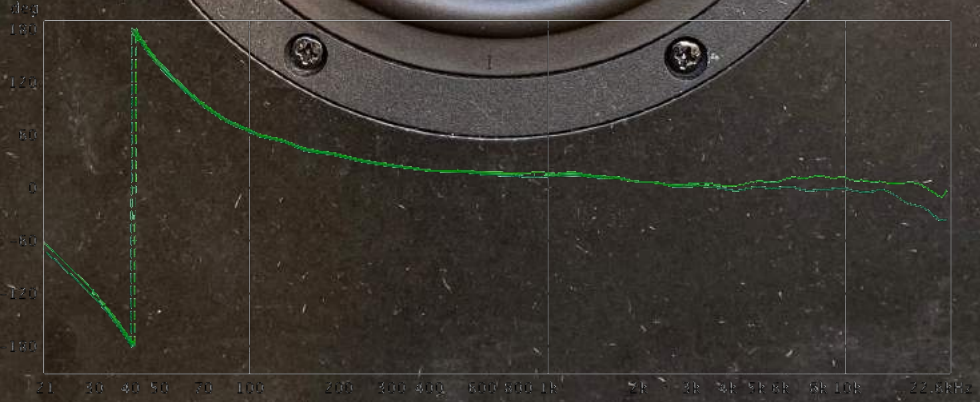
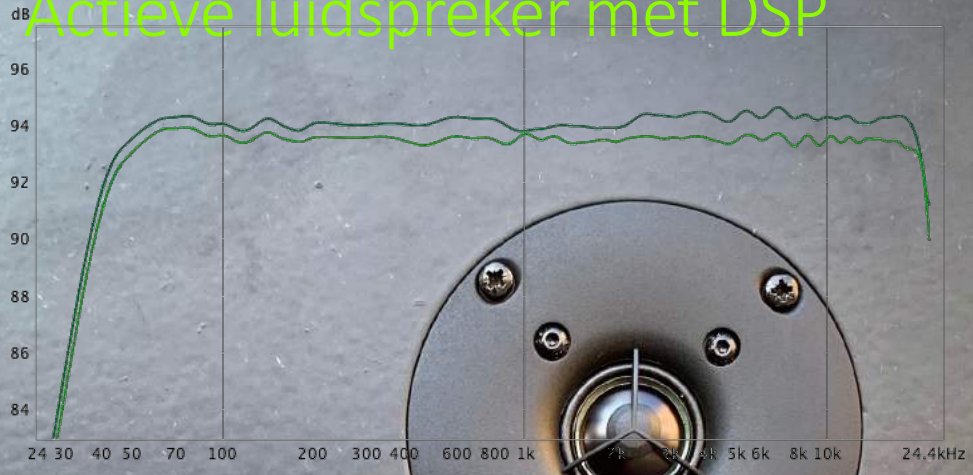


# Actieve luidspreker met DSP



## Inhoudsopgave

<b>INLEIDING.....</b>	<b>3</b>
<b>GEBRUIKTE MATERIALEN .....</b>	<b>5</b>
<b>GEREEDSCHAP EN CONSTRUCTIE TIPS .....</b>	<b>8</b>
<b>DE OVERWEGINGEN BIJ ONTWERP EN SPEAKER KEUZE.....</b>	<b>11</b>
VERVAARDIGEN BEHUIZING .....	11
BAS-REFLEX OF GESLOTEN .....	11
KEUZE VAN WOOFER EN TWEETER .....	12
PLAATS VAN TWEETER EN WOOFER .....	15
<b>HET ONTWERP VAN DE BEHUIZING EN CONSTRUCTIE .....</b>	<b>18</b>
<b>ELEKTRISCHE AANSLUITINGEN .....</b>	<b>30</b>
<b>DE DSP SOFTWARE .....</b>	<b>37</b>
DE GEBRUIKTE SOFTWARE BIJ PROGRAMMEREN VAN DSP .....	37
INLEIDING .....	37
SCHEMA SIGMASTUDIO.....	38
<b>DE METINGEN .....</b>	<b>44</b>
IMPEDANTIEMETING RS180-4 .....	44
WOOFER METINGEN .....	45
TWEETER METINGEN .....	58
<b>MOGELIJKE VERBETERINGEN.....</b>	<b>67</b>
<b>HOE KLINKT HET .....</b>	<b>68</b>
<b>BOUWTEKENINGEN.....</b>	<b>70</b>
<b>BOUWTEKENINGEN SIMPELE VERSIE.....</b>	<b>74</b>
<b>LIJST VAN AFBEELDINGEN .....</b>	<b>76</b>

## Inleiding

Dit document beschrijft het ontwerp, de bouw het meten en afregelen van een set actieve luidsprekers. Jaren geleden heb ik vanuit hobby het nodige gebouwd wat betreft elektronica. Verschillende zelfbouw projecten zijn gemaakt, uit o.a. de Elektuur. Veel projecten waren daarbij audio gerelateerd.

Eerst iets meer over mezelf, ik heb elektrotechniek gestudeerd aan de TU-Delft. Ben als ic-ontwerper/consultant werkzaam geweest bij Philips en daar meer opgeschoven in het maken van software om het ontwerpen van IC's te ondersteunen. Daarna binnen Philips werkzaam geweest op het gebied van digitale TV. Niet aan de tv kant zelf maar aan de uitzend kant en dan met name aan de software om uitzendapparatuur aan te sturen.

Heb ook nog aan crypto grafische systemen gewerkt binnen Philips, zowel aan systemen bedoeld voor overheid om b.v. de communicatie van ambassades beveiligen. Maar ook aan systemen voor de digitale tv-uitzendingen. Zodat alleen mensen die betaald hebben voor bepaalde content die ook kunnen kijken.

Uiteindelijk met wat (oud) collega's succesvol een eigen bedrijf opgezet. Dit bedrijf had vele grote klanten in Europa op gebied van digitale televisie. Denk o.a. aan BBC, Virgin media, Liberty Global (in Nederland bekend onder eerst UPC en nu Ziggo), Telenet, ORF, de meeste Duitse kabelbedrijven etc.

Ons eerste product richtte zich op de meta data die meegestuurd word met digitale tv-uitzendingen. Denk o.a. aan programma gids informatie en waar welke zender te vinden is etc. Deze informatie wordt op een gestandaardiseerde manier meegestuurd in wat ze PSI/SI-tabellen noemen. Daarna ook producten voor Video on Demand ontwikkeld en verkocht.

Na een stormachtige groeifase is bedrijf verkocht aan een Amerikaanse partij die meer wereldwijd actief was op het gebied van Video on Demand, maar een relatief kleine footprint had in Europa, terwijl wij hoofdzakelijk in Europa actief waren.

Heb nog een aantal jaren doorgewerkt binnen het overgenomen bedrijf en toen besloten daar te stoppen met werken en maar te kijken wat er op mijn pad kwam. Kortom ik ben in de gelukkige omstandigheid dat ik wat tijd in een hobby project kan steken.

Ik heb in het verleden ook regelmatig zelf meubels gemaakt naar eigen ontwerp. Dus toen ik tegen een 2x50 watt versterker board met DSP aanliep voor relatief weinig geld, ging het kriebelen om hier iets mee te doen.

Met het maken van actieve luidsprekers met dit board, kon ik verschillende dingen die me aanspreken en vaardigheden die me wel liggen combineren. Het ontwerpen en vervaardigen van een behuizing, het programmeren/aansturen van de hardware en het feit dat het een audio gerelateerd iets is, een oude liefde.

Vandaar dat ik met dit project begonnen ben en dit document beschrijft het project, zodat mensen die iets soortgelijks willen doen er hun voordeel mee kunnen doen. Mensen kunnen het project ook nabouwen aan de hand van dit document (hoop ik).

Hou er wel rekening mee, dat het geen "kant en klaar" project is. Het is niet zo dat je gewoon dezelfde software en filter instellingen erop kunt zetten en dat het resultaat ook exact hetzelfde is. De speakers moeten individueel gemeten en afgesteld worden.

Mijn twee speakers zijn ook anders ingesteld qua filters, omdat de drivers onderling toch net iets verschillen in gedrag. De winst t.o.v. kant en klare speakers zit met name in de nauwkeurige individuele afregeling en het gebruik van FIR-filters waarmee erg steile cross-over filters zijn te realiseren, zonder fase draaiingen.

De digitale filters kunnen nauwkeurig ingesteld worden er is geen gedoe met component waardes, die net niet zijn wat je moet hebben, de spreiding daarop etc. Dus het instellen van de filters kan ook veel beter dan wat je redelijkerwijs analoog zou kunnen doen.

De software die gebruikt is, is allemaal freeware. De meeste software werkt alleen onder Windows, alleen REW kan zowel onder Windows, Mac OS als Linux gebruikt worden. Verder is een gekalibreerde meet microfoon nodig om de metingen te doen.

Verder zal niet op alle details tot in de puntjes ingaan worden. Dit document is b.v. niet bedoeld als manual voor de gebruikte programma's. Ik ga er ook vanuit dat mensen die een project als dit aangaan wel enige kennis van zaken hebben en bepaalde dingen een eigen invulling kunnen geven.

Als ik aangeef dat er een 40uF condensator gebruikt is om de tweeter te beveiligen, dan neem ik aan dat men wel weet hoe dit aan te sluiten en welk type condensator gebruikt moet worden en dat hiervoor geen schema nodig is. Verder is er met google genoeg aanvullende informatie te vinden over van alles, om de eventuele gaten op te vullen.

Veel details over de aansluitingen ga ik ook niet geven, iedereen heeft hier toch wellicht wat andere wensen. En uiteindelijk gaat er gewoon een signaal van een linker, rechter of een ander kanaal naar de ingang van versterker board.

Aangezien het geheel toch gemeten en ingesteld wordt, kunnen er ook andere speaker drivers gebruikt worden dan hier gebruikt zijn. Nu is dat voor de woofer wat lastiger, omdat kast volume hierop afgestemd is en het een exemplaar is dat geschikt is voor een gesloten systeem en het ook een grote maximale uitslag heeft. Maar een andere tweeter moet makkelijk kunnen, als men even rekening houdt met de andere maten voor het infrezen hiervan.

Mocht men het binnenwerk erg complex vinden, ik vermoed dat mits er voldoende dik MDF gebruikt word er ook best goede bevredigende resultaten te behalen zijn zonder de vele binnen schotten.

Achterin ook wat bouwtekeningen van een mogelijke simpelere versie. Deze heeft maar een rechthoekig schot, die schuin achter de speakers geplaatst is. Dit eenvoudiger ontwerp gaat in ieder geval een gedeelte van de mogelijke staande goven tegen. Tevens worden de twee grootste panelen versterkt door de haakse verbinding. Het trillen van deze panelen wordt hiermee eventueel ook tegengegaan.

Dit eenvoudiger ontwerp is niet gebouwd en getest en is een relatief snelle aanpassing van de originele bouwtekeningen. Wil je hiermee aan de slag gaan, loop en reken alles nog even goed na.

## Gebruikte materialen

Woofers	Dayton Audio RS180-4	<a href="http://www.daytonaudio.com/index.php/rs180-4-7-reference-woofer-4-ohm.html">http://www.daytonaudio.com/index.php/rs180-4-7-reference-woofer-4-ohm.html</a>
Tweeter	SB-Acoustics SB26ADC-C000-4	<a href="http://www.sbacoustics.com/index.php?clD=84">http://www.sbacoustics.com/index.php?clD=84</a>
Amplifier met DSP	Sure Electronics AA-JA32172	<a href="http://store.sure-electronics.com/product/AA-JA32172">http://store.sure-electronics.com/product/AA-JA32172</a>
DSP programmer board	Sure Electronics ICP3	<a href="http://store.sure-electronics.com/product/DB-DP11224">http://store.sure-electronics.com/product/DB-DP11224</a>
Voeding	Mean Well LRS-150-24	<a href="https://www.meanwell-web.com/nl-nl/ac-dc-single-output-enclosed-power-supply-ac-input-lrs--150--24">https://www.meanwell-web.com/nl-nl/ac-dc-single-output-enclosed-power-supply-ac-input-lrs--150--24</a>
Rotary encoder met RGB LED	Sparkfun COM-15141	<a href="https://www.sparkfun.com/products/15141">https://www.sparkfun.com/products/15141</a>
Print rotary encoder	Sparkfun BOB-11722	<a href="https://www.sparkfun.com/products/11722">https://www.sparkfun.com/products/11722</a>
Transparent knop	Sparkfun COM-10597	<a href="https://www.sparkfun.com/products/10597">https://www.sparkfun.com/products/10597</a>
Programmer plug DSP	Cliff FC684216	<a href="https://www.tme.eu/nl/details/fc684216/connectoren-voor-microfoons/cliff/">https://www.tme.eu/nl/details/fc684216/connectoren-voor-microfoons/cliff/</a>
Programmer plug DSP chassis deel	Cliff FC684206	<a href="https://www.tme.eu/nl/details/fc684206/connectoren-voor-microfoons/cliff/">https://www.tme.eu/nl/details/fc684206/connectoren-voor-microfoons/cliff/</a>

Bovenstaande is bij lange na niet de volledige lijst, maar zijn de belangrijkste componenten die gebruikt zijn. Verder zijn er ook talloze andere “losse” componenten gebruikt, maar die zijn wat meer inwisselbaar.

Te denken valt aan de jackplug aansluitingen en de cinch, 230V aansluiting etc. Ook de connectoren van het versterker board, die zijn van het JST PH 2.0 type. Op de printplaat voor de LED's aan te sturen, heb ik weer andere connectoren gebruikt, want de steek van de gaatjes op de experimenteer print is 2.54 mm (wat vrij standaard is), dus passen de JST PH 2.0 met een steek van 2 mm daar niet. Op Amazon of Aliexpress, zijn de JST PH 2.0 connectoren wel te krijgen, verder is dit type connector wel lastig leverbaar.

Ik heb zelf een krimptang om verbindingkabels te maken, maar er zijn ook connectoren met draden van ca 30cm eraan te koop.

Via de URL's is meer info te vinden over de gebruikte componenten, het is niet zo dat als het een link is naar een winkel dat ik het product daar ook heb gekocht.

De speakers en Sure Electronics componenten zijn gekocht bij SoundImports:  
<https://www.soundimports.eu/nl/>

Tot nu toe is hun service en response erg goed geweest, veel lof daarvoor, dat zie je ook wel eens anders.

Voor de meer losse componenten kun je denken aan Amazon of Aliexpress, voor met name de JST-connectoren. Hou wel rekening met een eventuele levertijd van 2 a 3 weken, want ook sommige dingen op Amazon komen uit China en duren lang om te leveren, let daar even op.

Verder zijn er ook verschillende online elektronikawinkels om de plugjes, rotary encoder, weerstanden, condensators etc. aan te schaffen, denk b.v. aan:

<https://www.conrad.nl/>  
<https://www.tinytronics.nl/shop/nl>  
<https://www.kiwi-electronics.nl/>  
<https://www.antratek.nl/>  
<https://www.vanalleenmeer.nl/>  
<https://www.reichelt.nl/>  
<https://opencircuit.nl/>

Dit is geen complete lijst en er zal zeker een geschikte online winkel niet vermeld zijn, maar het is alvast een beginpunt.

Een belangrijk deel van de MDF-behuizing heb ik besteld bij:

<https://www.opmaatuzagen.nl/>

Ik heb zwart MDF gebruikt, zodat afwerken makkelijk is, gewoon blanke PU-lak erover en klaar!  
Ik had zelf nog het nodige MDF van 16mm thuis liggen en dat heb ik bij een kennis van mij met een zaagtafel op maat gezaagd. Dit was het "gewone" bruine MDF en is aan de binnenkant gebruikt.

Opmaatuzagen heeft goed werk geleverd, om de zichtbaarheid van de naden zo min mogelijk te maken ging het ontwerp uit van 45 graden verstek op de zicht hoeken en het is essentieel dat de maatvoering precies is, zodat er geen naad openstaat.

Opmaatuzagen had toen ik daar bestelde alleen de gewone bruine MDF en zwart MDF. Bij andere partijen is ook MDF in andere kleuren leverbaar, echter zagen die weer niet op maat. Of ze zijn weer erg duur doordat je altijd minimaal een hele plaat moet afnemen ook al gebruik je lang niet alles. En is de prijs per zaagsnede weer erg hoog.

Maar blauw of rood MDF had denk ik ook best mooi geweest. Probleem met zelfbouwen is vaak de afwerking, echter met gekleurd MDF en transparant aflakken, is het gemakkelijk om een mooie afwerking te krijgen.

Verder is voor demping witte polyester wol van 2 cm dik en een dichtheid van 40kg/m<sup>3</sup> gebruikt en ook de lichtere variant van 20kg/m<sup>3</sup> van 5cm dik. Dit materiaal is onder verschillende merknamen en bij verschillende leveranciers te verkrijgen.

Ik mijn geval werd de polyester wol geleverd in platen van 60 x 100 cm. Een plaat van 2 cm dik is vrijwel geheel gebruikt. De plaat van 5 cm dik is ongeveer voor de helft opgegaan.



*Figuur 1 Indruk van door en door gekleurd MDF.*



*Figuur 2 Opname van een hoek waar drie panelen met een verstek van 45 graden bij elkaar komen.*

## Gereedschap en constructie tips

Een boven frees is wel een minimale vereiste voor dit project.

Ik heb al meer als 20 jaar geleden iets gemaakt om gemakkelijk langs een geleider iets te kunnen frezen.



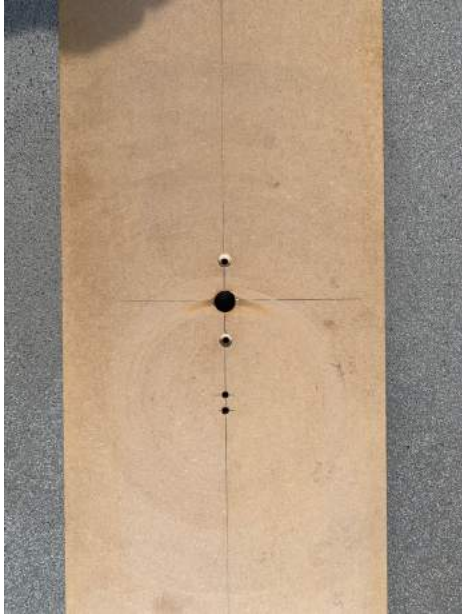
*Figuur 3 De "freestafel", doet al meer als 20 jaar dienst.*

De plank achter de frees heeft rechts een draaipunt en is gemakkelijk vast te zetten met een lijmkleem waardoor sleuven parallel aan zijkant gemakkelijk nauwkeurig te maken zijn. Test altijd eerst met een proef plankje!



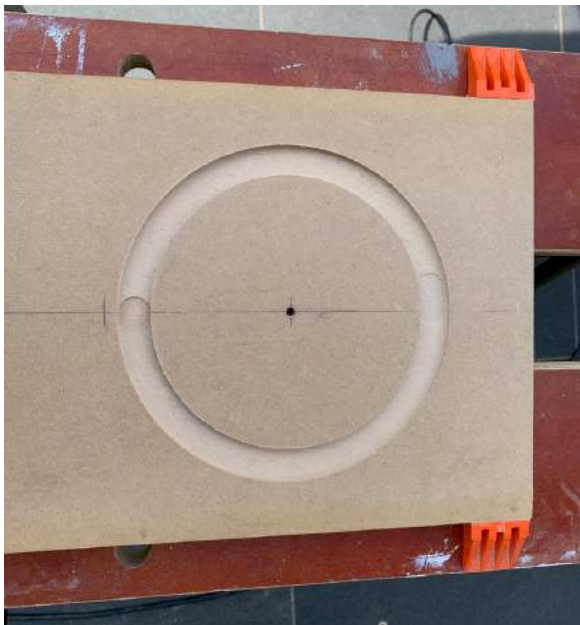
*Figuur 4 De geleiding van een sleuf frezen in actie.*

Verder een plank gemaakt waarop de frees bevestigd kan worden om de ronde uitsparingen en de gaten voor de speakers te maken.



*Figuur 5 Het hulp stuk om cirkels te frezen*

Door een gat op de juiste afstand van de frees waardoor een pin gaat, die in gat valt in het middelpunt van waar je in wil frezen. De hele plank met frees draait om de pin heen en maakt de cirkel in het materiaal.



*Figuur 6 Test op een proef plank, in het midden het gat waar de pin in gaat en de plank met frees omheen draait*

Hierboven een afbeelding waarbij er in een proefplankje een uitsparing gemaakt wordt.

Als je een gat maakt op die manier, dan moet je in etappes dieper gaan en eventueel ook vanaf de andere kant frezen. Echter zorg ervoor dat midden stuk met 3 a 4 verbindingen aan buitenkant verbonden blijft, anders gaat je middelpunt aan de haal.



*Figuur 7 Zorg dat binnenkant verbonden blijft met buitenkant en snij laatste stukjes los.*

Verder zijn lijklemmen en ratelspanbanden vereist bij het in elkaar lijmen van de MDF-onderdelen. Ook een schuifmaat is aan te raden om goed de diepte van de gefreesde sleuven te kunnen controleren.

De gekozen constructie gaat uit van sleuven van 16mm breed waarin dan MDF van 16mm breed gelijmd wordt. Dit is een hele sterke en goede haakse verbinding. Echter de juiste diepte van de sleuven die gefreesd worden is wel essentieel voor een goed eindresultaat.

Ik ben uitgegaan dat de 16mm MDF planken 10mm diep in de 22mm MDF delen gaan. Echter moet je iets speelruimte hebben om iets aan te kunnen drukken en dat de lijm ergens heen kan. Dus de sleuven moeten dan 10.2 - 10.3 mm diep worden, dat geeft voldoende speelruimte.

De lijm die ik gebruikt heb is Bison Wood Max:

<https://www.bison.nl/nl/product.4390.html>

Deze lijm is vullend, maar bruist niet zoals Poly-Urethaan lijmen en geeft je ook wat verwerkingstijd. Bij het in elkaar lijmen van de onderdelen moeten dingen zich wat zetten en wat kunnen schuiven als ze onder druk van b.v. lijmtang of spanband komen. Bij gewone houtlijm in b.v. een sleuf, zit de plank die je daarin doet min of meer gelijk vast en kan niet makkelijk nog een paar tiende mm schuiven.

Met Wood Max lukt dit wel en de uiteindelijke verbinding wordt enorm sterk. Binnenin zal er soms een naad ontstaan van zeg een halve mm. Wood Max vult dit dan gemakkelijk en zal het goed verbinden. Sommige naden worden expres wat ruim gelaten, zodat je daar zeker niet gaat "vastlopen" zodat een kritische buitennaad niet open blijft staan.

## De overwegingen bij ontwerp en speaker keuze

### Vervaardigen behuizing

Het ontwerp is erop gericht om staande golven binnen in de behuizing te voorkomen. Dus twee evenwijdige vlakken tegenover elkaar wil je vermijden. Omdat het zelfbouw is wil je wel dat zoveel mogelijk planken rechthoekig zijn, zodat het voor een hobbyist uitvoerbaar is.

Dus je wil een ontwerp met schuine wanden en toch rechthoekige planken. Bij een beetje zaagtafel moet 45 graden verstekzagen geen probleem zijn, dus daar is gebruik van gemaakt bij het ontwerp.

De buitenkant is gewoon rechthoekig met 45 graden verstek kanten, zodat naden optisch zo min mogelijk zichtbaar zijn. De buiten planken zijn kritische zicht delen, dus zorg dat die goed en nauwkeurig gezaagd worden. In mijn geval zijn de buiten delen door Opmaatzagen.nl gezaagd.

De delen binnenin zijn minder kritisch, de lijm kan dan eventueel wat vullend zijn werk doen indien nodig. Als je nauwkeurig en netjes werk, is dit goed te doen op een hobby zaagtafel. Naast drie eenvoudige rechthoekige planken, zijn er ook nog twee rechthoeken met 45 graden verstek nodig per luidspreker.

Een klein rechthoekig plankje verbindt de beide zijpanelen. Deze zit precies in de overlapping van de schuine schotten die onder 45 graden in de boven en onder paneel vast zit. De overlapping zit wat naast het midden van de hoogte, dit maakt het weer lastiger voor paneel om op een bepaalde frequentie te gaan trillen.

De twee andere rechthoeken verbindt de onder, boven en zij panelen met elkaar. Een aan de voorkant en de andere aan de achterkant. In de boven/onder en zij panelen zijn hiervoor sleuven gefreesd waarin deze rechthoekige planken vallen.

Per box zijn er 4 wat lastiger plankjes met 14 graden verstek en 10 graden en een schuine hoek. Echter zijn deze wat minder kritisch wat betreft maatvoering. Deze worden net iets te groot gemaakt en zijn dan eenvoudig op maat te schuren, over een stukje van ongeveer 4 cm lengte. Ik gebruikte daar een schuur draaischijf voor, waar ik het plankje met een geleide onder de juiste hoek tegenaan hield.

Het pas maken van deze 4 plankjes was daarmee een werkje van 15 a 20 minuten.

Het enige wat lastiger is om goed te doen is het frezen van een sleuf onder 45 graden in het onder en boven paneel. Dit moet ook nauwkeurig gebeuren. In elk zijpaneel moet ook twee schuine gleuven onder ongeveer 14 graden komen, echter is deze niet echt kritisch.

Ondanks dat het een redelijk complex ontwerp is en niet eventjes snel in elkaar gezet kan worden, is het wel goed te doen voor een hobbyist.

### Bas-reflex of gesloten

Verder is het een gesloten kast ontwerp, dus geen gedoe met afstemmen van een bas reflex poort. Bij een gesloten kast is er behoorlijk wat speelruimte wat betreft de kast inhoudt. Dat maakt het ontwerp eenvoudiger er hoeft wat constructie betreft niet iets afgestemd te worden.

Het precies voorspelen van de kastinhoud met alle elektrische componenten is lastig en ook het gebruik van dempingsmateriaal maakt de kast "virtueel" groter. Aangezien het een actieve speaker wordt, kun

je via de DSP de bas weergave wat verder naar lagere frequenties doortrekken. Dat maakt de noodzaak voor het gebruik van een bas reflex poort minder groot.

Verder is de impulse response van een gesloten box beter als die van een bas reflex versie. De bassen zullen strakker zijn, de lucht moet altijd eerst in beweging komen in een afgestemde reflex poort en als de frequentie waarop de poort is afgestemd stopt in de muziek, dan zal de poort nog even doorgaan.

Dus bij een constante frequentie werkt het wel, maar in de dynamiek van de muziek is het allemaal wat weerbarstiger. Aan de ander kant is ons oor niet zo gevoelig in het frequentie bereik waar dit allemaal speelt.

Een niet te uitbundig afgestelde bas-reflex kan goed klinken, helaas worden vele bas-reflex luidsprekers in de praktijk erg enthousiast afgestemd. De frequentie response ziet er dan op papier erg goed uit, maar dat vertelt niet het hele verhaal.

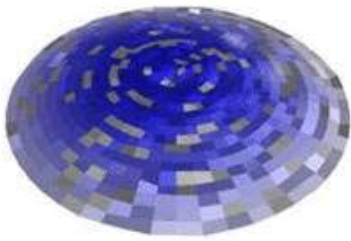
Hoe dan ook een goede bas-reflex voor een zelfbouw project met eigen ontwerp is gewoon erg lastig i.v.m. afstemming. Mede hierdoor viel de keuze op het maken van een gesloten systeem.

### Keuze van Woofer en Tweeter

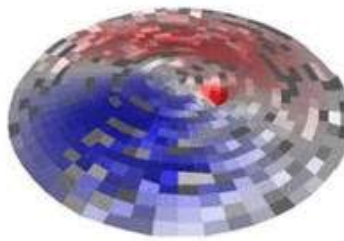
Ik wilde een actief systeem maken met het 2x50watt versterker board met DSP. Dit brengt met zich mee dat het een twee weg systeem zou worden. Ergens tussen 1.5 – 3 kHz zal er een cross over moeten plaats vinden. Dit zal de DSP gaan doen en ook het egaliseren van de frequentie response en tevens het laag wat verder naar beneden uitbreiden.

Je wil veel kwaliteit voor weinig ;-). Wilde globaal ongeveer 100 euro uitgeven voor een woofer en tweeter samen, dus 200 voor een stereo set. Dit ook om het geheel in verhouding met elkaar te houden, je gaat geen woofer van 300 euro aan een versterker board van net iets over de 50 euro hangen.

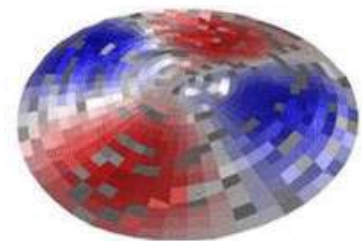
Je wil dat de woofer en tweeter zich netjes blijven gedragen tot en met het cross-over gebied. Grootste probleem voor woofers is de cone-breakup, dus boven een bepaalde frequentie gaat de conus niet als een geheel star heen en weer, maar gaat zelf buigen en trillen en dus vervorming produceren.



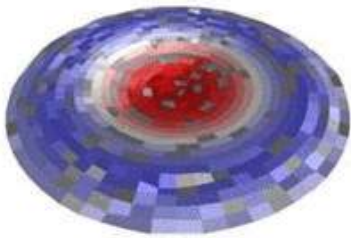
(0, 1) 176 Hz



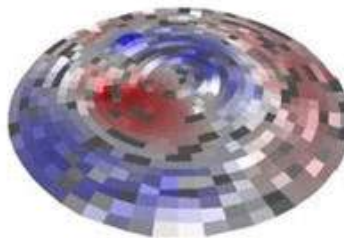
(1, 1) 445 Hz



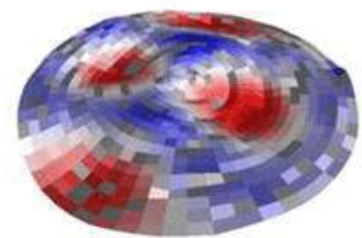
(2, 1) 621 Hz



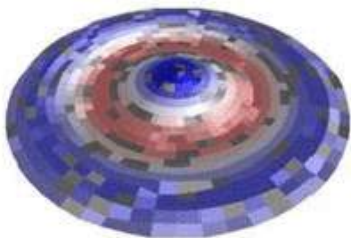
(0, 2) 738 Hz



(1, 2) 996 Hz



(2, 2) 1254 Hz



(0, 3) 1430 Hz

*Figuur 8 Met laserscanner is de cone-breakup zichtbaar gemaakt van een willekeurige woofer.*

Hoe groter de conus diameter, hoe lastiger het is om bij hogere frequenties als een geheel stijf heen en weer te bewegen en niet op een andere manier te gaan trillen.

Bij een tweewegsysteem is de frequentie van de cross-over ongeveer bekend. Als je dan cone-breakup wil vermijden tot iets voorbij de cross-over frequentie, dan volgt daaruit dat je tot ongeveer een maximale woofer diameter van 7 inch kunt gaan.

Verder moet de woofer werken in een gesloten kast volume die een beetje in verhouding is met zijn diameter. Dus zeg 15 a 20 liter inhoud. Aangezien diameter beperkt is wil je wel een woofer met een zo groot mogelijke maximale uitslag.

Met dit soort afwegingen ben ik tot de Dayton Audio RS180-4 gekomen. Deze woofer heeft een maximale uitslag van 6mm, terwijl veel mogelijke alternatieven een maximale uitslag van 4mm hebben. Zijn parameters maken hem ook geschikt voor een gesloten kast. Tevens had deze speaker goede aanbevelingen. Met zijn 4 Ohm en zijn gespecificeerd vermogen van 60 watt past hij ook goed bij de versterker van 50 watt aan 4 Ohm.

Er komen wat verschillende getallen naar boven wat betreft het optimale volume van een gesloten systeem met de gekozen woofer. Op de site van de fabrikant geven ze ongeveer 12 liter aan. Sommige

simulatieprogramma's komen met de parameters zoals verstrekt door fabrikant uit op 16-17 liter weer andere op 26 liter.

Mocht het volume 20 liter worden of zelfs 30, dan nog zal er weinig aan de hand zijn. De kleine verschuivingen in frequentie response zijn dan eenvoudig door de DSP te ondervangen.

Enkele mogelijke simulatieprogramma's die men kan gebruiken.

VirtuixCAD <https://kimmosaunisto.net/Software/Software.html>

WinISD <http://www.linearteam.org/>

Dempingsmateriaal in een gesloten kast zal hem virtueel groter doen lijken. Een vergroting van 10-15% is gebruikelijk. De maximale vergroting van het virtuele volume die in de literatuur bekend is, is ongeveer 40% voor een wat kleinere box en 30% voor een wat grotere box.

