

Passief tweeweg met STX-drivers



Inhoudsopgave

INLEIDING	3
GEBRUIKTE MATERIALEN	3
GEBRUIKTE SOFTWARE	5
GEREEDSCHAP EN CONSTRUCTIE TIPS	5
DE OVERWEGINGEN BIJ ONTWERP EN DRIVER KEUZE	8
VERVAARDIGEN BEHUIZING	8
BAS-REFLEX OF GESLOTEN.....	8
KEUZE VAN WOOFER EN TWEETER + WAVEGUIDE.....	8
PLAATS VAN TWEETER EN WOOFER.....	10
DE CONSTRUCTIE VAN DE BEHUIZING	12
DE METINGEN	50
GEBRUIKTE APPARATUUR	50
IMPEDANTIEMETINGEN	53
WOOFER METINGEN.....	54
TWEETER METINGEN	56
CROSS-OVER FILTER	57
ONTWERP	57
BEOORDELEN CROSS-OVER MET DSP	61
BOUWEN VAN CROSS-OVER	62
<i>Nameten componenten</i>	62
<i>Assembleren cross-over en tunen 19 kHz notch</i>	64
VERIFICATIE METINGEN EN AFSTELLEN DSP	66
SLOTWOORD	72
BOUWTEKENINGEN	73
LIJST VAN AFBEELDINGEN	84

Inleiding

Dit document beschrijft het ontwerp, de bouw, het meten en van een set passieve 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.

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.

Het actieve speaker project is alweer een tijdje terug afgesloten en ook beschreven in een document (zie ook <http://zelfbouwaudio.nl/forum/viewtopic.php?f=59&t=27859>). De actieve speakers staan op de kamer van mijn dochter. Mijn zoon wou ook wel een paar leuke goede speakers voor zijn muziek hobby.

Besloten werd om dit keer een passief tweewegsysteem te maken, de speakers moesten op zijn bureau passen en zouden als near-field monitors gebruikt gaan worden. Mede vanwege dat het passieve speakers werden is gekozen om een waveguide toe te passen. Het akoestisch centrum van tweeter komt hierdoor wat naar achter en meer in lijn met de woofer. Het ontwerp van het passieve cross-over filter zou hierdoor gemakkelijker worden was de gedachte.

Met een actief DSP-systeem kun je door vertragen van signaal naar de tweeter de akoestische centrum altijd in lijn met elkaar brengen en die mogelijkheid is er dus niet met een passief systeem. Verder was de verwachting dat de powerresponse met waveguide beter zou uitvallen.

Gebruikte materialen

Woofer	W.18.200.8.MCX_v2	https://stx.pl/en/w-18-200-8-mcx-v2.html
Tweeter	T.10.200.8.ALX	https://stx.pl/en/t-10-200-8-alx.html
Waveguide	WG 148 R	https://www.visaton.de/en/products/accessories/waveguides-and-horns/waveguide-wg-148-r

Er is gekozen voor budget drivers uit Polen, voor net iets meer als 100 euro inclusief verzendkosten werden deze thuis bezorgd.

De MDF-onderdelen van de behuizing heb ik besteld bij:

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

Ik heb zwart MDF gebruikt, zodat afwerken makkelijk is, gewoon blanke PU-lak erover en klaar!

Opmaatzagen 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.

Om wat contrast te hebben en wat meer levendigheid is het front gemaakt uit twee op elkaar gelijmde bamboe snijplanken van de Ikea:

<https://www.ikea.com/nl/nl/p/aptitlig-snijplank-bamboe-80233430/>

De vrijwel alle cross-over componenten zijn besteld bij:

<https://www.rumoh.eu/>

Ik had nog twee 40 uF condensators over van ander project en die zijn hier ingezet.

Verder is voor demping witte polyester wol van 2 cm dik en een dichtheid van 40kg/m³ gebruikt en ook de lichtere variant van 20kg/m³ van 5cm dik. Dit materiaal is onder verschillende merknamen en bij verschillende leveranciers te verkrijgen. Ook dit was nog over van vorig project. Tevens is er Sonofil gebruikt als demping materiaal.

Gebruikte software

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. Tevens moet de impedantie van de drivers in de behuizing gemeten worden. In de handleiding van REW staat beschreven wat hiervoor nodig is. Feitelijk is dat alleen een weerstand en verder wat aansluitingen.

Enkele mogelijke simulatieprogramma's die men kan gebruiken.

VituixCAD	https://kimmosaunisto.net/Software/Software.html
WinISD	http://www.linearteam.org/
XSim	http://libinst.com/Xsim/
Edge	http://www.tolvan.com/index.php?page=/edge/edge.php
Rephase	https://rephase.org/

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.

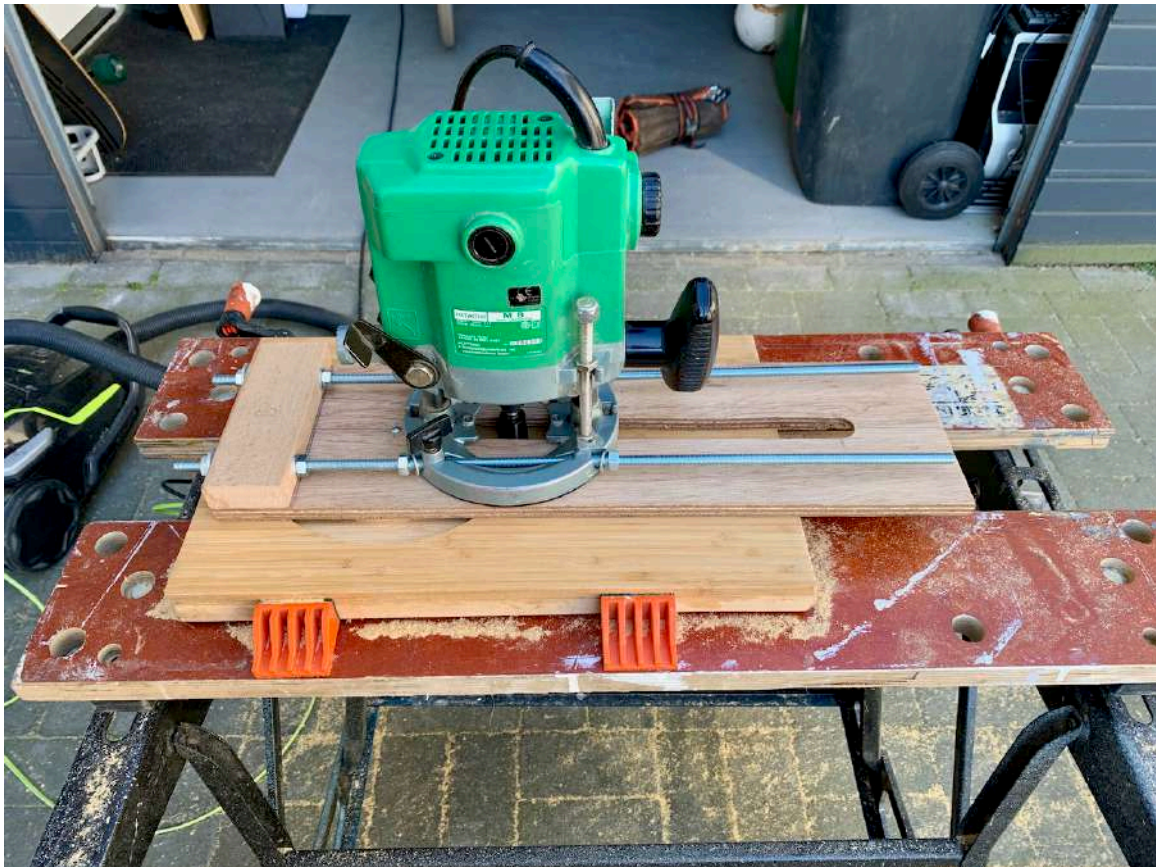


Figuur 1 De "freestafel", doet al meer als 20 jaar dienst.

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 2 De geleiding van een sleuf frezen in actie.



Figuur 3 Het hulpstuk dat gebruikt is om cirkels te frezen, door draadeinden is straal nauwkeurig in te stellen.

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 D3 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 driver 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 gebruikt 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. Een eenvoudige rechthoekige plank, die schuin geplaatst wordt is tevens een brace tussen de twee zijwanden.

Per box zijn er 2 wat lastiger plankjes met afwijkende verstek maten en schuine punt. Optioneel kunnen deze twee plankjes ook weggelaten worden om ontwerp eenvoudiger te maken. Wel zou ik dan de brace dikker uitvoeren in 16 mm MDF i.p.v. 12 mm dik MDF. De centrale brace wordt dan niet meer verstevigd door de twee flapjes die er schuin op staan.

Wat ook lastiger is om goed te doen, is het frezen van een schuine sleuf in de zijpanelen. Ondanks dat het een wat complexer ontwerp is, is het goed uitvoerbaar voor een hobbyist.

Bas-reflex of gesloten

Het is 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 inhoud. Dat maakt het ontwerp eenvoudiger er hoeft wat constructie betreft niet iets afgestemd te worden.

Het precies voorspelen van de kastinhoud met filter componenten is lastig en ook het gebruik van dempingsmateriaal maakt de kast “virtueel” groter. Vandaar dat er gekozen is voor een gesloten systeem.

In WinISD zijn de gegevens van de woofer ingevoerd en de kast inhoud bepaald zodat de Qtc rond de 0.7 of iets lager zou uitkomen. Het iets hoger of lager uitvallen van de Qtc door iets andere werkelijke parameters of inhoud is bij een gesloten box niet erg kritisch.

Keuze van Woofer en Tweeter + Waveguide

Er is gekozen voor drivers van STX, die werden door iemand aangeraden, als zijnde relatief goede drivers voor hun prijs.

Gezocht werd naar een woofer rond de 18 cm, gekeken naar de frequentieresponse en of de driver een relatief grote maximale uitslag had. Tevens werd ook de prijs meegewogen en hierdoor op de W.18.200.8.MCX_v2 uitgekomen.

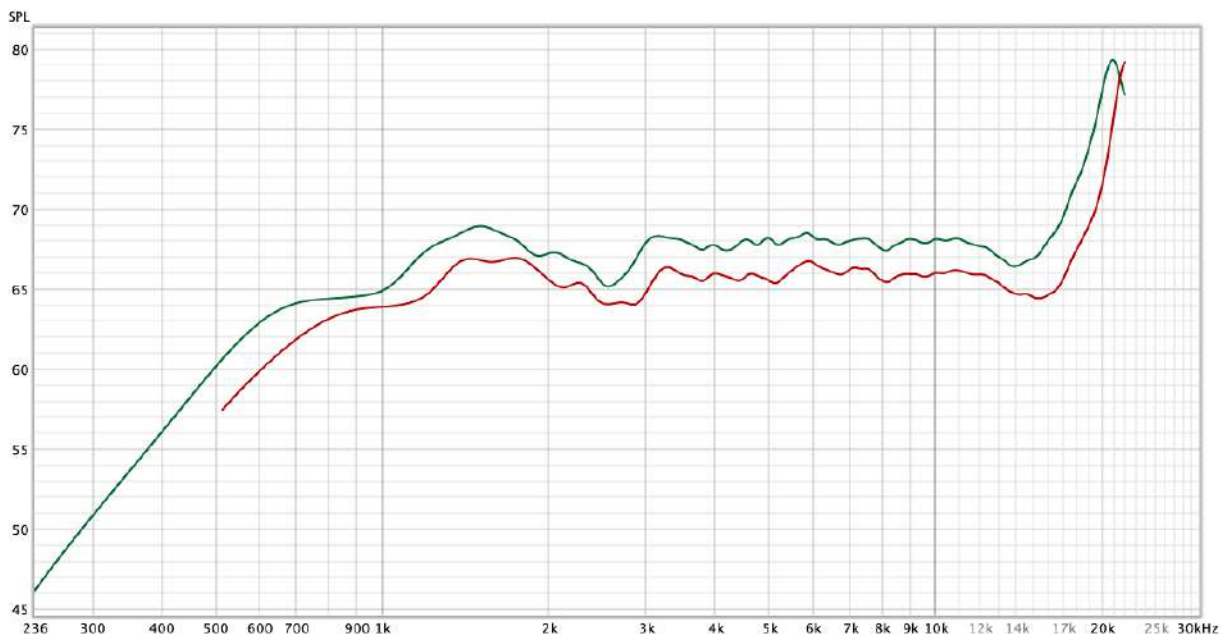
Voor de tweeter was prijs en een zo vlak mogelijke frequentieresponse een keuze criteria en toen op de T.10.200.8.ALX uitgekomen. In de praktijk bleek de gepubliceerde frequentieresponse iets te rooskleurig te zijn. Het was een tweeter met aluminium dome en die kunnen een nogal flinke cone breakup hebben.

In mijn vorige project is ook een tweeter gebruikt met aluminium dome en de fabrikant gaf aan dat de gebruikelijke resonantie tot ver boven de gehoorrens was opgeschoven en dat bleek ook zo te zijn. Dus vanwege die goede ervaring zag ik geen reden om niet een tweeter met aluminium dome te gebruiken.

Echter eenmaal gearriveerd en nagemeten bleken beide tweeters deze resonantie piek rond de 20 kHz te hebben. Voor de zekerheid is in het filter ontwerp een notch rond deze frequentie toegepast om deze resonantie te onderdrukken.

Als het kan meet ik tweeters eerst in een grote baffle. Voor ongeveer 7 euro heb je een plaat MDF van 61x122 cm en kun je een tweeter meten op ca 30 cm. Er zijn dan weinig diffractie effecten door meet afstand en formaat van de baffle en kun je de frequentieresponse van de tweeter zelf goed beoordelen.

Als je deze meting later naast de metingen in de uiteindelijke behuizing houdt, kun je goed samen met de powerresponse beoordelen of bepaalde dingen diffractie effecten zijn of niet. Pieken en dalen door diffractie moet je dan niet proberen te corrigeren.



Figuur 4 Response van beide STX-tweeters in een grote baffle, voor leesbaarheid zijn de grafieken iets uit elkaar geplaatst

In Figuur 4 is duidelijk de resonantie piek van de aluminium dome zichtbaar. Tevens is duidelijk dat dipje tussen 2 a 3 kHz iets van de tweeter zelf is en dus gecorrigeerd mag worden. In hoeverre dit haalbaar is in een passief systeem is een tweede.

Dipjes boven de 10 kHz moet je mee oppassen, de (halve) golflengte komt in de buurt van de dome diameter en daardoor kan het de interferentie tussen de top van de dome en de rand zijn, waardoor er rechtuit b.v. een dipje ontstaat, maar de energie wel naar opzij gaat. Afwijkingen in dit gebied moet je ook altijd beoordelen met de powerresponse voordat je besluit om die dingen te corrigeren.

De powerresponse is een soort van gemiddelde van metingen in verschillende richting. Het gaat om de hoeveelheid energie (power) die een luidspreker de ruimte instraalt. Het is belangrijk dat niet alleen de frequentie response on-axis rustig en vlak verloopt, maar de powerresponse moet ook rustig verlopen.

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.

Je gaat dan bij cross-over over van een driver die zijn energie wat naar voren aan het bundelen is over naar een driver die meer rondom zijn energie uitstraalt. Je zult dan ook rondom de cross-over frequentie dan ook een wat onregelmatige powerresponse zien.

Door gebruik van een waveguide voor de tweeter zal die ook bij lagere frequenties zijn energie wat meer gaan bundelen en is de aansluiting op de woofer beter. De powerresponse zou dan rondom de cross-over frequentie wat beter moeten verlopen.

Verder is het natuurlijk mogelijk om dit ontwerp te gebruiken met andere drivers. Het is een gesloten systeem, die zijn zoals vermeld minder kritisch. Zolang de gebruikte woofer ongeveer een vergelijkbare diameter heeft en zich redelijk thuis voelt in een behuizing van 12 liter dan kan die ook gebruikt worden.

Hetzelfde geldt voor de tweeter, een andere tweeter die goed te combineren is met de WG 148 R kan ook rustig ingezet worden. Onlangs is er een blog bij SoundImports verschenen, waarbij ze zijn nagegaan welke tweeters in ieder geval mechanisch goed met een waveguide combineren. <https://www.soundimports.eu/nl/blogs/blog/wave-guiding-your-favourite-tweeter/>

Een mogelijke combinatie om te overwegen is b.v. de SB Acoustics SB17NRX2C35-4 met de Tang Band 25-1166SJ. En ook andere combinaties zullen zeker mogelijk zijn.

Met een andere driver combinatie, moet natuurlijk ook het cross-over filter hierop aangepast worden. De boven genoemde andere drivers zijn 4 ohm i.p.v. 8 ohm nominaal, dus zullen de spoelen en condensatoren groter worden en dus duurder uitvallen.

Met een andere woofer, zal ook gat in front voor de woofer anders uitvallen, de werktekeningen zullen dan wat dat betreft niet meer kloppen.

Plaats van tweeter en woofer

Er is gekozen om de tweeter in het midden te zetten. Gezien de waveguide en de niet enorm grote kastmaat is er ook niet echt de keuze om tweeter uit midden te plaatsen. Wel is er met simulatie gekeken wat binnen de mogelijkheden de beste hoogte van de tweeter was om de

diffRACTIE effecten zo klein mogelijk te houden. Vanwege gebruik waveguide zijn diffRACTIE effecten zo wie zo minder.

Een programma om diffRACTIE effecten te simuleren is "Edge". Een ander mogelijk programma waarmee de diffRACTIE en ook andere effecten gesimuleerd kan worden is VituixCAD. Ik heb verschillende simulators van diffRACTIE uitgetprobeerd, maar ze wijken allemaal behoorlijk af van wat je daadwerkelijk meet. Dus mijn vertrouwen in simulaties van diffRACTIE is niet erg groot.

De simulaties van diffRACTIE geven naar mijn mening wel een indicatie of optie A wel of niet beter is dan B, maar de absolute hoogte van de pieken en dipjes en hun plaats qua frequentie kan er rustig wat naast zitten. Nu moet je zo wie zo voorzichtig zijn met het corrigeren van diffRACTIE effecten. On-Axis kun je dan pieken en dipjes meten en die proberen te corrigeren. Zeker met een actief DSP systeem kan dat vrij gemakkelijk, passief is dat net wat anders.

