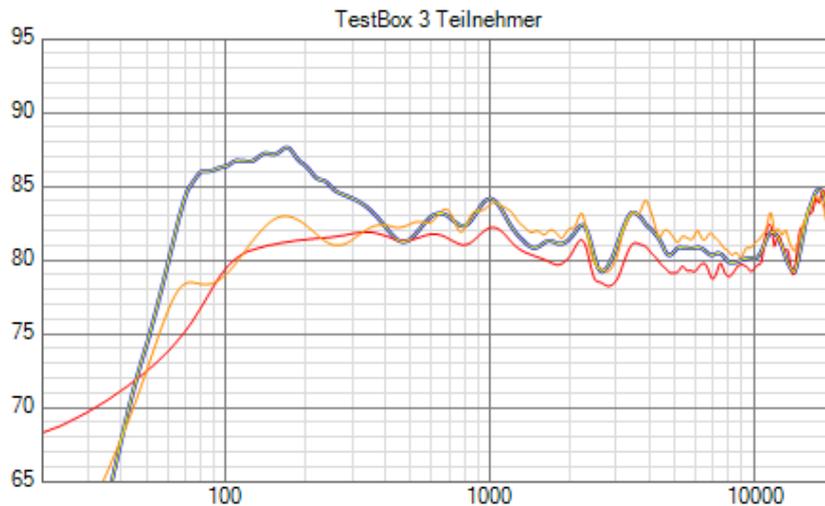
Die Simulationen mit den gefensterten Messungen liegen oberhalb 350 Hz in einem Band von ca. +/- 2,5 dB. Unterhalb 350 Hz streuen sie – in Abhängigkeit von der Breite des Messfensters – mehr oder minder stark.

Die Simulationen mit den aus NF-FF gefügten Messungen (merged) liegen oberhalb 200 Hz in einem Band von ca. +/- 2,0 dB. Unterhalb 200 Hz streuen sie – in Abhängigkeit vom Einfluss der Breite des Messfensters auf den Fügevorgang NF-FF – mehr oder minder stark. Insgesamt bilden die gefügten Messungen den Übergang zwischen Tief- und Mitteltöner im Vergleich zur RAR-Messung besser ab.

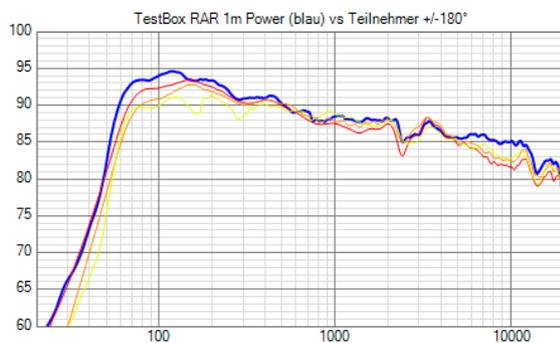


Vergleich Simulation mit Teilnehmerdaten (SPL) mit der Simulation mit RAR-Daten (blau, fett)

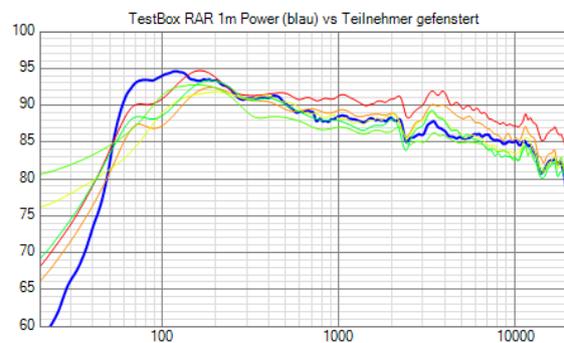
Im nachfolgenden Bild sind die Simulationen mit der Vergleichsweiche für 3 Teilnehmer dargestellt. Im Bestreben nach einem linearen Freifeldfrequenzgang sähen die drei Frequenzweichen nach der individuellen Optimierung sicherlich sehr unterschiedlich aus.