Het effect van demping op kast volume is lastig vooraf in te schatten, maar een speaker in een gesloten kast is gelukkig niet erg gevoelig voor het uiteindelijke virtueel volume. In dit wat complexer ontwerp, moet het grootste gedeelte van de demping aangebracht worden, voordat behuizing in elkaar gelijmd word. Dus experimenteren met de hoeveelheid demping is lastig. Anders zou je met een behuizing zonder demping beginnen, dan metingen doen, dan er wat instoppen weer meten etc.

Nu moet je maar min of meer een gok doen over hoeveel en waar je precies het dempingsmateriaal aanbrengt en er het beste van hopen. Er zijn wel wat richtlijnen te vinden van hoeveel gram dempingsmateriaal per liter inhoud je globaal moet gebruiken. Hier met een schuin oog naar gekeken en verder wat boeren verstand gebruikt.

Ik ga ervanuit dat een vergroting van het virtueel volume met 10% zeker haalbaar is en mik op een netto inhoud van ongeveer 15.5 liter. Heb hiervoor een spreadsheet opgezet zodat vanuit basis ontwerp gemakkelijk met andere maten de inhoud berekend kan worden.

Link naar de spreadsheet:

<https://www.dropbox.com/s/atu4kiyf3u94a4y/Box%20volume.xlsx?dl=1>

Dus de maten werden bepaald voor een kast met een netto inhoud van ongeveer 15.5 liter, afhankelijk van hoe de demping in de praktijk uitvalt zal het virtuele volume ergens tussen de 17 a 20 liter uitvallen was de verwachting.

Na de keuze van de woofer moest de tweeter gekozen worden. Gezien de keuze van de woofer leek een cross-over van ergens tussen de 1.5kHz en 2 kHz een logisch keuze. Een cross-over is geen harde muur tussen de woofer en tweeter, maar er is feitelijk altijd sprake van een overgangsgebied. De woofer moet het nog een stukje voorbij het cross over punt volhouden. De tweeter nog een stukje eronder.

Je kan zien bij de frequentie response die de fabrikant opgeeft dat die erg grillig wordt voorbij de 3 kHz, dus daar zal de cone-breakup wel beginnen. Ook zie je dat vanaf 1kHz de afstraling onder een hoek minder wordt en vanaf 2kHz verslechterd dit sterk. De slechter wordende afstraling onder hoek heeft te maken met het kleiner worden van de golflengte bij hoger frequenties t.o.v. de conus diameter.

Als de conus veel kleiner is als de golflengte dan straalt hij de energie breed uit. Als de golflengte meer in de buurt van de conus diameter komt of zelfs kleiner wordt, dan gaat hij het geluid meer alleen rechtuit afstralen. Je kan dan beter de weergave overgeven aan een speaker met een kleinere diameter.

Aan de andere kant zal de conus bij lagere frequenties niet vaak heen en weer gaan, dus om een bepaalde hoeveelheid energie af te geven zal hij veel lucht per slag moeten verplaatsen. De hoeveelheid lucht die verplaatst kan worden is dus evenredig met oppervlakte conus maal maximale uitslag. En de oppervlakte hangt dus weer af van zijn diameter.

Dus enerzijds wil je een grotere conus diameter om de lagere frequenties, bij wat hogere volumes, goed te kunnen weergeven en juist weer een kleinere diameter voor de hogere frequenties. Vandaar het bestaan van luidsprekers met meerdere speakers van verschillende groottes in een behuizing.

Een 4 Ohm tweeter is wenselijk met een gevoeligheid die niet meer als een paar dB verschilt van de woofer. Om wat overloop ruimte naar beneden te hebben voor de cross-over zou een tweeter met een resonantiefrequentie van onder de 1kHz wenselijk zijn. Verder moet de tweeter natuurlijk als "Goed" bekend staan en ook nog een goed afstraling gedrag in het hoog hebben.

Hoge tonen gaan meer rechtdoor, wat te maken heeft met de conus diameter (zie ook boven), en minder goed naar opzij. Als je wat naast de speaker staat wil je niet dat het hoog helemaal weg valt. Hierdoor uiteindelijk de SB Acoustics SB26ADC-C000-4 geselecteerd. Deze heeft een hele goede afstraling naar opzij voor de hogere frequenties.

### Plaats van tweeter en woofer

Er is gekozen om de tweeter niet in het midden te zetten. De afstand naar boven en naar links en rechts verschillen allemaal van elkaar. De rimpelingen in frequentie response ten gevolge van de diffractie op de randen, zullen allemaal iets anders zijn. Bij elkaar opgeteld zijn dan de rimpelingen minder in omvang, dan wanneer de afstand naar links en rechts hetzelfde zouden zijn. Het ergste is het wanneer afstand links, rechts en naar boven allemaal hetzelfde zijn, dit moet altijd worden vermeden.

Mocht iemand het optisch mooier vinden om de tweeter wel symmetrisch in het midden te zetten Dan kan dat ook, de DSP zal dan wat extremere EQ moeten toepassen om de rimpeling te compenseren. Tevens zullen de pieken en dalen op een andere plek zitten, dus de EQ moet specifiek op die situatie worden afgestemd.

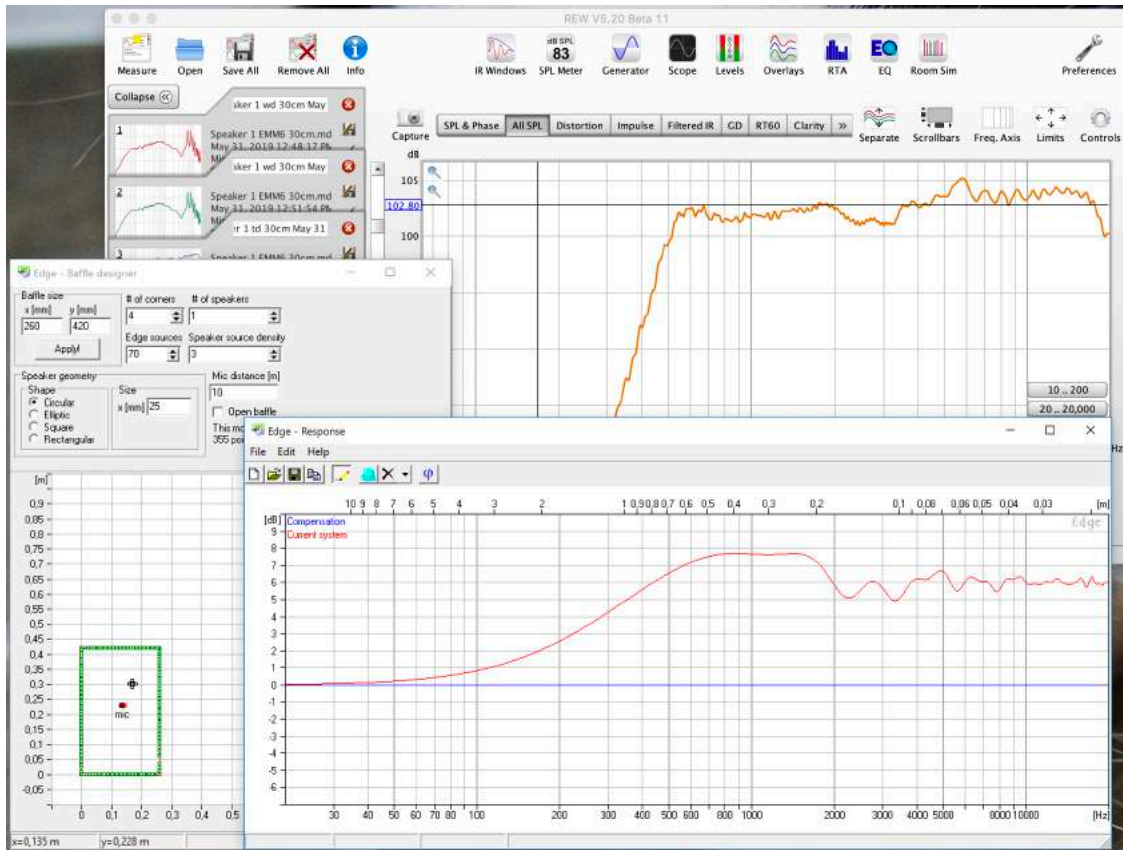
Zoek dan even op internet een programma waarin het effect van de plaatsing kan worden gesimuleerd, een halve cm omhoog of omlaag kan een behoorlijk verschil in response geven. Heb zelf ook een tijd besteed met schuiven links/recht en onder/boven, totdat naar mijn mening de rimpeling, die er altijd zal zijn het, zo minimaal mogelijk was.

Het programma "Edge" is gebruikt om plaatsing van de tweeter en woofer te simuleren.

(<http://www.tolvan.com/index.php?page=/edge/edge.php>)

Een ander mogelijk programma waarmee de diffractie en ook andere effecten gesimuleerd kan worden is VirtuixCAD (<https://kimmosaunisto.net/Software/Software.html>).

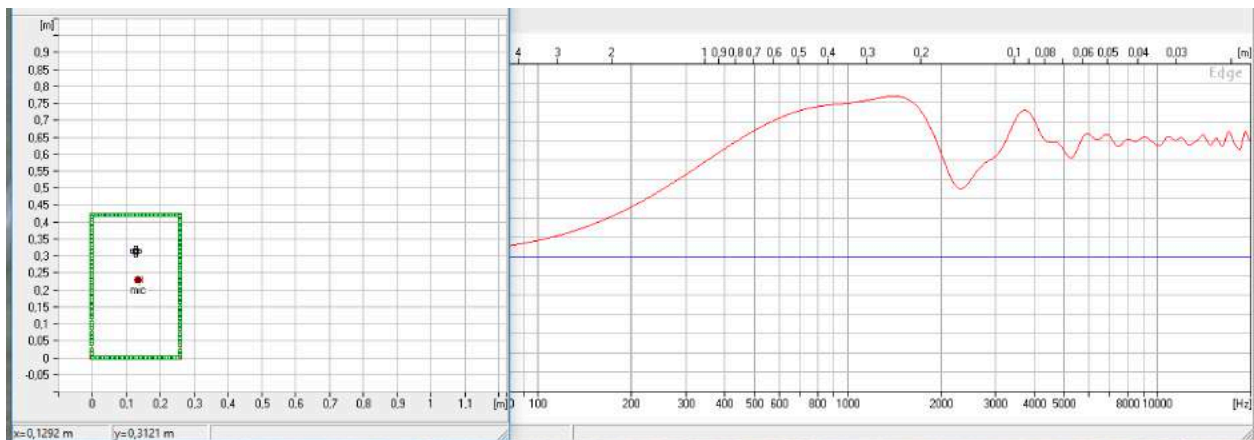
De woofer kun je vanwege zijn grote niet echt links/rechts verschuiven. Verder wil je hem zo dicht mogelijk bij de tweeter plaatsen, om overgangseffecten in het overname gebied van de cross-over te minimaliseren. De keuze van de positie van de tweeter legt dan min of meer die van de woofer vast.



Figuur 9 Simulatie van diffractie van de tweeter en de gemeten response

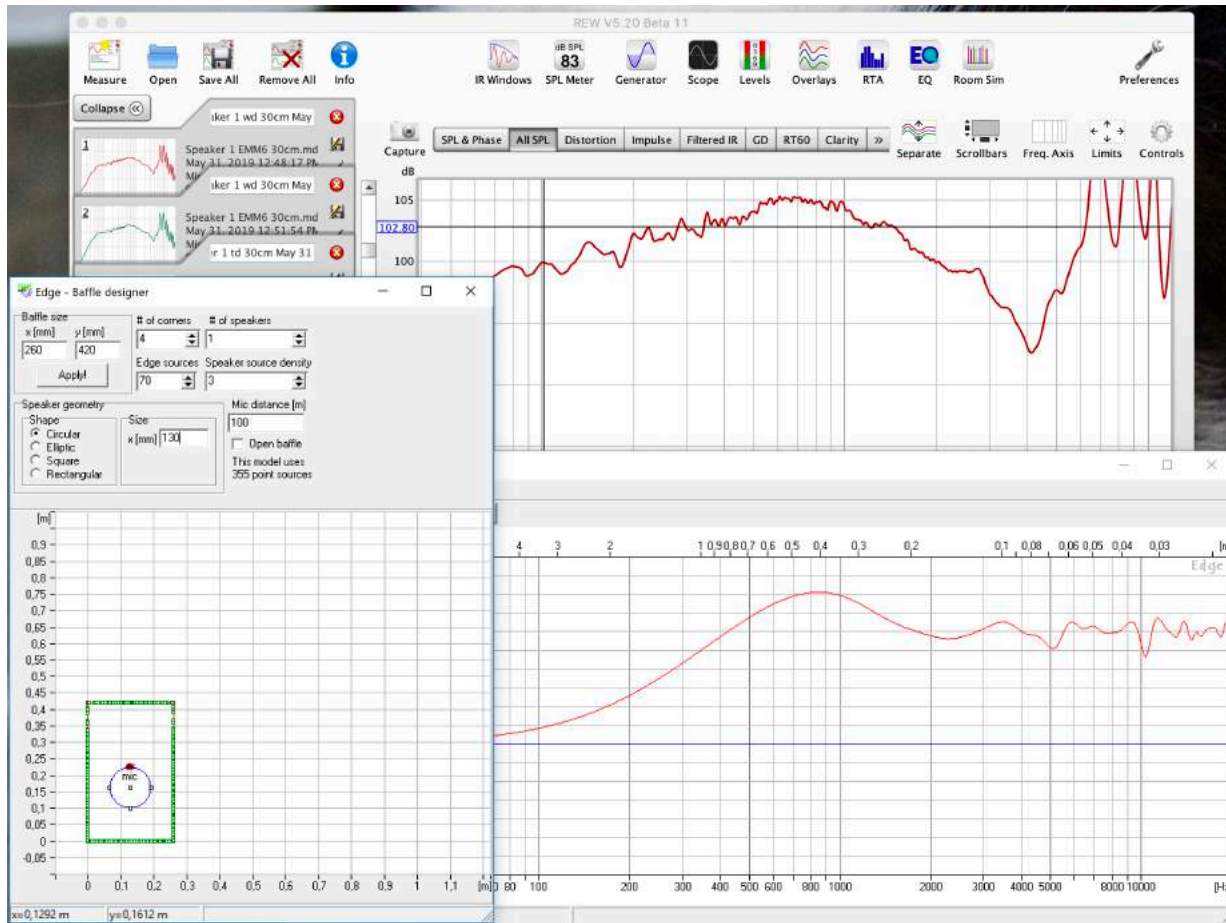
Zoals zichtbaar is in Figuur 9, komt de simulatie en werkelijkheid behoorlijk met elkaar overeen. Het patroon van figuur is in werkelijkheid alleen iets verschoven. Dit kan komen door andere werkelijke snelheid van geluid, dan waarmee gerekend is, de afgeronde hoeken, die wellicht anders zijn als waar mee gerekend is etc. Simulaties geven een indicatie vooraf en kunnen door allerlei onnauwkeurigheden, altijd verschillen van de uiteindelijke werkelijkheid.

Hou er verder rekening mee, dat los van het paneel waar de tweeter in gemonteerd is, dat de response van de tweeter in een ideale situatie (de oneindige baffle) ook niet een vlakke lijn zal zijn. De meting is dan ook een combinatie van de response van de tweeter zelf en de effecten van zijn plaatsing in een paneel van een bepaalde vorm en afmeting.



Figuur 10 Indicatie van response als tweeter in midden geplaatst zou zijn

In Figuur 10 kun je zien wat effect van een andere plaatsing zou kunnen zijn geweest, duidelijk is, dat er dan wat extremer gecompenseerd zal moeten worden.



Figuur 11 Simulatie van plaatsing van de woofer en de uiteindelijke response

Ook bij de woofer komt de meting goed overeen met de simulatie. Hou er rekening mee, dat deze woofer frequenties boven de 3kHz niet goed kan weergeven en dat de response daarna erg grillig wordt. Tot bijna 3kHz doet de woofer ongeveer wat een ideale woofer zou doen in deze situatie. Daarna gaat waarschijnlijk de cone-breakup de response flink verstoren.

Het is dus zaak, dat met de keuze van de cross-over frequentie en de steilheid van filter, dat de woofer deze frequenties niet hoeft weer te geven. Steile filters kunnen goed gerealiseerd worden met digitale filter technieken.

## Het ontwerp van de behuizing en constructie

Het ontwerp is niet zo een twee drie in woorden over te brengen en ik denk dat de werktekening om de onderdelen te maken dit ook niet gelijk duidelijk zullen maken. De foto's zullen het geheel moeten overbrengen. Het idee is dat evenwijdige wanden elkaar nooit direct kunnen zien, maar dat er dan altijd een binnen schot er schuin tussen staat.



*Figuur 12 Zijpaneel en onder/boven paneel en hoe deze panelen via sleuf en 16mm MDF verbonden worden.*

Op bovenstaande afbeelding is met wat tijdelijke planken een onder en zijpaneel met elkaar verbonden. Linker bruine MDF-plank zit op de plaats waar het voorste schot gaat komen. Hiertegen wordt uiteindelijk het zwarte MDF front paneel met 45 graden verstek tegenaan gelijmd. Rechts is even de hulpplank voor cirkels te frezen gebruikt en zit op plaats van achterschot. In het uiteindelijke schot komt een grote uitsparing, zodat de onderdelen die op achter paneel gemonteerd worden hierin valt.



*Figuur 13 Frezen van sleuf onder 45 graden*

Langs aluminium hoekprofiel kan de boven frees worden geleid om de lastige sleuf te frezen. In de plank is al een sleuf gemaakt voor achterschot en voorschot. Die van achterschot wordt gebruikt om een plank die onder 45 graden is afgezaagd te fixeren. In deze plank is ook een sleuf gefreesd. Een strookje MDF van 16mm dik verbindt deze geleide plank met het te bewerken zwarte MDF-paneel. Hierlangs komt dus het aluminium hoekprofiel. De bruine MDF plank kan je via sleuf heen en weer schuiven totdat die in goede positie is en dan wordt geheel met lijmklemmen gefixeerd.



*Figuur 14 Het frezen van de andere schuine sleuf*

Het frezen van de andere schuine sleuf is minder lastig. Er is meer ruimte om hoekprofiel goed onder juiste hoek te fixeren met twee lijnklemmen. Tevens is de hoek, plaats en lengte gleuf minder kritisch. Aan de ene kant loopt hij door in tot in de al aanwezige sleuf en de andere kant op mag het wat langer zijn, de paar mm die overblijven vul je gewoon op met Wood Max bij het erin lijmen van schot.

Hou er rekening mee dat een sleuf die gefreesd is en die ergens stopt in het werkstuk, rond eindigt en dat de plankjes recht eindigen na zagen. Uiteinden van binnen schotten die niet in een sleuf gaan zijn altijd rond afgewerkt met de frees. Een geluidsgolf zal dan altijd gespreid gereflecteerd worden.

Ook de buiten naden zijn rond gefreesd, dit komt wat men noemt de diffractie ten goede. De rimpelingen zullen door de afgeronde hoeken wat in amplitude afnemen. Zie ook [Plaats van tweeter en woofer](#).



*Figuur 15 Zijpaneel met schotten en onder/boven paneel met schot, daar waar kan rond afgewerkt.*



*Figuur 16 Het aftekenen en op maat maken van de kleine schotten, zorg voor een paar tiende mm spelling bij proefpassen*



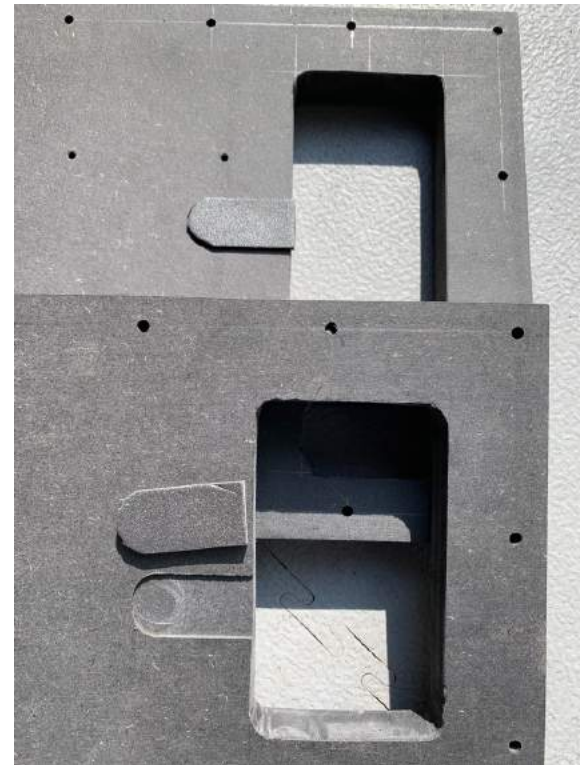
*Figuur 17 Inkijk vanaf voorkant zonder voorschot en vanaf zijkant maar nu wel met voor en achter schot erin.*



*Figuur 18 Inkijk zijkant en achterkant maar nu zijn voor en achterschot met juiste uitsparingen geplaatst*



*Figuur 19 Voorkant met voorschot en met het uiteindelijke front panel ertegen*



*Figuur 20 De voor en achter panelen.*

In achter panelen is een gleuf zichtbaar van 2mm diep met afdicht foam. Dit is om de bekabeling van het aansluit gedeelte luchtdicht naar versterker board te krijgen. Later kwam er meer bekabeling bij vanwege andere rotary encoder met RGB LED en dat ik de box toch van buiten programmeerbaar wilde

hebben, i.p.v. open en dicht schroeven om programmeer bord aan te sluiten. Op foto is de gleuf nu ongeveer 4cm lang en 2 breed, dit is uiteindelijk 4 bij 4 cm geworden. En ook afdicht strip is 90 graden gedraaid en zijn er twee naast elkaar gemonteerd.

Hou er verder rekening mee om de randen van het gat voor de woofer af te schuinen. Het gat moet naar binnen toe steeds groter worden, zodat de lucht daar goed kan bewegen. Zie ook:

<http://www.troelsgravesen.dk/chamfer.htm>



*Figuur 21 Aanbrengen van dempingsmateriaal*

Let op, bij de schotten van het zijpaneel worden alleen diegene, die grenzen aan de voorkant bekleed. De flapjes aan de achterzijde hebben een uitsparing, o.a. vanwege de onderdelen op achter paneel die hierin vallen. Zaag deze hoeken eruit, voordat deze schotten in zijpaneel gelijmd worden, anders is het veel lastiger om dit aan te passen.

De schuine schotten op onder en boven paneel voorkomen staande golven tussen zowel voor en achterkant, maar ook tussen de evenwijdige zijwanden. Er is dus binnenin nooit direct zicht van de ene wand naar de andere evenwijdige wand. De flapjes zijn om staande golven te voorkomen tussen de evenwijdige boven en onderkant. De hoek van de flapjes is ongeveer 14 graden (12cm opzij en 3 cm omhoog) en is wat minder extreem als van de grote schotten.

De plaatsing van de flapjes, is niet direct kritisch, iets omhoog of omlaag werkt ook, ander hoek ook, maar zal het niet direct minder als 14 graden maken. Elk schot moet ook minimaal zijn kwart van boven/onder kant oppervlakte afdekken.

Als ontwerp iets wordt aangepast, hou er dan rekening mee dat het berekenen van de juiste maat van deze schotjes wat complex is. Mijn eerste batch van 4 schotjes was iets te klein ;-). Misschien verstandig om ze eerst van karton te maken en te passen of de maat goed is.



*Figuur 22 Als de beklede panelen in elkaar gezet worden komt het er zo uit te zien*

Lucht die van voorkant in de box bij de luidsprekers naar de achterkant wil, zal altijd via het overlappingsgedeelte moeten. Hier zal luchtsnelheid relatief hoog zijn, dus zal de demping hier relatief goed werken om de luchtsnelheid naar beneden te brengen en virtueel volume te vergroten.

Voor deze demping wordt de lichtere dichtheid van 20kg/m<sup>3</sup> gebruikt. De demping van 40kg/m<sup>3</sup> van 2 cm dik op de wanden is om reflecties tegen te gaan die dan weer via de achterkant van de conus terugkomen. Door de schuine wanden zal dit meestal via meer dan een reflectie moeten gebeuren. Deze terugkerende golven moet dan ook meerdere keren een laag demping passeren. Door het ontwerp wordt de terugkerende geluidsgolf dus extra gedempt.

Het dempingsmateriaal is met een spuitbus met lijm ingespoten en vervolgens op de panelen geplakt. Sommige driehoeken van demping, blijven vanzelf wel op hun plek zitten. En worden na het in elkaar lijmen van box, via het woofer gat aangebracht.

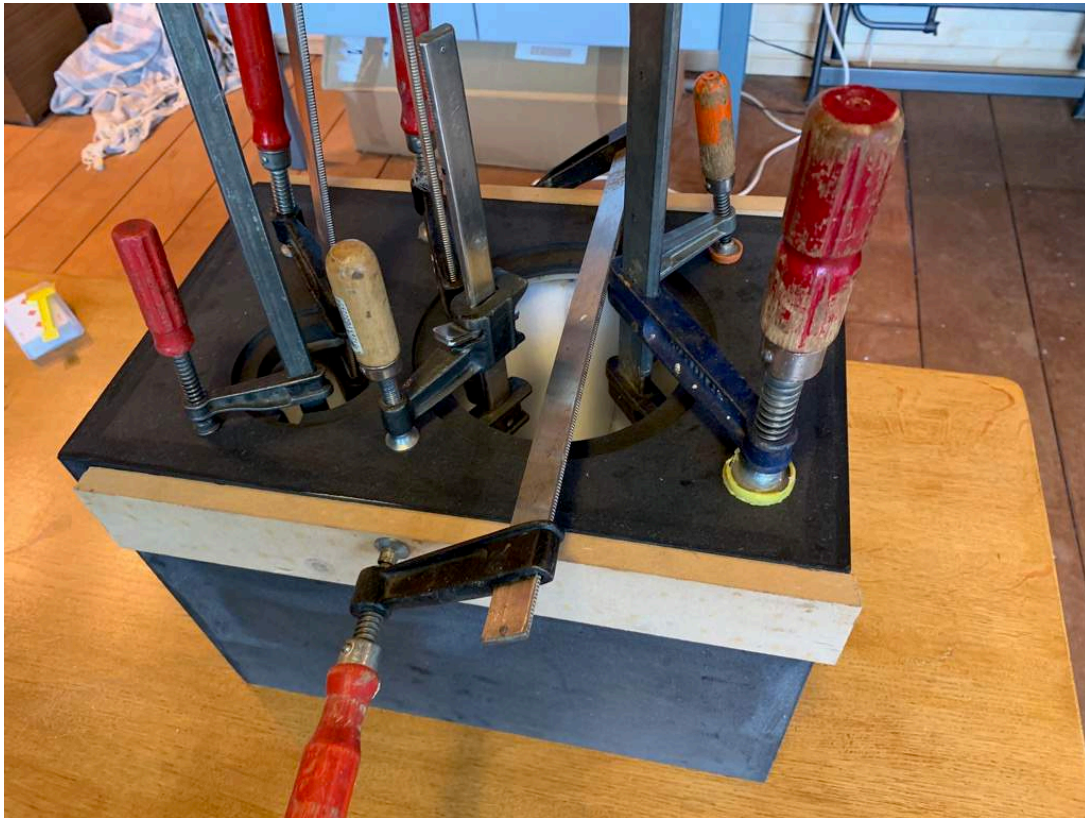


*Figuur 23 Indruk van de driehoeken 20kg/m<sup>3</sup> dempingsmateriaal dat wordt aangebracht*

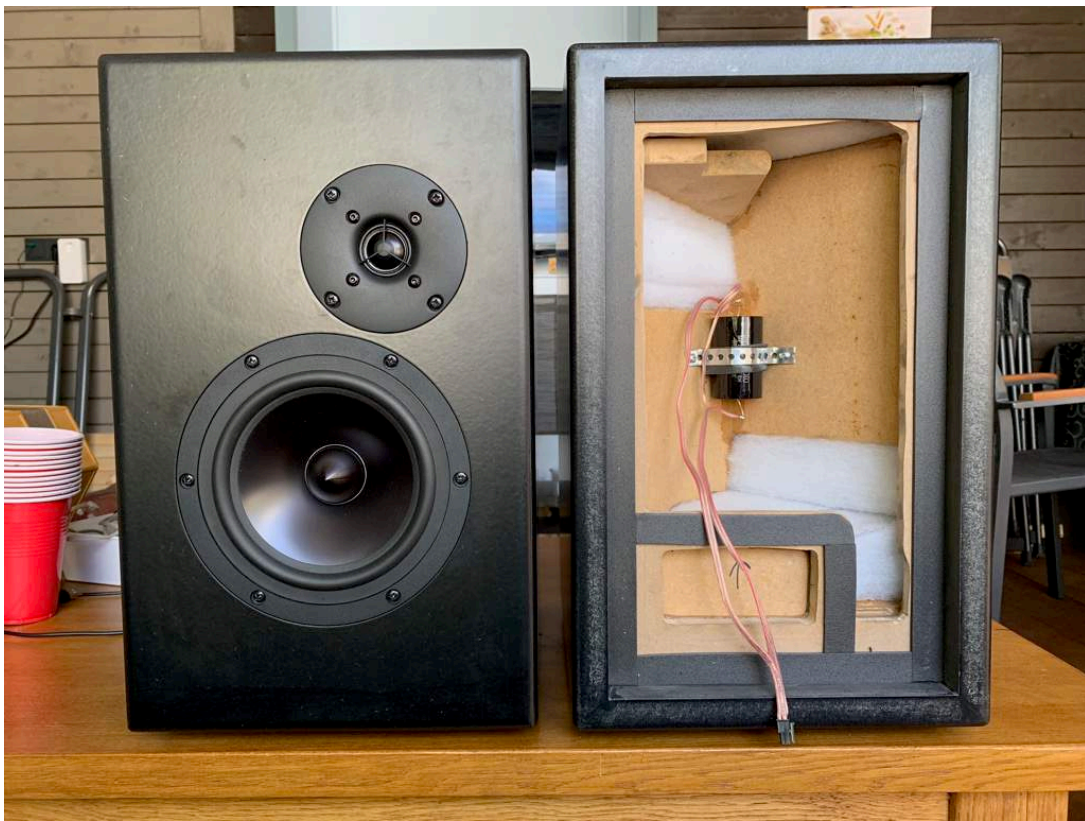
De driehoeken die voor en op de box liggen in Figuur 23, gaan niet deze box in (maar in de andere), ze geven aan welke driehoeken er geplaatst worden en waar. Vergelijk Figuur 23 goed met Figuur 22.



Figuur 24 Het in elkaar lijmen van de box met spanbanden en lijklemmen.



*Figuur 25 Het vastlijmen van het front paneel*



*Figuur 26 De afgebouwde speakers na drie lagen PU-lak, de 40uF condensator ter beveiliging van de tweeter tegen DC-spanningen is ook zichtbaar.*

In Figuur 26 zijn ook nog een paar driehoeken dempingsmateriaal zichtbaar die aan de achterkant aangebracht zijn. Kijk ook naar de uitsparing in het bovenste flapje, dit is voor de voeding die op achter paneel gemonteerd is. De onderste flap heeft dit ook vanwege de aparte kamer om de aansluitingen luchtdicht af te sluiten, echter is dit niet direct zichtbaar op de foto.

In Figuur 26 zie dat de aparte kamer een achterwand heeft, om die af te sluiten. In Figuur 24 is deze achterwand er nog niet, die word er eenvoudig in gelijmd. Hiervan is geen foto, helaas vergeten te maken. Echter als onderste flapje geen uitsparing heeft, dan kun je de achterwand niet plaatsen en heb je een probleem.

Het is zaak veel proef te passen, dingen te visualiseren en vooruit te denken, om dit soort mogelijke problemen te voorkomen. Dit achterwand plankje staat niet in de bouw tekening, dit soort dingen kun je beter inmeten als het zover is.

Ook het precieze gat in achterschot is gemaakt, door de onderdelen hierop te leggen en de contouren af te tekenen. Een mal van dit soort dingen maken van karton is ook altijd verstandig.



*Figuur 27 Vergelijkende luister test, tevens is te zien dat er linker en een rechter speaker is*

Omdat de tweeter vanwege diffractie uit midden geplaatst is, is er een linker en rechter speaker. De bouwtekening geeft alleen de maten aan voor de linker versie. De rechter versie is gewoon de gespiegelde versie. Verder allemaal niet spannend, maar wel iets om rekening mee te houden.