Stel dat er een dipje is, dan is die er op de positie waar je meet. Waarschijnlijk straalt de driver in werkelijkheid op die frequentie niet echt minder energie uit. Maar door diffRACTIE gaan b.v. de randen van je box zelf weer als bron fungeren. Deze diffRACTIE bronnen interfereren met het geluid wat direct komt. Bij een dipje is er waarschijnlijk dus uitdoving op de plek waar je meet.

Op een andere plek kunnen de dingen gaan optellen en zou je een piek kunnen meten. Dus de energie gaat wel gewoon de ruimte in en dus heeft het niet zo veel zin om diffRACTIE effecten proberen te corrigeren. Want je verbetert het voor de ene plek en maak het tegelijk slechter op een andere plek.

Wel kun je met b.v. diffRACTIE simulaties kijken of diffRACTIE effecten beter worden als je een tweeter b.v. iets verplaatst, dus kijken of plaats A beter is dan B. Verwacht echter niet dat als je het uiteindelijk ga nameten dat je precies dezelfde curve terug gaat zien als de simulaties hebben voorspeld.

De baffle step, laat zich veel beter simuleren. En zeker cross-over filters laten zich heel nauwkeurig simuleren, mits de simulator voorzien is van de juiste data.

De constructie van de behuizing

Een filmpje om een idee te krijgen van de kast constructie:

<https://www.dropbox.com/s/3tsp3evgbhwybll/View.MP4?dl=1>

Het ontwerp moet door de werktekeningen verderop en de foto's hieronder duidelijk gemaakt worden. De foto's en onderschrift teksten zoals die gebruikt zijn op het zelfbouwaudio.nl forum zullen hierbij gebruikt worden. Ook zal de nuttige informatie zoals o.a. verstrekt door zelfbouwaudio forum leden SSassen en pappaleo gebruikt worden om dingen te verduidelijken.



Figuur 5 In een bruine doos die netjes werd bezorgd, zaten deze dozen met de drivers.



Figuur 6 Uitgepakt zien de drivers er zo uit.

Ik vind het persoonlijk jammer dat de schroeven om de woofer mee vast te zetten niet verzonken in de ring geplaatst kunnen worden.

Hieronder wat foto's hoe de waveguide en tweeter eenvoudig is aan te passen, zodat die past op de tweeter.



Figuur 7 De aluminium frontplaat is eenvoudig van te tweeter te verwijderen, 4 schroeven moeten met inbus verwijderd worden.



Figuur 8 De schroefgaten op waveguide staan net iets verder uit elkaar dan die op de tweeter. Door de gaten op te boren van 4 naar 6 mm gaat het passen.



Figuur 9 De plaat van de tweeter kan nu op de waveguide geschroefd worden en de positie van de andere 4 gaten worden overgenomen.



Figuur 10 De positie van de gaten is overgenomen. Met kolomboor met 6mm boor het gat overnemen en iets inboren.



Figuur 11 Met 6 mm frees de gaten vlak maken en voldoende diep.



Figuur 12 De schroeven waarmee frontplaat van tweeter vast zit, kunnen nu verzinken in de waveguide.



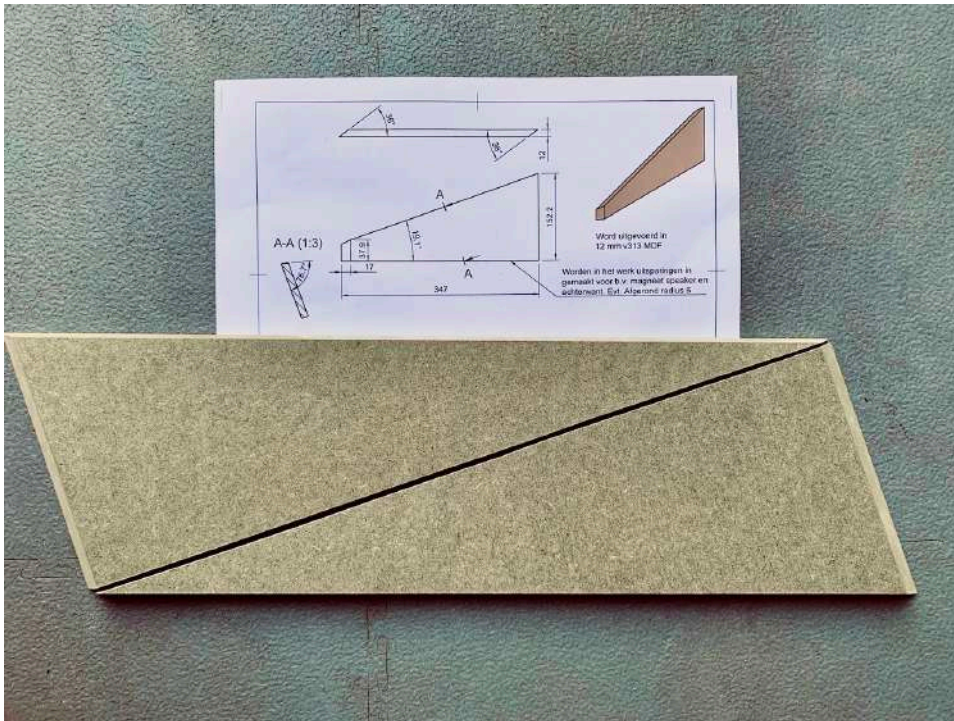
Figuur 13 Tweeter op waveguide geschroefd, er zijn zwarte schroeven meegeleverd, die zijn bij het proef passen nog niet gebruikt.



Figuur 14 En zo ziet het er uiteindelijk van voren uit.



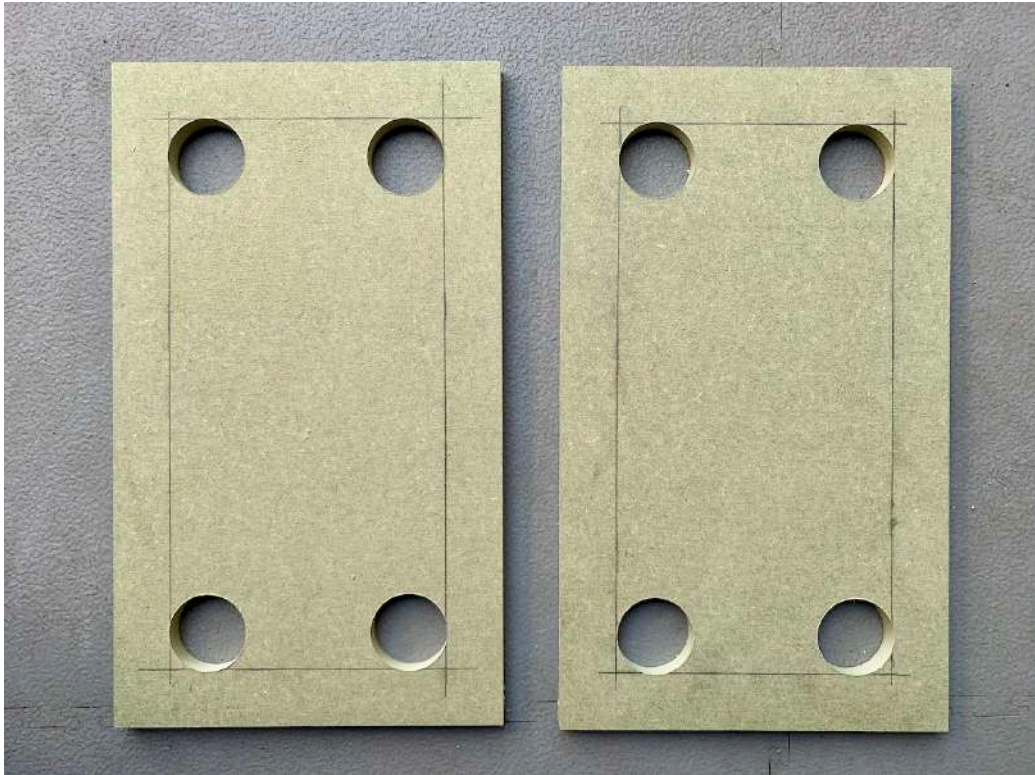
Figuur 15 Vanwege de kosten zijn twee flappen als een parallellogram besteld. Deze moet in tweeën gezaagd worden.



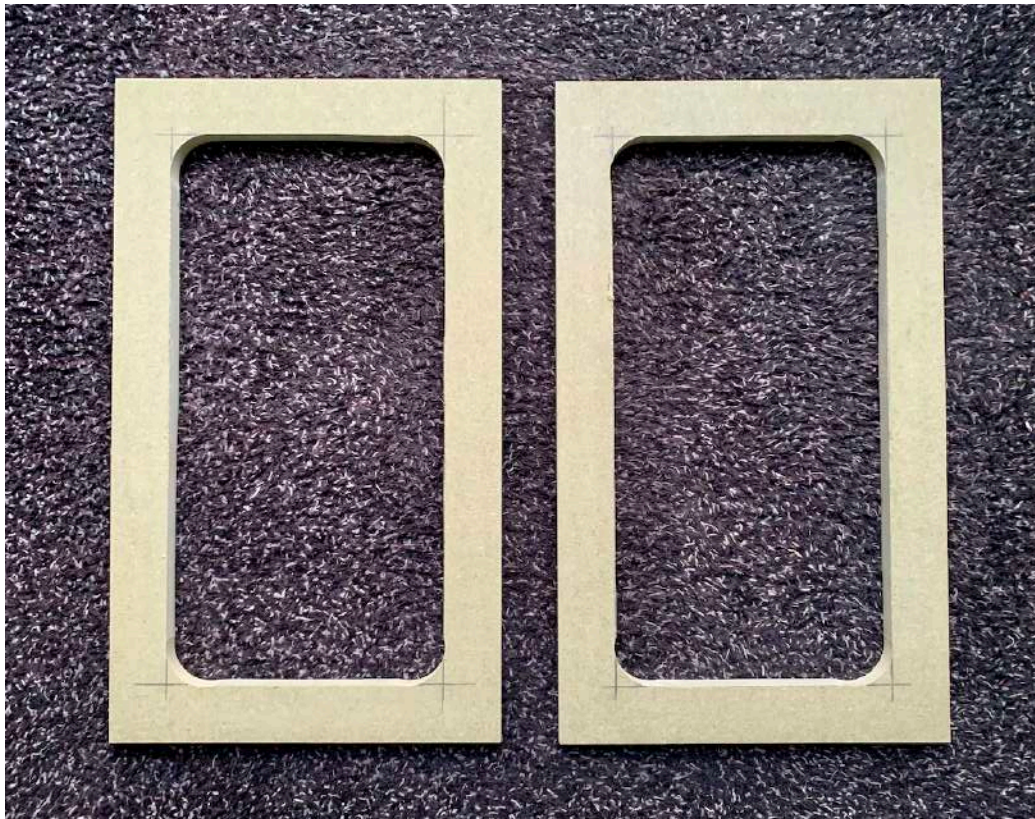
Figuur 16 De flappen gezaagd uit parallellogram, moet nog wat verder bewerkt worden.



Figuur 17 Boren van de gaten in achter tussenschot, dit schot komt in een gefreesde sleuf in zij en boven en onderkant. Het houdt deze kanten bij elkaar en achterwand wordt hier tegenaan geschroefd.



Figuur 18 De gaten zijn geboord.



Figuur 19 Met decoupeerzaag binnen stuk wegzaagd.



Figuur 20 Het frezen van de schuine sleuf voor de brace. De zijkant is ingeklemd tussen twee stukken MDF waarop een aluminium hoekprofiel als geleide wordt gebruikt. Borg werkstuk zodat die niet kan verschuiven, b.v. met duct tape.



Figuur 21 De sleuf is gefreesd.



Figuur 22 Front wordt met duvels op kast gefixeerd, zodat die bij lijmen niet kan verschuiven. Dus op een plank zijn hiervoor al gaten geboord. In de ander is gat geboord voor middelpunt om drivers uit te frezen.



Figuur 23 Bison woodmax erop.



Figuur 24 En dit uitgesmeerd, bleek dat met lijklemmen erop, de twee planken gemakkelijk wilde verdraaien, dus dat vervolgens anders aangepakt.



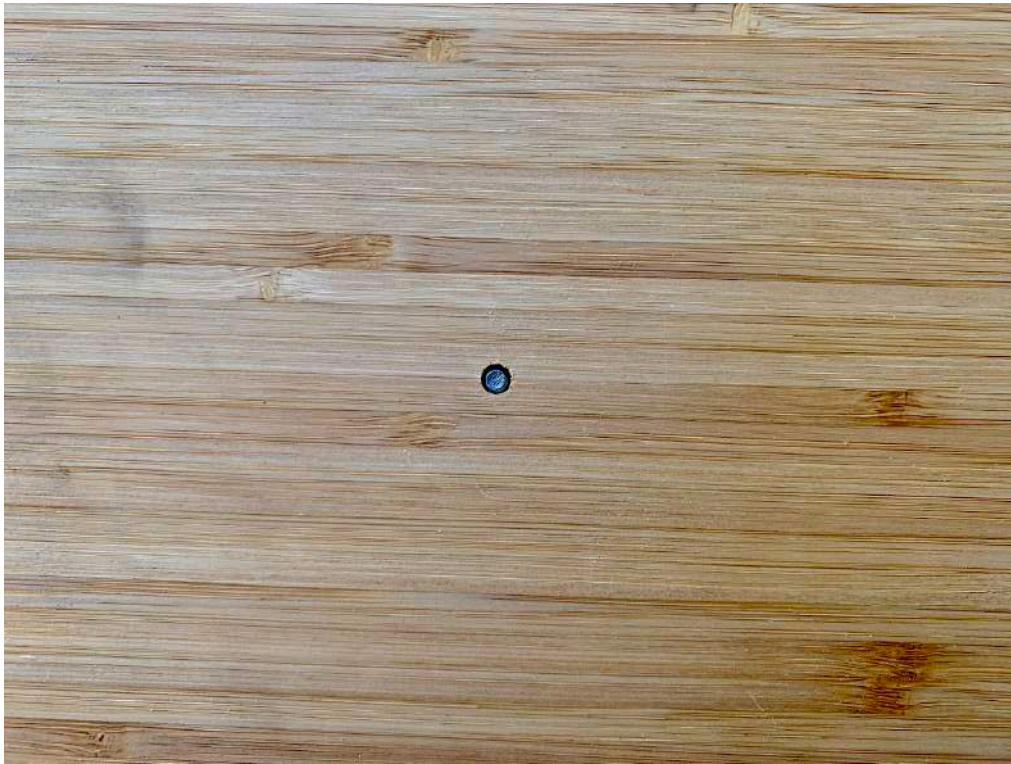
Figuur 25 De gaten als middelpunt voor frezen drivers, zijn nu ook overgenomen in de achterste bamboe snijplank, door hier twee pinnen door te doen tijdens lijmen, kunnen ze niet meer wegdraaien. t.o.v. elkaar.



Figuur 26 Wat schilders tape over de pinnen heen, zodat die er niet uit kunnen vallen.



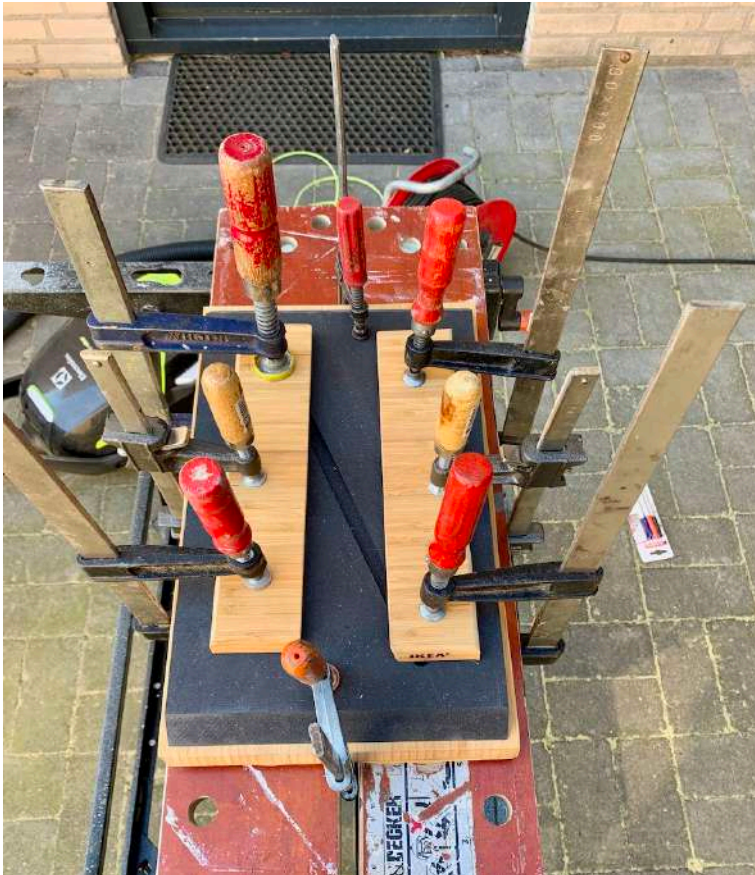
Figuur 27 De pinnen die ik had komen er net niet doorheen, deze komen wel wat vast te zitten met lijmen, maar zijn er eenvoudig uit te slaan met een hamer en een hulpstuk.