Simulation mit Vergleichsweiche für 3 Teilnehmer



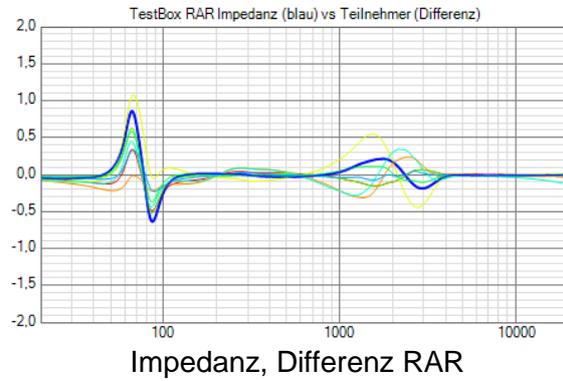
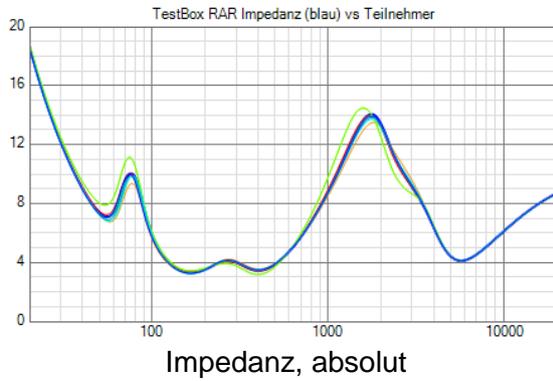
Power +/-180° hor/ver, merged



Power, gefenstert, Winkel unterschiedlich

Simulation mit Teilnehmerdaten (Power) vs. Simulation mit RAR-Daten (blau, fett).

Beim Vergleich der Energiefrequenzgänge ist zu beachten, dass der Umfang der von den Teilnehmern gelieferten Winkeldatensätze sehr unterschiedlich ist. Datensätze mit vergleichbarem Umfang und vergleichbaren Winkeln wie die RAR-Daten liegen in der Simulation in einem engen Streuband (siehe Bild links oben).



Simulation mit Teilnehmerdaten (Impedanz) vs. Simulation mit RAR-Daten (blau, fett).

Die Einzelvergleiche der Simulationen befinden sich im Anhang.

Zusammenfassung

Platzhalter: Wird nach der Diskussion befüllt!

Literatur

- [01] Ivo Mateljan, ARTA User Manual, 2017
- [02] Ivo Mateljan, LIMP User Manual, 2017
- [03] ARTA Application Note No 4: Ermittlung des Freifeld-Frequenzgangs
- [04] Mark Sanfilipo, Subwoofer Measurement Tactics, 2007
- [05] Mark R. Gander, Ground-Plane Acoustic measurement of Loudspeaker Systems, JAES Vol. 30, 1982 October
- [06] Struck, Temme, Simulated Free Field Measurement, JAES Vol. 42, June 1994
- [07] Keele, D.B., Low-Frequency Loudspeaker Assessment by Nearfield Sound-Pressure Measurement, JAES Vol. 22, April 1974
- [08] H. Weber, Ground-Plane Messungen auf den Kopf gestellt, 2018
- [09] H. Weber, Virtuelle Lautsprecherentwicklung mit VituixCAD, 2018
- [10] <http://www.visaton.de/service/technische-grundlagen/reflexionsarmer-raum>
- [11] Joe D'Appolito, Measuring Loudspeaker Low Frequency Response, Audiomatica
- [12] Joe D'Appolito, Testing Loudspeakers: Which Measurements Matter, Part 1, 2, AudioXpress 2009
- [13] Audio Precision Application Note: Loudspeaker Electroacoustic Measurements, 2018
- [14] Kimmo Saunisto, Preparation of response measurements for crossover simulation with VituixCAD, 2017
- [15] Kimmo Saunisto, VituixCAD, Online Manual, 2018
- [16] Scott Hinson, The Danger Zone, 2018

Verwendete Abkürzungen, Formeln

c	Schallgeschwindigkeit = 344 m/s
NF	Nahfeld
FF	Fernfeld
D_{FF}	Messdistanz FF = $3 \cdot \text{größte Abmessung Box} = 3 \cdot (L^2 + B^2 + H^2)^{0,5}$
DUT	Device Under Test = Testobjekt
RAR	Reflexionsarmer Raum
1CH	Einkanalige Messung (single channel)
2CH	Zweikanalige Messung (dual channel)
$f_{\max \text{ NF}}$	Obergrenze der Gültigkeit einer Nahfeldmessung = $c / D_M \cdot \pi$
$D_{\max \text{ Mess}}$	Maximale Messdistanz für Nahfeldmessungen = $0,11 \cdot D_M / 2$ [15]
D_M	Membrandurchmesser in m
$f_{U \text{ BS}}$	Untere Grenze des Baffle-Step = $c / 4 \cdot B$
$f_{O \text{ BS}}$	Untere Grenze des Baffle-Step = c / B
B	Breite der Schallwand in m
f_{UW}	Untere Grenze der Gültigkeit einer gefensterten Messung = $1 / t$
t	Zeit in s, Größe des Messfensters