## Elektrische aansluitingen

Alle elektrische dingen en aansluitingen zitten op het achter paneel. Als paneel losgeschroefd is, dan is deze alleen nog via een 2x2 molex plug verbonden met de tweeter en de woofer.

Er zit bij versterker board een plug met 4 zwarte draden om de speakers aan te sluiten. Had zelf nog iets dikker draad en molex plug die ik met krimptang aangebracht heb. Het verschil in weerstand zal echt heel klein zijn, voel je vrij om de meegeleverde kabel te gebruiken.



*Figuur 28 Het achter paneel met voeding, versterkerboard en de aansluitingen.*

Voor de zekerheid is er nog een 4700uF condensator als buffer op de voeding aangebracht, zo dicht mogelijk bij versterker. Verder zijn de verschillende componenten en hun plaatsing zichtbaar.

De onderdelen op de aansluitplaat zijn niet luchtdicht, dus dit hele gedeelte wordt zo goed mogelijk luchtdicht afgesloten van de rest. Dit gebeurt met een foam strip zie ook Figuur 26.

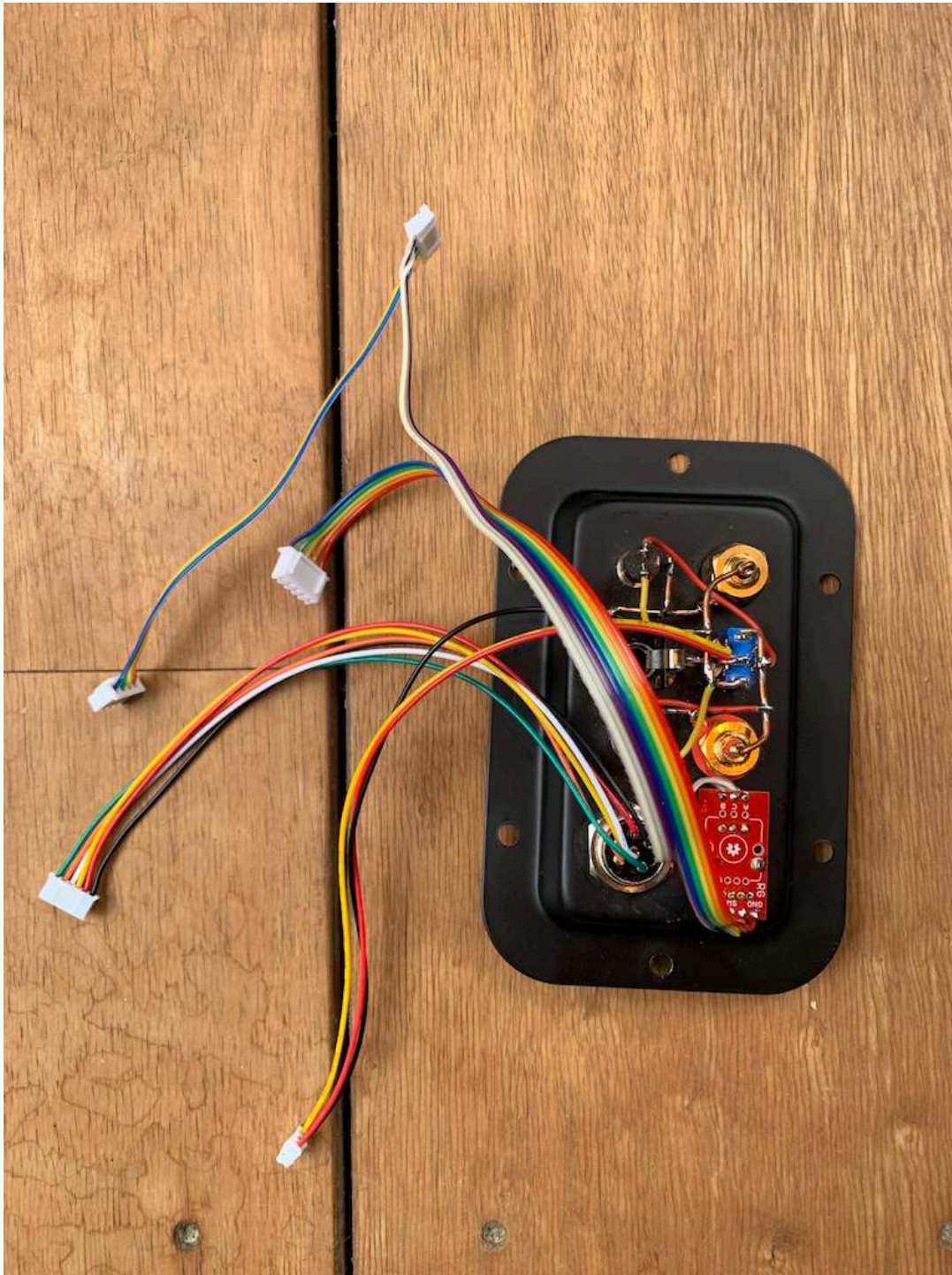
De kabels naar de aansluitplaat toe worden op hun plaats gehouden door wat tape en onder de tape en kabels zit ook foam in een uitgefreesde uitsparing, zodat ook de kabels zo goed mogelijk luchtdicht omsloten worden.



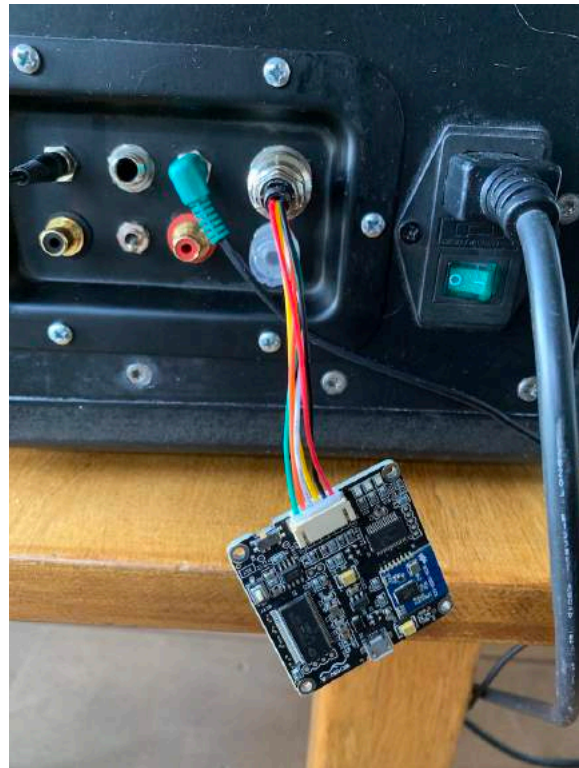
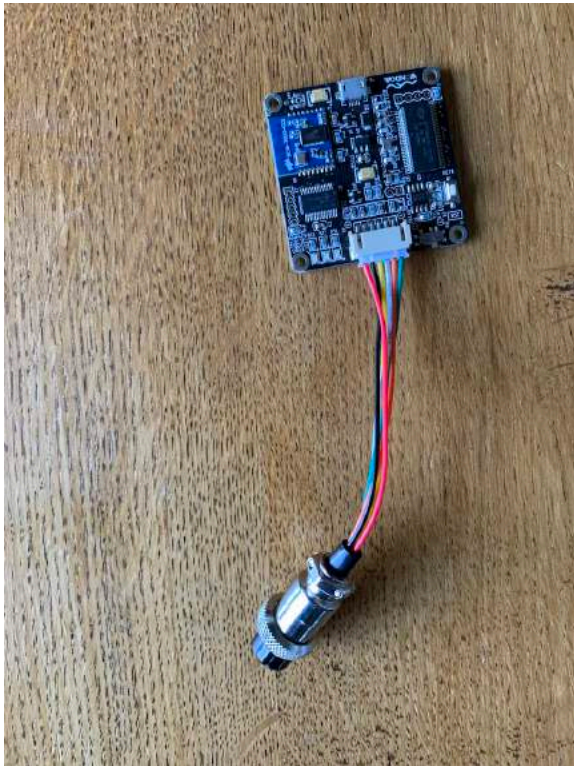
*Figuur 29 De aansluitplaat met de verschillende aansluitingen.*

De aansluitingen zijn zodanig verbonden dat een stereo signaal aangeboden kan worden en met de schakelaar kan het linker of rechterkanaal gekozen worden. Alles is parallel aangesloten en dus kan signaal van de ene naar de andere box door gelust worden.

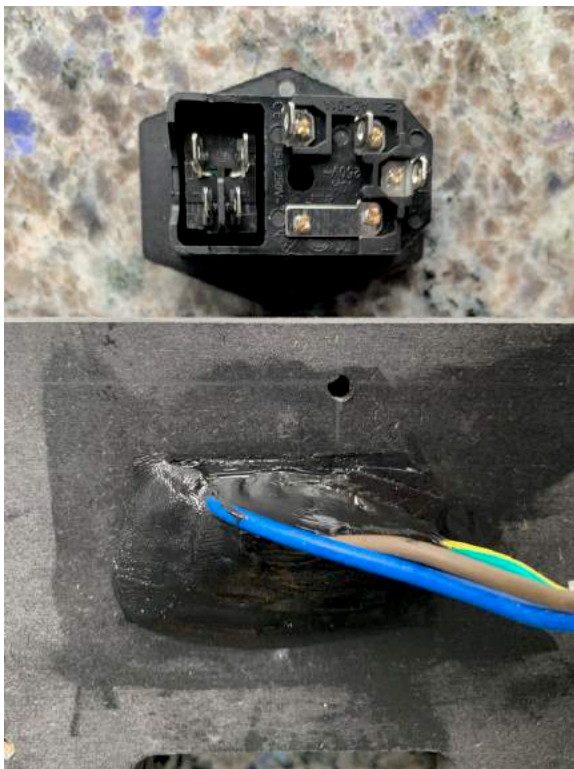
Uiteindelijk is er nog een kleine 6-polige DIN-aansluiting bijgekomen zodat de box gemakkelijk van nieuwe (DSP) programmatuur voorzien kan worden. Ook is de rotary encoder vervangen door een ander exemplaar waar ook een RGB LED in verwerkt is en waarvoor er ook een kleine aansluit printplaat is. De aansluitingen naar de rotary encoder zijn door het printplaatje veel robuuster. Het is echt aan te raden deze rotary encoder te gebruiken, juist vanwege het printplaatje.



*Figuur 30 De uiteindelijke versie van aansluitplaat.*



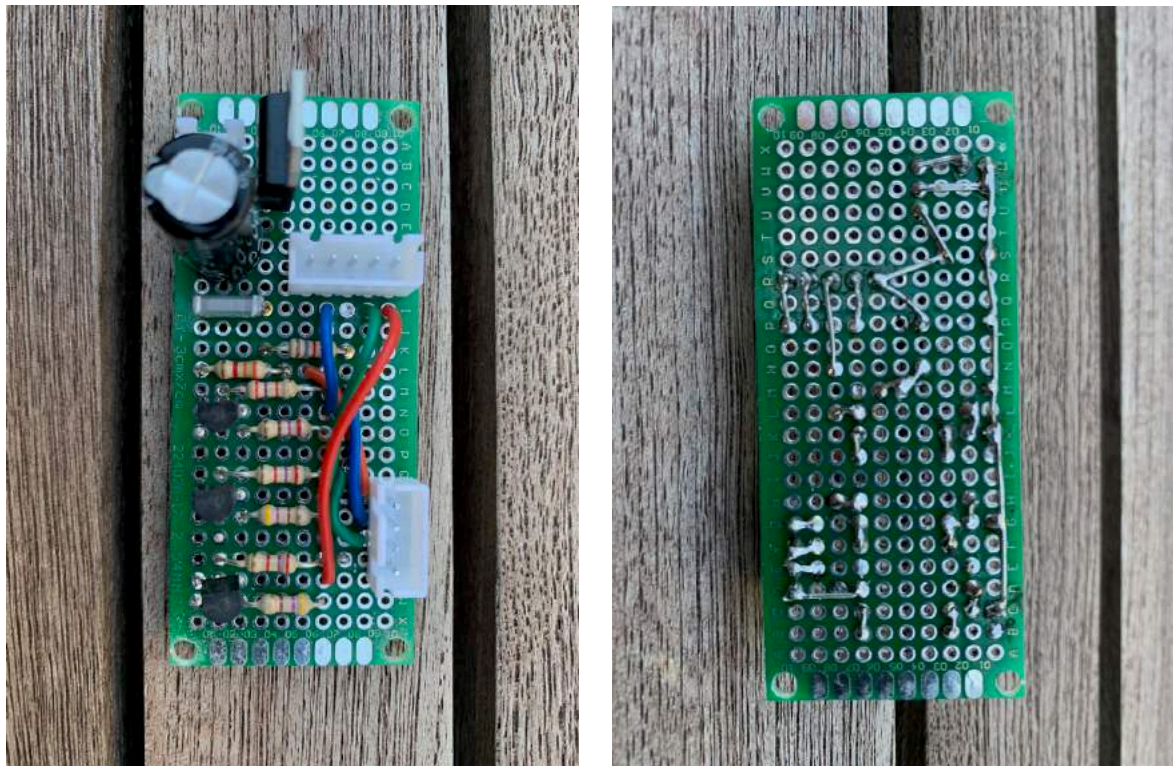
*Figuur 31 Programmeer bord met nieuwe kabel met mini DIN plug en bord aangesloten op box*



*Figuur 32 De C13 230V aansluiting*

De 230V aansluiting is niet luchtdicht, met siliconenkit is deze luchtdicht gemaakt.

De GPIO pinnen van de ADAU1701 kunnen maar een beperkte hoeveelheid stroom leveren als ze als uitgang gebruikt worden. Deze hoeveelheid is te weinig om de LED's van de rotary encoder aan te kunnen sturen. Hiervoor is een eenvoudige schakeling gemaakt zodat de GPIO pin maar een beperkte hoeveelheid stroom hoeft te leveren en er toch voldoende stroom aan de LED geleverd wordt.



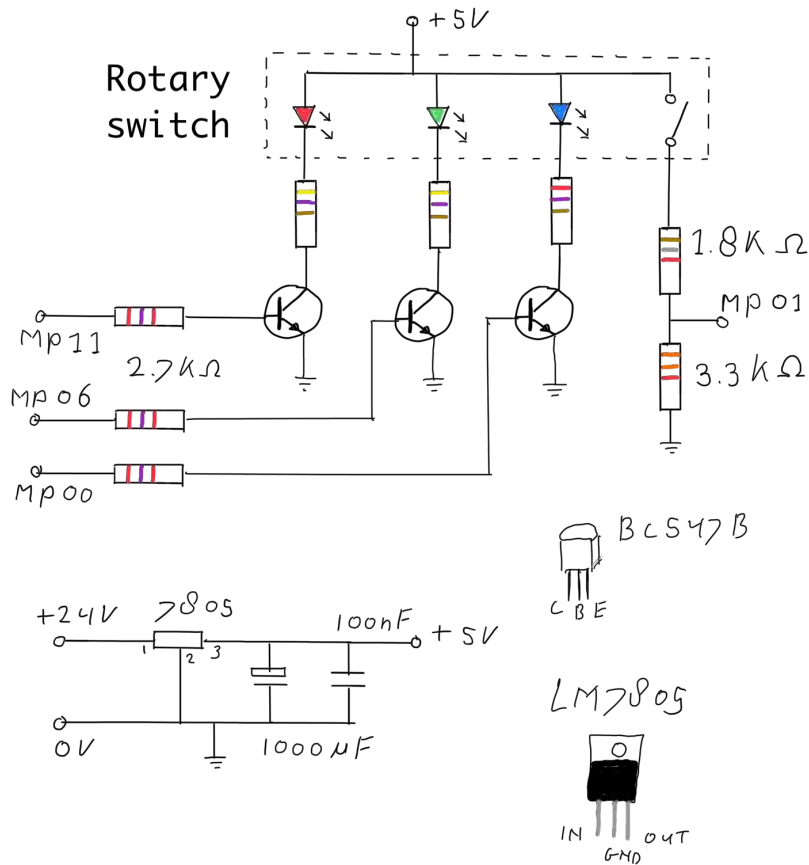
*Figuur 33 Een experimenteel printje met daarop de schakeling*

De spanningsval over b.v. de blauwe LED is al vrij hoog en daardoor niet goed met de aanwezige 3.3V aan te sturen is. Hierdoor is er een hogere voedingsspanning nodig, met een regulier 7805 IC wordt 5V uit de aanwezige 24V gemaakt.

Aangezien de LED's en de switch tezamen aan de 5V aangesloten zitten in de rotary encoder, moet de 5V bij indrukken van de knop teruggebracht worden tot iets onder de 3.3V. Met een 1.8K Ohm en 3.3k Ohm weerstand in serie gebeurt dat en wordt GPIO-pin MP01 als ingang aangestuurd.

De 1000µF condensator is een beetje overkill voor deze lichte toepassing, maar daar was nog een voorraadje van. Een waarde van 100µF is ook ruim voldoende hiervoor. De condensator van 100nF is om eventuele hoogfrequent storing te onderdrukken.

Ik had nog een voorraadje BC547B NPN-transistoren van bijna 40 jaar terug, maar een willekeurige NPN-transistor met een gain van 100 of meer zal voldoen in deze applicatie. Maar een andere transistor heeft eventueel zijn aansluitingen ook wat anders zitten, dus let daar even op.



Figuur 34 Het schema van de schakeling

De weerstand van de rode en groene led is 470 Ohm, die van de blauwe 270 Ohm.

De documentatie die ik op internet kon vinden m.b.t. waar welke GPIO pin zit leek niet helemaal te kloppen, volgens mij geeft onderstaande tabel de juiste plek aan van de pinnen van de J2 connector.

#### Connector J2 PH-10PIN-2MM

Pin	Definition	Use
1	GND	To Rotary Encoder
2	MP10	Down Rotary Encoder
3	MP7	Up Rotary Encoder
4	MP11	Led Red
5	MP06	Led Green
6	MP00	Led Blue
7	MP01	Push Button
8	MP05	
9	MP04	
10	+3.3V	



*Figuur 35 De LED's van de rotary encoder in actie*

## De DSP software

De gebruikte software bij programmeren van DSP

*Sigmastudio*

[https://www.analog.com/en/design-center/evaluation-hardware-and-software/software/ss\\_sigst\\_02.html#software-overview](https://www.analog.com/en/design-center/evaluation-hardware-and-software/software/ss_sigst_02.html#software-overview)

Met dit programma wordt de ADAU1701 DSP chip op versterker board geprogrammeerd. Op internet zijn er verschillende filmpjes te vinden, over hoe DSP te programmeren en hoe programma te laden is in EEPROM. De switch op programmeer bord moet in de goede stand staan en kan gewoon blijven staan in die stand. Er hoeft geen jumper op versterkerbord gezet te worden, of twee pinnetjes kortgesloten te worden. Sommige informatiebronnen geven dit aan, echter is dit met gebruikte type board niet nodig, wellicht wel met ander (ouder) type.

*REW*

<https://www.roomeqwizard.com/>

Hiermee kun je metingen doen en filter instellingen voor o.a. Rephase genereren.

*Rephase*

<https://rephase.org/>

Hiermee kunnen de FIR-filters berekend worden, waarna ze in Sigmastudio geladen kunnen worden.

Voor mensen die meer over FIR filters willen weten

<https://www.prosoundtraining.com/2013/09/06/fir-ward-thinking-fir-filters-audio-systems/>

<https://www.prosoundtraining.com/2013/09/27/fir-ward-thinking-part-2/>

<https://www.prosoundtraining.com/2016/05/20/fir-ward-thinking-part-5/>

Hoe REW en Rephase samen te gebruiken

<https://audiophilestyle.com/forums/topic/30035-using-rew-and-rephase-to-generate-amplitude-and-time-domain-corrections/>

### Inleiding

De ADAU1701 DSP op versterker board kan niet zo heel lange FIR-filters aan doordat het aantal programmastappen tot 1024 beperkt is volgens specificatie, maar in de praktijk blijken dat er 1016 te zijn. Een FIR filter met een lengte van 500, kost 500 programma-instructies. Het kost verder nog 500 data RAM plaatsen en 500 parameter RAM plaatsen.

Het grootste probleem was echter dat als een programma eenmaal "goed" was en uitgetest via programmeer board, dat wanneer het in de EEPROM geplaatst werd, het niet meer bleek te werken. Het koste veel moeite, om het een en ander uit te proberen, zodat het geheel ook werkte nadat het in de EEPROM geplaatst was. Waarom sommige dingen wel werkte in test mode vanaf programmeer bord, maar niet vanuit EEPROM is niet echt duidelijk geworden, maar het was een frustrerend iets wat veel vertraging gaf.

Er zijn twee FIR-filters van 320 taps lang, een voor de woofer aan te sturen en de ander voor de tweeter. Met de overige dingen erbij is het totale programma 944 instructies lang, dus in principe zou het FIR filter wat langer kunnen. Ik heb FIR-filters geprobeerd met een lengte van 352, totale programma lengte is dan 1008 instructies, echter dan werkte het niet meer vanuit de EEPROM.

Doordat FIR-filter beperkt was in lengte, moeten de correcties in het lage frequentiespectrum met de parametrische EQ blokken van Sigmastudio gedaan worden. Deze kosten 10 programmeer instructies per filter sectie. Het kost ook wat parameter RAM en data RAM, maar dat waren niet de beperkingen waarop je het eerste vastliep.

Ik heb uiteindelijk 6 parametrische EQ-secties gebruikt om frequentie response in het laag te corrigeren. Het grootste gedeelte was nodig om de effecten van de diffractie van het frontpaneel op te vangen. Verder nog een filter om laag iets verder door te trekken. Vanaf ongeveer 1kHz kan het relatief korte FIR filter zijn werk gaan doen.

In principe zou er dus nog ruimte zijn voor een aantal extra parametrische EQ-secties. Wat programma-instructies betreft, zouden er nog 7 extra EQ-secties extra gebruikt kunnen worden. Of het dan nog vanuit EEPROM werkt is de vraag.

Met het freewareprogramma Rephase zijn de FIR-filters berekend. De FIR-filters zijn met name geschikt om steile cross-over filters te maken zonder fase draaiing, Een FIR van 320 lang met uitgangstap in het midden kan theoretisch pas frequenties van boven de 600Hz beïnvloeden en in de praktijk pas nog iets hoger.

Het FIR-filter corrigeert ook de frequentie response van de tweeter, zowel de diffractie effecten van het front waarin hij zit als ook de afwijkingen die de tweeter inherent heeft. Verder wordt hier de fase draaiing gecompenseerd. Het fase gedrag van de tweeter is hierdoor over zijn gehele bereik behoorlijk vlak.

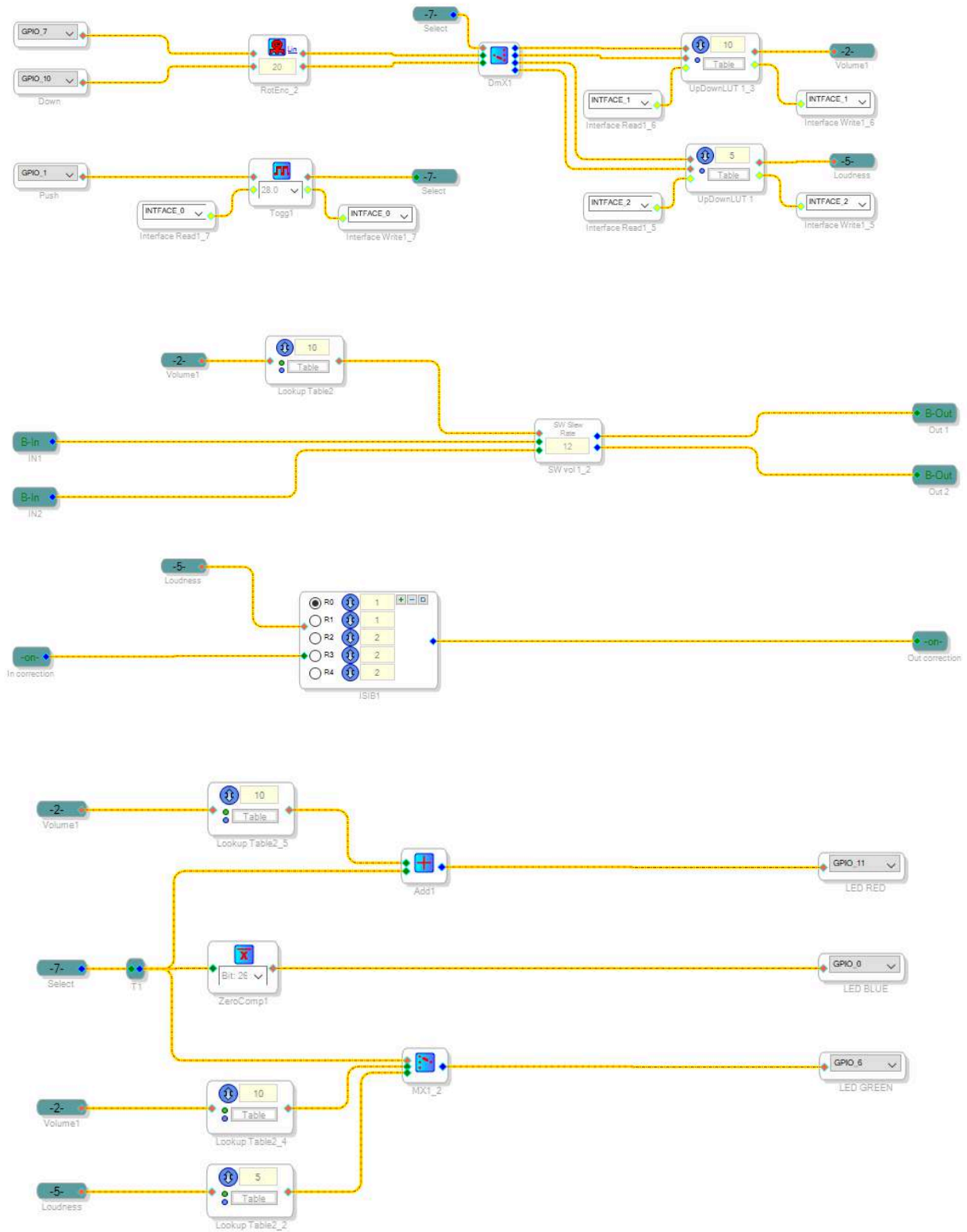
De fase draaiing van de woofer kan niet gecompenseerd worden met FIR-filter, omdat die tekort is voor het beïnvloeden van het gedrag bij deze frequenties. Maar bij cross-over frequentie is deze al een tijdje vlak en dus is dat geen probleem bij cross-over.

Verder zit de woofer in het vlakke frontpaneel relatief wat verder naar achteren dan de tweeter, dus geluid van tweeter zal hierdoor iets eerder aan komen. Dit is gemakkelijk te compenseren door in Rephase aan te geven dat de middelste tap niet op 160 maar op 164 moet komen. Dus geluid van tweeter wordt 4 samples vertraagd. Door de fase draaiing van tweeter zelf (gesloten systeem) en de condensator gaat de fase globaal van 0 graden naar -180 graden, deze wordt gecompenseerd zodat deze dan van -180 naar -180 gaat lopen. Dus uiteindelijk na correctie behoorlijk vlak.

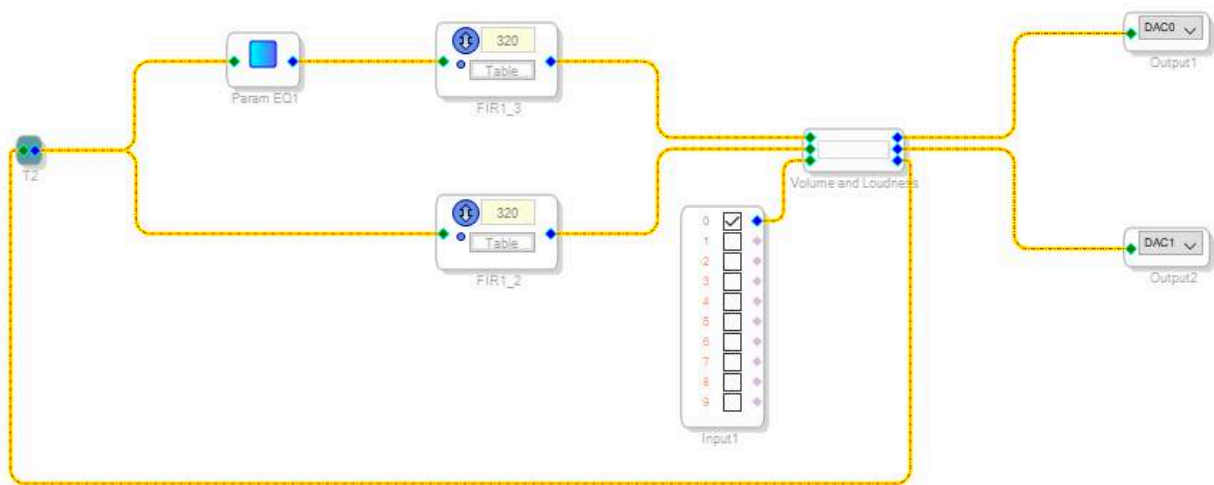
De woofer gaat grof gezegd van +180 naar 0 graden en compensatie hiervan lukt niet met FIR lengte van 320. Met een inversie van signaal van tweeter loopt eigenlijk alles netjes in fase bij cross-over. Eventuele fase sprongen bij cross-over zijn ook eenvoudig op te vangen met Rephase. Zolang fase van woofer en tweeter een relatief vlak verloop hebben in cross-over gebied, dan zijn die heel eenvoudig op elkaar af te stemmen. In dit geval kies centrale frequentie van ongeveer 5K in tab "Paraphrastic Phase EQ", stel een heel lage Q in (b.v. 0.01) en de fase van het hele tweeter bereik, kun je naar boven of beneden aanpassen.

### Schema Sigmastudio

Het "main" schema in Sigmastudio ziet er eenvoudig uit. Het bevat de twee FIR-filters en een parametrische EQ voor correcties in het lagere frequentiespectrum voor woofer. Verder een hiërarchisch block dat de rotary encoder afhandelt. Hiermee is een volume instelling mogelijk en een loudness keuze instelling.



Figur 36 Volume en Loudness gedeelte met Rotary Encoder en LED aansturing



Figuur 37 Het hoofdschema in Sigmastudio dat gebruikt maakt van het “Volume and Loudness” hiërarchisch block

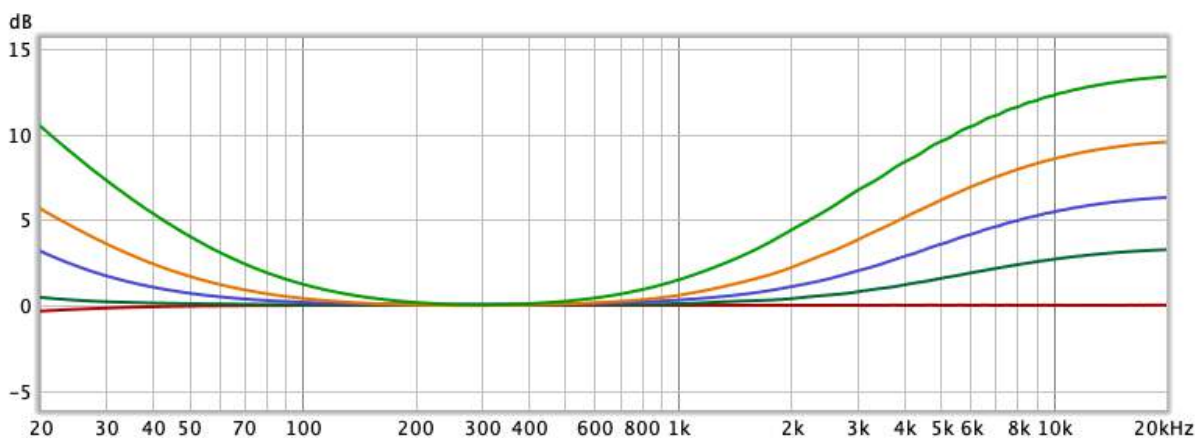
De project files zijn te downloaden via de volgende links.

[https://www.dropbox.com/s/n6ydoztbzqvz5sk/SP1%20RS180\\_SB26.dspproj?dl=1](https://www.dropbox.com/s/n6ydoztbzqvz5sk/SP1%20RS180_SB26.dspproj?dl=1)

[https://www.dropbox.com/s/cndneymh33rjhos/SP2%20RS180\\_SB26.dspproj?dl=1](https://www.dropbox.com/s/cndneymh33rjhos/SP2%20RS180_SB26.dspproj?dl=1)

De schema's zijn feitelijk identiek, maar de instellingen van de filters verschillen, omdat die individueel afgesteld zijn. Om te voorkomen dat er overall kriskras draden door schema lopen is er gebruikt gemaakt van aliassen.