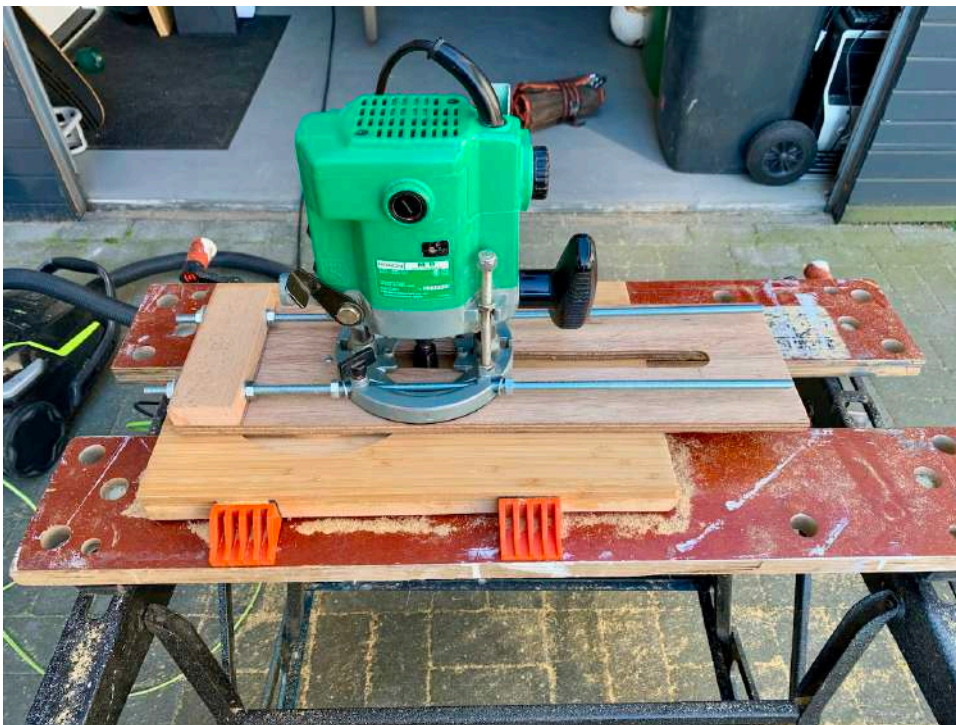
Figuur 28 Detail opname van gat met pin.



Figuur 29 Afplakken met tape, want er komt een plank overheen om de druk van de lijmklemmen te verdelen en er kan dus lijm uit gat komen en de aandrukplank moet hierdoor niet vastgelijmd worden.



Figuur 30 De twee planken worden met lijmklemmen tegen elkaar gedrukt.



Figuur 31 Frezen van de gaten voor de drivers, door de draadeinden, is de juiste straal eenvoudig nauwkeurig in te stellen.



Figuur 32 Laatste stukken worden even met decoupeerzaag gedaan, omdat anders het middelpunt niet meer gefixeerd is.



Figuur 33 Resultaat van het frezen, er is ook de nodige chamfer aangebracht bij de woofer aan de achterzijde..

Hou er verder rekening mee om de randen van het gat voor de woofer af te schuiven. 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 34 Even een hulpstuk gemaakt uit resthout, om juiste hoek af te schuiven. Hoek is 54 graden, de maximale hoek bij opmaatzagen is 46 graden, wat te weinig is, dus laatste stukje moet geschuurd worden.



Figuur 35 Het schuren van de juiste hoek.



Figuur 36 Proef passen en aftekenen.

De uitsparingen in de flapjes worden bepaald bij het proefpassen en dan afgetekend. Deze uitsparingen staan niet aangegeven op de werktekeningen.



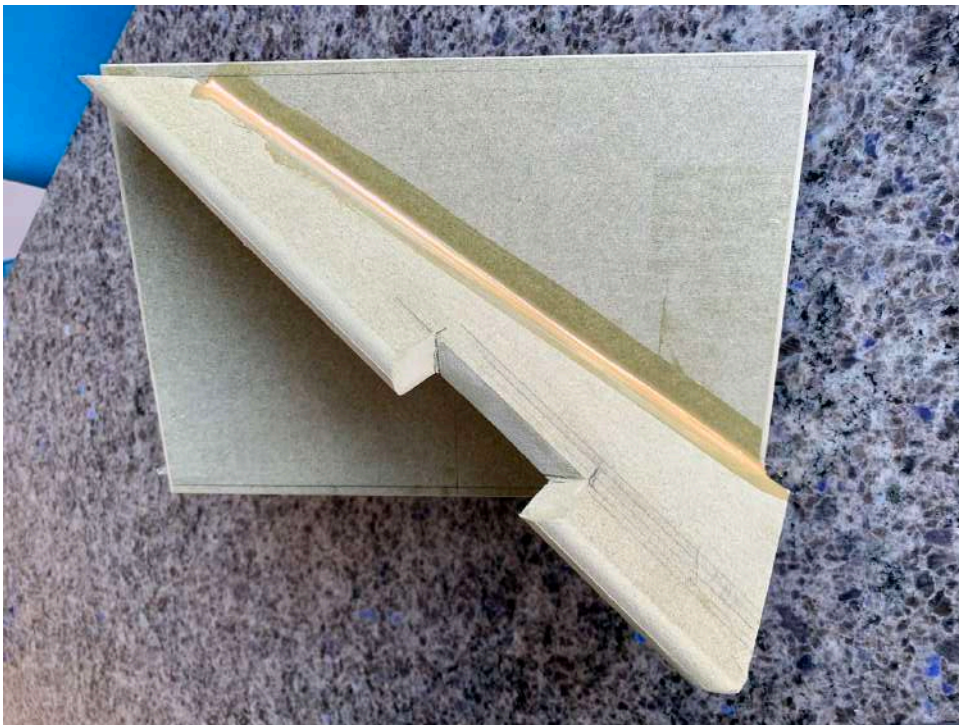
Figuur 37 De plaatst van de flap op schuine brace is afgetekend, Binnen de lijnen dus bison woodmax aanbrengen. Breng geen lijm aan bij de uiteinden, want het is niet de bedoeling dat het per ongeluk vastgelijmd wordt aan het zwarte MDF.



Figuur 38 Uitgehard is woodmax een enorm sterke lijm, de aanhecht kracht in begin is niet voldoende om plankje op zijn plaatst te houden. Met lijmpistool even een wat smeltlijm aangebracht om plankje op zijn plek te houden. Even aanbrengen vasthouden en wachten tot lijm afgekoeld is.



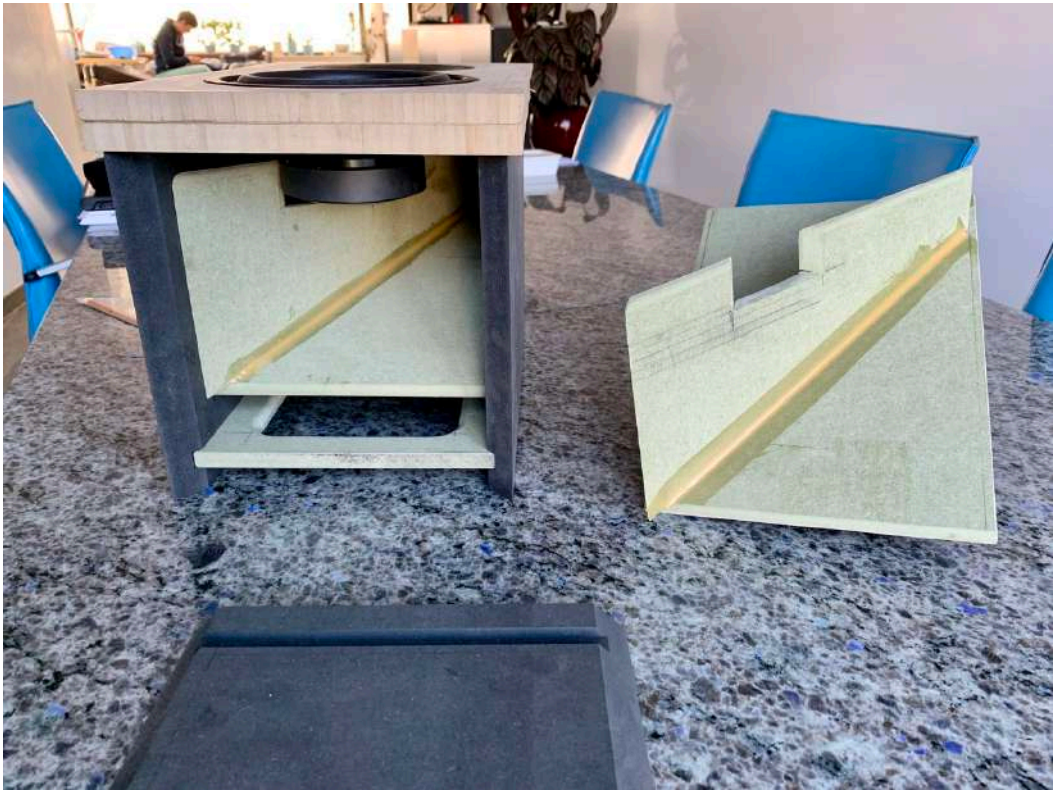
Figuur 39 Nog een detail van aangebrachte lijm met lijmpistool bovenin. Nadat woodmax voldoende uitgehard is kan lijm van lijmpistool weggesneden worden en naad eventueel afgestreaken met woodmax



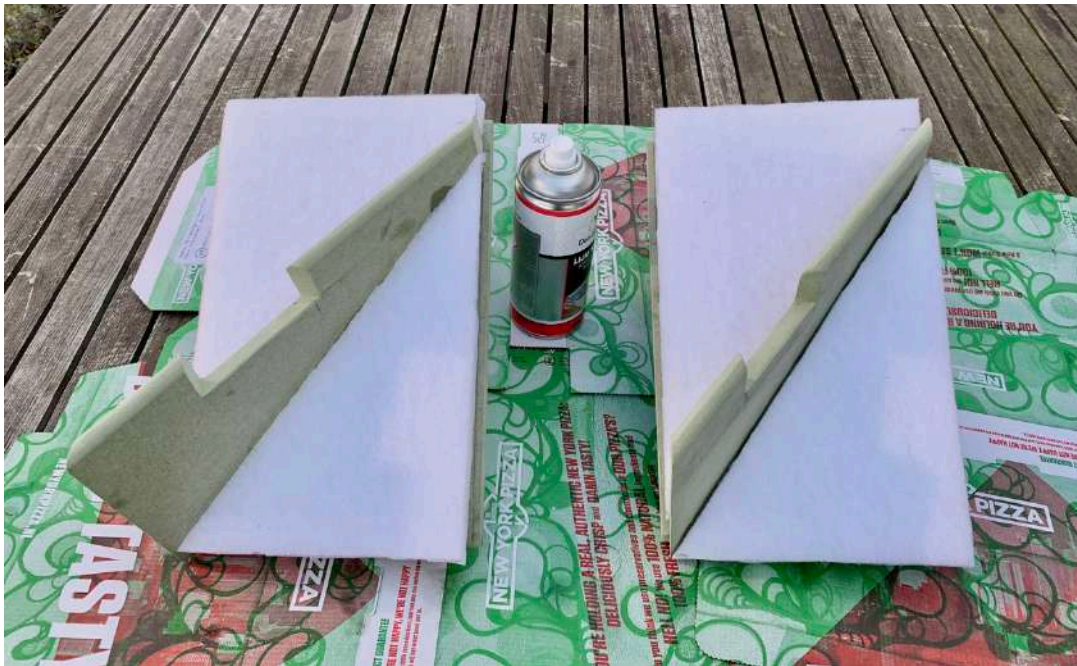
Figuur 40 Lijm van lijmpistool is weggesneden en naad is verder afgewerkt met woodmax.



Figuur 41 De drivers in front geplaatst.



Figuur 42 Proefpassen of uitsparing voor magneet ruim genoeg is.



Figuur 43 De voorkant van schuine brace is van demping voorzien 2 cm dik wat stevige persing Polyester wol.



Figuur 44 Alle boven en onderkanten voorzien van 4 cm dik polyester wol van wat lichtere persing.



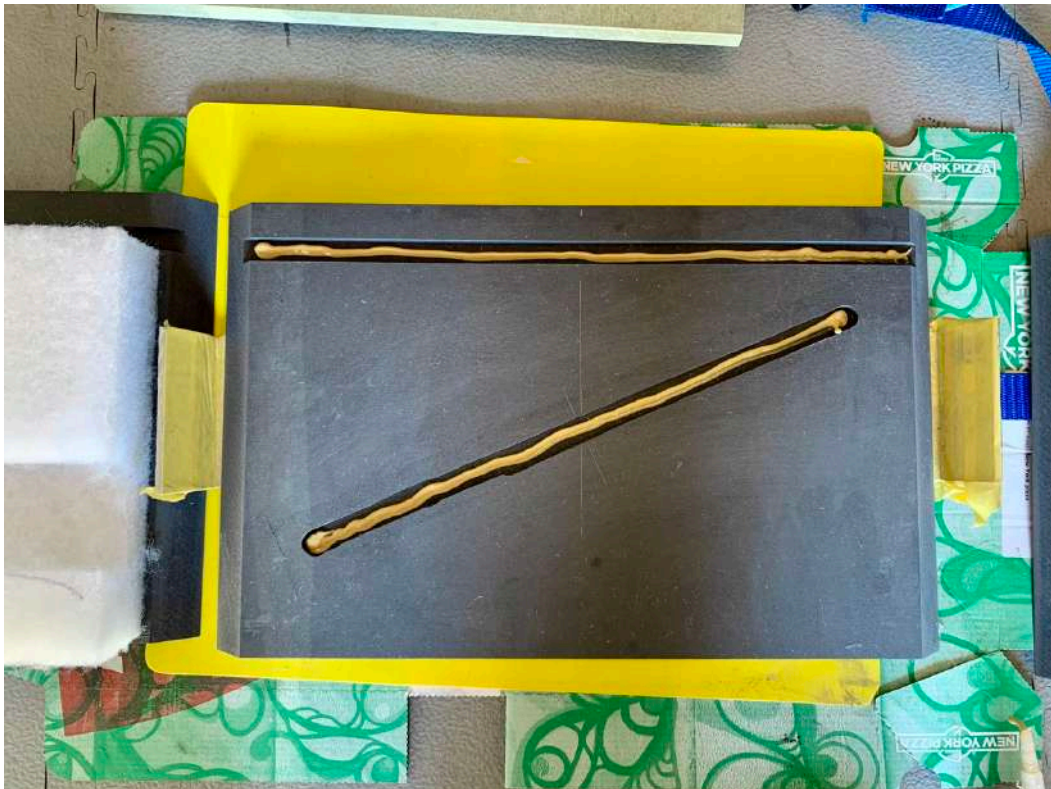
Figuur 45 De flap aan voorkant is nu ook van wat demping voorzien.



Figuur 46 Zo ziet het er ongeveer uit als je het in elkaar gaat zetten. Extra losse demping kan altijd nog aangebracht worden. Dat wat op wanden gelijmd wordt is aangebracht.



Figuur 47 Alles ligt klaar, de spanband de beschermers van de hoeken etc.



Figuur 48 Als eerste een streep lijm (bison woodmax) in de gefreesde sleuven. De sleuven zijn ongeveer een halve mm dieper dan de theoretische "past precies". Hierdoor loop je nooit hier als eerste vast en gaan de buiten naden goed sluiten. De lijm vult de ruimte die eventueel overblijft.



Figuur 49 De brace wat in sleuf valt, word van lijm voorzien.



Figuur 50 Lijm met spatel uitsmeren.



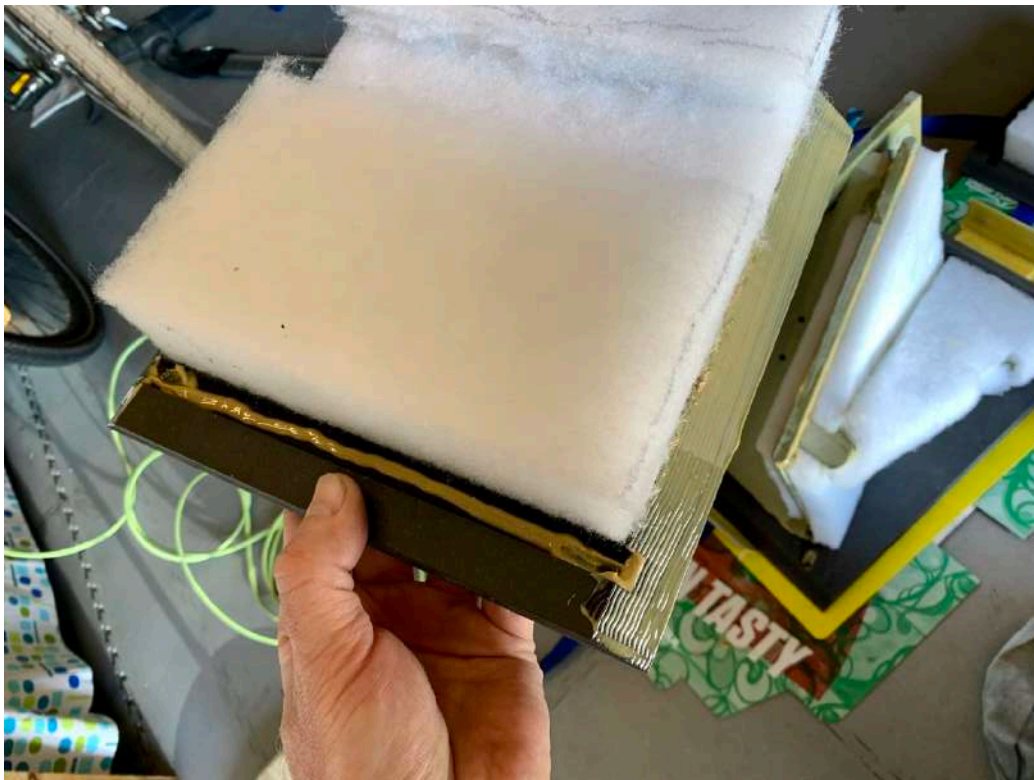
Figuur 51 De schuine kant van flap heeft wat speling dus ruim voorzien van lijm, deze komt op de linker zijwand.



Figuur 52 De brace wordt in schuine sleuf in linker zijwand geplaatst.



Figuur 53 Dan op achterschot aan beide kanten lijm aanbrengen en uitsmeren. Vervolgens in linker zijwand plaatsen.