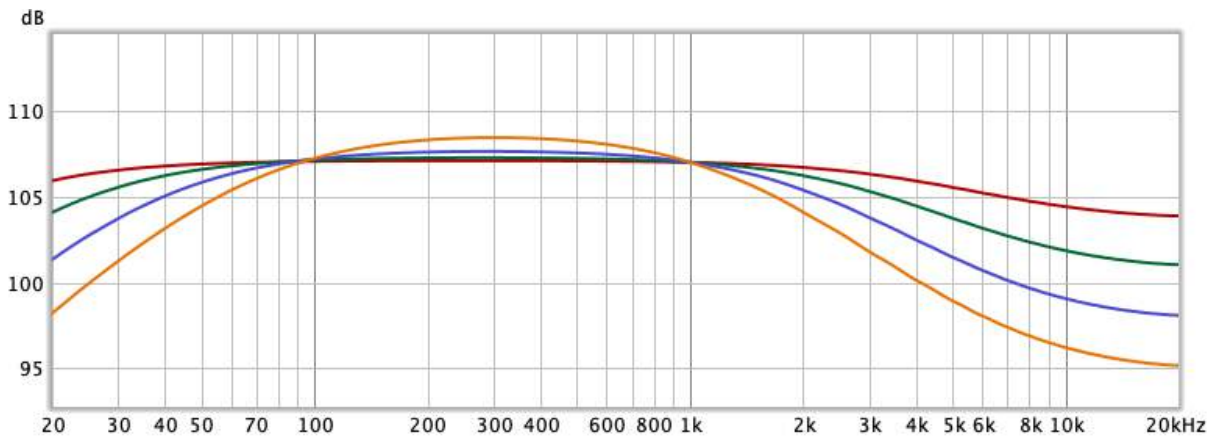
Het signaal dat binnenkomt gaat eerst door het “Volume and Loudness” block en doorloopt het loudness gedeelte. Er is een filter block, waarin je met een index een keuze kan maken uit een aantal opgeslagen loudness filter curves. Op index 0 gebeurt er niets en is de response vlak. Index 1 geeft de curve voor een 10 dB lager geluidsniveau, dan wanneer je een vlakke curve zou gebruiken. Vervolgens de curves voor 20dB, 30dB en 40dB lager geluidsniveau.



Figuur 38 De gewenste loudness curves zoals gemeten

Het versterker board heeft ook een koptelefoon uitgang en Sigmastudio heeft een loudness block met externe (volume) instelling. Via REW kun je dan het effect van dit loudness block meten. Vervolgens kun je de loudness curves die gemeten zijn invertieren en via het Automatic EQ block in Sigmastudio weer

vlak trekken. Die filter instellingen kun je dan weer handmatig (screenshot maken) overbrengen op het index selectable multi band filter block. In principe zijn twee filter secties per curve voldoende om een loudness curve te benaderen.



Figuur 39 De inverse curves, waarop automatic EQ in Sigmastudio los gelaten is

Zoals ik het gemaakt heb kun je dus kiezen uit een vlakke response en 4 verschillende loudness curves, echter kunnen dit ook andere gewenste curves zijn waaruit je dan zou kunnen kiezen. Eenieder is vrij om andere curves te gebruiken en ook het aantal curves is eenvoudig aan te passen. Sommige look-up tabellen moeten dan wel korter of langer worden.

Een mogelijkheid zou zijn om kamer correctie curves i.p.v. loudness curves op te slaan en deze dan selecteerbaar te maken.

Met de drukknop van de rotary encoder kun je uit twee verschillende modes kiezen. Dit signaal komt binnen op GPIO\_1 en via het toggle block schakel je dan tussen deze twee modes. Met de alias "Select" word dit signaal op verschillende plekken in het schema gebruikt.

Er worden o.a. de LED's van de rotary encoder mee aangestuurd. In de mode van volume zal altijd de blauwe led branden en in de loudness mode altijd de rode LED. Aan de kleur van de Rotary encoder kun je dus altijd zien in welke mode het circuit geschakeld is.

Volume mode		
Index	Kleur	Functie
0	Blauw	Volume 0dB (geen versterking of verzwakking)
1	Magenta	Volume -24dB
2	Cyaan	Volume -18dB
3	Wit	Volume -12dB
4	Blauw	Volume -6dB
5	Magenta	Volume 0dB (geen versterking of verzwakking)
6	Cyaan	Volume 6dB
7	Wit	Volume 12dB
8	Blauw	Volume 18dB
9	Magenta	Volume 24dB

Loudness mode		
Index	Kleur	Functie
0	Rood	Vlakke response
1	Geel	Loudness -10dB
2	Rood	Loudness -20dB
3	Geel	Loudness -30dB
4	Rood	Loudness -40dB

Veel nuttige informatie over o.a. Rotary encoders en push-buttons is te vinden in de technical note:  
<https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/application-notes/AN-951.pdf>

De volume mode is niet direct bedoelt als een normale volumeregeling maar meer om de ingangsgevoeligheid af te stemmen op het apparaat dat ze aanstuurt. De bedoeling is om de “normale” volumeregeling te doen op apparaat wat het geluidssignaal aanlevert. Mocht de standaard 0dB stand niet geschikt zijn, dan is het altijd mogelijk om het signaal wat te verzwakken of te versterken.

Doordat de kleuren die gebruikt zijn in loudness mode en volume mode van elkaar verschillen, is het dus altijd te zien in welke mode het circuit staat. Ook is eenvoudig te achterhalen hoe het ingesteld staat in de gekozen mode en is dezelfde afstelling op de andere speaker makkelijk te realiseren.

Als je naar verloop van de volume kijk, dan komt dat wellicht vreemd over, beginnen op 0dB dan naar min 24dB en dan met stappen van 6dB omhoog. Hier is een goede reden voor. Als speaker uitgaat of in stand-by, dan wordt na het weer actief worden niet de laatste instellingen gebruikt.

Alle registers beginnen dan weer op 0 en dus zal de index in de lookup table ook weer 0 zijn. Als je geen signaal aanbiedt zal de speaker vanzelf na een bepaalde tijd in stand-by mode gaan. Als je vervolgens weer een signaal aanbiedt, dan zal hij weer in de “nul” stand beginnen. Het is dus zaak om te zorgen dat hij opkomt in de meest gebruikelijke stand.

Vandaar dat de volume tabel begint met 0dB en vervolgens de andere mogelijke instellingen. Als iemand een andere begin instelling wil hebben, dan zal de tabel wat aangepast moeten worden.

Meer info over probleem met power-down en hoe dit eventueel te veranderen door het her programmeren van een IC is te vinden op:  
<http://www.audiodevelopers.com/jab3-250-wifi-speaker/>

Verder is volumeregeling geplaatst na het filter gedeelte, zodat in geval van verzwakking de filters hebben kunnen werken op het niet verzwakte signaal en dus zijn de berekeningen nauwkeuriger.

Het “Select” signaal kiest waar de uitgang van het rotary encoder block naar toegaat. Dit gaat, of naar een look-up table voor volume, of naar look-up table voor het kiezen van de filter curves. De ene tabel is 10 lang en de ander 5. Deze tabellen vul je in het 5.23 formaat, maar je wil eigenlijk hier de getallen 0 t/m 9 of 0 t/m 5 inzetten in het 28.0 formaat. Vandaar dat de waardes er op het eerste gezicht raar uitzien. Ze staan in het 5.23 formaat, maar je moet ze interpreteren in het 28.0 formaat.

Meer info over getal formaten in Sigmastudio is te vinden op:  
<https://ez.analog.com/dsp/sigmadsp/w/documents/5172/how-to-calculate-index-table-values-in-28-0-format>

Het signaal dat uit de volume index tabel komt wordt als index gebruikt in een look-up tabel dat het volume regelt via een volume regel block. Het wordt tevens gebruikt als index voor look-up tabellen die bepalen of de groene en rode LED wel of niet moeten branden.

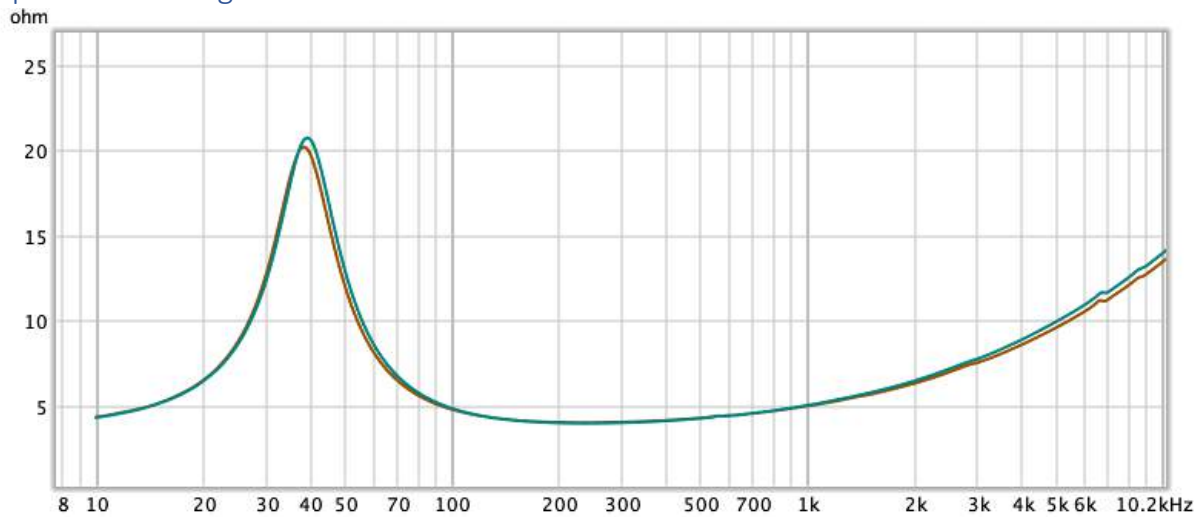
Het signaal dat uit de loudness index tabel komt wordt als index gebruikt om een bepaalde filter curve te selecteren en ook om via look-up tabel te bepalen of de groene LED wel of niet moet branden.

Een filmpje dat laat zien hoe de knop veranderd van kleur is te downloaden op:

[https://www.dropbox.com/s/ph3w7vfhg39epdx/IMG\\_0096.mp4?dl=1](https://www.dropbox.com/s/ph3w7vfhg39epdx/IMG_0096.mp4?dl=1)

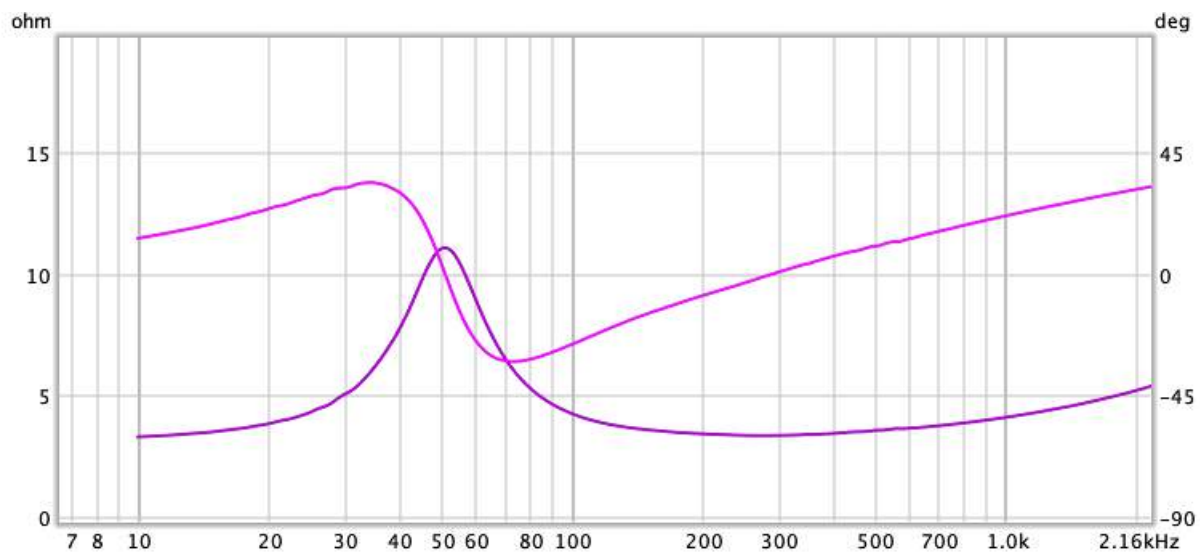
## De metingen

### Impedantiemeting RS180-4



Figuur 40 De impedantiemeting van de twee RS180-4 drivers

Als we de impedantiemeting doen, dan lijkt de opgegeven resonantie frequentie van 38.4 Hz van de fabrikant te kloppen.



Figuur 41 Impedantiemeting gesloten kast

Als we een meting doen van gesloten behuizing dan ligt de resonantiefrequentie lager dan verwacht. De meting is zonder versterkerboard voeding etc, op achter paneel en dus is het volume iets groter dan wat het uiteindelijk zal zijn. Volgens de berekeningen was (afhankelijk van welk simulatieprogramma) een resonantiefrequentie van 55-57 Hz verwacht uitgaande van een virtueel volume van 20 liter. Nu is deze 51 Hz en als je dat terugreken met de parameters zoals opgegeven door fabrikant, dan zou je deze waarde normaal bereiken met een kast volume van ongeveer 28 liter met het ene simulatieprogramma en met een andere 32 liter.

Heb ook metingen gedaan met gewicht op speaker, om op die manier de parameters van de RS180-4 te bepalen. Dit gaf wat andere waardes dan opgegeven door fabrikant, echter als ik ook hiermee ging rekenen, dan was ook hiermee de resonantiefrequentie van 51Hz niet te verklaren. Met deze waardes

zou je een resonantiefrequentie van ongeveer 58 Hz verwachten en heb je een virtuele inhoud van 34 liter nodig om op 51 Hz uit te komen.

Hoewel niet verklaard, is een resonantiefrequentie die lager uitvalt dan verwacht niet ongunstig. Het aangebrachte dempingsmateriaal kan niet direct verklaren dat een netto inhoud van ongeveer 16 liter ineens virtueel 28 liter of meer lijkt. Met het maximale effect wat in de literatuur bekend is (ongeveer 40%) kom je tot een maximaal virtueel volume van 22 liter uitgaande van 16 liter netto.

Misschien is het een gunstig bijeffect van hoe de schuine schotten staan. De demping aangebracht in het overlappingsgebied waar de lucht snelheid hoger zal zijn, is misschien ook een factor. Gezien de constructie is het niet mogelijk om gemakkelijk dempingsmateriaal te verwijderen en weer aan te brengen. Dus experimenteren hiermee, om mogelijke oorzaken te achterhalen, is niet echt mogelijk.

Wellicht heeft iemand met meer verstand van akoestiek een goede verklaring voor de lage resonantiefrequentie, ik niet, maar ben wel blij met het effect.

### Woofer metingen

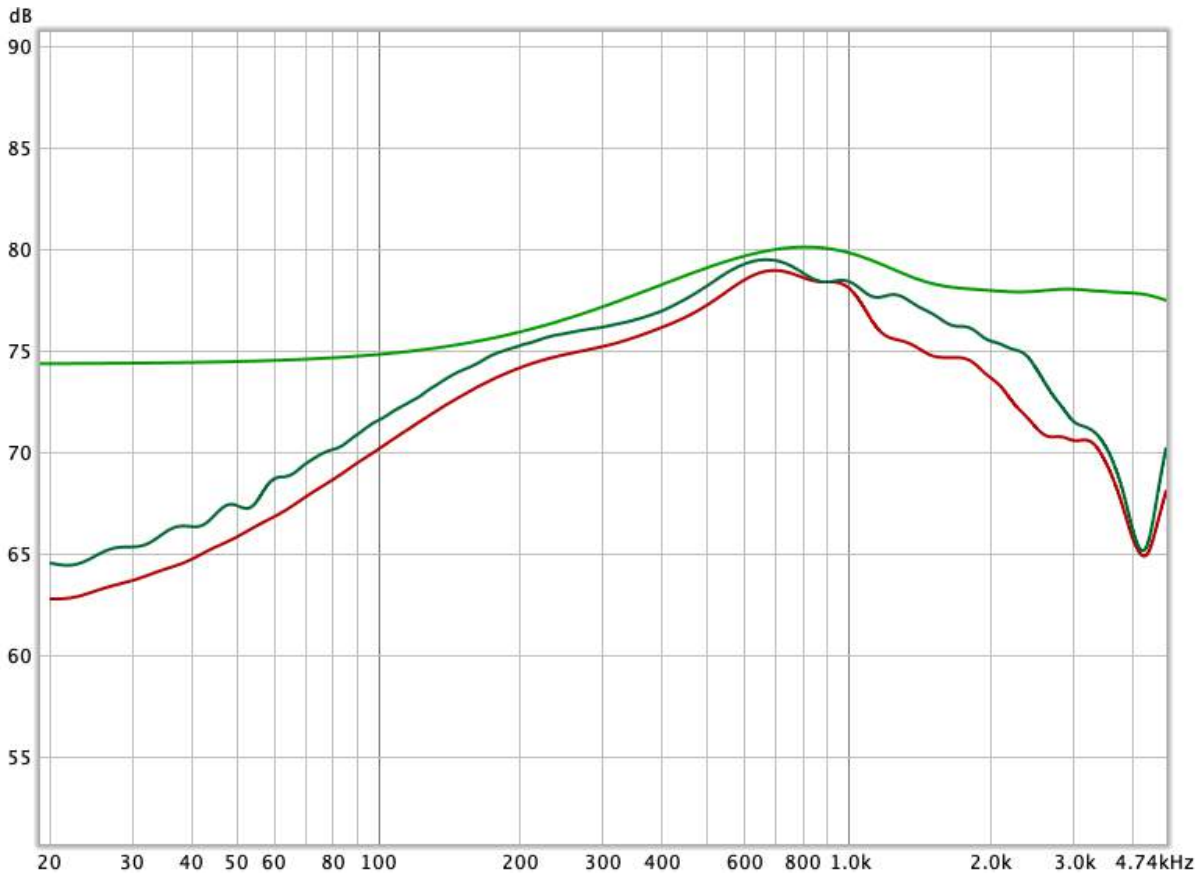
De metingen zijn buiten verricht met de speaker op een paal naar boven gericht en de meet microfoon daarboven. De burens hebben dus kunnen meegenieten van mijn "luchtalarm". Met deze opstelling kon ik bij de tab "Impulse" in REW zien dat de eerste reflecties iets na 5.5ms binnen kwamen.



*Figuur 42 De meetopstelling in de achtertuin, dit gaf me een mogelijke "gate" tijd van 5.5 ms*

Ik kon dus "gated" metingen doen met een window van 5.5ms wat betekende dat met deze instelling er geen betrouwbare metingen te doen zijn beneden ongeveer 200 Hz. Echter boven de 200 Hz zouden de

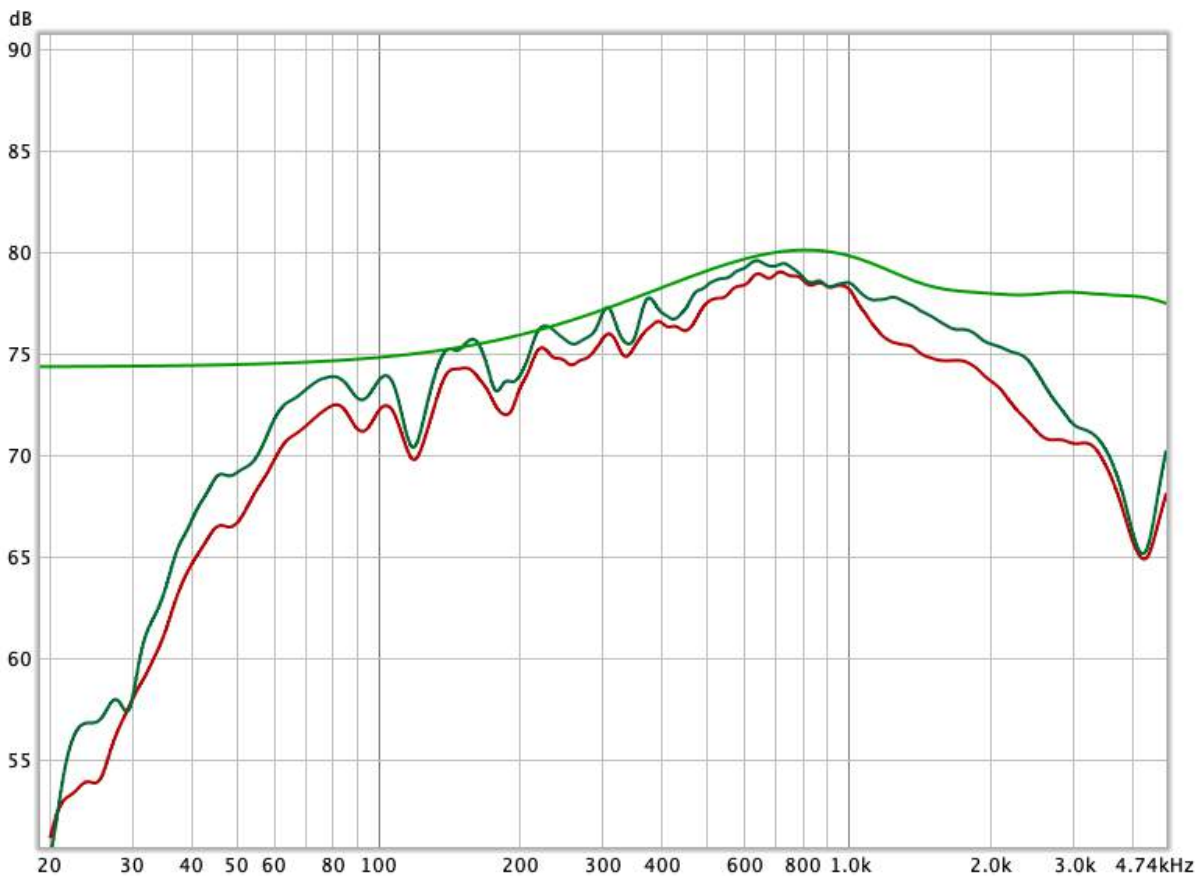
metingen een goed beeld moeten geven. Voor metingen onder de 200 moet je dan zogenaamde “near field” metingen doen dicht bij de woofer. De effecten van reflecties en diffractie overstem je dan.



*Figuur 43 De response van de twee RS180-4 woofers en in licht groen de simulatie van diffractie*

Voor de duidelijkheid zijn de responses dicht bij elkaar gelegd, maar wel iets uit elkaar voor de leesbaarheid. Het gaat dus om verloop van de responses t.o.v. elkaar en niet dat de ene gemiddeld 1 dB boven de andere ligt. Het is duidelijk dat de responses met name boven de 700 Hz voldoende van elkaar verschillen om een individuele afstemming te rechtvaardigen.

Volgens de simulatie van de diffractie van de woofer, beginnen die boven de 100 Hz licht op te lopen en is het effect hiervan bij 200 Hz nog gering. In Figuur 43, is in licht groen de simulatie van diffractie zichtbaar. Tevens is te zien dat onder de 200 Hz door het window van 5.5 ms, dat de response wat wegvalt.



Figuur 44 Responses zonder gate van 5.5 ms

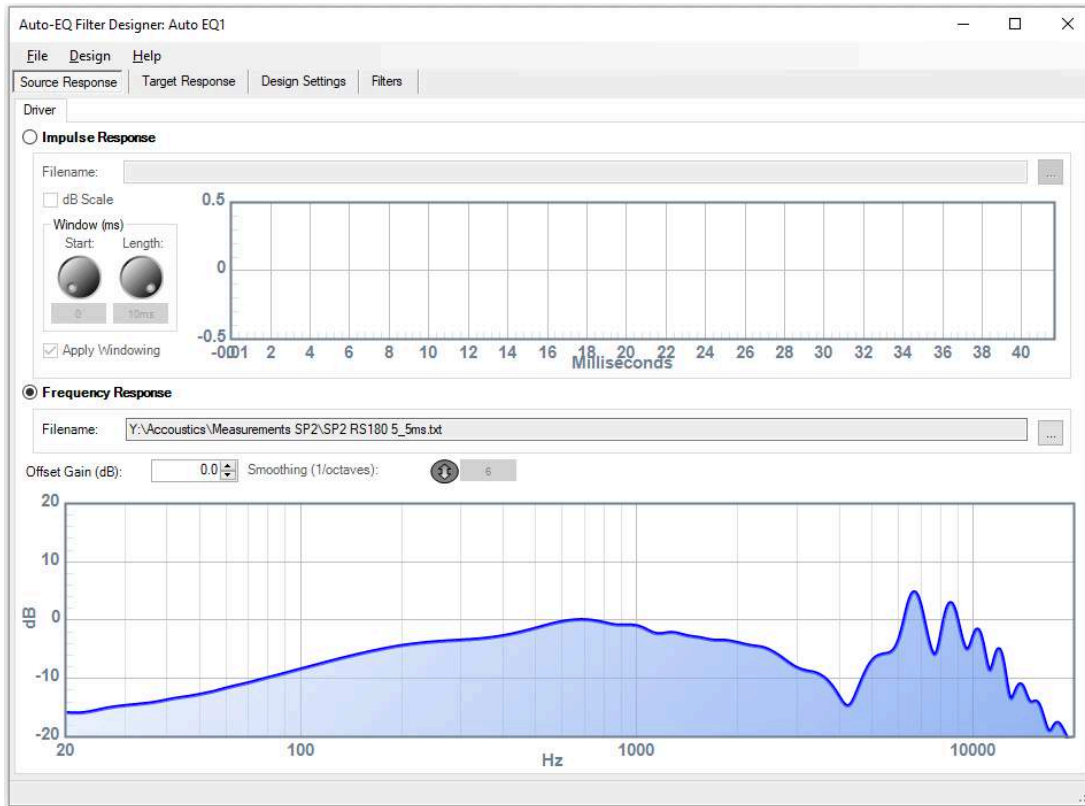
Zonder de gate van 5.5 ms kun je zien dat de response meer die van de diffractie simulatie volgt onder de 200 Hz. Wel zie je het effect, door de reflecties die nu gemeten worden, dat signaal af en toe wat weg valt door uitdovingsverschijnselen. Je moet dan met name even de dalen in de response wat weg denken. Ook zie je dat response onder de 60 HZ wat weg begint te vallen, dit is te verwachten gezien type speaker, grote van behuizing etc.

De meting van de woofer met een gate van 5.5 ms is geëxporteerd. Er is een komma als separator gebruikt en verder zijn de bovenste regels die beginnen met '\*' in de txt file vervangen door:

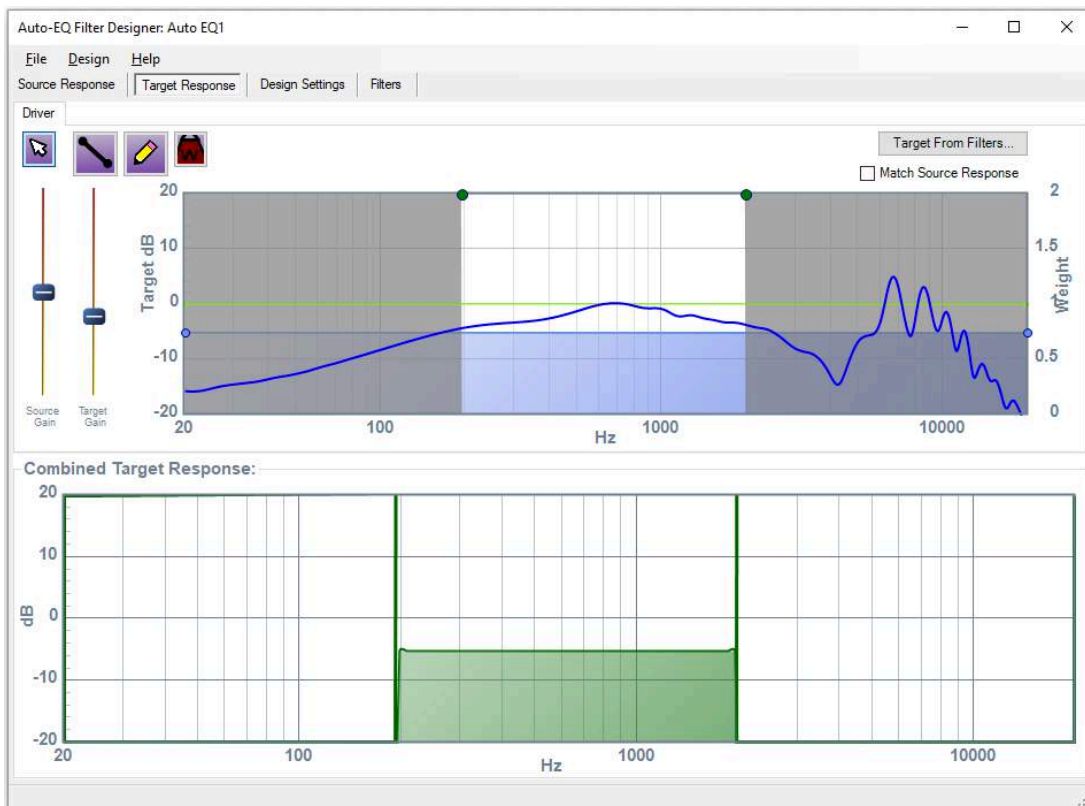
```
"Sensitivity Excess Phase - dB SPL/watt (8 ohms, @0.50 meters) (High)"□
"Hz" "Mag (dB)" "deg"
```

Anders accepteert Sigmastudio de meetgegevens niet. Let ook even dat Sigmastudio metingen onder de 20 Hz en boven de 20 kHz vaak niet fijn vindt en ook met hele hoge resoluties heeft hij moeite mee. In Figuur 52 kun je anders zien hoe je bepaalde dingen moet instellen zodat Sigmastudio de export van REW accepteert.

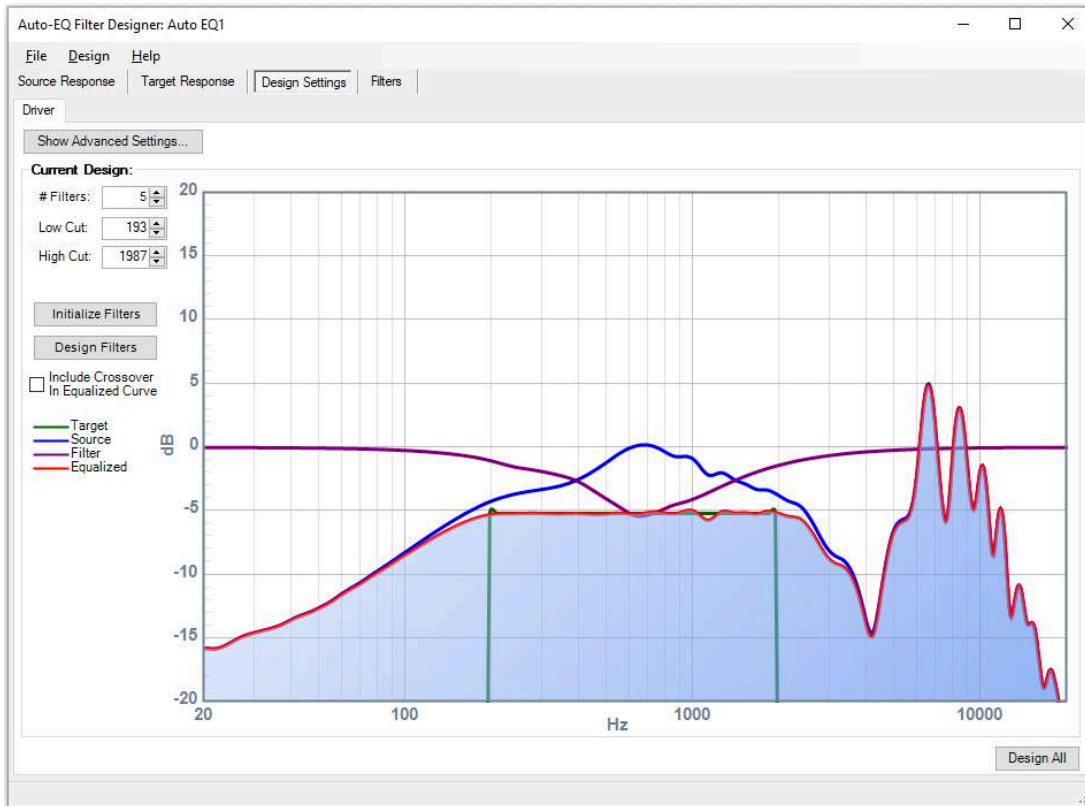
Bij het corrigeren van de diffractie effecten stel ik de target gain in, op het niveau wat het is bij ongeveer 150-170 Hz. Dit ligt iets onder de waarde bij 200Hz en ik geef dan aan het gebied van 200 tot globaal 2000 Hz te willen corrigeren met de automatic EQ in Sigmastudio. Het effect van de correctie zal dan nog onder de 200Hz doorlopen en het geheel wat recht trekken.



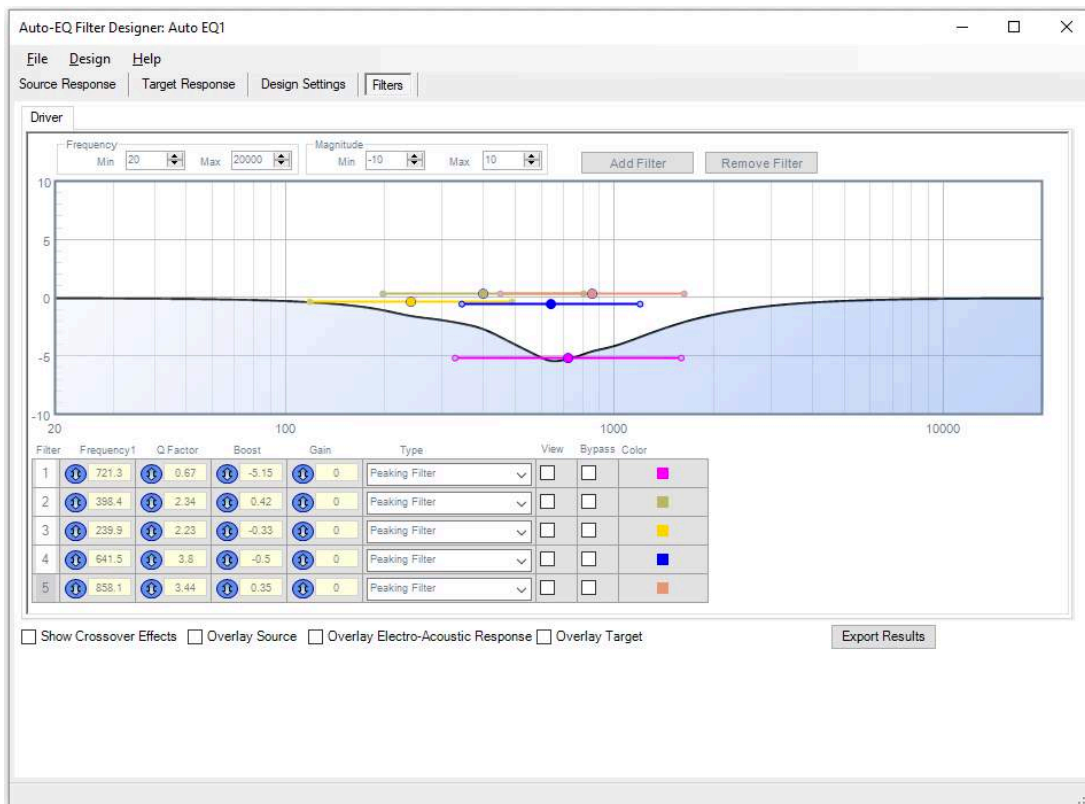
Figuur 45 Importeer de "gated" meting



Figuur 46 Stel "Target Gain" en het gebied in dat gecorrigeerd moet worden in



Figuur 47 Stel aantal filters in, 5 in dit geval en druk op "Design Filters"

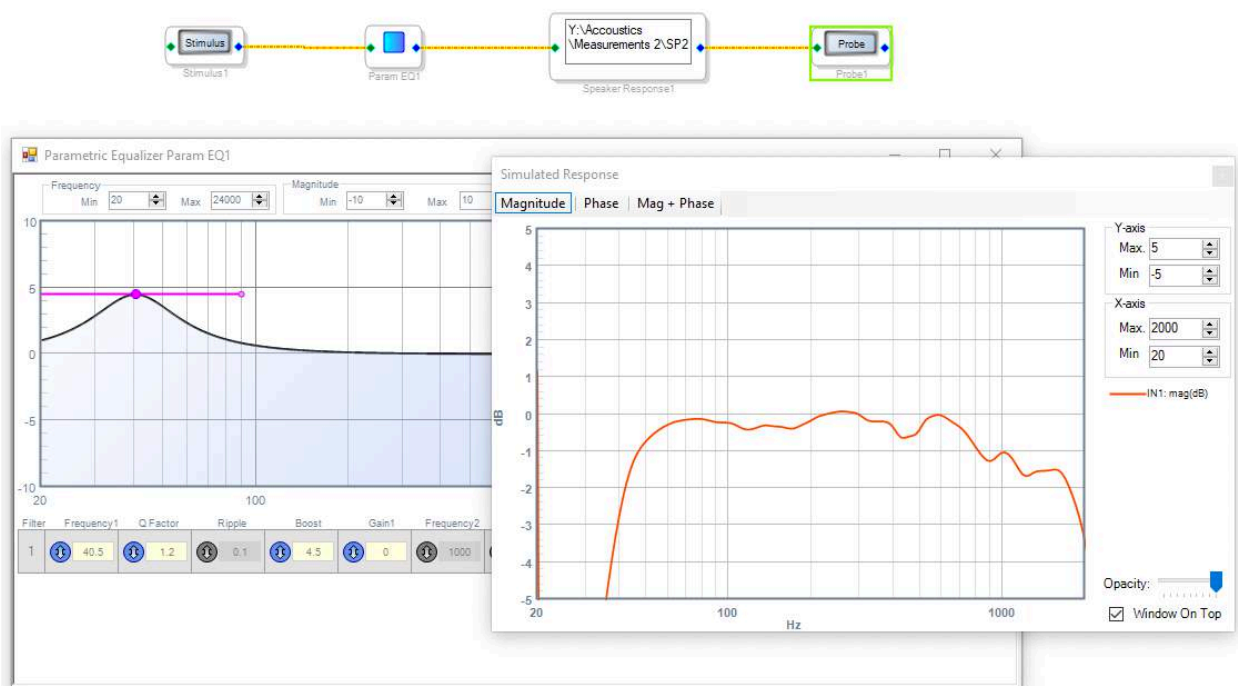


Figuur 48 De gegenereerde filters, deze moeten met de hand gekopieerd worden

De filter instellingen zoals die uitgerekend zijn door de automatic single band EQ moeten met de hand gekopieerd worden naar een “normaal” parametrisch EQ blok. De single band versie van deze automatic EQ is afgeleid van de two-way en tree-way versie, echter staat daardoor er altijd een laagdoorlaat filter aan wat je niet kunt uitzetten. Dit kost onnodige programmeer instructies, die je dan beter voor een zinvolle correctie kunt gebruiken.

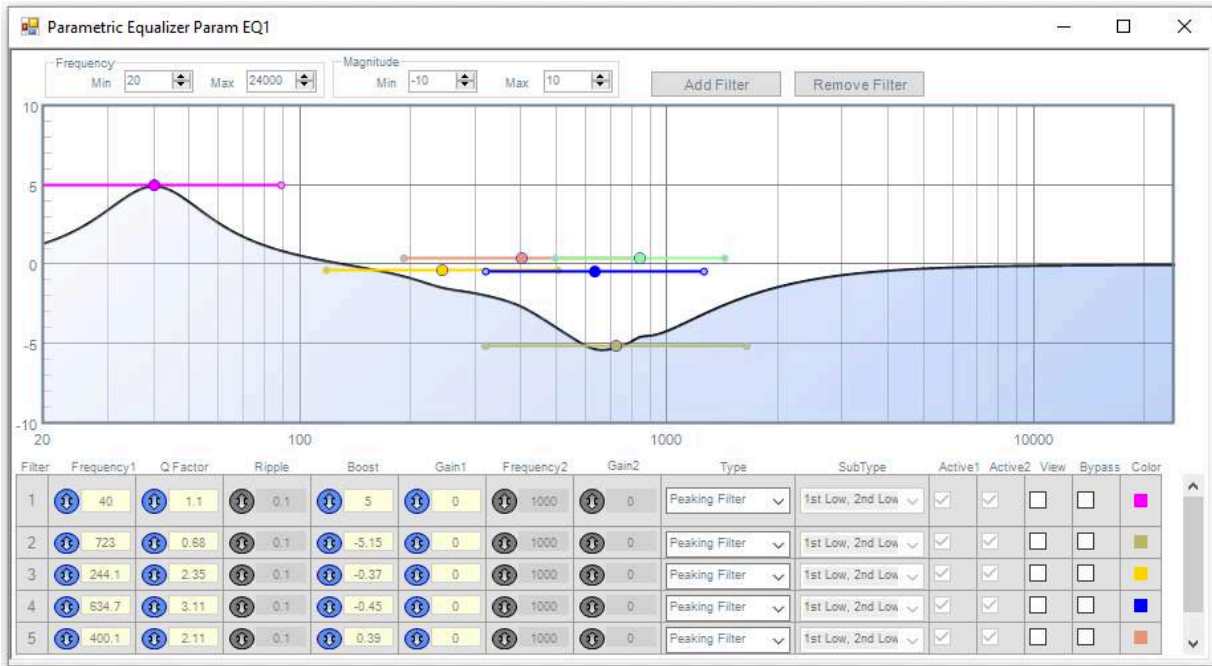
Verder is dit block niet erg stabiel, ineens kunnen zijn instellingen weg zijn. Als de instellingen met de hand zijn overgebracht naar een normaal EQ block, dan kan de instelling gemakkelijk opgeslagen en ook weer ingeladen worden. Dus is het ook wat makkelijker om tussen alternatieven te schakelen en uit te proberen.

Bij de “normale” EQ block waar je de instellingen van filter op overbreng, kun je ook een extra filter toevoegen om het laag wat op te halen. Je kunt in Sigmastudio om dit in te stellen de stimuli en probe blokken gebruiken samen met een speaker response block.



Figuur 49 Instellen van filter om laag wat verder door te trekken

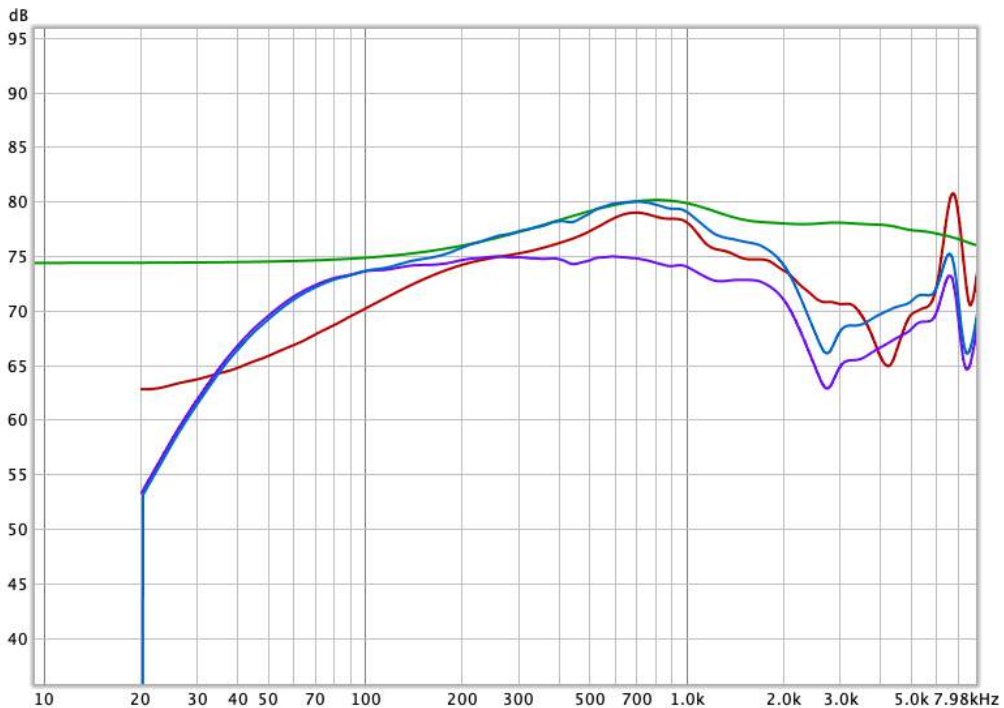
Er kan een meting van dichtbij worden gebruikt (near field), die onder de 100-150 Hz een goed beeld geeft van de response. Met deze meting is filter in te stellen om laag wat verder door te trekken. Vervolgens voeg je dan met de hand, de automatisch gegenereerde instellingen aan dit filter block toe. Deze instellingen kun je dan opslaan en dan weer inladen in schema van Figuur 37 wat uiteindelijk de speaker gaat aansturen.



Figuur 50 Een mogelijke filter instelling

Uiteindelijk kun je dan een instelling krijgen zoals die van bijvoorbeeld Figuur 50.

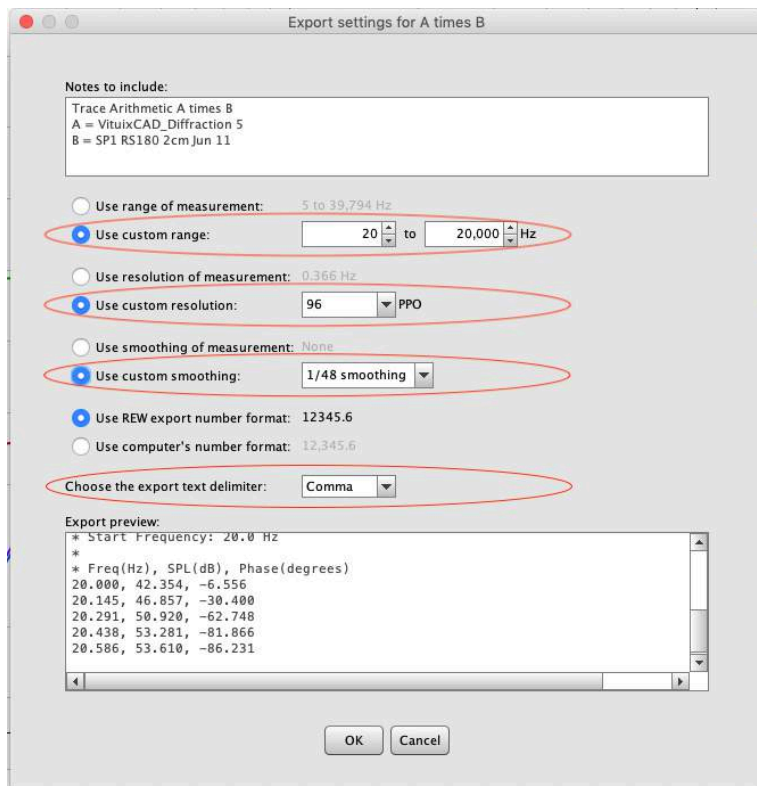
Er is een alternatieve manier om correctie instellingen voor de woofer te verkrijgen. Je doet een dichtbij meting en die vermenigvuldigd je in REW (A \* B) met een diffractie simulatie. Diffractie simulatie resultaten kun je exporteren uit b.v. VirtuixCAD en importeren in REW. Het resultaat hiervan exporteren, de bovenste regels vervangen, zodat Sigmastudio de meting wil laden en hiermee de correctie doen.



Figuur 51 Groen is de diffractie simulatie, paars de dichtbij meting, blauw de combinatie hiervan (A \* B) en in rood ter referentie de "gated" meting

Voordeel van deze methode is dat je dan gelijk ook wat correctie onder de 100-150 Hz kan doen, omdat de response daar niet wegvalt in tegenstelling tot een “gated” meting. Nadeel is dat de simulatie wat kan afwijken met name bij de hogere frequenties. Ook zou je bijvoorbeeld de gegenereerde meting aan een “gated” meting kunnen plakken. Tot b.v. 500 Hz gebruik je de gegenereerde meting en daarboven de “gated” meting.

Je kan ook een “gated” meting doen met filter dat bepaald is en afwijkingen die duidelijk hoger dan 600 Hz zitten, proberen te corrigeren via FIR-filter. Bepaalde correcties die uitsluitend effect hebben wat hoger in het frequentiegebied kun je weglaten uit het normale EQ blok en dit verplaatsen naar FIR-Filter. Dit spaart programma instructies uit en dan kan je eventueel die filter sectie gebruiken om iets te corrigeren wat lager in frequentie spectrum is, wat niet lukt met FIR-filter.

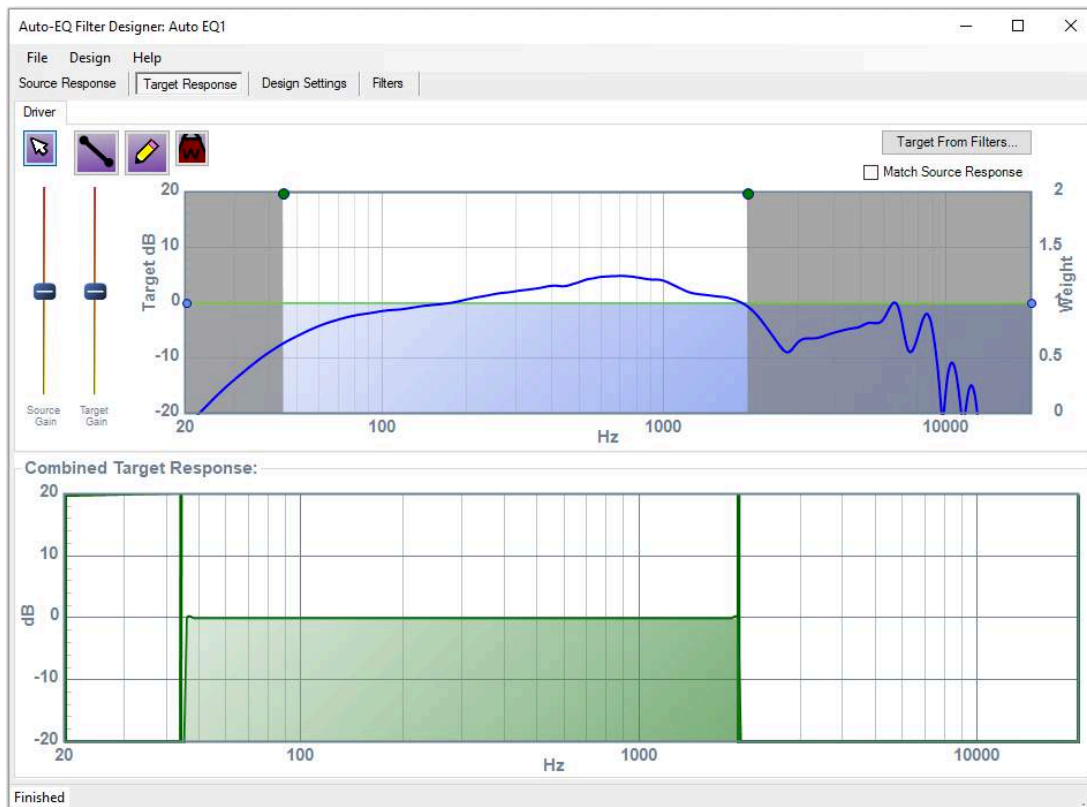


Figuur 52 De exportinstellingen voor exporteren van “A \* B” meting

Vaak wil je je concentreren bij een meting op hetzij de response van de woofer dan wel de tweeter. Een speaker is eenvoudig uit te zetten door allemaal nullen ‘0’ op te nemen in zijn FIR-filter tabel. Een FIR-filter met een enkele 1 en op alle andere regels een 0, is het digitale equivalent van een draad. Het signaal wordt ongewijzigd doorgegeven, afhankelijk van de plaats van de ‘1’ word het signaal alleen iets vertraagd. Je kunt de filter tabellen ook tijdelijk even op de korstte lengte van 2 zetten, zodat editen van de korte tabel makkelijker is.

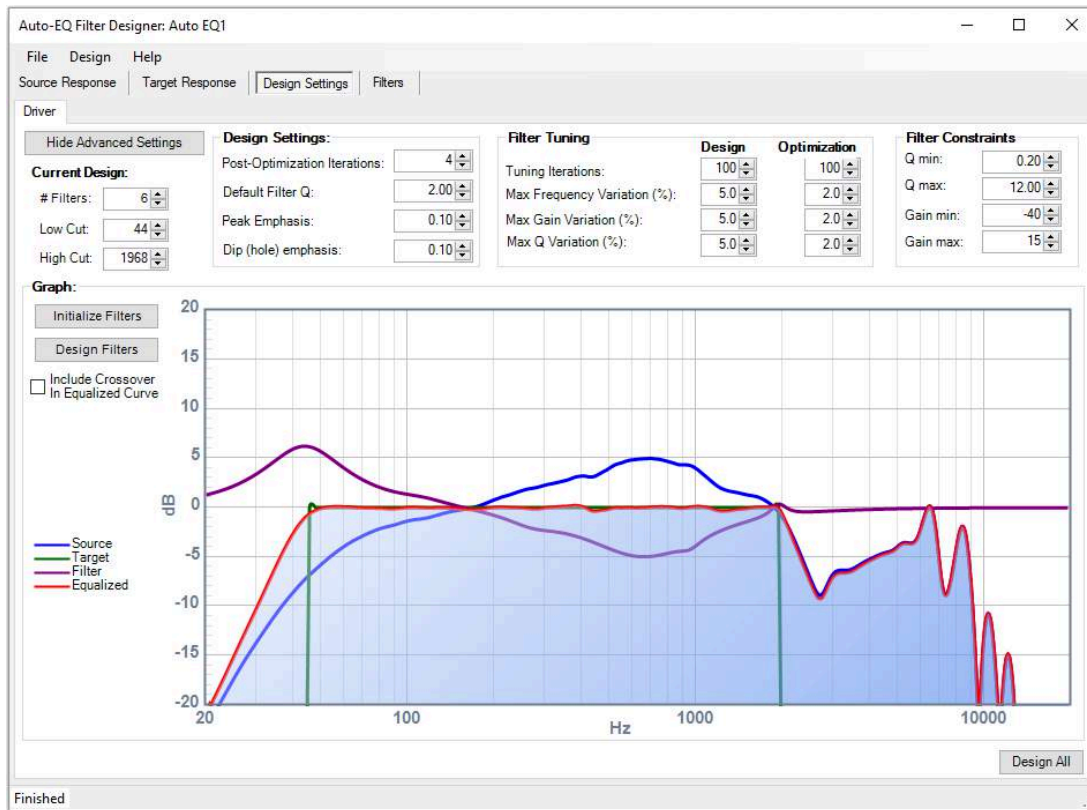


Figuur 53 Laden frequentie response in Sigmastudio in Automatic EQ block

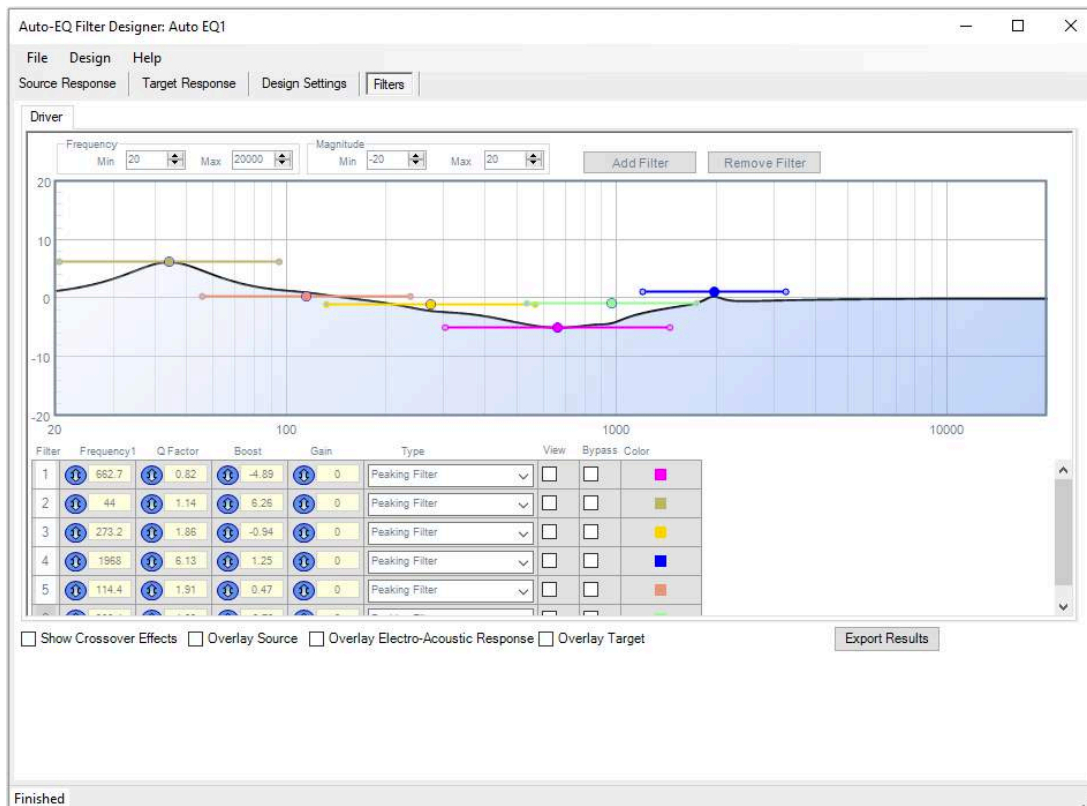


Figuur 54 Instellen van gebied van correctie en target gain

De stappen om correctie filter te maken zijn vrijwel identiek als dat je uitgaat van de “gated” meting. Echter is frequentiegebied waarvoor je de correctie filters gaat genereren en eventueel ook het aantal filters anders.

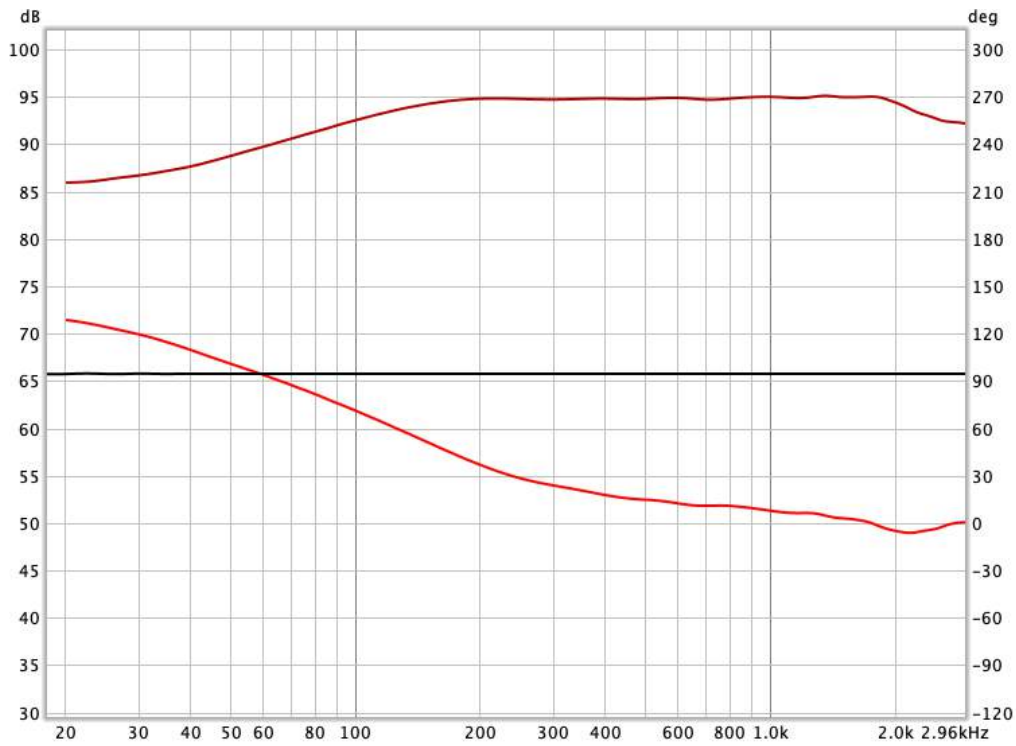


Figur 55 Genereren van filter instellingen



Figur 56 De filters die gegenereerd zijn

Vervolgens kun je “gated” metingen doen met de EQ die je bepaald hebt en het FIR-filter gaan afstellen.