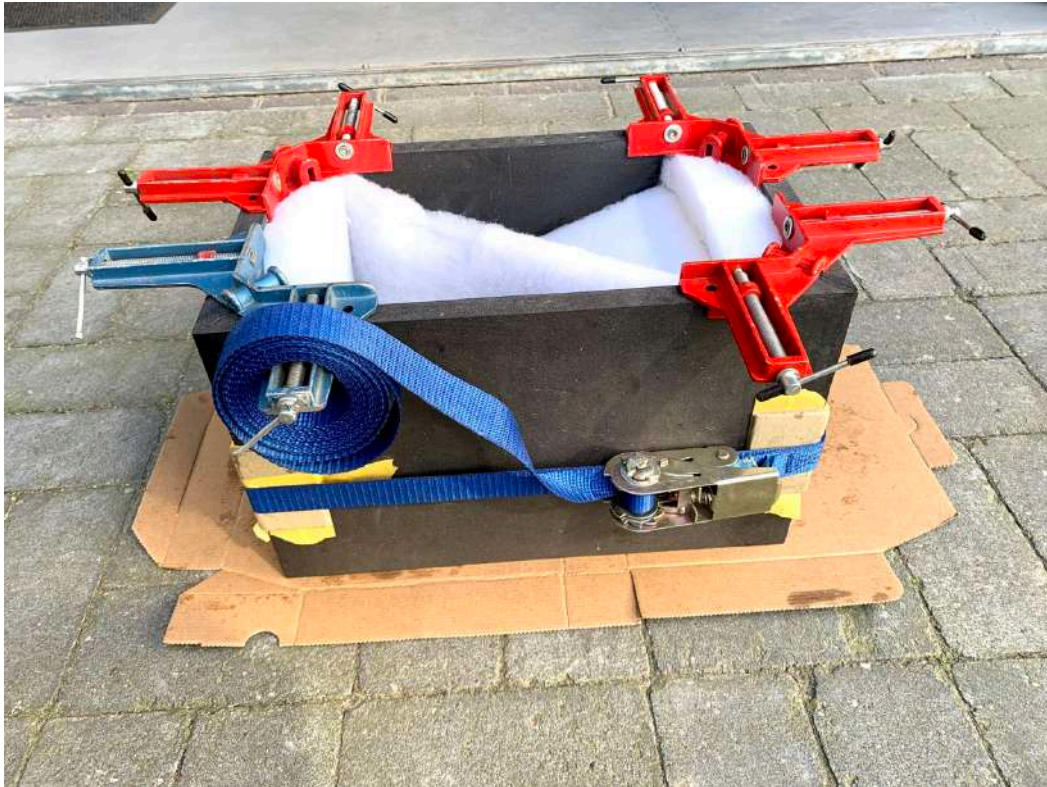
Figuur 54 De boven en onderkant van lijm voorzien. Uitsmeren op de schuine verstek zijde. In gleuf strook lijm aanbrengen, niet uitsmeren hier.



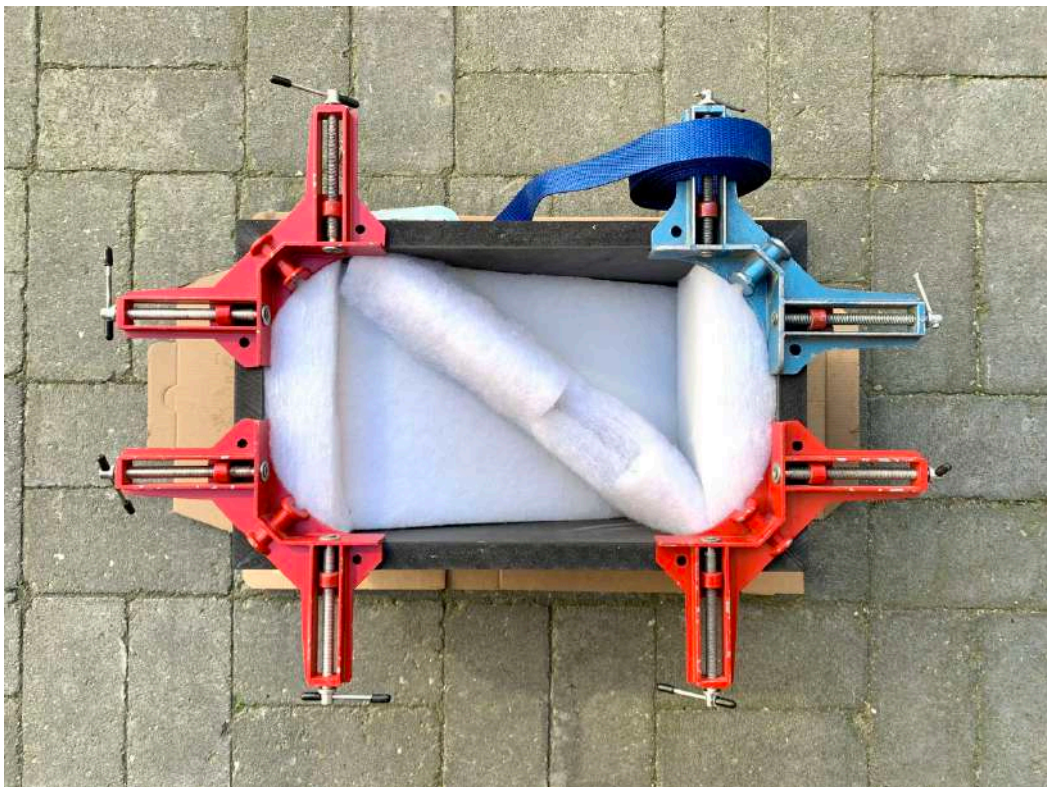
Figuur 55 De boven en onderkant worden ongeveer in positie gebracht.



Figuur 56 Een strook lijm wordt aangebracht in de sleuven van de rechter zijkant. Deze wordt vervolgens aangebracht en met spanband naar elkaar toe getrokken.



Figuur 57 Door het achterschot die in sleuf valt en de brace die ook in gefreesde sleuf valt, zet alles zich automatisch goed door de spanband. De 45 graden verstek buitennaden sluiten daardoor perfect. De hoek klemmen zorgen dat je die goed in hun positie houdt.



Figuur 58 Inkijk aan de voorkant, het front wordt er later op gelijmd.



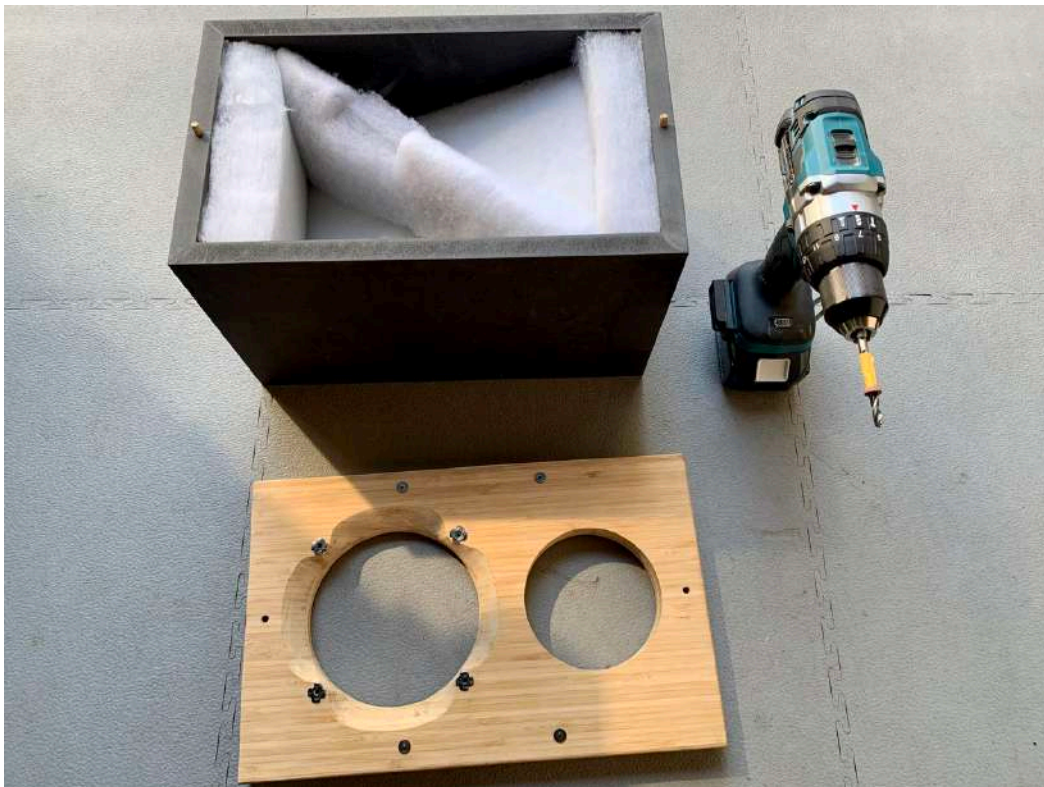
Figuur 59 Met een klein plamuurmes kun je alle lijm wegsteken van achterschot. Poets de laatste lijmresten weg met b.v. Wasbenzine.



Figuur 60 Plak achterwand af met glad schilders tape, zodat die niet per ongeluk vastgelijmd wordt.



Figuur 61 Achterwand kan nu geplaatst worden, zodat je zeker weet dat alles goed haaks staat en achterwand er ook goed inpast.



Figuur 62 Een uitlijn duvel in het midden van de boven en onderkant. De andere vier gaten worden overgenomen, met de ijzeren pinnen die in de gaten van bamboe front geplaatst zijn.



Figuur 63 Zo zie je dus waar je gat voor duvel moet boren.



Figuur 64 Lijm aanbrengen, wat in gaten smeren en uitsmeren over rand.



Figuur 65 Front wordt op kast gelijmd, de 6 duvels houden front op de juiste plaats en met lijmklemmen wordt er druk uitgeoefend.



Figuur 66 Detail opname van buiten naad, de 45 graden verstek naad sluit perfect.



*Figuur 67 De achterwand heeft rondom 0,5 mm speling. Door op de hoeken twee laagjes schilders tape aan te brengen, gaat hij mooi in het midden liggen en kun je de gaten overnemen met 4 mm boor. Daarna gaten in **achterschot** opboren met 5 mm voor aanbrengen inslagmoer. De gaten in achterwand **blijven 4 mm!***



Figuur 68 Inslagmoer onder aanbrengen en van bovenaf met een schroef in het hout van achterschot trekken.



Figuur 69 o ziet het ervan opzij uit, om de inslagmoer aan te brengen en in achterschot te trekken.



Figuur 70 De achterwand kan er vervolgens ingeschroefd worden. De binding posts zijn nog niet aangebracht, hiervoor zijn twee 7 mm gaten nodig.

Het bamboe dat iets buiten de kast uitsteekt wordt gelijk gemaakt met de kast met een afkantsfrees. Het lager van frees, volgt de kast en freest dan het front gelijk met de zijkanten en boven/onderkant van de behuizing. De hoeken zijn verder ook met een frees afgerond. De radius van frees was ongeveer 6 mm.



Figuur 71 Zo ziet de kast eruit met bamboe front. Het bamboe front is 15 graden afgeschuind, vonden we optisch iets mooier en was ook noodzakelijk omdat de afkant frees wat heeft gehapt. Wel heel lang moeten schuren ;-).



Figuur 72 Wat dun grijs schuim wordt gebruikt, om de kleine ruimte tussen tweeter en waveguide op te vullen. Eerst even van karton een mal gemaakt.



Figuur 73 En zo ziet de stukken schuim er uiteindelijk uit. Dit schuim gebruik ik ook tussen waveguide en kast om af te sluiten. De zelfklevende foam die ik had, werd te dik, daarvoor had ik misschien 0,5-1 mm dieper uit moeten frezen.



Figuur 74 En zo ziet het eruit met de drivers gemonteerd.



Figuur 75 De speakers in de blanke PU lak, voor vrouw lief een verfwerkje extra. Uiteindelijk 3 lagen verf aangebracht, met licht schuren tussendoor.

De metingen

Voor de metingen zonder cross-over filter is er gebruik gemaakt van een extra achterwand, waarbij elke driver zijn eigen aparte aansluiting had. Zo konden de woofer en tweeter onafhankelijk van elkaar gemeten worden.

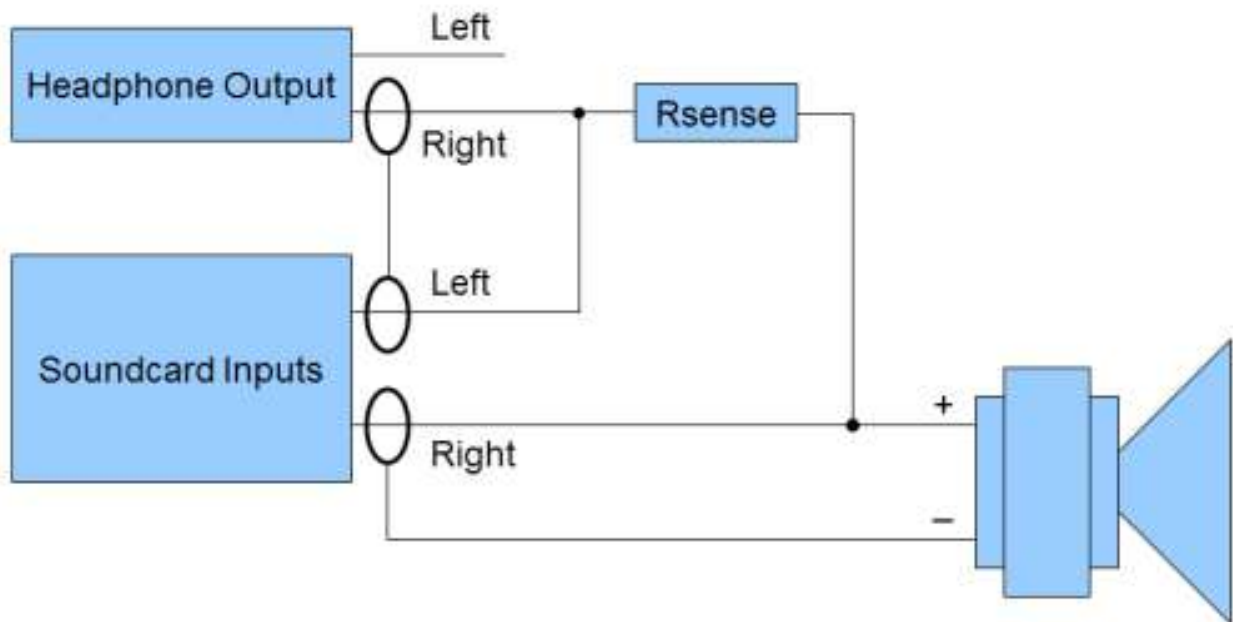
Gebruikte apparatuur



Figuur 76 De gebruikte meet apparatuur

De externe audio interface heeft een koptelefoon uitgang die gebruikt wordt voor de impedantiemetingen. Een extra niet getoonde versterker wordt gebruikt voor met meten van de frequentie responses, de koptelefoon uitgang is daarvoor te zwak. Deze versterker kan via de koptelefoon aansluiting, of via de 6.3 mm jackplug op de achterkant van de audio interface worden aangestuurd.

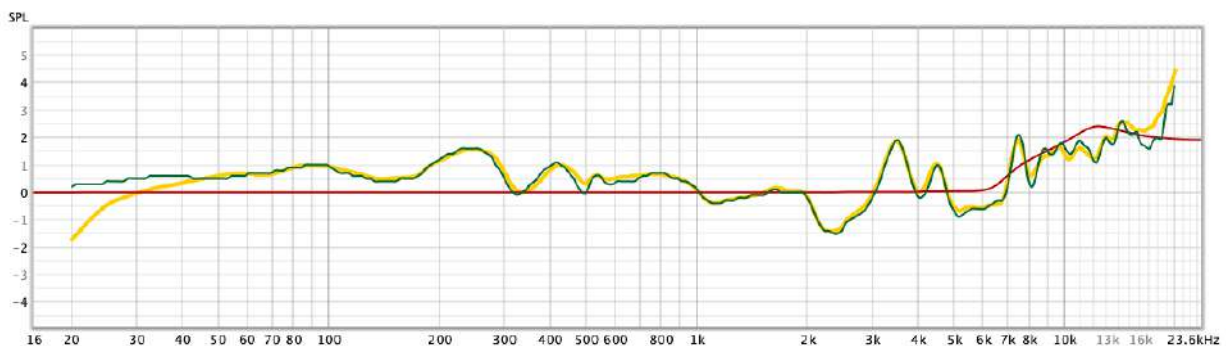
Voor de impedantiemeting wordt een eigenbouw kastje gebruikt, die feitelijk alleen een 82 ohm weerstand (R_{sense}) bevat en wat aansluitingen. Schema is te vinden in Figuur 77.



Figuur 77 Schema van schakeling voor impedantiemetingen.

Als meet microfoon wordt de Dayton Audio EMM6 gebruikt. Op zich geen slechte microfoon, iemand op het zelfbouwaudio forum heeft daar een (destructief) onderzoek op losgelaten. Er blijkt een redelijke (voor)versterker schaking in te zitten die werkt op de 48v fantoom voeding. Het gebruikte elektreet kapsel is niet de meest ruisarme, maar voor meetdoeleinden wel ok.

Probleem is echter dat hij wordt aangeprezen en verkocht als zijnde gekalibreerd, echter blijkt de meegeleverde kalibratie totaal onbruikbaar te zijn. Zonder kalibratie krijg je betere/betrouwbaardere resultaten dan met de meegeleverde kalibratie file.



Figuur 78 In groen de kalibratie file van mijn EMM6 microfoon, in geel gemiddelde van een aantal EMM6 microfoons en in rood mijn geschatte correctie file die ik gebruik.

De bij de EMM6 verstrekte kalibratie file vertrouwde ik niet. Over het algemeen hebben elektreet microfoons een behoorlijk vlakke frequentie response van 100 tot ca 6-7 kHz. Boven de 7 kHz, lopen ze vaak iets op wat betreft gevoeligheid. Ik vermoede dus invloed van de meetomgeving op de meting.

Om dit te controleren is een aantal kalibratie files gedownload van microfoons met een serie nummer net onder en boven mijn serienummer. In het frequentiegebied van 100 tot 7 kHz waren

de grafieken van alle 18 microfoons vrijwel identiek. Daaronder en boven gingen ze van elkaar wat afwijken. In Figuur 78 is het gemiddelde van 18 microfoons in geel weergegeven.