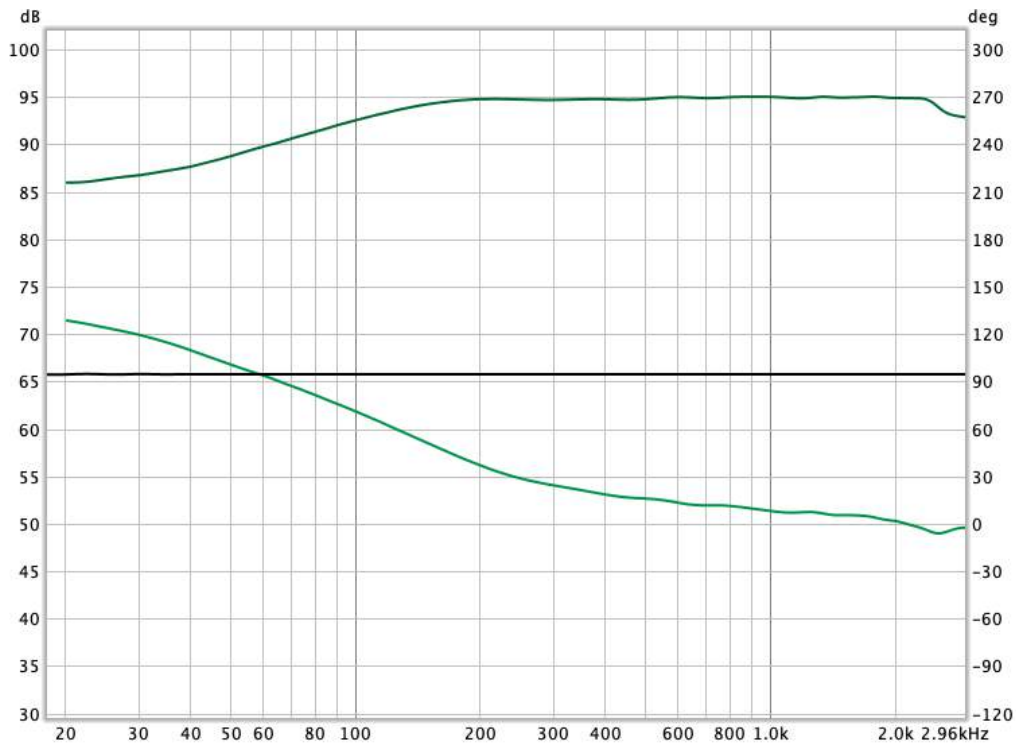


*Figuur 57 Gated meting na parametrische EQ, door window van 5.5 ms is ook fase beneden 200 Hz niet betrouwbaar*

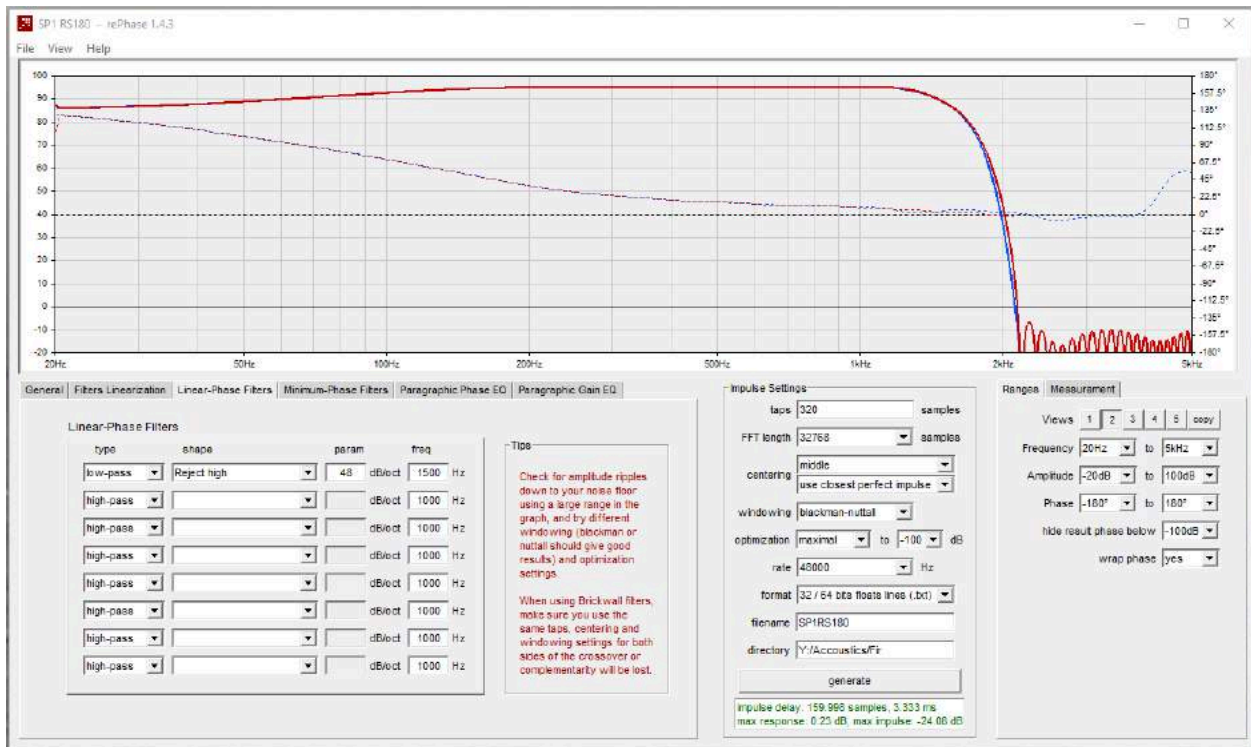


*Figuur 58 Het 5.5ms window van de meting verwijderd, effecten van reflecties zijn zichtbaar maar geeft beter beeld fase verloop*

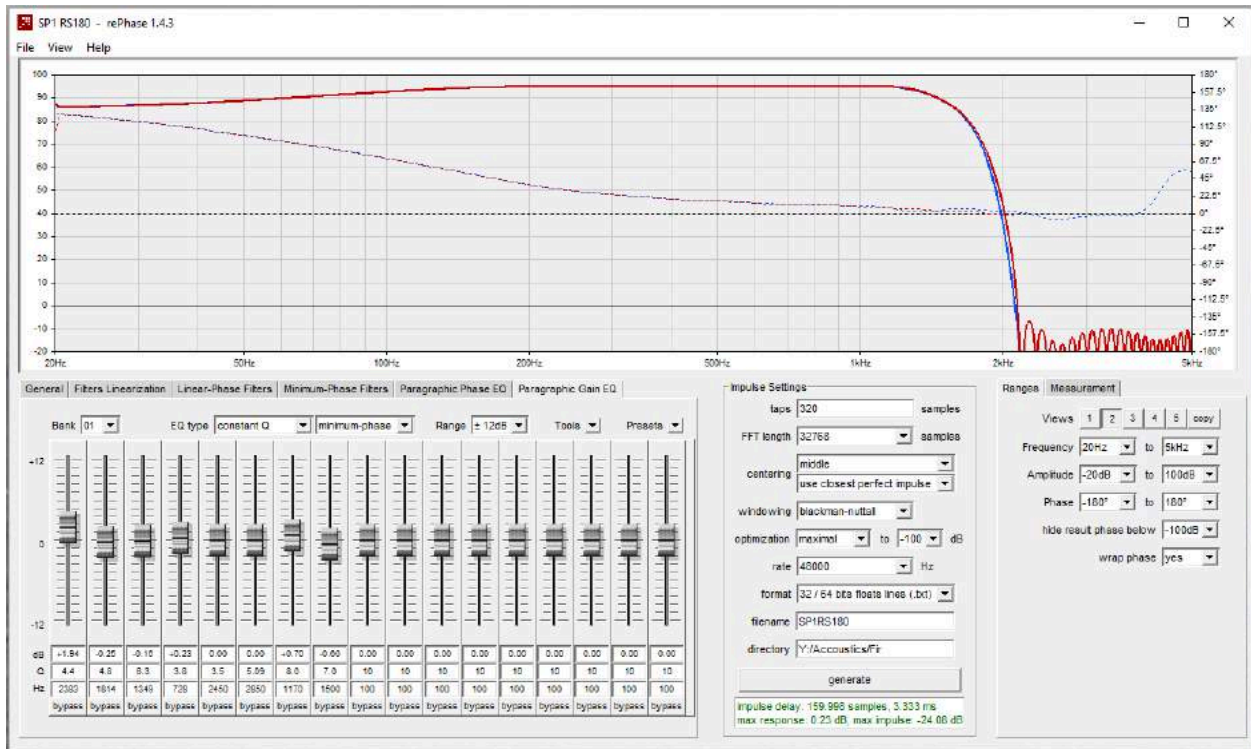
Figuur 58 geeft ondanks de reflecties toch al een mooie frequentie response. Het steile cross-over filter loopt nog iets voorbij de 2 en deze frequenties zijn goed te corrigeren met het korte FIR-filter dat gebruikt wordt.



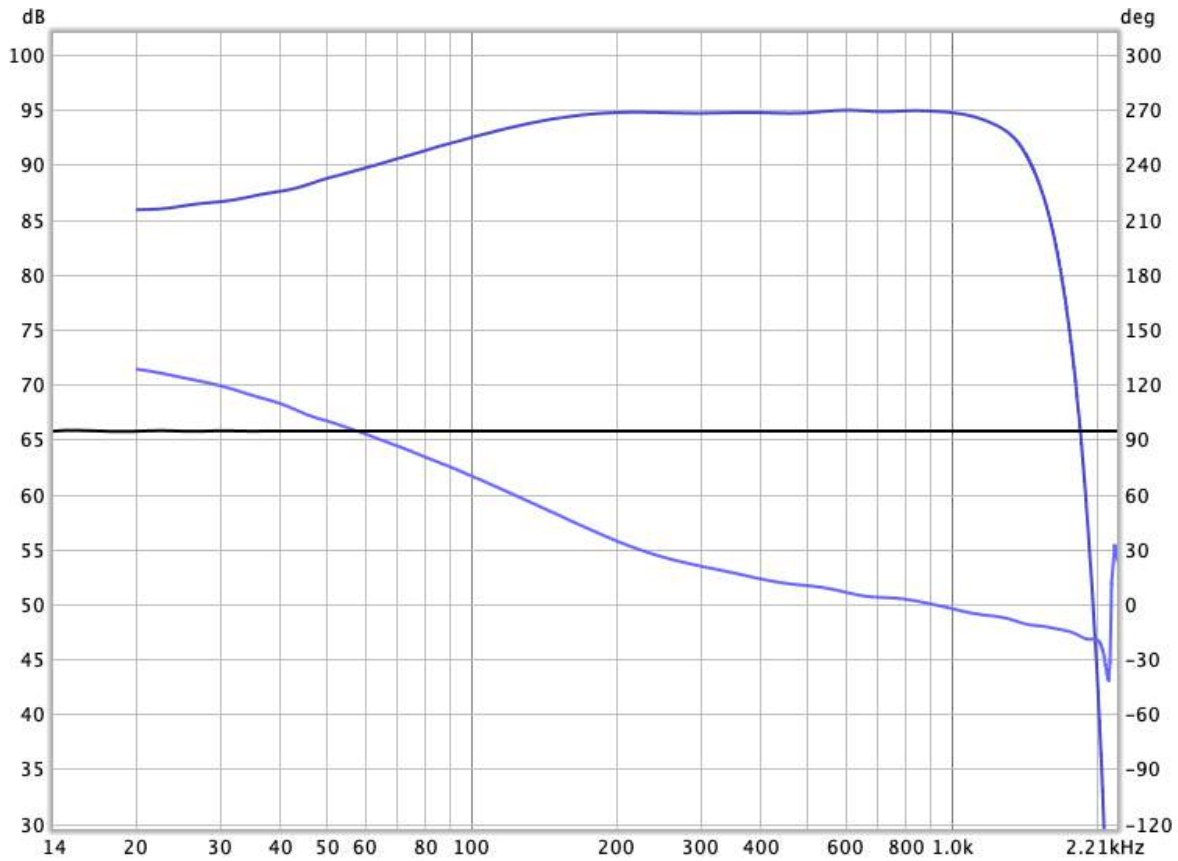
Figuur 59 Correcties in FIR-filter, zodat deze tot voorbij de 2 kHz vlak loopt



Figuur 60 De instelling in Rephase van cross-over filter



Figuur 61 de instellingen van een paar EQ filters in RePhase



Figuur 62 De gemeten response van de "normale" EQ plus FIR-filter met cross-over

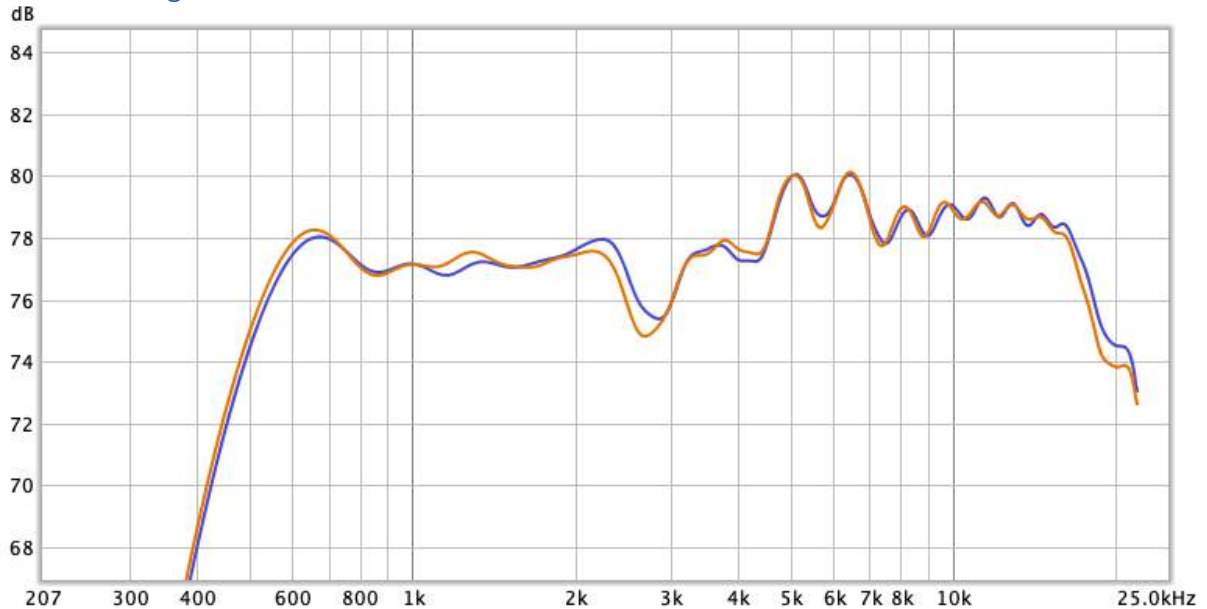
In Figuur 62 kun je zien dat er een heel steil filter is gerealiseerd, zonder een erg grillig fase verloop. Het Rephase bestand is te downloaden van:

<https://www.dropbox.com/s/jrnej7oh5px9v3z/SP1%20RS180.rephase?dl=1>

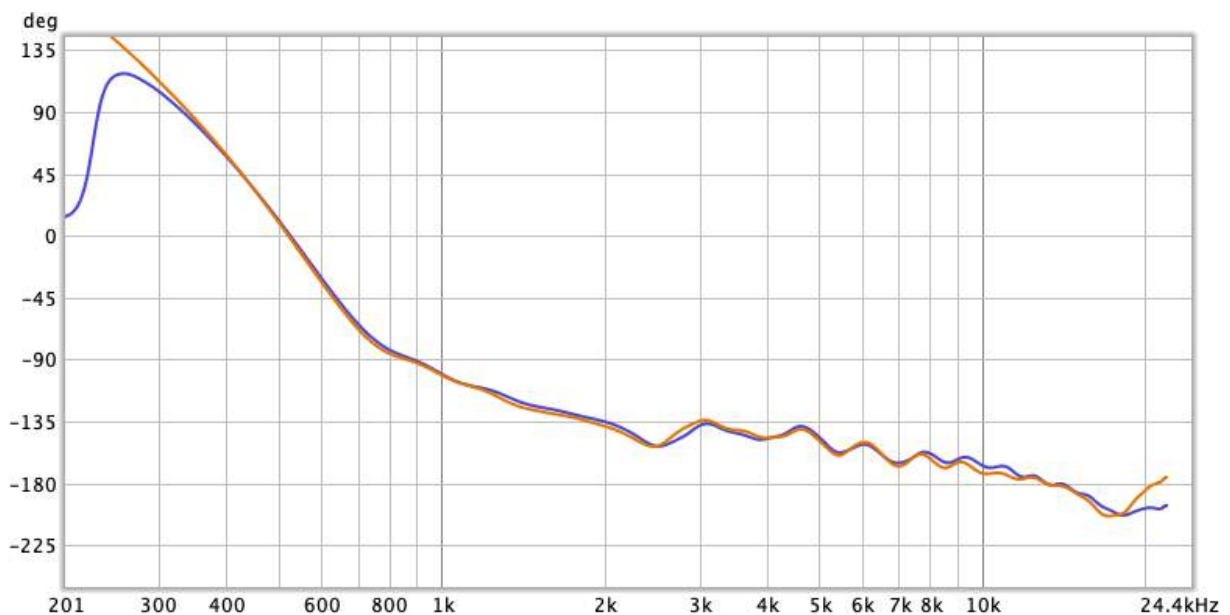
Het FIR-Filter dat Rephase voor deze situatie berekend heeft en wat in Sigmastudio te laden is in een FIR-filter block kun je downloaden via:

<https://www.dropbox.com/s/cr88r3prmpqtv2d/SP1RS180.txt?dl=1>

### Tweeter metingen



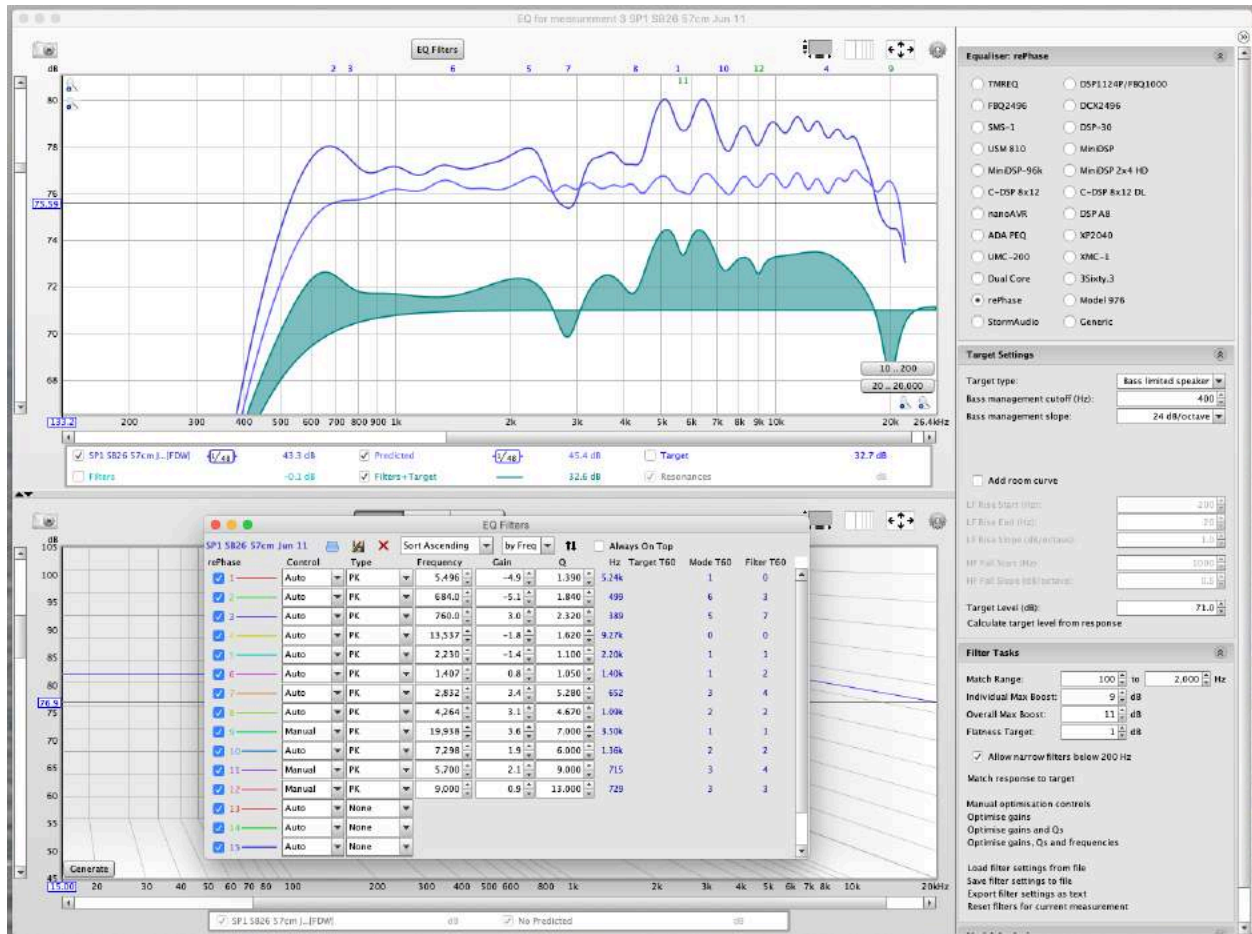
Figuur 63 De frequentie respons van de tweeters, zonder correctie, ingebouwd in behuizing



Figuur 64 De fase responses van de SB26ADC-C000-4 tweeters

Binnen REW kun je filters voor Rephase automatisch laten berekenen, deze kun je in een file wegschrijven en direct in een filter bank in Rephase inladen. Je kunt ook manueel filters instellen in REW en die exporteren en laden in Rephase. Een filter file load je voor een hele zogenoemde bank. Je kunt

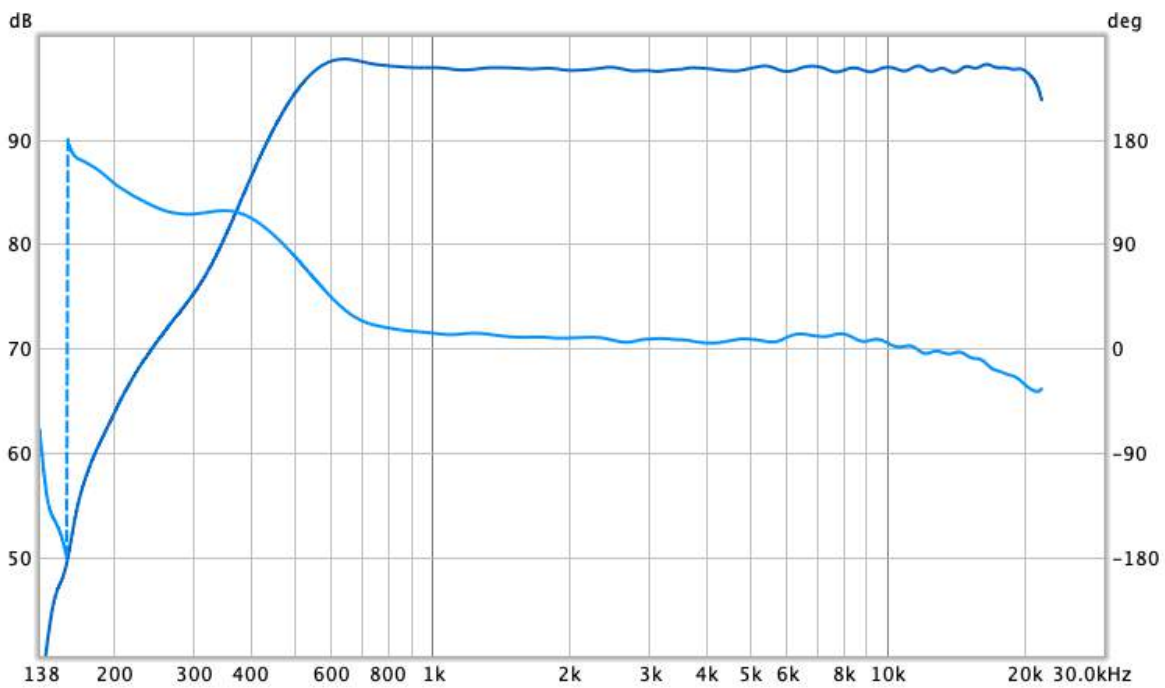
het filter proces iteratief herhalen en de nieuwe filter instellingen telkens in een ander bank laden. Je hoeft bepaalde complexere dingen niet in een keer te corrigeren, je kunt dat in stapjes doen.



Figuur 65 Indruk van hoe filter instellen in REW in zijn werk gaat

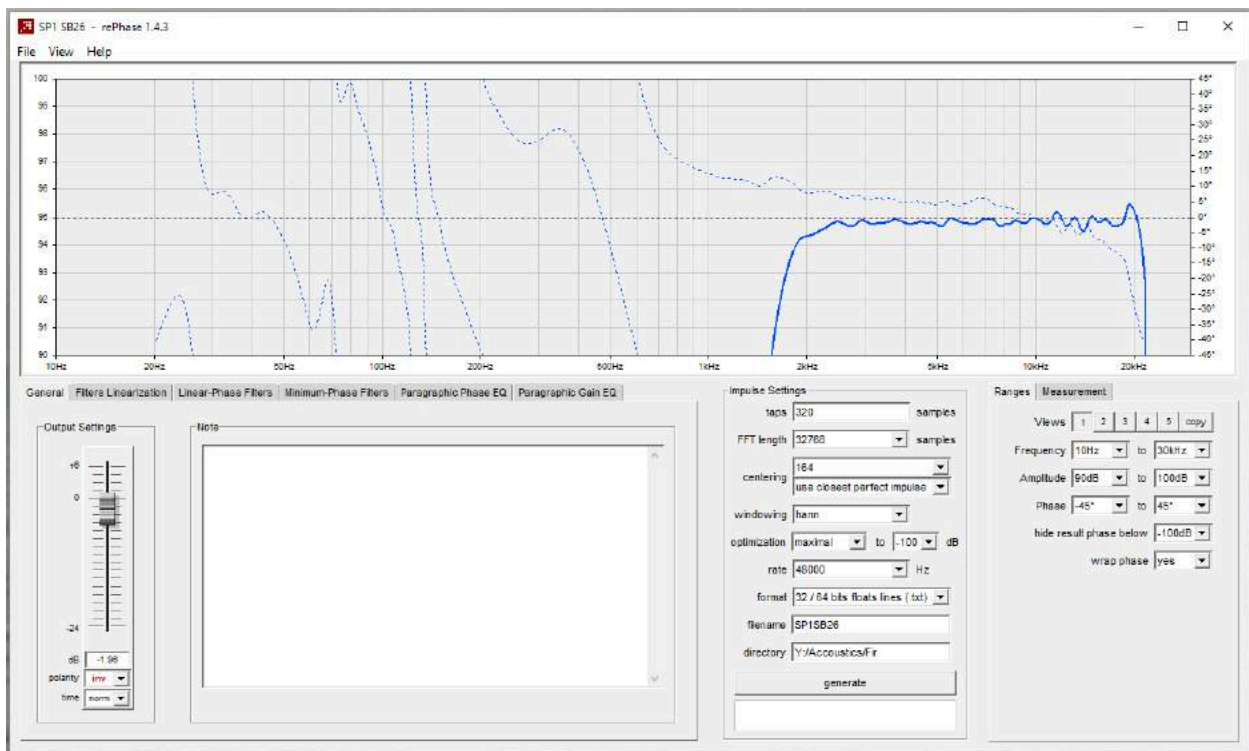
Je kunt in Rephase ook een meet resultaat laden die geëxporteerd is vanuit REW. Je ziet dan effect van filter op zowel frequentie response als fase verloop in Rephase. Je kan ook rechtstreeks in Rephase filters instellen.

REW is bedoeld om kamer akoestiek te corrigeren, niet alles is dan wenselijk om te corrigeren, dus voor bepaalde dingen zal deze dan niet automatisch een filter willen genereren. In dit geval corrigeren we geen kamer akoestiek, maar de response van de speaker. De beperking is dus niet altijd terecht. In dat geval kun je ook filters manueel instellen en naar Rephase exporteren. Ik vind het instellen van filters in REW duidelijker en gemakkelijker dan in Rephase.

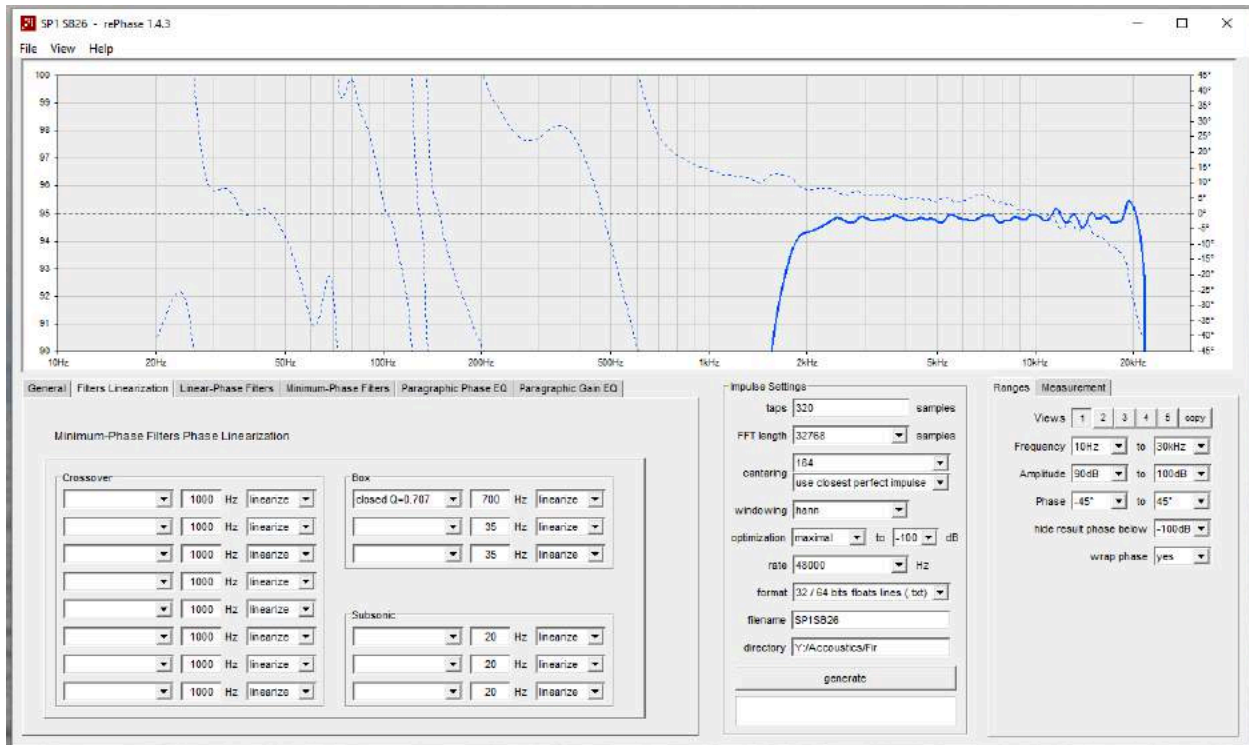


Figuur 66 Frequentie response van tweeter gecorrigeerd en fase vlak gemaakt in overgangsbied

Door het corrigeren van de frequentie response is ook het fase verloop minder grillig geworden.

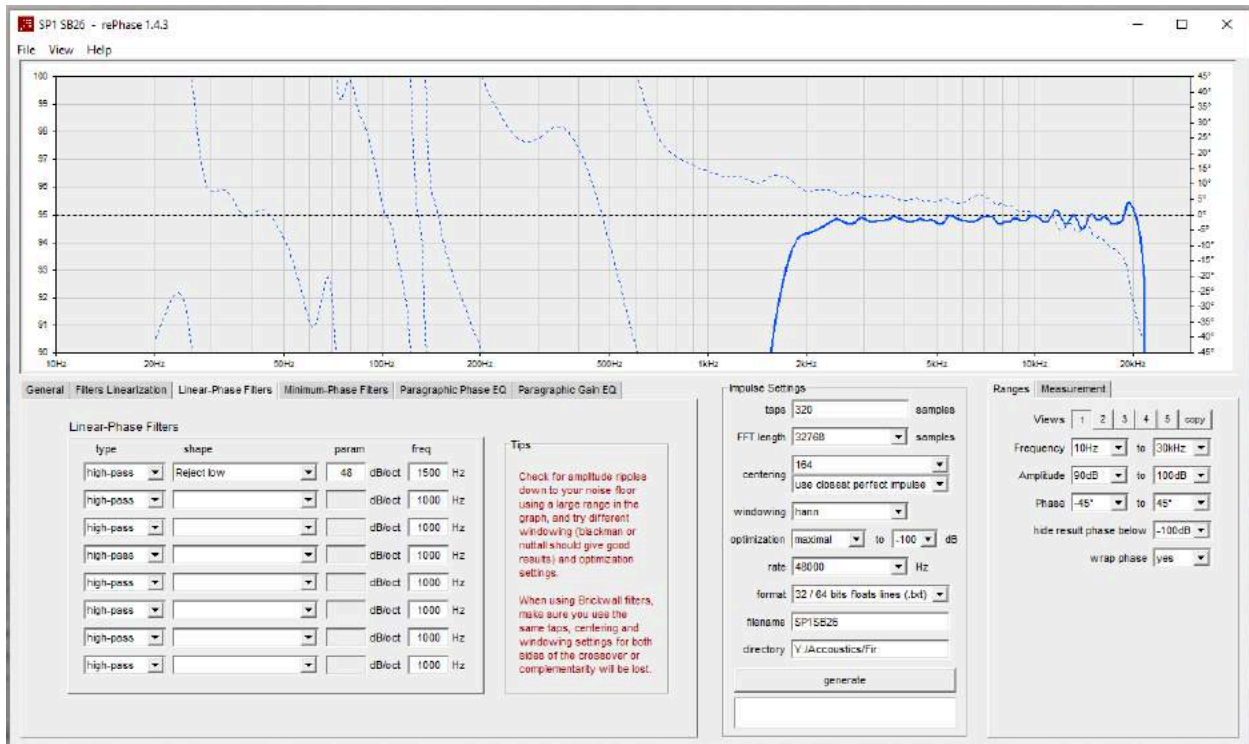


Figuur 67 Op "General" tab kun je aangeven dat fase geïnverteerd moet worden en is niveau aan te passen

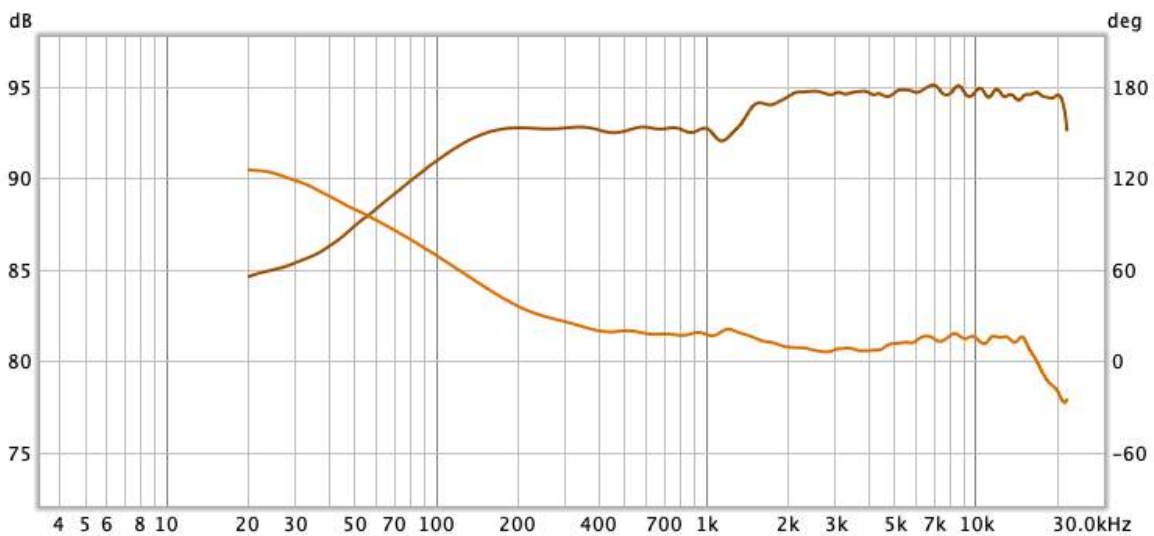


Figuur 68 Tweeter is feitelijk een closed systeem, door dit aan te geven en resonantiefrequentie op te geven wordt fase response behoorlijk vlak getrokken.