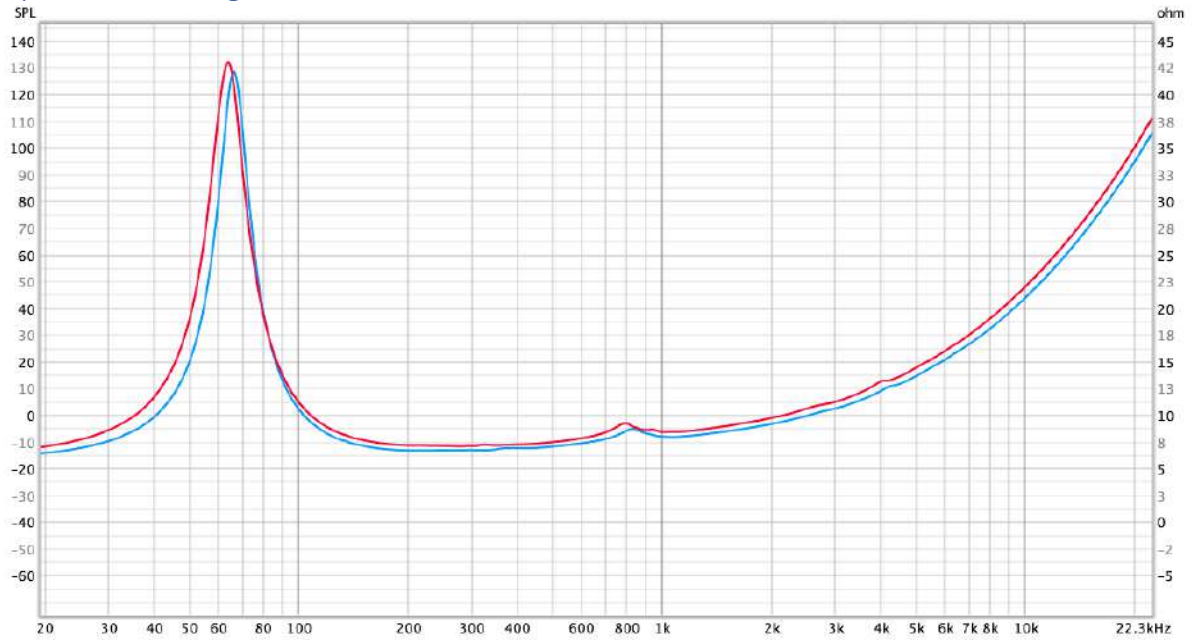
Als de gele en groene figuur met elkaar vergeleken worden, dan is het duidelijk dat er een soort van systematische fout zit in de kalibratie van de EMM6 microfoons. Door metingen van een tweeter (SB26ADC-C0004) te vergelijken met meetgegevens die op internet te vinden zijn voor die tweeter en ook door metingen gedaan met mijn microfoon te vergelijken met dezelfde meting met een andere microfoons ben ik tot de rode correctie curve gekomen.

Voor het maken van passieve speakers en het afstemmen van het cross-over filter is het precieze verloop van de frequentie response boven de 7 kHz niet van belang. De cross-over frequenties liggen ruim binnen het gebied van 100 tot 6-7 kHz, waar vrijwel alle elektret microfoon kapsels voldoende vlak zijn.

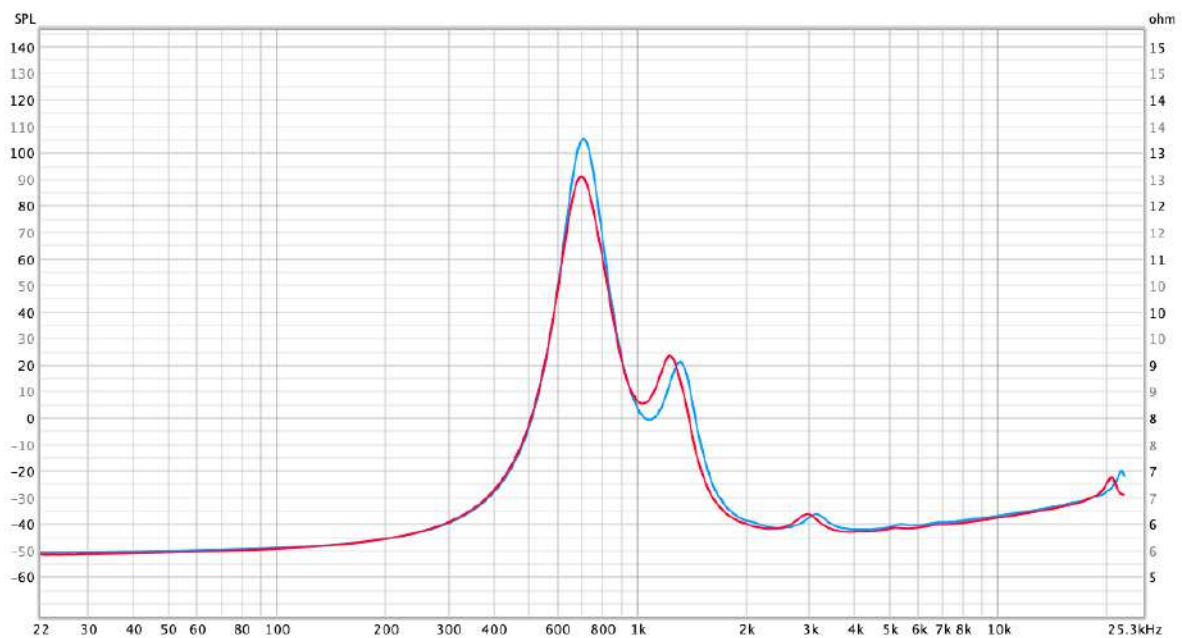
Een handleiding van hoe op een goedkope manier een goede microfoon te maken is, die als meet microfoon kan dienstdoen is te vinden op:

<http://zelfbouwaudio.nl/forum/viewtopic.php?f=74&t=27948>

Impedantiemetingen



Figuur 79 De impedantiemeting van de twee STX-woofers, in de gesloten behuizing.



Figuur 80 Impedantiemeting van de tweeters.

In Figuur 79 zijn de impedantiemetingen van beide woofers, in Figuur 80 hetzelfde voor beide tweeters.

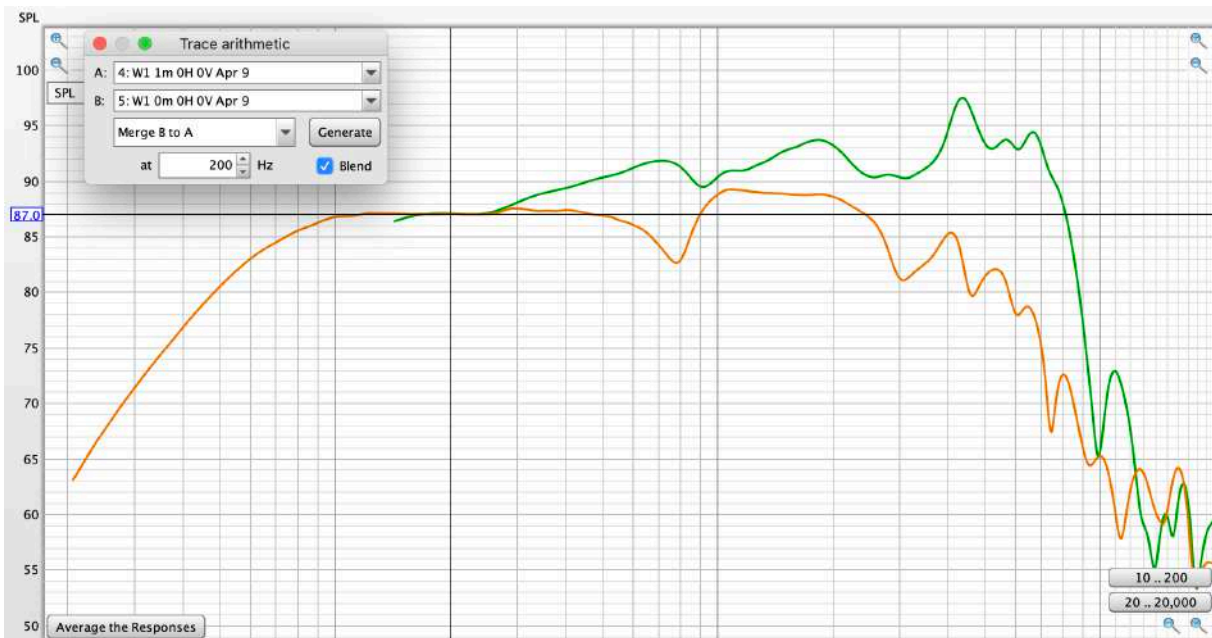
Woofer metingen

Voor de woofer meting is de meetmicrofoon opgesteld op ca 1 meter afstand en op een as tussen de woofer en tweeter in. De speaker stond op een statief in de tuin en zowel rondom de speaker als de microfoon was er een vrije ruimte van ongeveer 2 meter. Hierdoor kon er een gate window van 7.0 - 7.5 ms te gebruiken.

Een bruikbare delay offset wordt bepaald en vervolgens consistent gebruikt, voor de metingen op 1 meter afstand. Het is niet van belang dat deze offset precies 100% “goed” is, maar dat exact dezelfde offset ook gebruikt wordt bij het meten van de tweeter. Hierdoor “klopt” het faseverschil tussen de woofer en de tweeter. En het hebben van de juiste fase relatie is van belang voor het ontwerpen en simuleren van het cross-over filter.

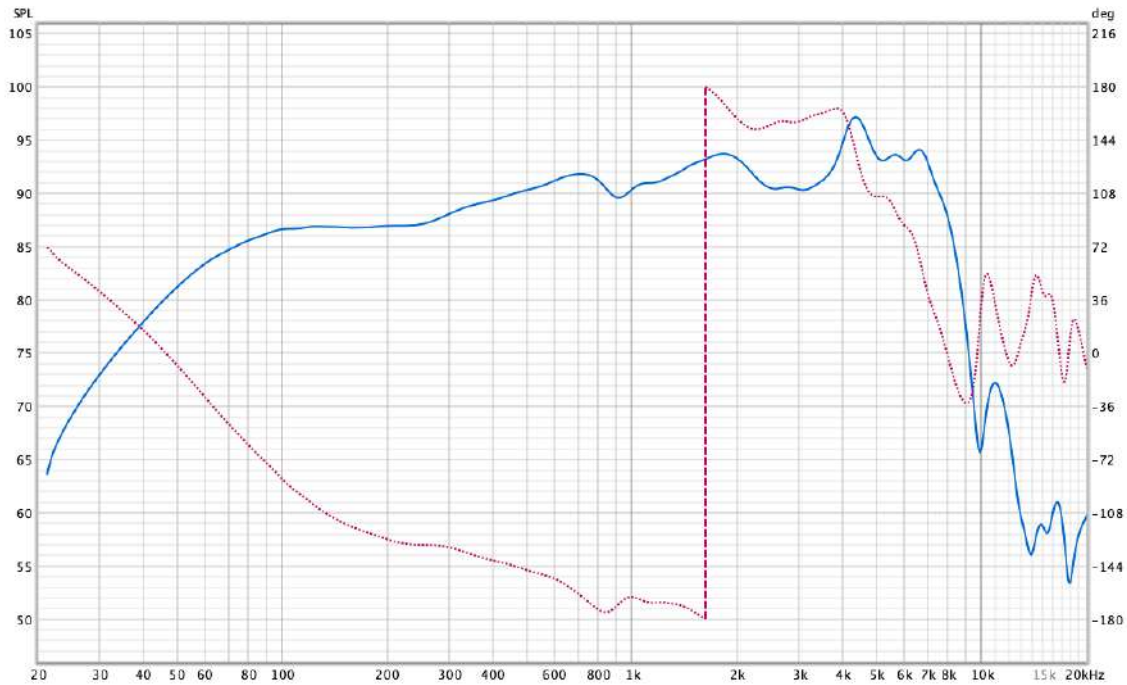
De woofer en de tweeter worden gemeten, terwijl speaker en microfoon niet verplaatst wordt en ook dezelfde delay offset gebruikt is en dezelfde niveau instellingen. In cross-over moet ook niveau van de woofer en tweeter op elkaar afgestemd worden en daarom moet de ingangsevoeligheid instelling ook niet gewijzigd worden.

Door de gate van 7 - 7.5 ms zijn er geen meet gegevens voor lagere frequenties. Dus hierna wordt er ook nog een dichtbij meting van de woofer gedaan om meetgegevens bij lagere frequenties te krijgen.



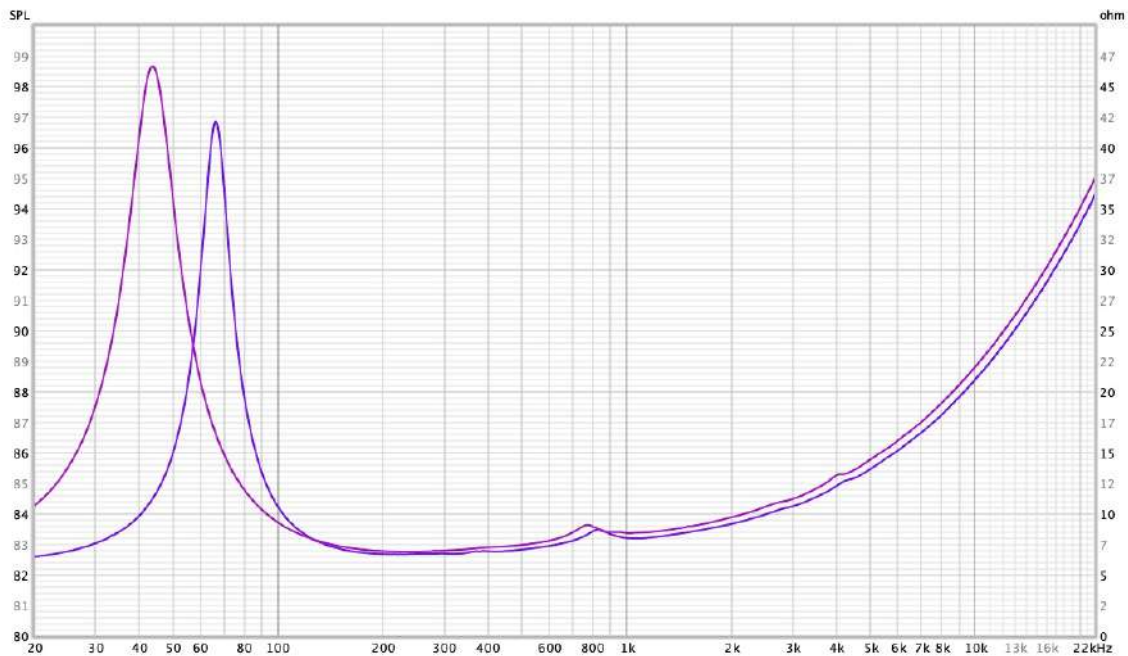
Figuur 81 In groen de meting van de woofer op 1 meter afstand, in oranje de dichtbij meting van de woofer

De dichtbij meting wordt wat betreft niveau in lijn gebracht met de meting op 1 meter afstand. Er is nu een gebied rond de 200 Hz waarbij niveau van beide metingen vlak bij elkaar ligt. De keuze is gemaakt om de twee grafieken bij 200 Hz met de “Blend” optie aan elkaar te “plakken” zie ook Figuur 81. Het resultaat hiervan is te zien in Figuur 82.



Figuur 82 Het resultaat van het aan elkaar plakken van de dichtbij meting en de 1 meter meting.

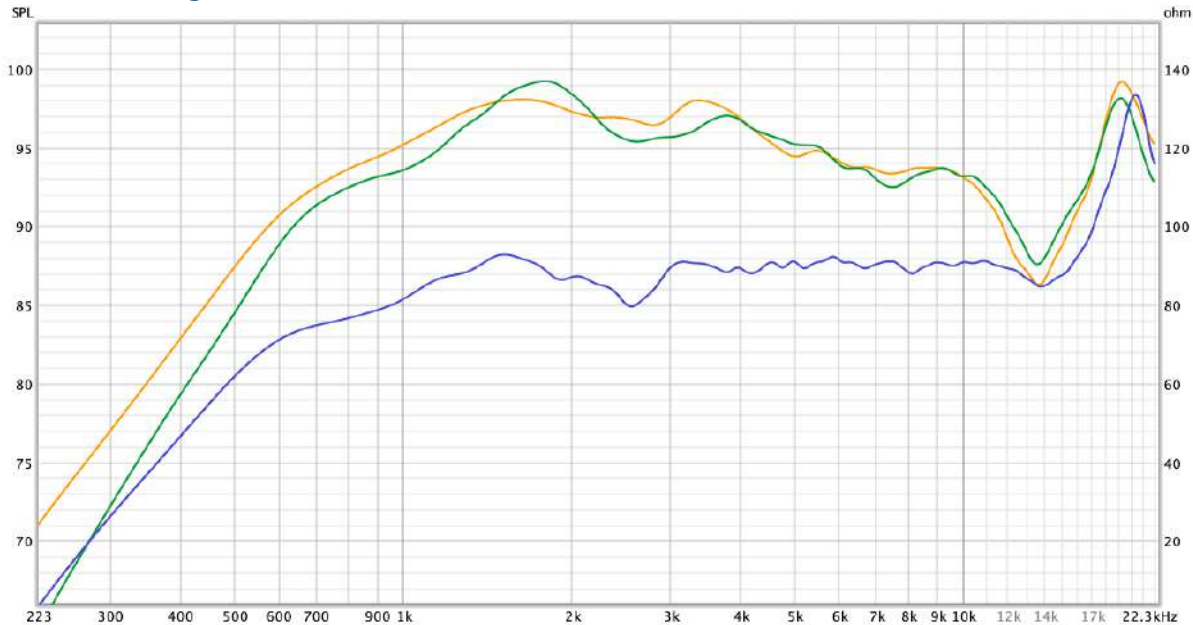
Het dipje bij 800 Hz is ook zichtbaar in de impedantie grafiek als klein piekje, zowel bij meting in free air als in de gesloten behuizing, zie ook Figuur 83. Ik neem aan dat dit iets is van de driver zelf en dus niet iets van de behuizing.



Figuur 83 De impedantiemeting, zowel free air als in de behuizing.

Verder zijn er ook metingen onder verschillende horizontale hoeken gemaakt, om die samen met de aan elkaar geplakte meting op 0 graden te kunnen importeren in VituixCAD. Voor de metingen onder hoek is het niet erg dat er geen gegevens zijn bij lagere frequenties, de powerresponse is pas relevant vanaf ca 200 Hz.

Tweeter metingen



Figuur 84 In groen de on-axis meting op 1 meter afstand en in oranje een dichtbij meting op 10 cm afstand. In blauw ter referentie meting van de tweeter in grote baffle gemeten op 30 cm.

In Figuur 84 is zichtbaar dat de response op 1 meter afstand met de waveguide niet heel veel afwijkt met de dichtbij meting. Het is dus duidelijk dat door de waveguide de diffractie effecten behoorlijk minimaal zijn.

Ook is duidelijk dat vergeleken met de meting zonder waveguide dat de gevoeligheid nu niet meer vlak is maar dat deze nu een helling heeft, dat in het cross-over filter gecorrigeerd moet worden. Dit verloop van de frequentieresponse is gebruikelijk bij gebruik van een waveguide.

Ook geeft de waveguide bij ca 13-14 kHz een dip, zonder waveguide is deze dip duidelijk veel minder diep. Dit is inherent aan het gebruik van een waveguide en de diameter van de dome. Er vindt in de waveguide zelf uitdoving plaats door het weglengte verschil tussen de 'top' van de dome en de 'rand' van de dome, circa 1/2 van de diameter. Dit vertaalt zich naar een dip op 13-14kHz.

Door de waveguide wordt het golffront meer naar voren gericht en kan het niet direct naar opzij uitwaaiëren, hierdoor is effect hiervan met waveguide heftiger. Bij een vlakker membraam zoals een ringradiator kan bij gebruik van een waveguide de dip hierdoor gunstiger uitvallen. Een andere suggestie was om een waveguide te gebruiken met een kleinere dome, b.v. 19 mm, omdat dan de dip naar een hogere frequentie opschuift.

Dit effect is vergelijkbaar met diffractie in die zin, dat je moet oppassen met het eventueel corrigeren ervan. Bij diffractie effecten, kun je niet zomaar de on-axis frequentie response met EQ "corrigeren", omdat de energie bij die frequentie toch wel de ruimte ingestraald wordt. Dus als er ergens een dip is, zal op dezelfde frequentie op een andere plek gemeten er een piek zijn.

Er zal dus naar de power response gekeken moeten worden of het eventueel met EQ gecorrigeerd mag worden. Dipjes zijn met passieve filters wat lastiger aan te pakken, maar zijn gelukkig ook minder storend als piekjes.

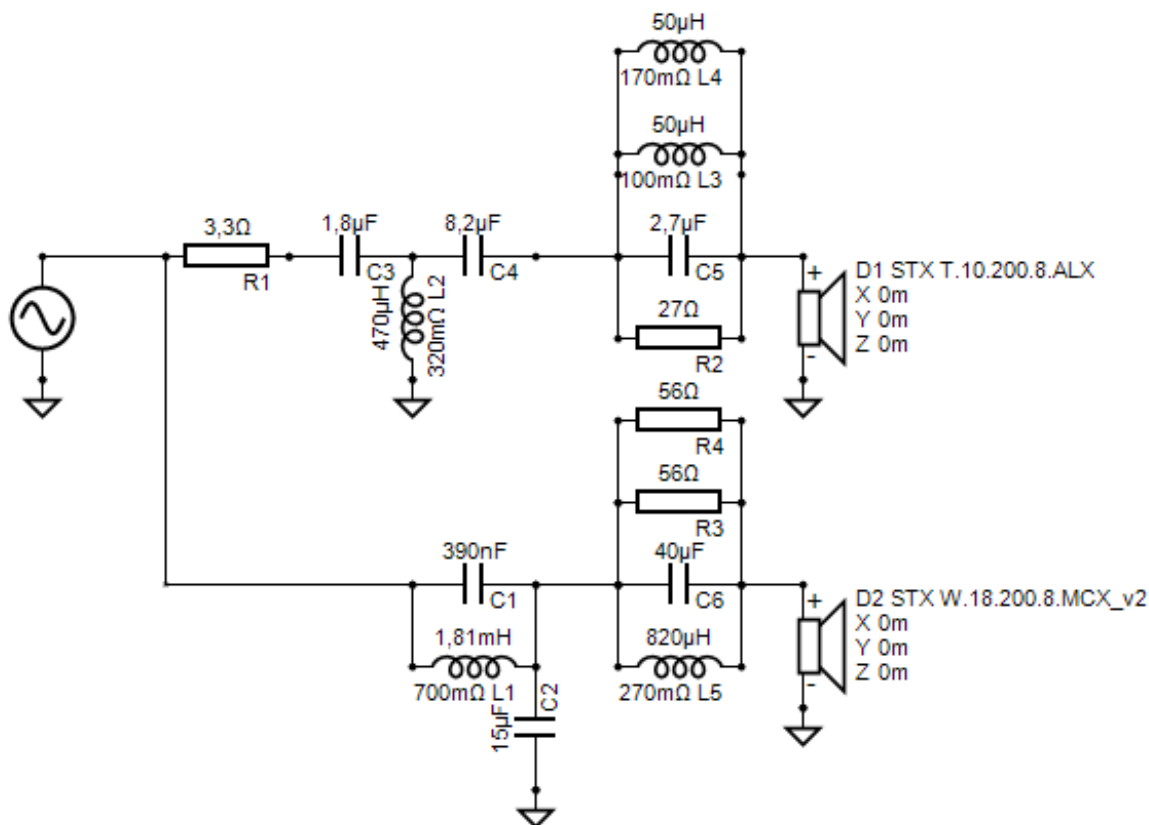
Cross-over filter

Samenvattend, er is gemeten op 1 meter afstand, voor de woofer is er ook een dichtbij meting gedaan. Rond de 200 Hz zijn dichtbij meting en de 1 meter meting aan elkaar geplakt waarbij de blend optie in REW gebruikt is. Deze gecombineerde meting is gebruikt samen met de meting van de tweeter om cross-over te ontwerpen. De meting van tweeter en woofer is gedaan met microfoon op dezelfde afstand en met identieke delay compensatie, zodat de fase onderling tussen woofer en tweeter, te vergelijken zijn.

Om naar de powerresponse te kunnen kijken is er voor een box metingen onder hoek gedaan (horizontaal 15, 30, 45, 60 & 75 graden). Omdat deze metingen tijdrovend zijn en relatief weinig meerwaarde geeft vanwege de gelijkenis tussen de twee boxen, is dit niet voor alle twee de boxen gedaan.

Ontwerp

Na het nodige puzzelen is er tot het onderstaande cross-over schema gekomen, zie Figuur 85.



Figuur 85 Het cross-over schema.

L3, L4, C5 en R2 vormen een notch waardoor impedantie oploopt bij 19kHz en de response dus daar getemperd wordt. Bij 19kHz zit een behoorlijke cone breakup resonantie van alu dome. Er staan twee spoelen parallel, omdat 50 uH ongeveer het kleinste is wat je kan krijgen als luchtspoel voor cross-over en om goed te laten werken moet de waarde kleiner zijn.

C1 voegt tegen lage kosten een notch toe omstreeks de 4-5kHz. Wat cone breakup pieken van de woofer worden zo extra onderdrukt.

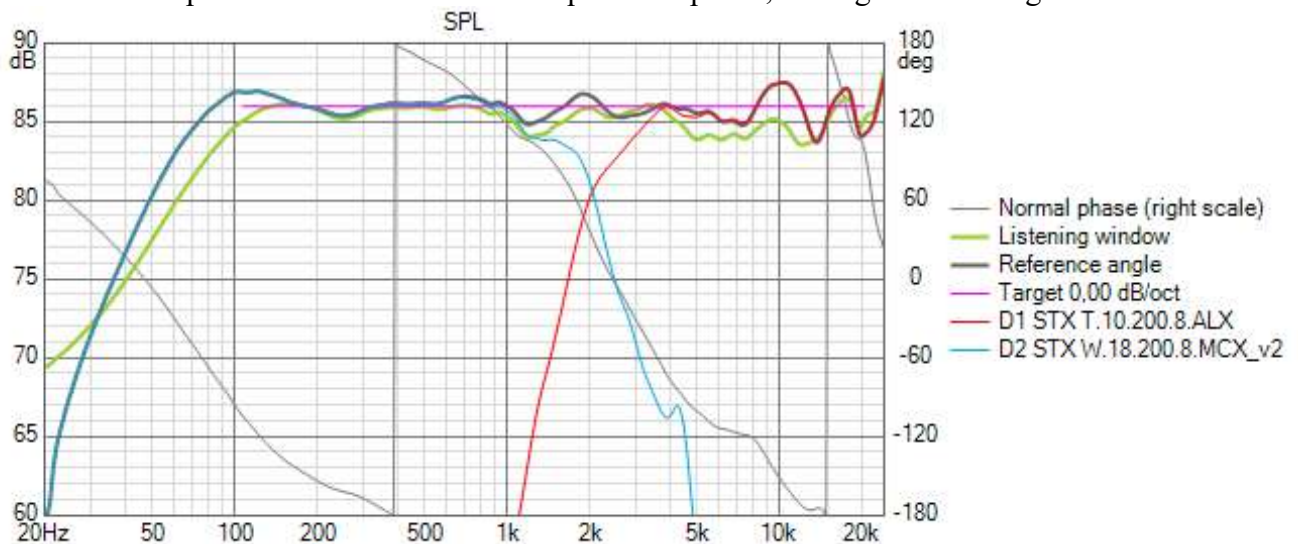
De baffle step wordt gedeeltelijk opgevangen door de dimensionering van spoel L1, die wat eerder inzet, maar de baffle step niet volledig gecompenseerd. Er zit bij 800 Hz een dip die driver gerelateerd is. Met een volledige baffle step correctie zou die dip te diep worden en passief kan je alleen weghalen en niet echt toevoegen.

L5, C6 en R3 + R4 trekken een piek van niet gecompenseerde baffle step naar beneden door verhogen van de impedantie. Weerstanden R3 en R4 zijn beide 10 watt, vanwege de vermogensdissipatie.

Voor weerstand R1 en R2 is 5 watt afdoende. In de praktijk moet weerstand R2 afgestemd worden met metingen. De aangegeven waarde van 27 ohm is indicatief en doet het goed in de simulatie voor beide boxen.

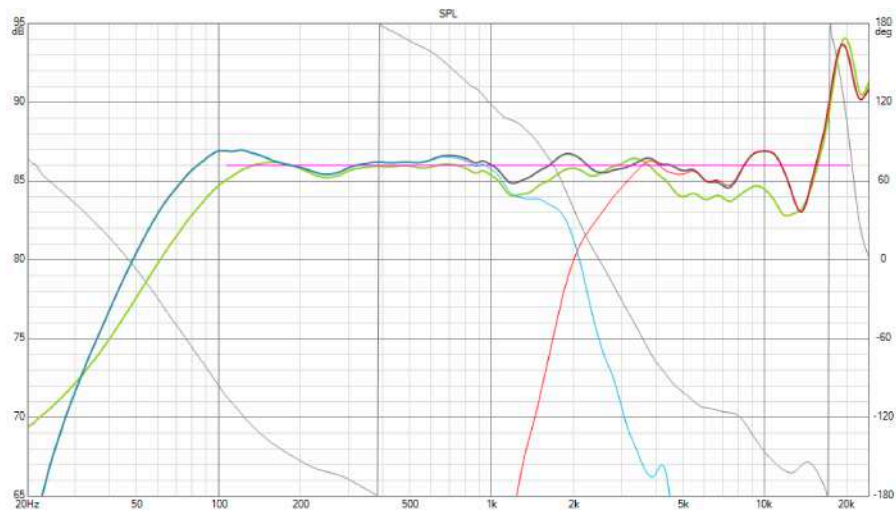
In de praktijk werd door meting van frequentieresponse, voor de ene box de waarde gehalveerd (2 x 27 parallel), terwijl voor de andere de waarde flink verhoogd werd naar ongeveer 140 ohm zodat de gemeten response het beste uitkwam.

Met gebruik van filter van Figuur 85 en de metingen van de frequentieresponse en fase van de drivers en de impedantie komen we tot de frequentieresponse, zoals getoond in Figuur 86.

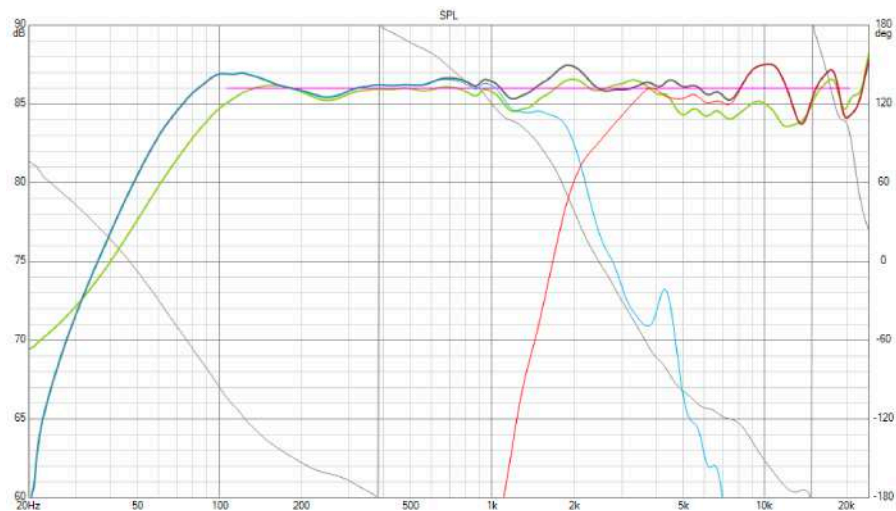


Figuur 86 De gesimuleerde frequentie response.

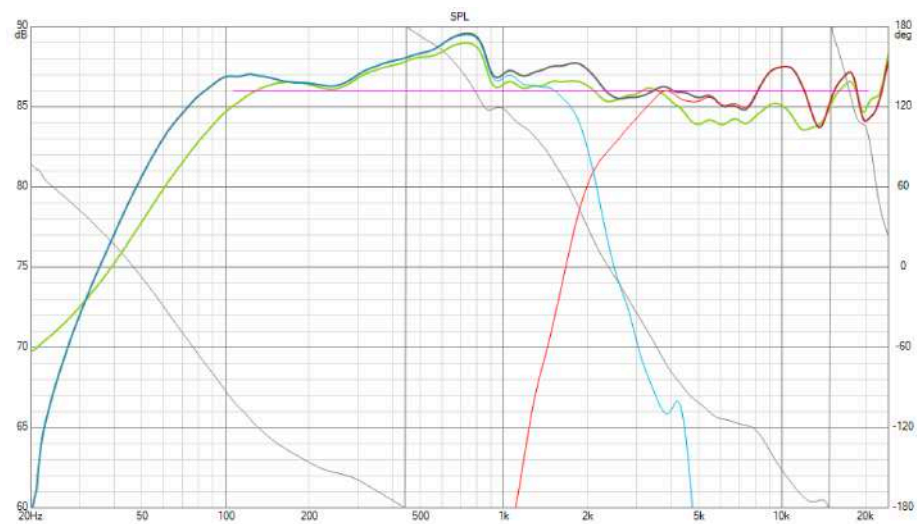
Onderstaande figuren laten zien wat er zou gebeuren als je bepaalde onderdelen van filter weg zou laten.



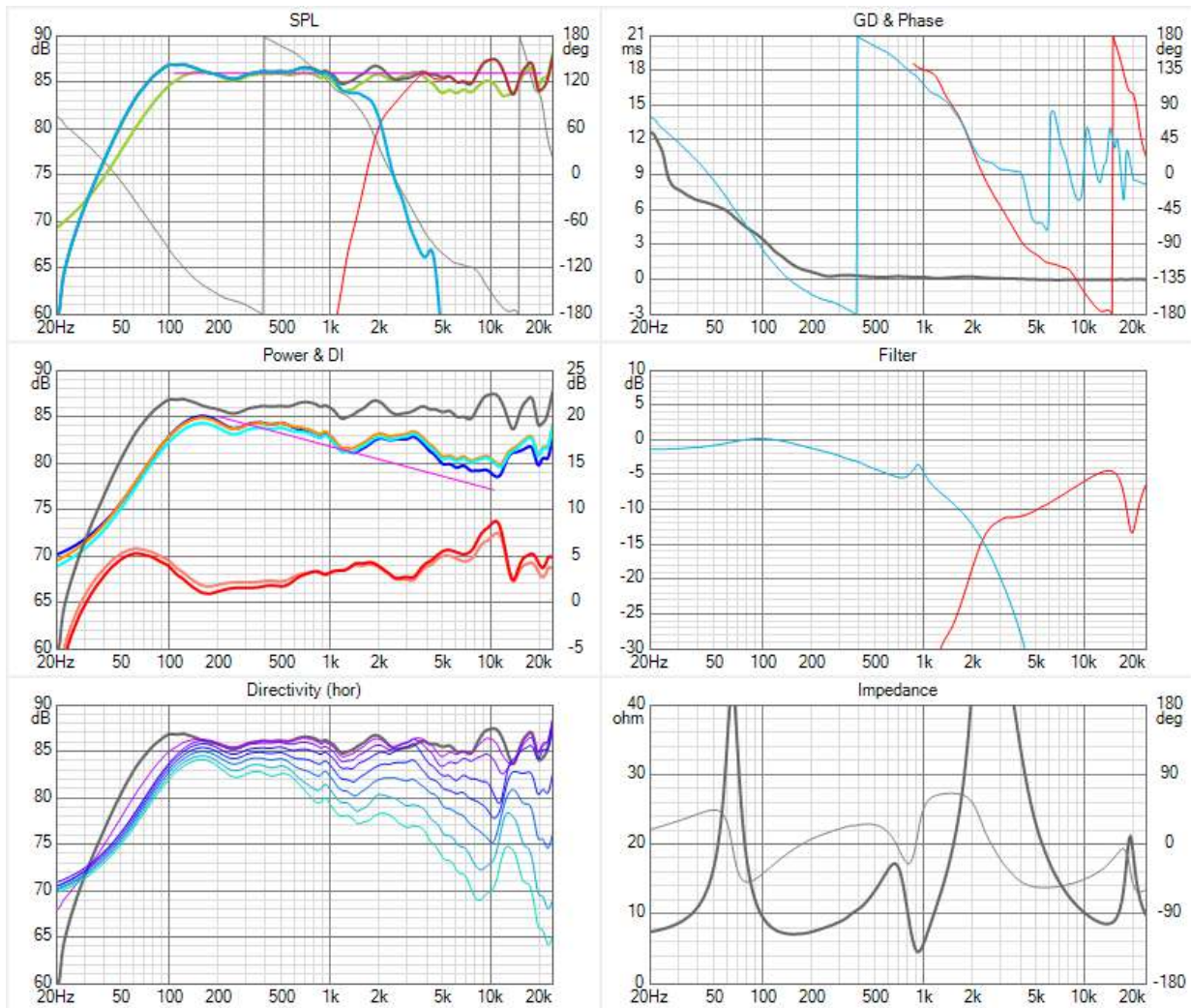
Figuur 87 Frequentieresponse zonder 19 kHz notch met L3, L4, C5 en R2.