Eventuele andere fase correcties zijn ook uit te voeren via de “Paragraphic Phase EQ”.

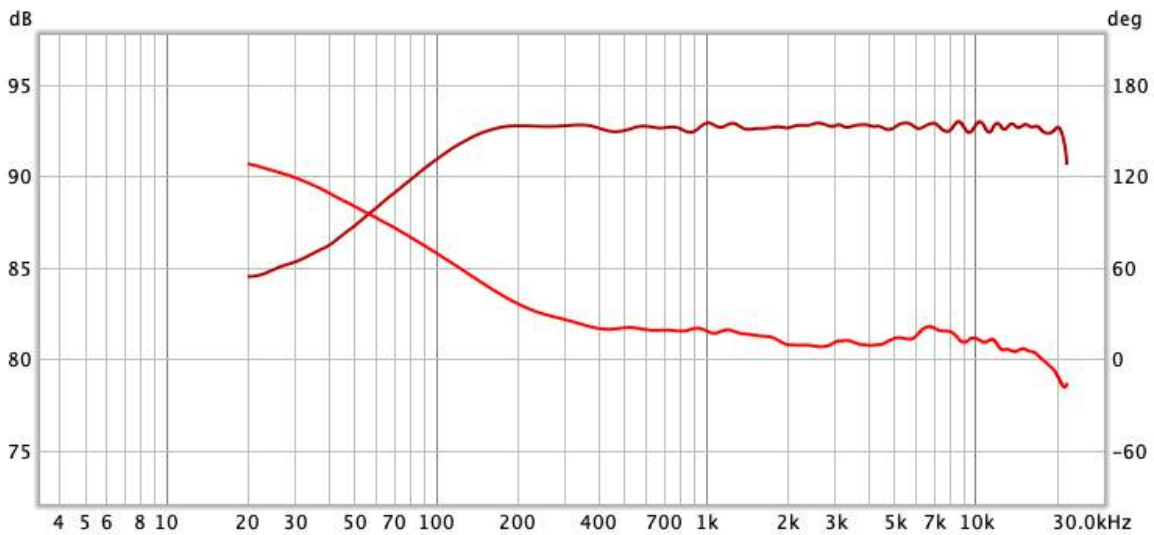


Figuur 69 Het ingestelde cross-over filter

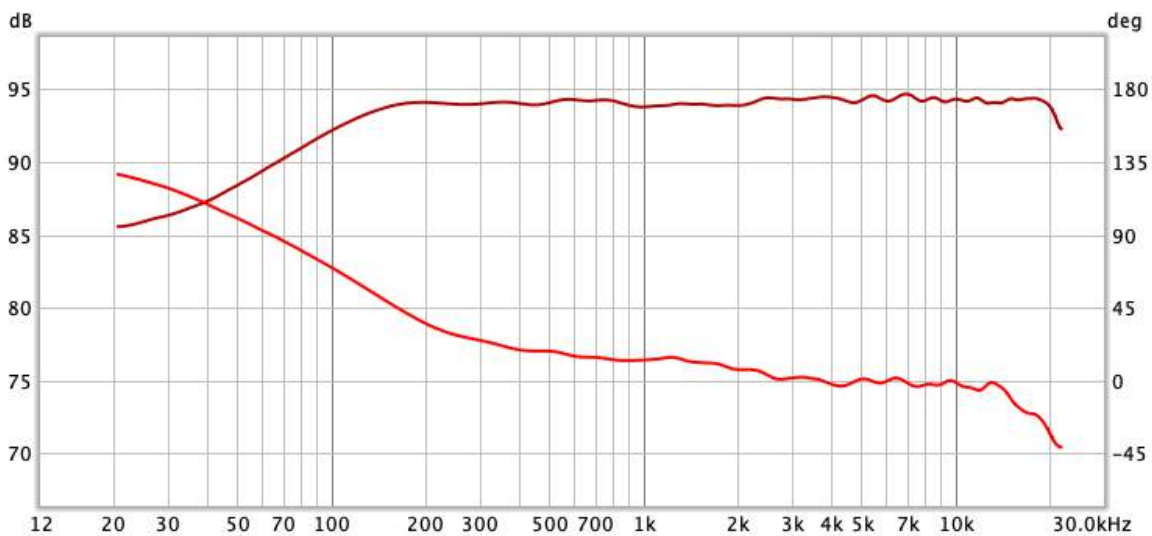


*Figuur 70 Na instellen van cross-over filter van tweeter en het weer aanzetten van de woofer kan dit het resultaat zijn*

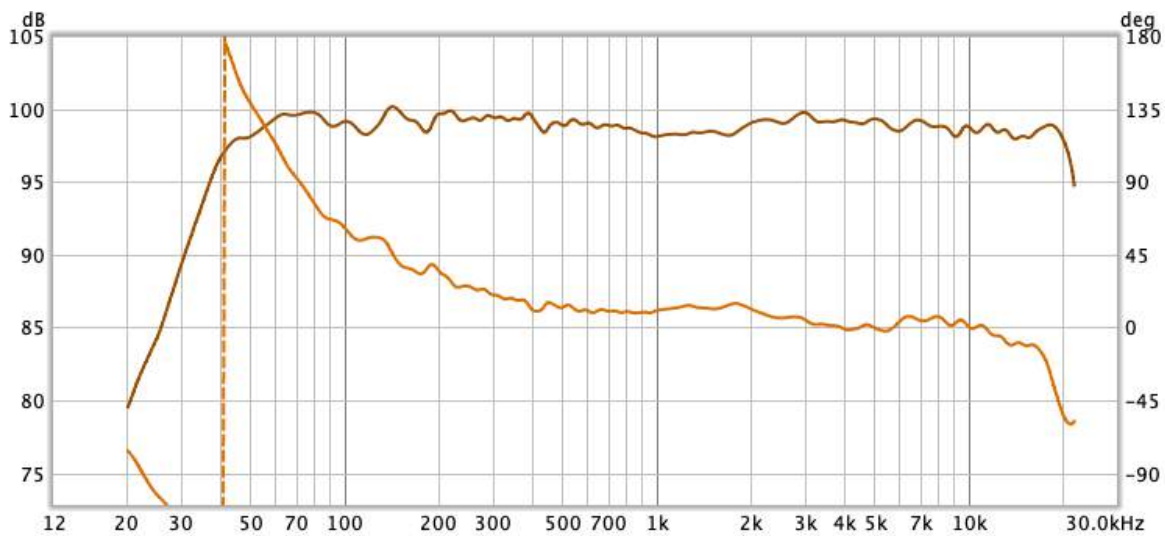
Figuur 70 laat zien dat het signaal van de tweeter ongeveer 2dB verzwakt moet worden. Dit kan gedaan worden via de tab "General" in Rephase. Eventueel zou er nog een kleine verbetering in fase gedrag aangebracht kunnen worden.



*Figuur 71 Response na bijstellen niveau tweeter, met gate window van 5.5ms*



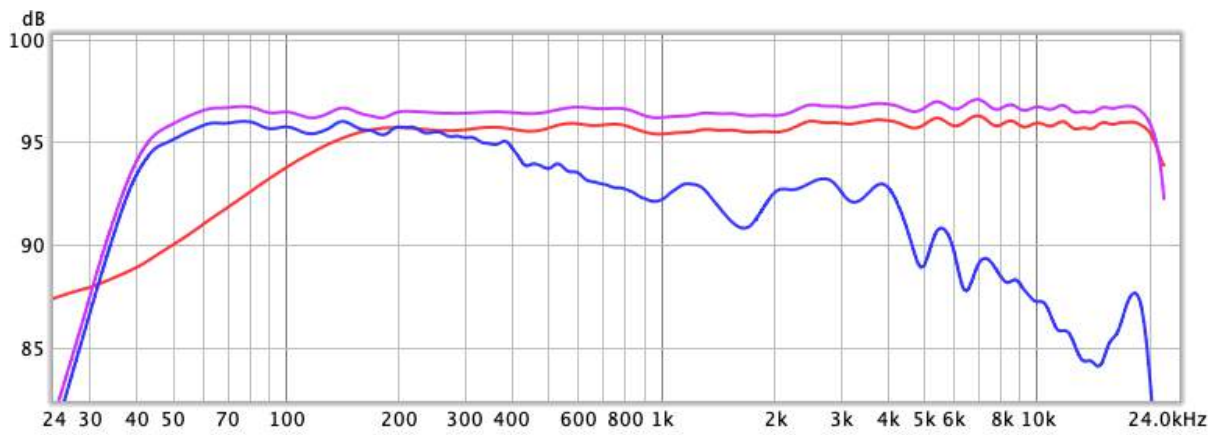
Figuur 72 Response van de andere speaker, met gate window van 5.5ms



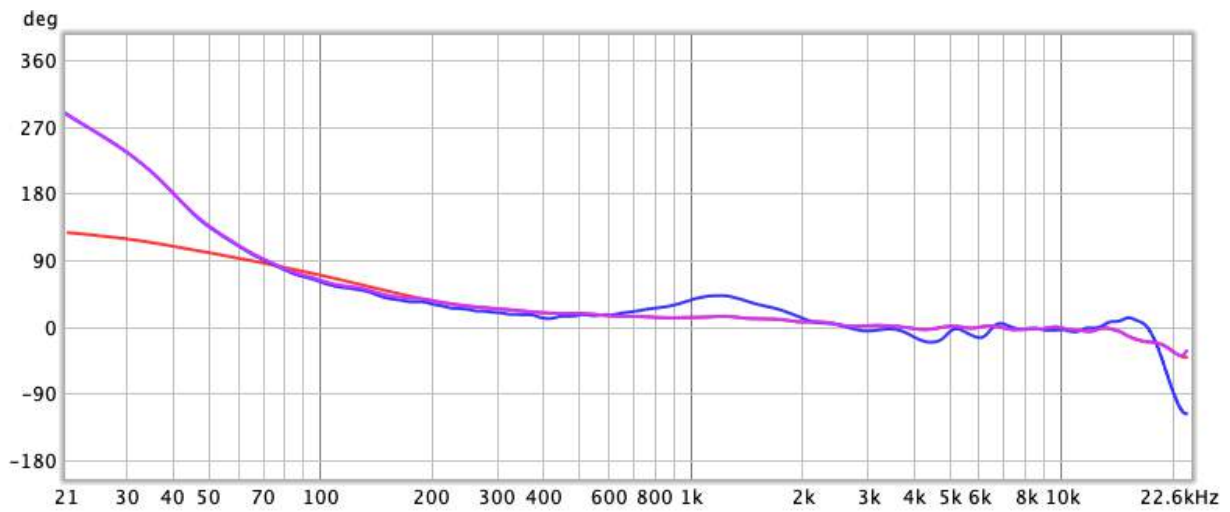
Figuur 73 Meting zonder gate maar dichtbij op 30 cm gemeten

Figuur 73 laat een meet resultaat zien, dat dichtbij genomen is, met alleen “Frequency dependent window” en verder geen smoothing van de response. Door de meting dichtbij is effect van reflecties minder en is ook diffractie effect van de baffle minder. Je ziet dat response tussen 400 Hz en 2 kHz net een dB lager is. Ondanks deze korte afstand en wat effecten van reflecties, blijft de response toch binnen  $\pm 1$  dB.

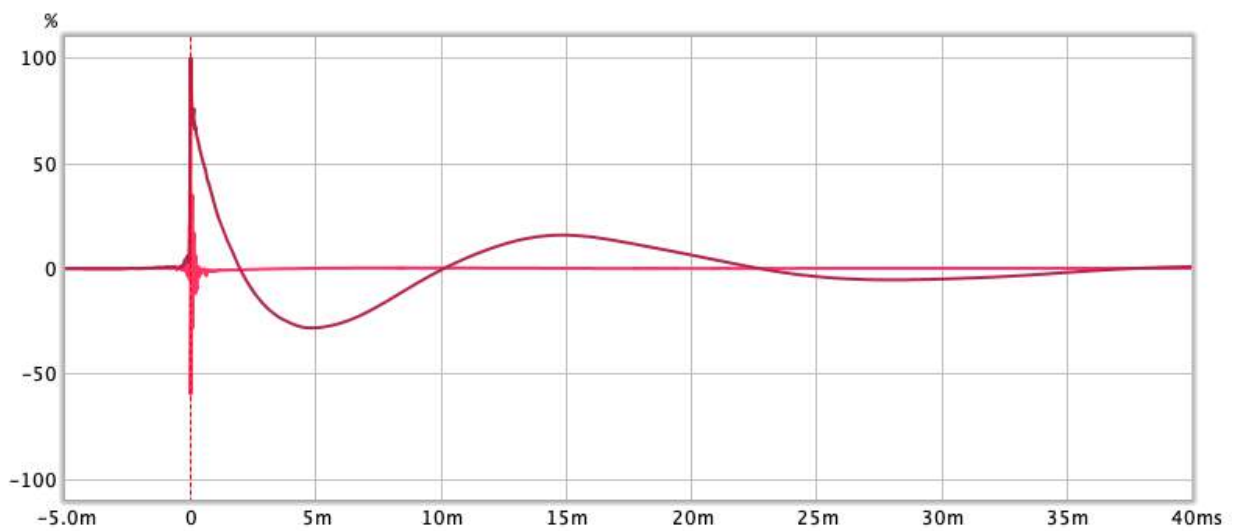
Voor een goed uiteindelijk beeld, kun je ook een dichtbij meting combineren met een “gated” meting in REW. In Figuur 74 kun je zien dat een dichtbij meting en een “gated” meting met window van 5.5 ms gecombineerd worden, waarbij de “gated” meting het vanaf 200 Hz overneemt van de dichtbij meting.



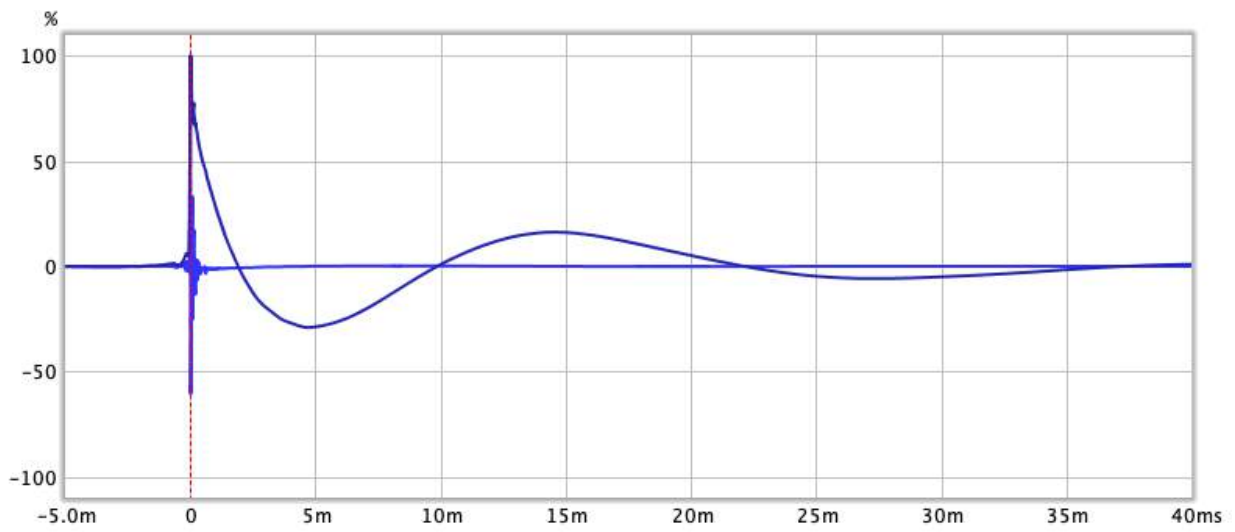
Figuur 74 Gecombineerde meting in paars, van dichtbij en "gated" met 5.5 ms, overname bij 200 Hz



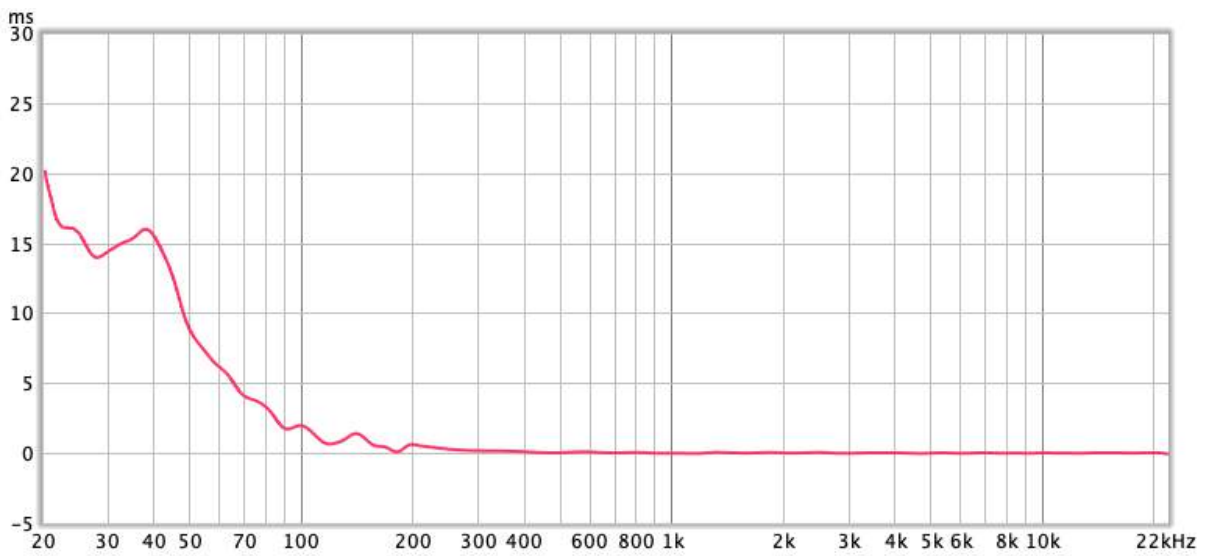
Figuur 75 Gecombineerde fase meting in paars



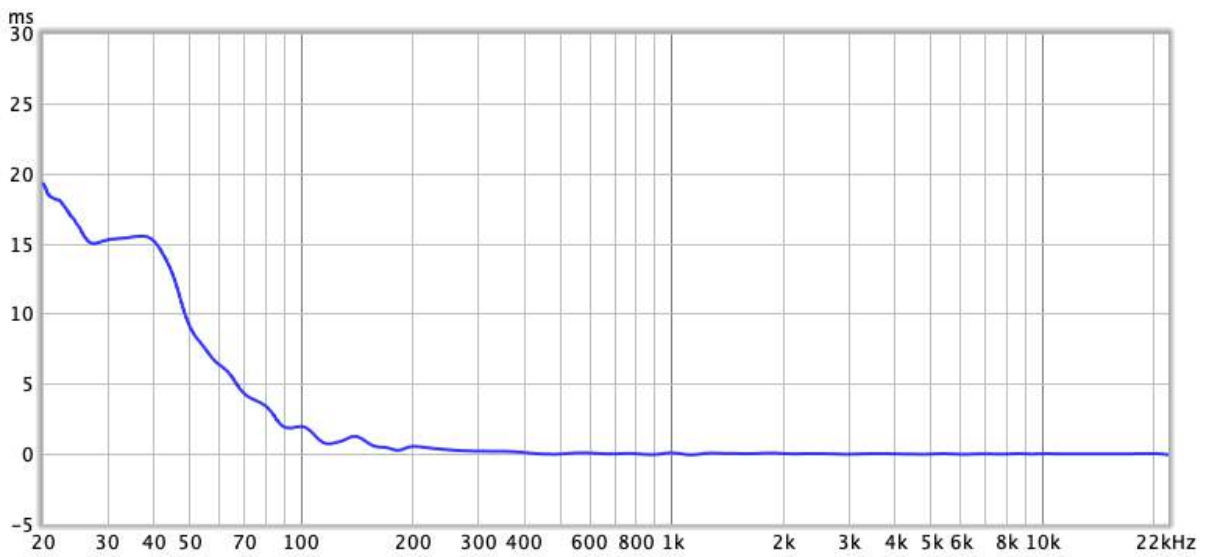
Figuur 76 Impulse & step response linker speaker



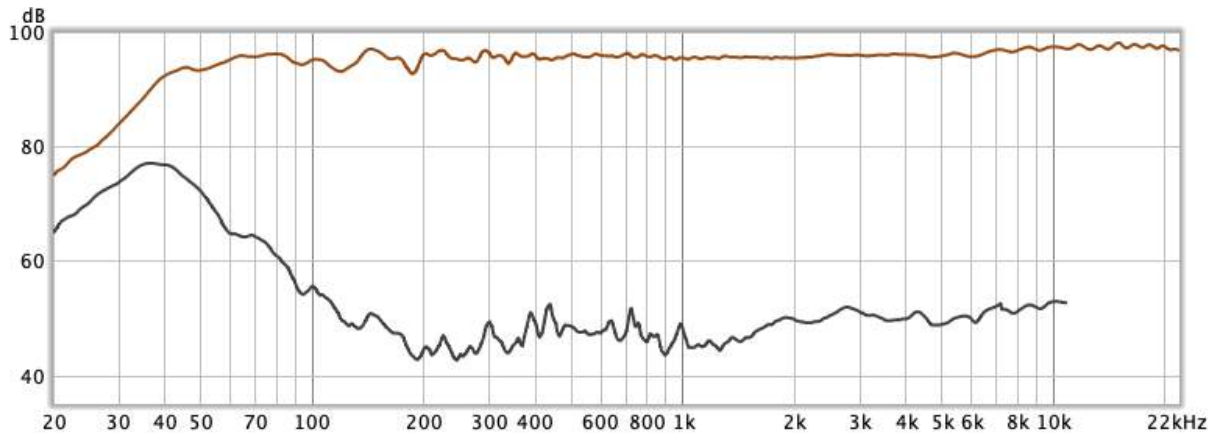
Figuur 77 Impulse & step response rechter speaker



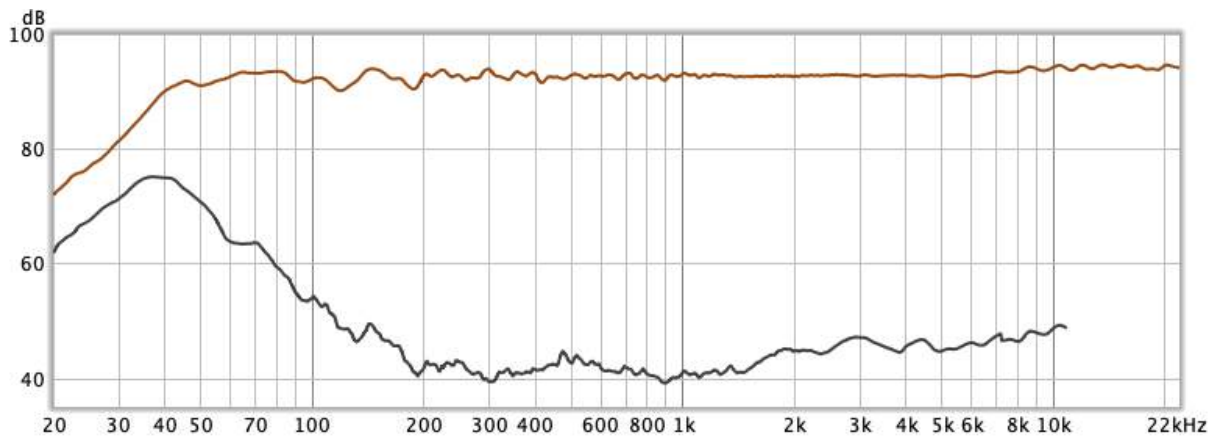
Figuur 78 Group delay linker speaker



Figuur 79 Group delay rechter speaker



*Figuur 80 Vervorming linker speaker*



*Figuur 81 Vervorming rechter speaker*

In het laag is er redelijk wat vervorming, wat niet vreemd of ongebruikelijk is. Iets boven de 100 Hz duikt deze onder de 1% en blijft voor het grootste gedeelte onder de 0.5%, wat netjes is voor een combinatie van een class D versterker en luidspreker.

## Mogelijke verbeteringen

Omdat ontwerp uitgaat van een voor- en achterschot dat valt in de gefreesde sleuven, heb ik gekozen voor een frontpaneel van 16mm. Het front paneel wordt gelijmd op het voorschot, dus uiteindelijk is frontpaneel dan in totaal 32mm dik.

Deze dikte is ruim voldoende, nadeel is echter dat boven, onderkant en zijkanten 22 mm dik zijn. En deze panelen hebben een 45 graden verstek kant waar frontpaneel op aansluit. De sleuf van voorschot valt midden in de verstek kant. Een geperste MDF-plank is aan de buitenkant veel harder dan middenin. Het bovenste harde deel van de verstek kant wordt dus weg gefreesd voor de sleuf. Het kleine stukje van verstek wat dan overeind blijft is dan erg kwetsbaar.

Als frontpaneel ook 22 mm dik was geweest, dan zou ook het bovenste harde deel zijn blijven staan, want de sleuf had dan niet op 16 mm vanaf zijkant begonnen, maar op 22 mm. Dus achteraf had ik beter de behuizing 6 mm dieper kunnen maken en een frontpaneel van 22 mm dik gebruikt.

Hou er rekening mee dat op de bouwtekeningen uitgegaan wordt van een frontpaneel van 16mm, het zijn de tekeningen die ik gebruikt heb bij de constructie van de behuizing. De bouwtekeningen zijn niet aangepast op deze mogelijke verbetering.

In de spreadsheet kan eenvoudig een ander dikte worden opgegeven van de diverse panelen en vervolgens geeft de spreadsheet dan de diverse maten aan. Reken alles voor de zekerheid goed na, ik heb tenslotte maar een versie gecontroleerd en gebouwd.

Zelf zou ik 18 mm aanhouden als minimale dikte voor de panelen. Dus een versie van 19mm dik in rood of blauw MDF lijkt me ook erg mooi om te bouwen en een goede optie.

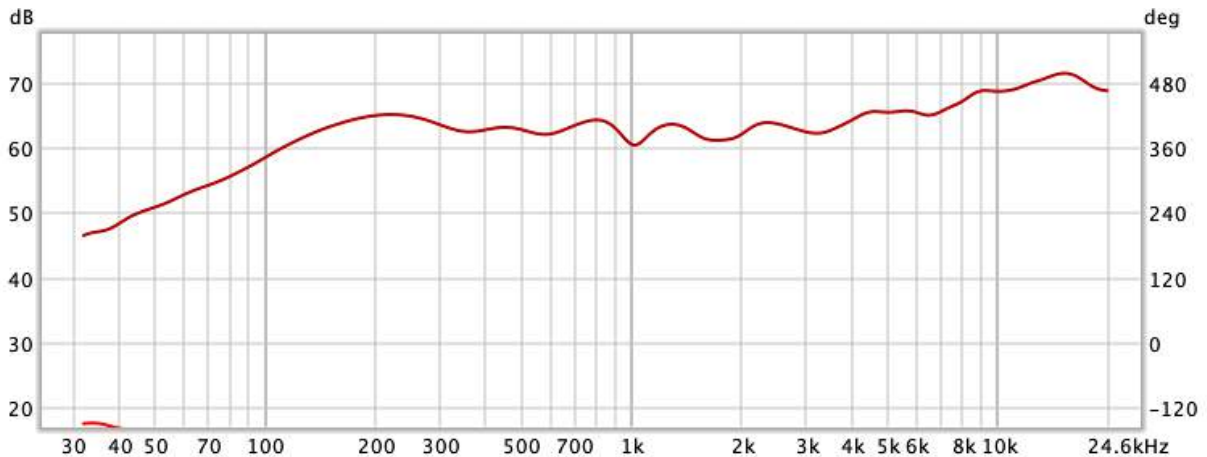
Als frontpaneel dikker wordt uitgevoerd, dan hoeft voorschot niet per se 16mm dik te zijn. Een dikte van 8 a 12 mm is ook goed, zolang de overeenkomstige sleuf maar de juiste breedte heeft. De sleuf moet goed en nauw sluiten om de plank die erin komt.

Het feit dat ik deze haakse verbinding uitsluitend tot nu met 16mm dik MDF heb gedaan, heeft meer te maken met mijn set frezen dan iets anders. Met een 10 mm frees en passende plank en een 22 mm dik frontpaneel kom je ook uit op 32 mm, i.p.v. 16 + 16 mm. Ik zou voor totale dikte van frontpaneel uitgaan van 30 mm of meer voor de zekerheid.

## Hoe klinkt het

Ik kan de luidprekers alleen direct vergelijken met een paar Tannoy Reveal 502 speakers. Hoewel deze Tannoy speakers goede reviews hebben en zeker aan te raden zijn, is het natuurlijk geen eerlijke vergelijking. Los van de hoeveelheid uren is de uiteindelijke prijs van de speakers al duidelijk hoger.

Vergeleken met de Tannoy speakers lijkt er een dun gordijn weggenomen te worden. Door meting weet ik dat de Tannoy's wat oplopen in het hoog, zie ook Figuur 82.



Figuur 82 Frequentieresponse van Tannoy Reveal 502, "Gated" meting 5.5 ms

Ondanks dat de Tannoy speakers aantoonbaar meer hoog heeft, klinken de zelfbouw luidprekers helderder. Door de detaillering lijkt er meer hoog te zijn, dan er daadwerkelijk via meting meetbaar is. De plaatsing van de instrumenten lijkt ook duidelijker in vergelijking.

De bas weergave is ook anders, veel "strakker", minder rommelig. Nu ik de speakers een tijdje heb en er regelmatig naar luister en het geluid gewend ben, ben ik ook minder tevreden met het geluid van ander luidprekers. Ik was altijd tevreden met het geluid in b.v. mijn auto. Dit is een Bose systeem met ergens achterin af-fabriek een sub-woofer en rondom een hele zoi speakers. En nu heb ik zoiets van, dit klinkt toch een heel stuk minder als ...

Ik ben andere geluidssystemen als rommeliger gaan ervaren. Je hoort wat en denk b.v. het laag is niet natuurlijk. Je mist details alsof er iets tussen jou en de luidpreker is etc.

In sommige muziekstukken hoor ik nu details die ik eerder niet hoorde. Van bepaalde stukken die goed opgenomen/gemixed zijn kan ik nu extra genieten. Het klinkt gek maar sommige muziekstukken klinken nu "minder", bepaalde "fouten" in de mix of mastering of hoe je dat mag noemen komen nu naar boven. Hierdoor kunnen sommige stukken ineens wat minder overkomen.

Daar waar de meeste stukken breder en dieper klinken doordat de plaatsing van de instrumenten duidelijker is, lijken sommige stukken ineens vlakker te zijn. Dit gebeurt maar bij een kleine minderheid van de muziek waar ik naar luister, maar het komt wel voor. Ik wijt dit aan fouten in de opname, dan wel de mix.