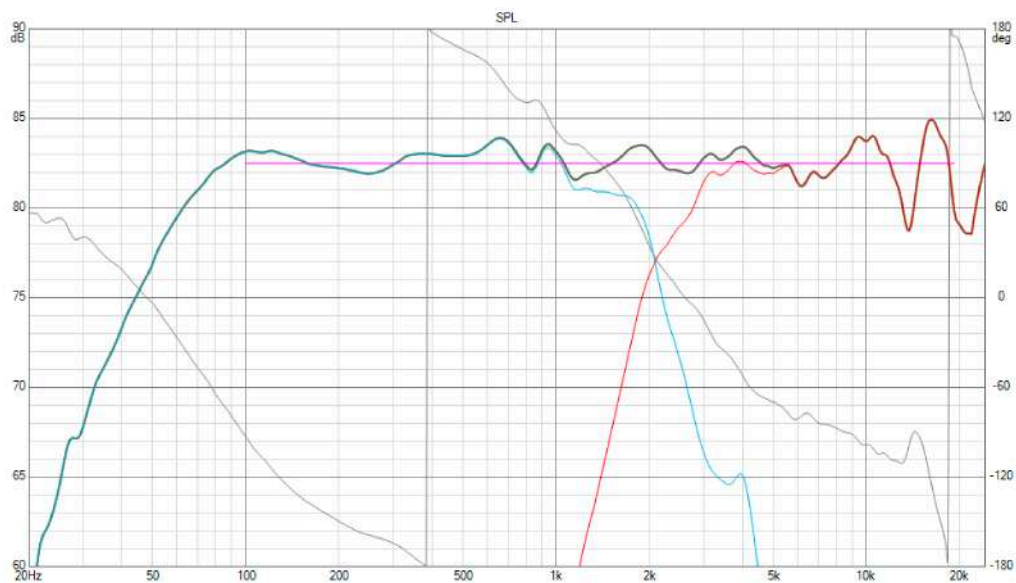
Figuur 88 Frequentieresponse zonder C1



Figuur 89 Frequentieresponse zonder L5, C6, R3 en R4.



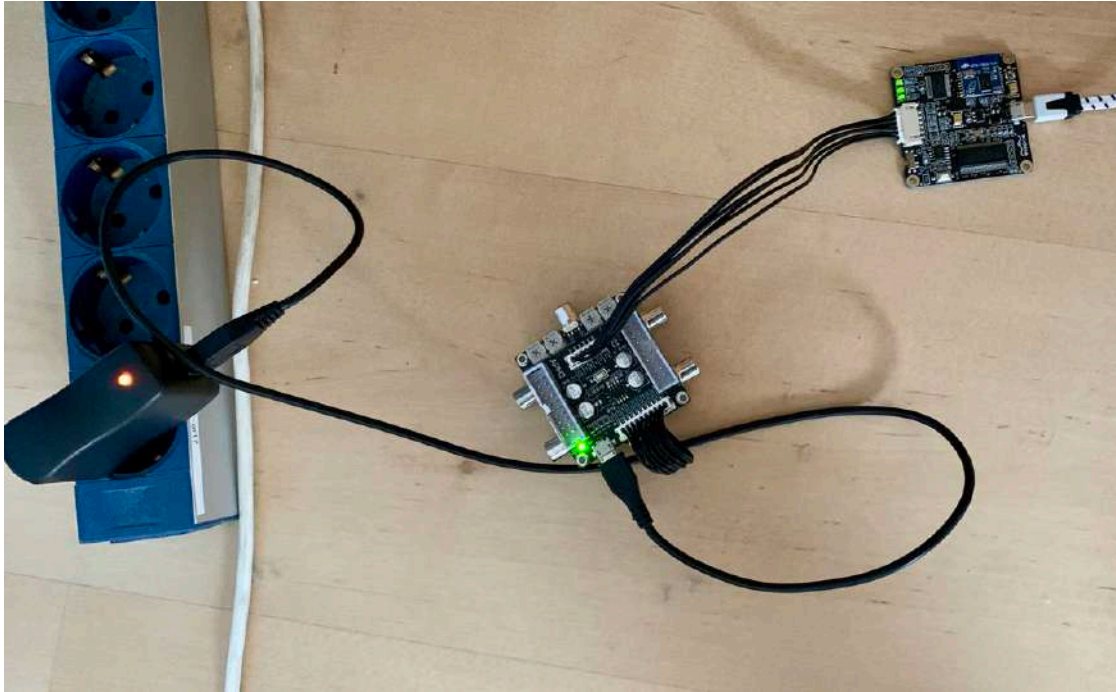
Figur 90 Het gesimuleerde resultaat van het cross-over filter, met ook de powerresponse en andere grafieken van VituixCAD.



Figur 91 De gesimuleerde frequentieresponse van de andere box.

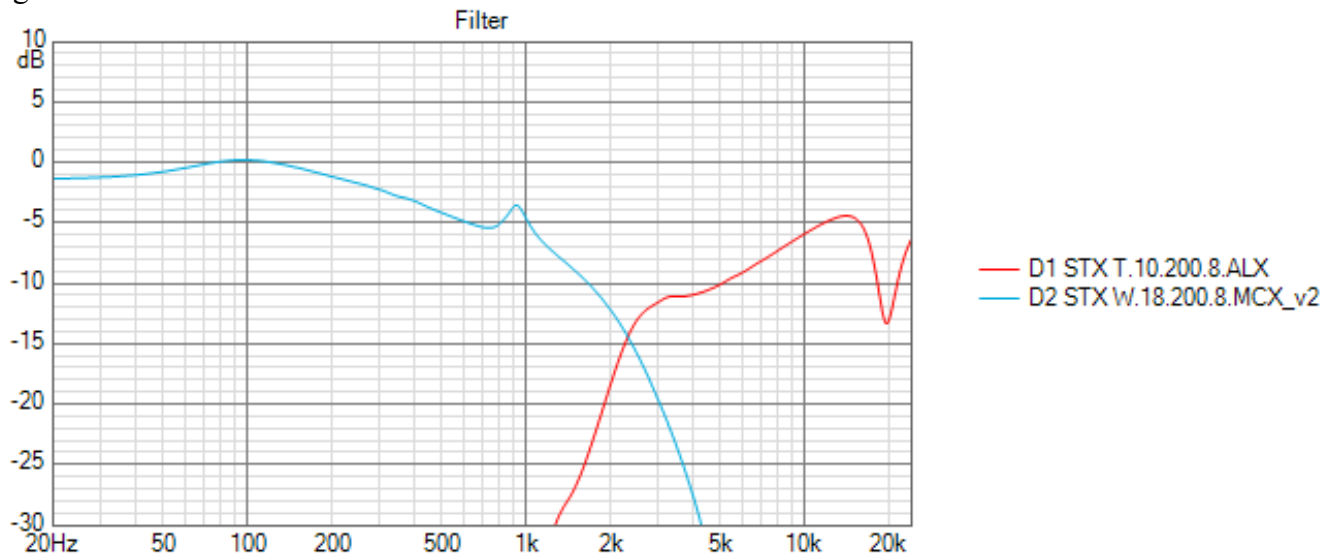
Beoordelen cross-over met DSP

Er is een DSP bordje voorhanden met een ADAU1701, zie Figuur 92, voordat de filteronderdelen werden besteld, is response van filter nageemaakt om te beoordelen of resultaat goed was. Er is geluisterd en er zijn beperkt metingen gedaan ter verificatie.



Figuur 92 Het DSP bordje met ADAU1701.

De filter responses zoals die getoond worden door VituixCAD, zie Figuur 93, zijn nagebouwd in SigmaStudio.



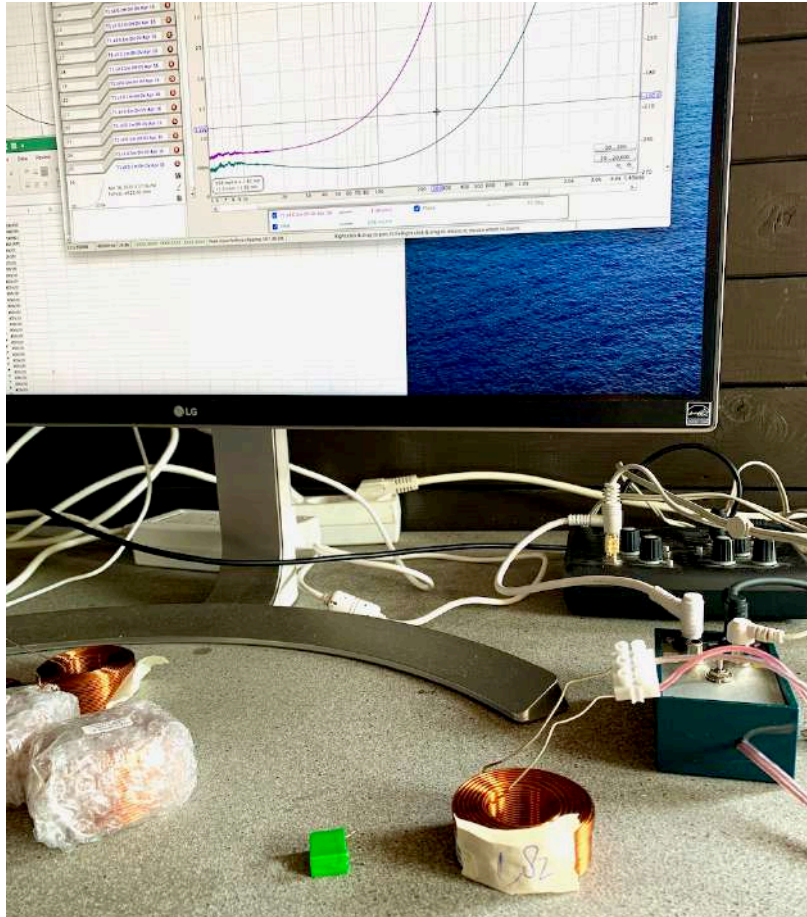
Figuur 93 De filter responses in VituixCAD, deze zijn nageemaakt in SigmaStudio.

Bouwen van cross-over

Nameten componenten

Eerst zijn de waarden van de condensators en spoelen nagemeten, om eventuele verrassingen te voorkomen. Tevens konden dan de gemeten waarden in de simulator worden ingevoerd en gekeken worden in welke van de twee boxen een component het beste past. De gemeten afwijking was max 2% en meestal zat het wel binnen een procent, gewoon netjes dus.

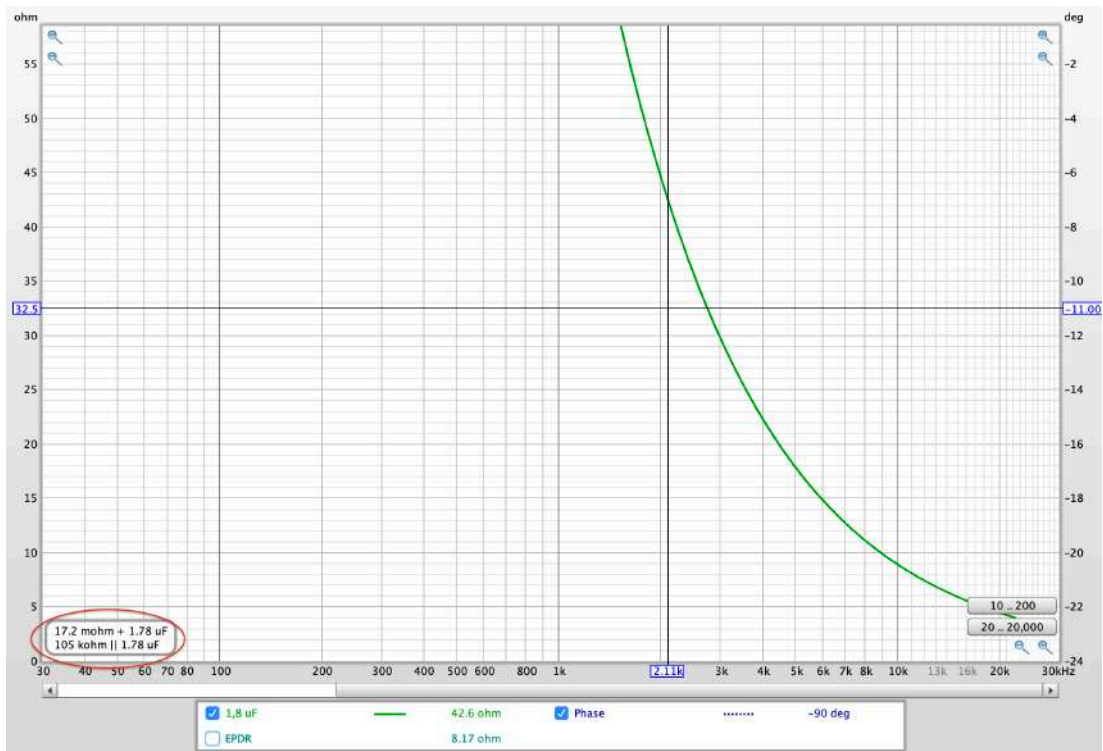
Tip je kunt met REW via de impedantie meet functie ook gewoon waarden van spoelen en condensators meten, zie ook meetopstelling in Figuur 94.



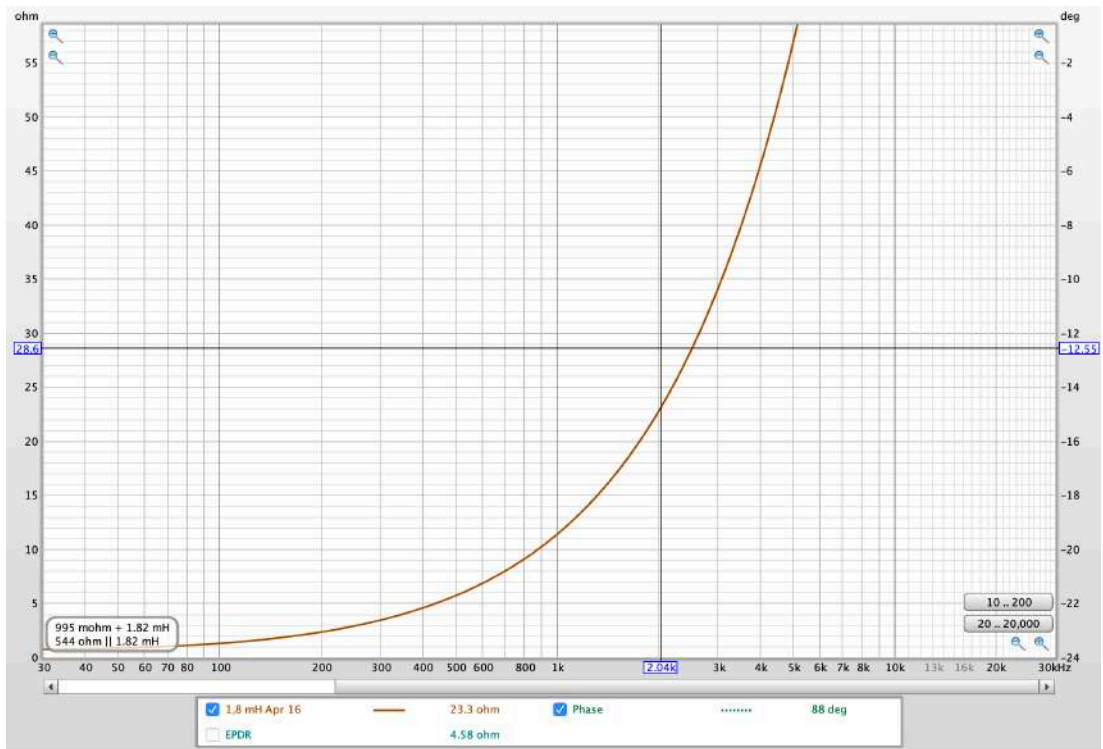
Figuur 94 De meetopstelling, waar een spoel gemeten wordt, op scherm erachter de impedantie grafiek.

Als je de cursor beweegt, dan wordt links onder in de grafiek de waarde aangegeven, in Figuur 95 is dat met een rode markering aangegeven. Bij de extremen wijkt de waarde af van de opgegeven waarde, kijk dus wat de waarde is in frequentie gebied waar component in filter ingezet gaat worden. In mijn geval is de crossover frequentie ongeveer 2 kHz. Dus kijk dan wat de waarde is in gebied van globaal 500 tot 5000 Hz. In dit geval was dat dus 1.78 uH.

Je kunt ook een LC-kring meten, als je van een component de waarde weet, dan kun je de andere bepalen door te kijken bij welke frequentie de impedantie minimaal is en de fase door 0 gaat. zie ook <https://meettechniek.info/passief/inductief.html> bij kopje "Resonantie meting". Met de formule daar gegeven kun je dus gegeven een bekende waarde van een referentiecomponent, de andere uitrekenen.