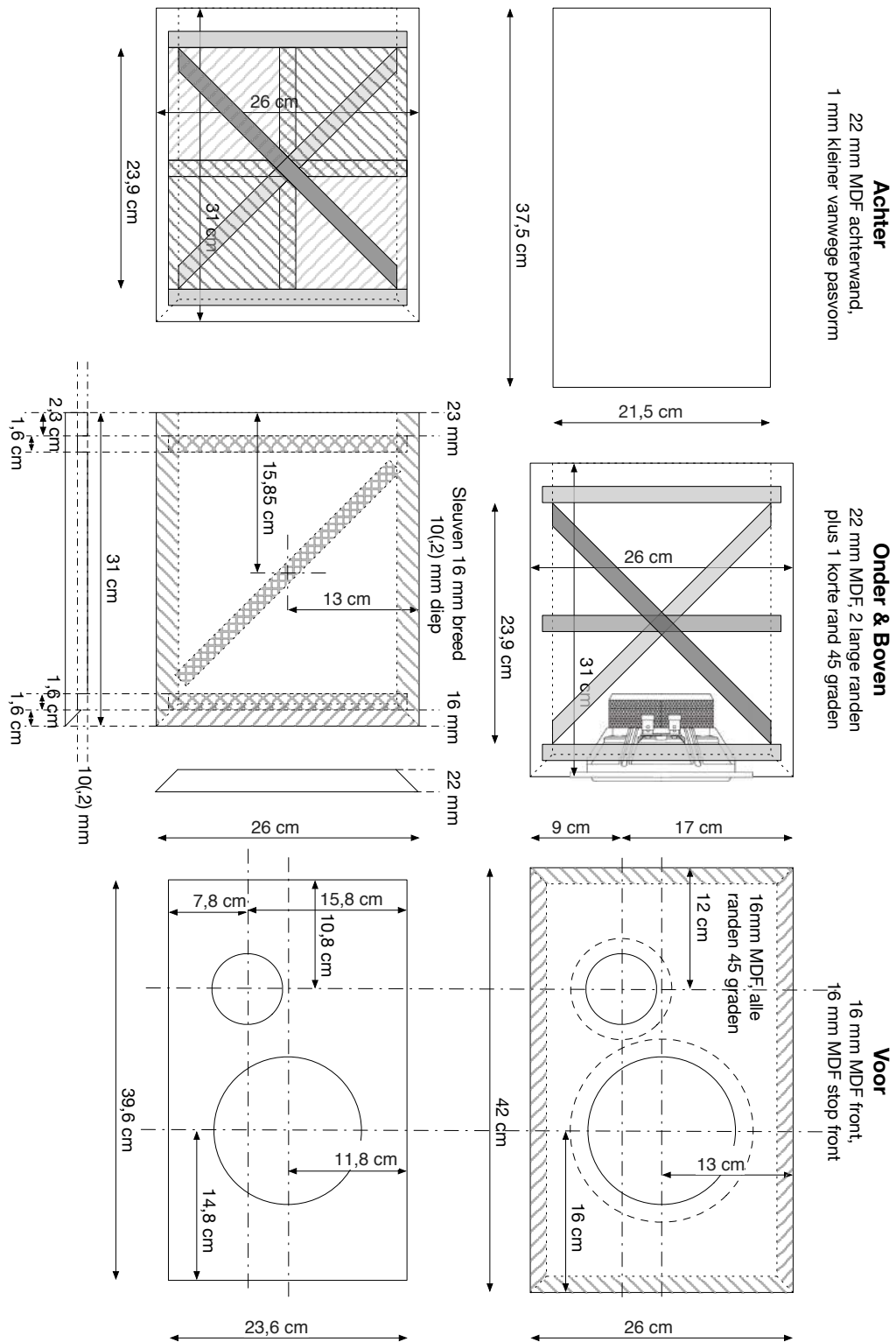
Kortom ik ben tevreden met het eindresultaat, maar zoals gezegd ik heb niet echt goed vergelijkingsmateriaal en ik kan niet zeggen dat ik "gouden oren" heb. Aan de andere kant claimen sommige zelfbenoemde "gouden oren" verschil te kunnen horen tussen verschillende digitale kabels en dan fronzen bij mij toch de wenkbrauwen.

Het is volgens mij toch echt lastig voor een kabel om een '0' als '1' te laten aankomen of omgekeerd. Mocht dit af en toe gebeuren dan heeft de fout correctie dit door en komt het alsnog goed. En als er zoveel fouten zijn dat de fout correctie er niets meer mee kan, dan zal eenieder die niet doof is het wel horen. Een gewoon mens zal dan zeggen dat de kabel kapot is en ermee teruggaan naar de winkel.

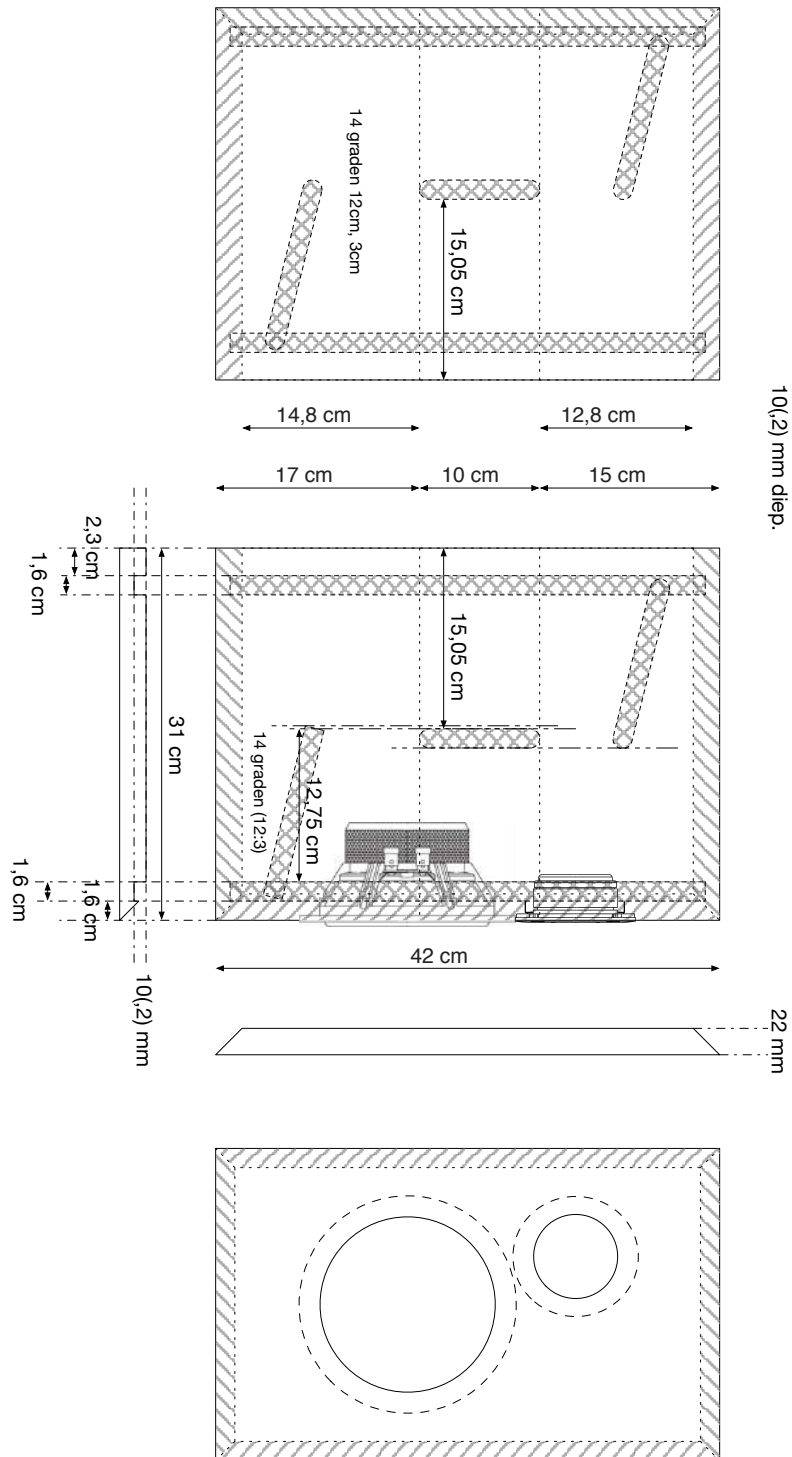
Aan de andere kant zijn er echt wel mensen die in testen duidelijk meer kunnen horen dan een gemiddeld iemand. Maar sommige dingen blijven toch wat subjectief en mensen horen ook dingen die ze willen horen.

Ik heb het hele project als positief ervaren, vind evenals mijn kinderen dat ze erg goed klinken en mijn vrouw vindt er het hare van. Die vindt ze te groot en ze mogen de kamer niet in. Maar de kinderen vinden het geen probleem om de speakers in hun kamer te stallen.

# Bouwtekeningen

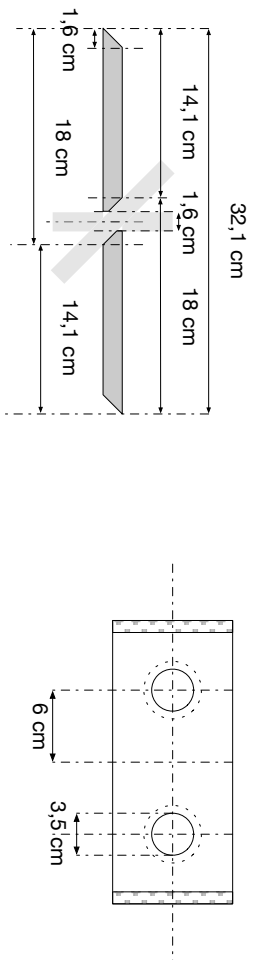


**Zijkant**  
 22 mm MDF, 2 korte randen  
 plus 1 lange rand 45 graden,  
 sleuven 16 mm breed,  
 10(,2) mm diep.

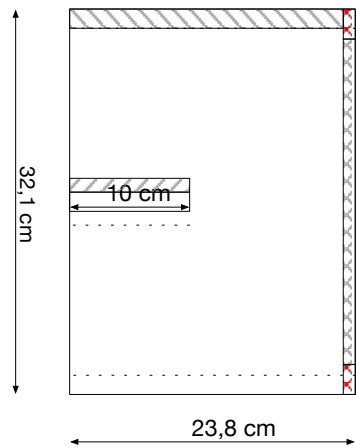
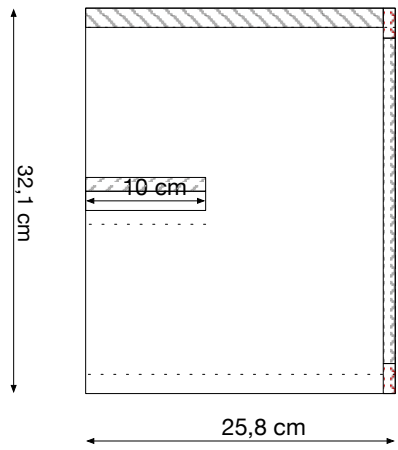


### Binnen

MDF 16 mm binnen schotten



Hoekjes weghalen i.v.m.  
sleuf die gefreesd is.

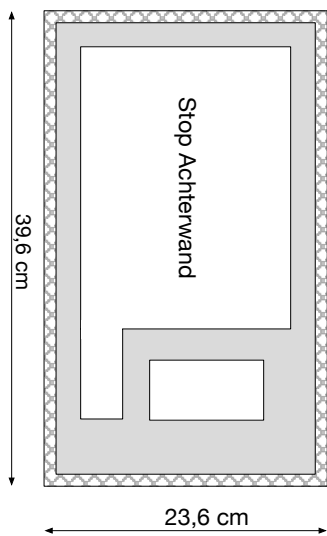


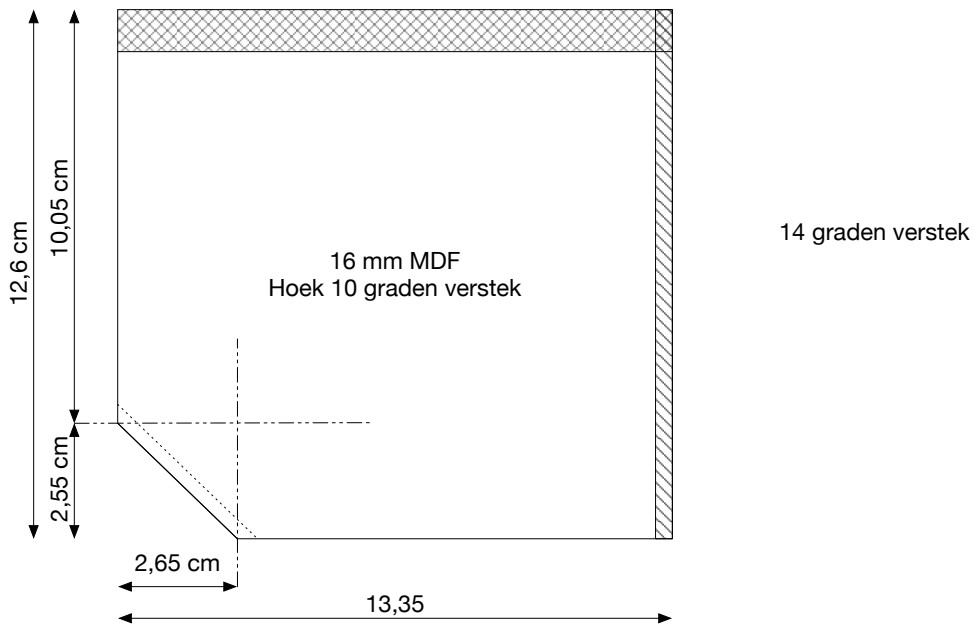
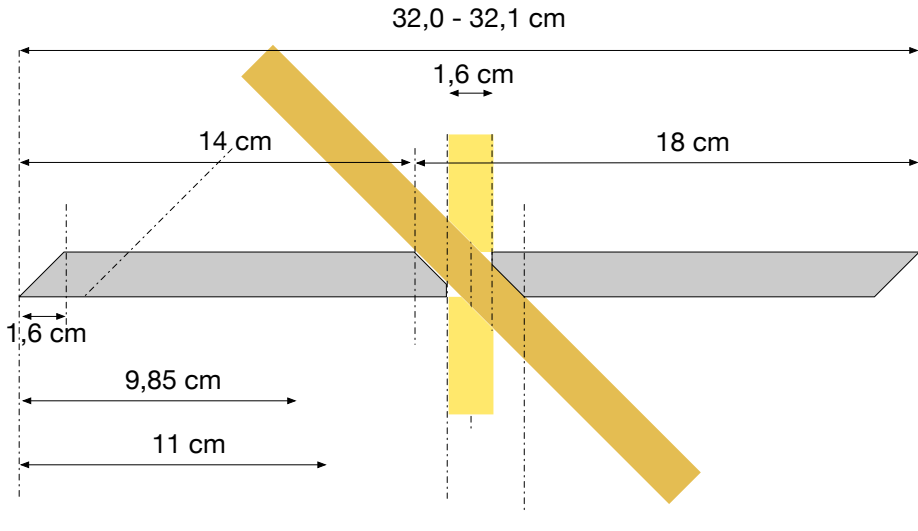
Vanwege diepte sleuf, 26,1 & 26,3 i.p.v. 25,8

Vanwege diepte sleuf, 23,9 i.p.v. 23,8

### Achter

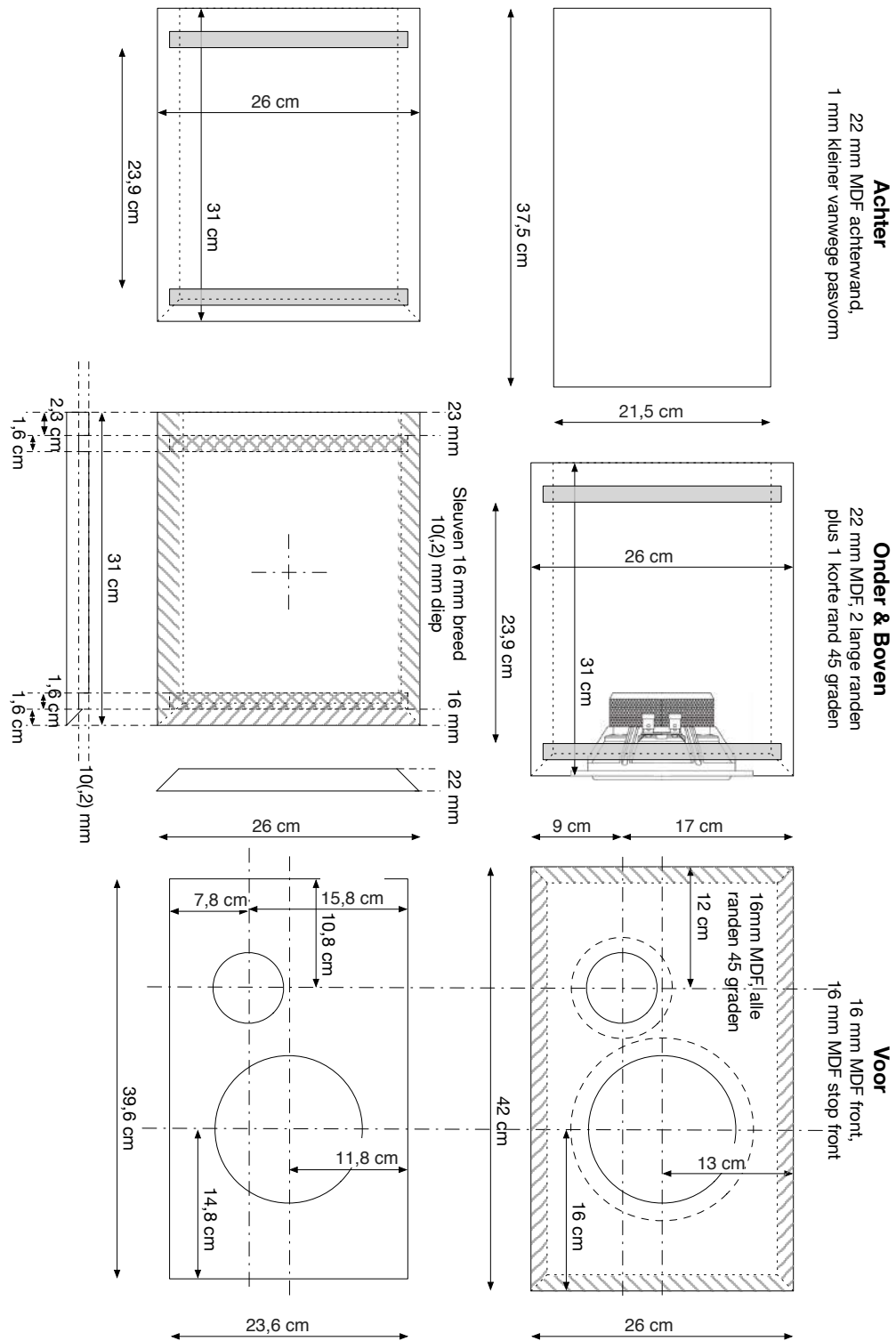
16 mm MDF stop achterwand



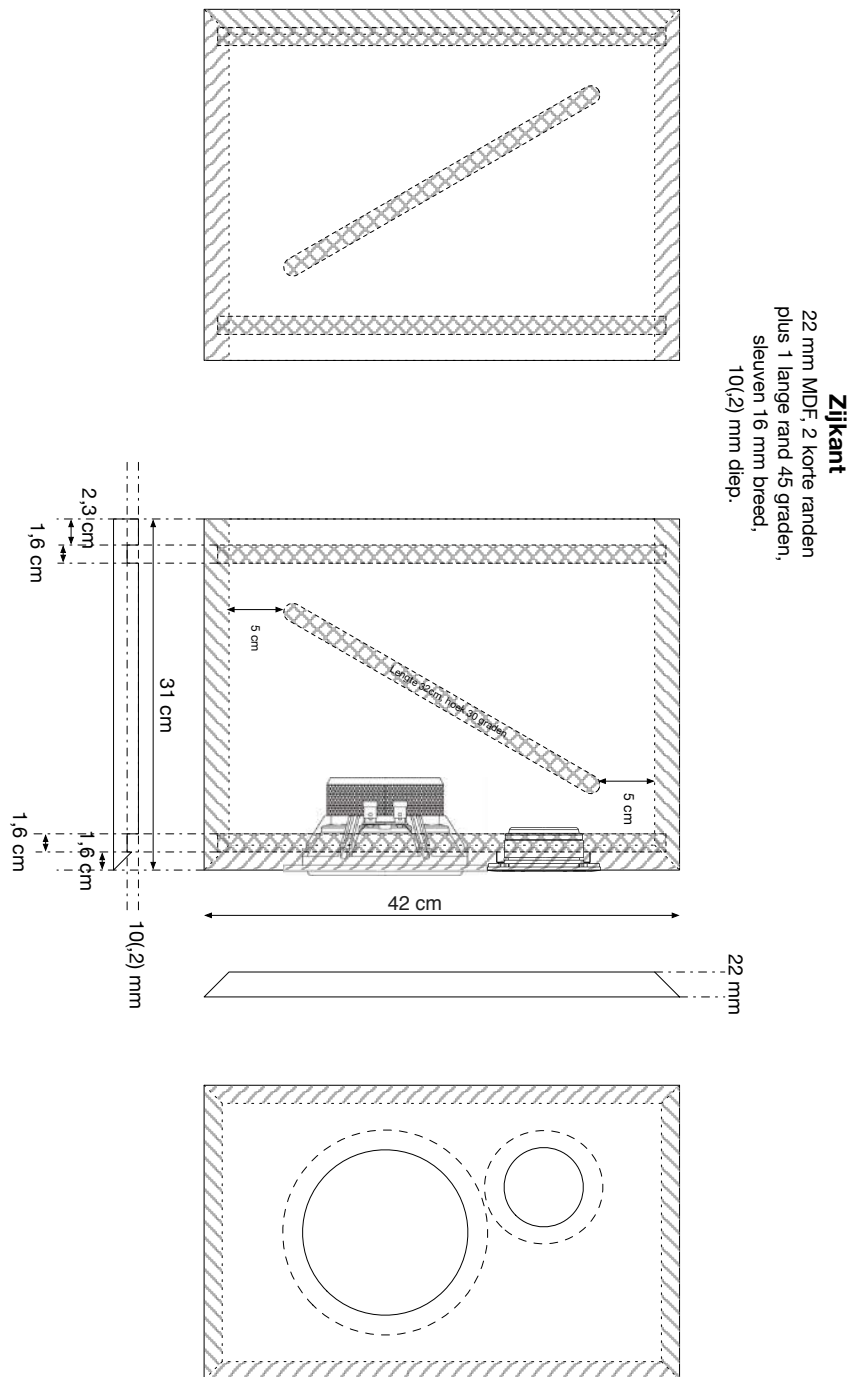


# Bouwtekeningen simpele versie

Een mogelijk wat simpele versie, dit ontwerp is niet gebouwd en uitprobeernd!



Raad aan met dit ontwerp om in ieder geval de zijpanelen en voorkant van schuin tussenschot te bekleden met de 2 cm dik 40kg/m<sup>3</sup> polyester wol. En de boven en onderkant te bekleden met 5 cm dik 20kg/m<sup>3</sup> polyester wol. Lucht die van de voorkant naar de achterkant wil moet dan door de 5 cm dikke wol heen. De lichtsnelheid zal daar relatief hoog zijn en dan kan daar het dempingsmateriaal goed zijn werk doen.



## Lijst van afbeeldingen

<i>Figuur 1</i>	<i>Indruk van door en door gekleurd MDF</i>	<i>7</i>
<i>Figuur 2</i>	<i>Opname van een hoek waar drie panelen met een verstek van 45 graden bij elkaar komen</i>	<i>7</i>
<i>Figuur 3</i>	<i>De "freestafel", doet al meer als 20 jaar dienst</i>	<i>8</i>
<i>Figuur 4</i>	<i>De geleiding van een sleuf frezen in actie</i>	<i>8</i>
<i>Figuur 5</i>	<i>Het hulp stuk om cirkels te frezen</i>	<i>9</i>
<i>Figuur 6</i>	<i>Test op een proef plank, in het midden het gat waar de pin in gaat en de plank met frees omheen draait</i>	<i>9</i>
<i>Figuur 7</i>	<i>Zorg dat binnenkant verbonden blijft met buitenkant en snij laatste stukjes los</i>	<i>10</i>
<i>Figuur 8</i>	<i>Met laserscanner is de cone-breakup zichtbaar gemaakt van een willekeurige woofer</i>	<i>13</i>
<i>Figuur 9</i>	<i>Simulatie van diffractie van de tweeter en de gemeten response</i>	<i>16</i>
<i>Figuur 10</i>	<i>Indicatie van response als tweeter in midden geplaatst zou zijn</i>	<i>16</i>
<i>Figuur 11</i>	<i>Simulatie van plaatsing van de woofer en de uiteindelijke response</i>	<i>17</i>
<i>Figuur 12</i>	<i>Zijpaneel en onder/boven paneel en hoe deze panelen via sleuf en 16mm MDF verbonden worden</i>	<i>18</i>
<i>Figuur 13</i>	<i>Frezen van sleuf onder 45 graden</i>	<i>19</i>
<i>Figuur 14</i>	<i>Het frezen van de andere schuine sleuf</i>	<i>20</i>
<i>Figuur 15</i>	<i>Zijpaneel met schotten en onder/boven paneel met schot, daar waar kan rond afgewerkt</i>	<i>21</i>
<i>Figuur 16</i>	<i>Het aftekenen en op maat maken van de kleine schotten, zorg voor een paar tiende mm spelling bij proefpassen</i>	<i>21</i>
<i>Figuur 17</i>	<i>Inkijk vanaf voorkant zonder voorschot en vanaf zijkant maar nu wel met voor en achter schot erin</i>	<i>22</i>
<i>Figuur 18</i>	<i>Inkijk zijkant en achterkant maar nu zijn voor en achterschot met juiste uitsparingen geplaatst</i>	<i>22</i>
<i>Figuur 19</i>	<i>Voorkant met voorschot en met het uiteindelijke front panel ertegen</i>	<i>23</i>
<i>Figuur 20</i>	<i>De voor en achter panelen</i>	<i>23</i>
<i>Figuur 21</i>	<i>Aanbrengen van dempingsmateriaal</i>	<i>24</i>
<i>Figuur 22</i>	<i>Als de beklede panelen in elkaar gezet worden komt het er zo uit te zien</i>	<i>25</i>
<i>Figuur 23</i>	<i>Indruk van de driehoeken 20kg/m<sup>3</sup> dempingsmateriaal dat wordt aangebracht</i>	<i>26</i>
<i>Figuur 24</i>	<i>Het in elkaar lijmen van de box met spanbanden en lijmklemmen</i>	<i>27</i>
<i>Figuur 25</i>	<i>Het vastlijmen van het front paneel</i>	<i>28</i>
<i>Figuur 26</i>	<i>De afgebouwde speakers na drie lagen PU-lak, de 40uF condensator ter beveiliging van de tweeter tegen DC-spanningen is ook zichtbaar</i>	<i>28</i>
<i>Figuur 27</i>	<i>Vergelijkende luister test, tevens is te zien dat er linker en een rechter speaker is</i>	<i>29</i>
<i>Figuur 28</i>	<i>Het achter paneel met voeding, versterkerboard en de aansluitingen</i>	<i>30</i>
<i>Figuur 29</i>	<i>De aansluitplaat met de verschillende aansluitingen</i>	<i>31</i>
<i>Figuur 30</i>	<i>De uiteindelijke versie van aansluitplaat</i>	<i>32</i>
<i>Figuur 31</i>	<i>Programmeer bord met nieuwe kabel met mini DIN plug en bord aangesloten op box</i>	<i>33</i>
<i>Figuur 32</i>	<i>De C13 230V aansluiting</i>	<i>33</i>
<i>Figuur 33</i>	<i>Een experimenteer printje met daarop de schakeling</i>	<i>34</i>
<i>Figuur 34</i>	<i>Het schema van de schakeling</i>	<i>35</i>
<i>Figuur 35</i>	<i>De LED's van de rotary encoder in actie</i>	<i>36</i>
<i>Figuur 36</i>	<i>Volume en Loudness gedeelte met Rotary Encoder en LED aansturing</i>	<i>39</i>
<i>Figuur 37</i>	<i>Het hoofdschema in Sigmastudio dat gebruikt maakt van het "Volume and Loudness" hiërarchisch block</i>	<i>40</i>
<i>Figuur 38</i>	<i>De gewenste loudness curves zoals gemeten</i>	<i>40</i>
<i>Figuur 39</i>	<i>De inverse curves, waarop automatic EQ in Sigmastudio los gelaten is</i>	<i>41</i>
<i>Figuur 40</i>	<i>De impedantiemeting van de twee RS180-4 drivers</i>	<i>44</i>
<i>Figuur 41</i>	<i>Impedantiemeting gesloten kast</i>	<i>44</i>
<i>Figuur 42</i>	<i>De meetopstelling in de achtertuin, dit gaf me een mogelijke "gate" tijd van 5.5 ms</i>	<i>45</i>
<i>Figuur 43</i>	<i>De response van de twee RS180-4 woofers en in licht groen de simulatie van diffractie</i>	<i>46</i>
<i>Figuur 44</i>	<i>Responses zonder gate van 5.5 ms</i>	<i>47</i>
<i>Figuur 45</i>	<i>Importeer de "gated" meting</i>	<i>48</i>
<i>Figuur 46</i>	<i>Stel "Target Gain" en het gebied in dat gecorrigeerd moet worden in</i>	<i>48</i>
<i>Figuur 47</i>	<i>Stel aantal filters in, 5 in dit geval en druk op "Design Filters"</i>	<i>49</i>
<i>Figuur 48</i>	<i>De gegenereerde filters, deze moeten met de hand gekopieerd worden</i>	<i>49</i>
<i>Figuur 49</i>	<i>Instellen van filter om laag wat verder door te trekken</i>	<i>50</i>
<i>Figuur 50</i>	<i>Een mogelijke filter instelling</i>	<i>51</i>

<i>Figuur 51 Groen is de diffractie simulatie, paars de dichtbij meting, blauw de combinatie hiervan (A * B) en in rood ter referentie de "gated" meting .....</i>	<i>51</i>
<i>Figuur 52 De exportinstellingen voor exporteren van "A * B" meting.....</i>	<i>52</i>
<i>Figuur 53 Laden frequentie response in Sigmastudio in Automatic EQ block.....</i>	<i>53</i>
<i>Figuur 54 Instellen van gebied van correctie en target gain.....</i>	<i>53</i>
<i>Figuur 55 Genereren van filter instellingen .....</i>	<i>54</i>
<i>Figuur 56 De filters die gegenereerd zijn.....</i>	<i>54</i>
<i>Figuur 57 Gated meting na parametrische EQ, door window van 5.5 ms is ook fase beneden 200 Hz niet betrouwbaar.....</i>	<i>55</i>
<i>Figuur 58 Het 5.5ms window van de meting verwijderd, effecten van reflecties zijn zichtbaar maar geeft beter beeld fase verloop.....</i>	<i>55</i>
<i>Figuur 59 Correcties in FIR-filter, zodat deze tot voorbij de 2 kHz vlak loopt.....</i>	<i>56</i>
<i>Figuur 60 De instelling in Rephase van cross-over filter.....</i>	<i>56</i>
<i>Figuur 61 de instellingen van een paar EQ filters in Rephase.....</i>	<i>57</i>
<i>Figuur 62 De gemeten response van de "normale" EQ plus FIR-filter met cross-over.....</i>	<i>57</i>
<i>Figuur 63 De frequentie response van de tweeters, zonder correctie, ingebouwd in behuizing.....</i>	<i>58</i>
<i>Figuur 64 De fase responses van de SB26ADC-C000-4 tweeters.....</i>	<i>58</i>
<i>Figuur 65 Indruk van hoe filter instellen in REW in zijn werk gaat.....</i>	<i>59</i>
<i>Figuur 66 Frequentie response van tweeter gecorrigeerd en fase vlak gemaakt in overgangsgebied.....</i>	<i>60</i>
<i>Figuur 67 Op "General" tab kun je aangeven dat fase geïnverteerd moet worden en is niveau aan te passen .....</i>	<i>60</i>
<i>Figuur 68 Tweeter is feitelijk een closed systeem, door dit aan te geven en resonantiefrequentie op te geven wordt fase response behoorlijk vlak getrokken. ....</i>	<i>61</i>
<i>Figuur 69 Het ingestelde cross-over filter.....</i>	<i>61</i>
<i>Figuur 70 Na instellen van cross-over filter van tweeter en het weer aanzetten van de woofer kan dit het resultaat zijn.....</i>	<i>62</i>
<i>Figuur 71 Response na bijstellen niveau tweeter, met gate window van 5.5ms.....</i>	<i>62</i>
<i>Figuur 72 Response van de andere speaker, met gate window van 5.5ms .....</i>	<i>63</i>
<i>Figuur 73 Meting zonder gate maar dichterbij op 30 cm gemeten.....</i>	<i>63</i>
<i>Figuur 74 Gecombineerde meting in paars, van dichtbij en "gated" met 5.5 ms, overname bij 200 Hz .....</i>	<i>64</i>
<i>Figuur 75 Gecombineerde fase meting in paars .....</i>	<i>64</i>
<i>Figuur 76 Impulse &amp; step response linker speaker.....</i>	<i>64</i>
<i>Figuur 77 Impulse &amp; step response rechter speaker .....</i>	<i>65</i>
<i>Figuur 78 Group delay linker speaker.....</i>	<i>65</i>
<i>Figuur 79 Group delay rechter speaker .....</i>	<i>65</i>
<i>Figuur 80 Vervorming linker speaker .....</i>	<i>66</i>
<i>Figuur 81 Vervorming rechter speaker.....</i>	<i>66</i>
<i>Figuur 82 Frequentieresponse van Tannoy Reveal 502, "Gated" meting 5.5 ms.....</i>	<i>68</i>