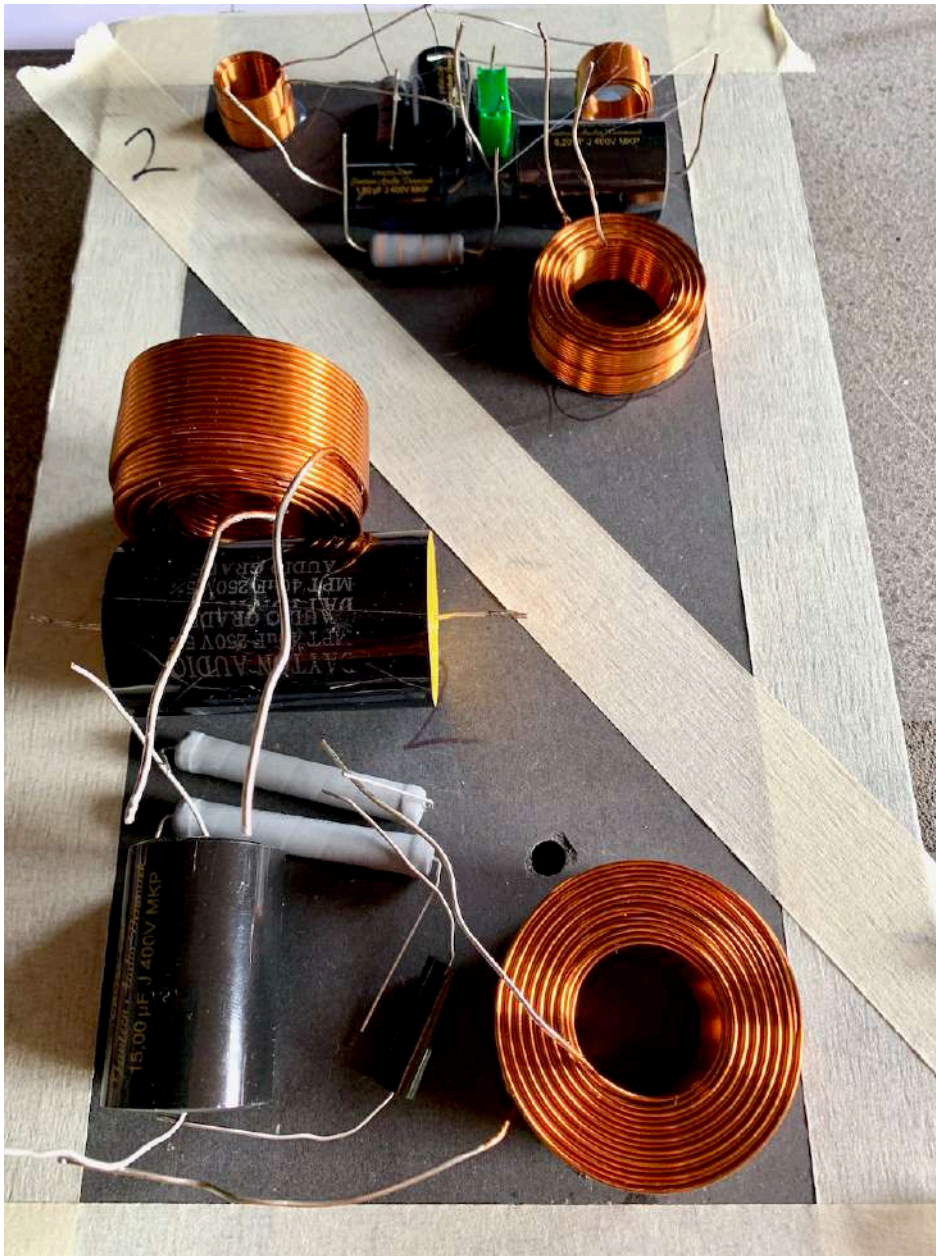


Figuur 95 De grafiek van een condensator met een opgegeven waarde van 1.8 uF en gemeten 1.78 uF.



Figuur 96 De grafiek van een spoel met een opgegeven waarde van 1.8 mH, deze meet als 1.82 mH.

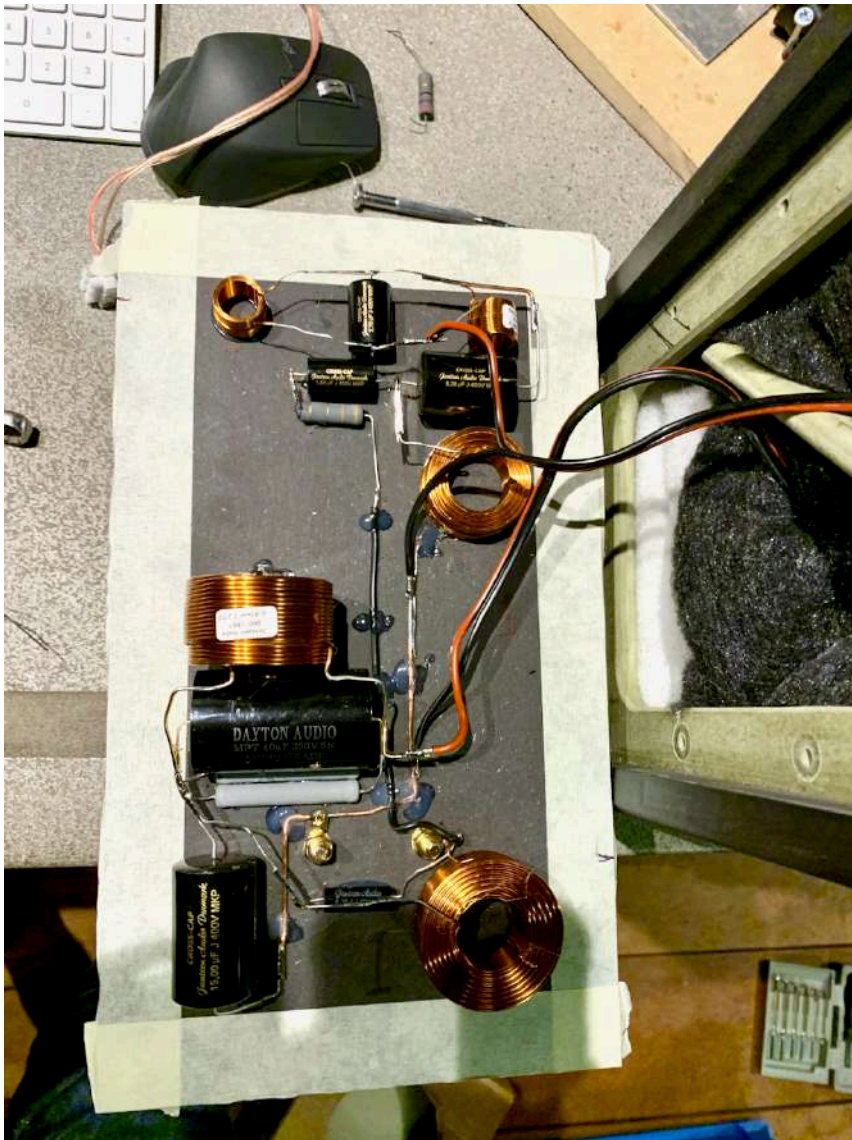
Assemblen cross-over en tunen 19 kHz notch



Figuur 97 De plaatsing van de componenten wordt bepaald, met schilders tape zijn de plaatsen aangegeven waar de componenten niet mogen komen.

De componenten worden met smeltlijm op de achterwand aangebracht.

Bij meting, volgde de praktijk vrijwel geheel de simulaties van filter, echter de notch rond 19 kHz, om cone breakup piek van alu dome te onderdrukken, bleek af te wijken. Met name de waarde van weerstand R2 die de diepte van de dip en dus de onderdrukking bepaal, bleek af te wijken tussen de simulaties vooraf en de metingen met filter.

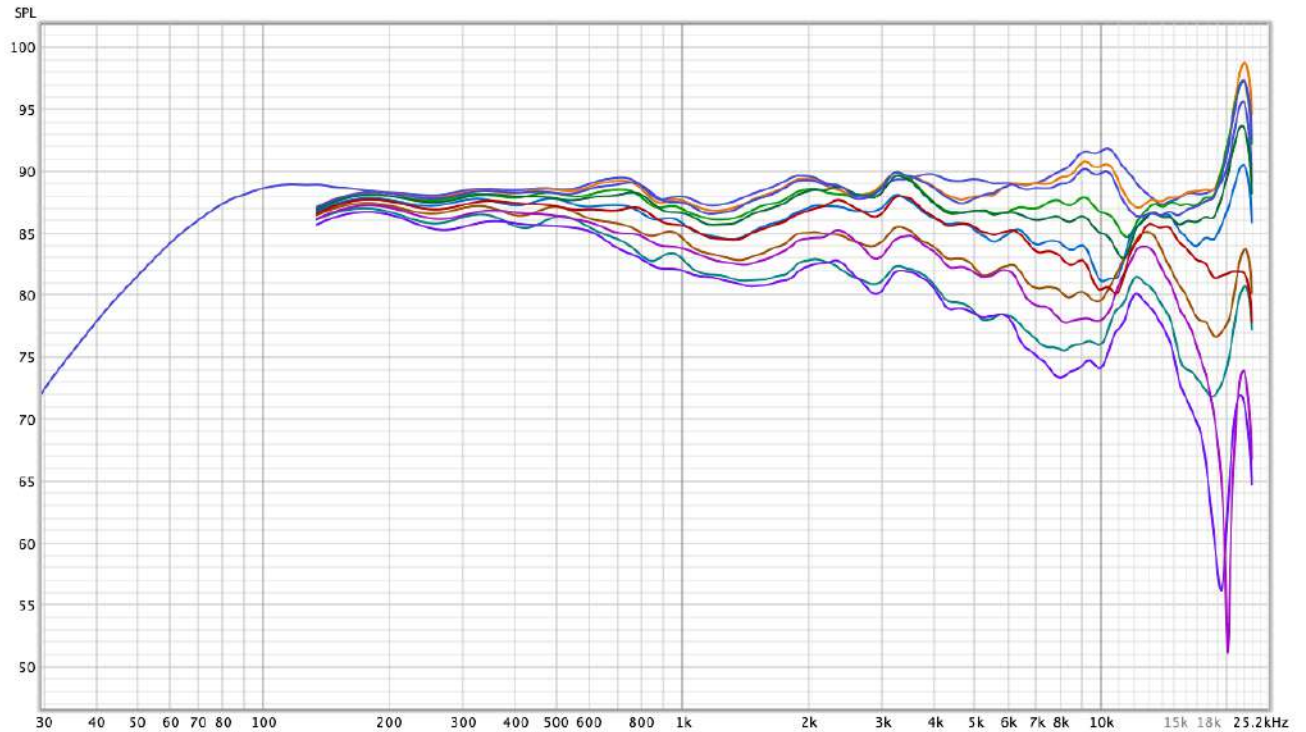


Figuur 98 Compleet cross-over filter op achterwand gemonteerd.

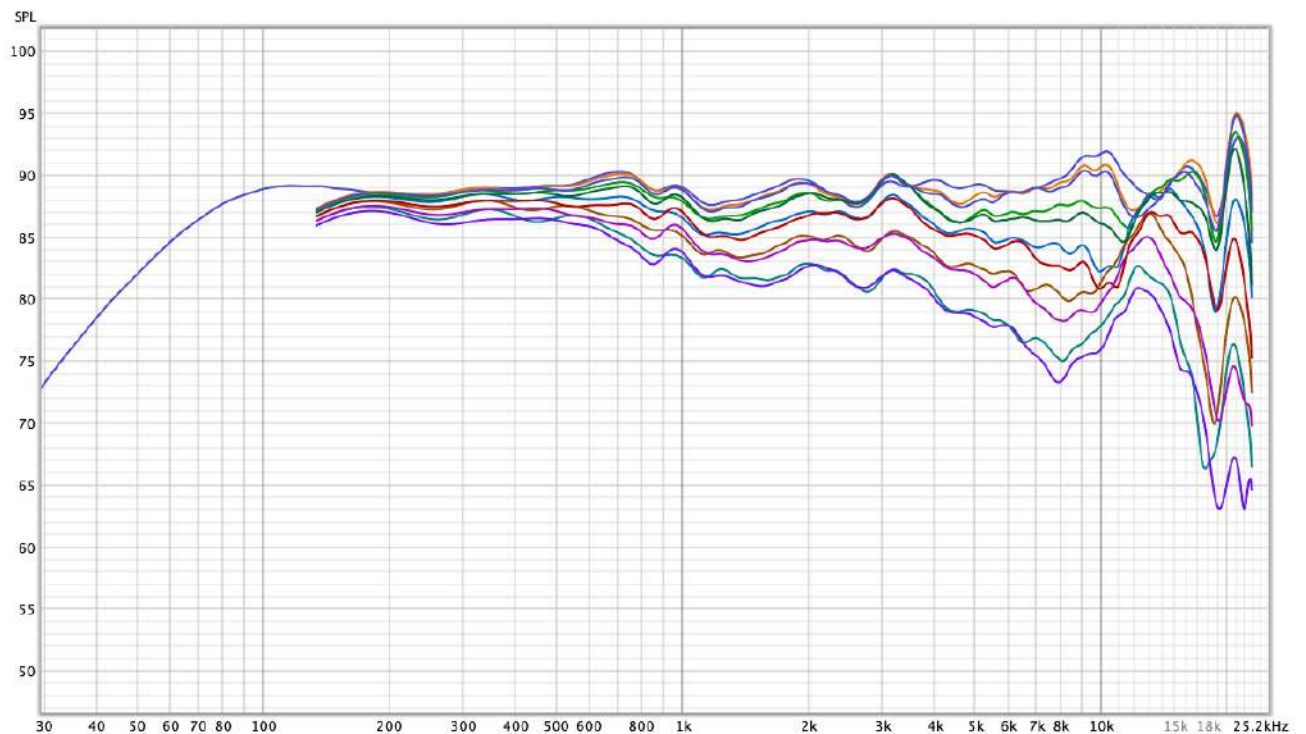
Om de waarde proefondervindelijk te bepalen met metingen, hoeft de achterwand niet dicht te zijn. Op foto van Figuur 98, is weerstand R2 weggelaten en kan eenvoudig tijdelijk een weerstand worden aangebracht en een meting gedaan worden. Helemaal bovenin zijn de twee kleine spoelen L3 en L4 zichtbaar en daar tussen in C5.

Verificatie metingen en afstellen DSP

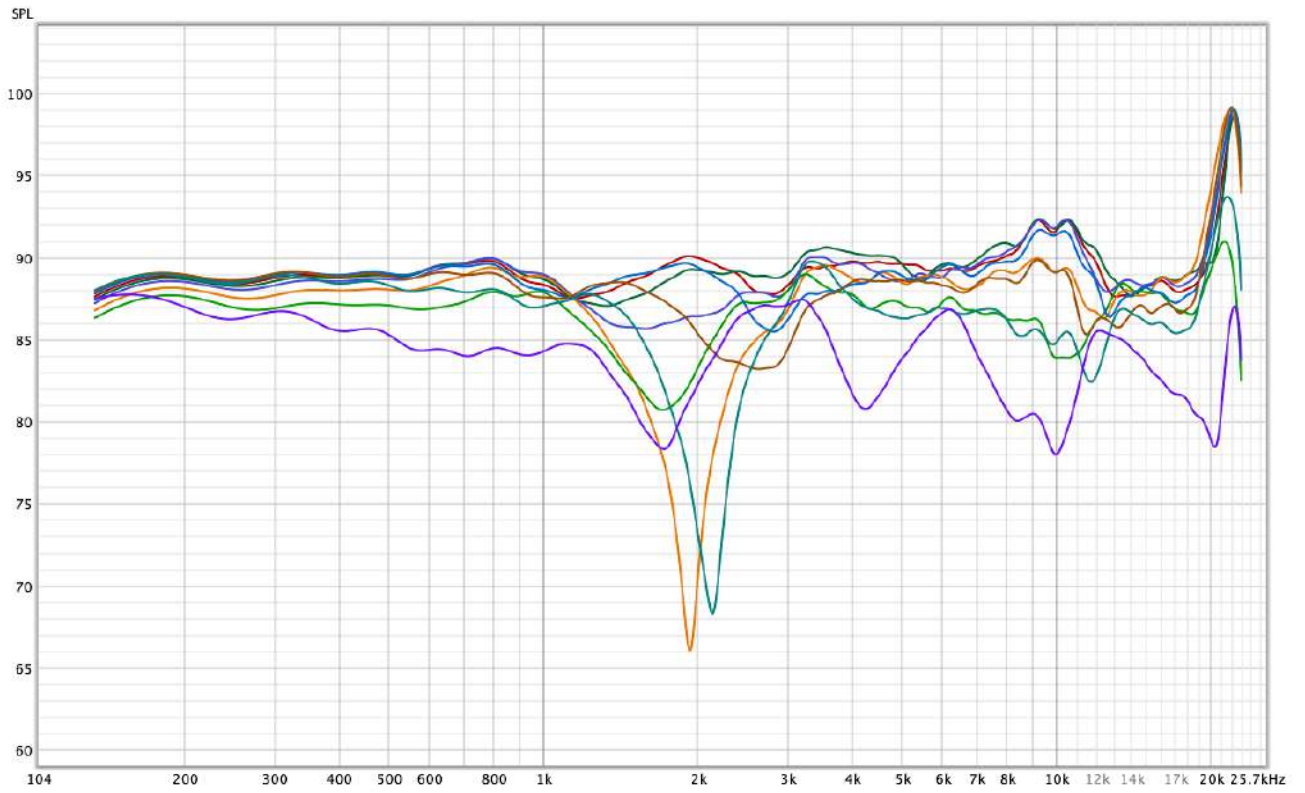
Beide speakers zijn gemeten buiten in de tuin op 1 meter afstand, zowel on-axis, de horizontale hoeken -75, -60, -45, -30, -15, +15, +30, +45, +60, +75 (Figuur 99 en Figuur 100) en de verticale hoeken -45, -30, -15, -7, +7, +15, +30, +45 (Figuur 101 en Figuur 102). Er kon een gate van 7.5ms toegepast worden.



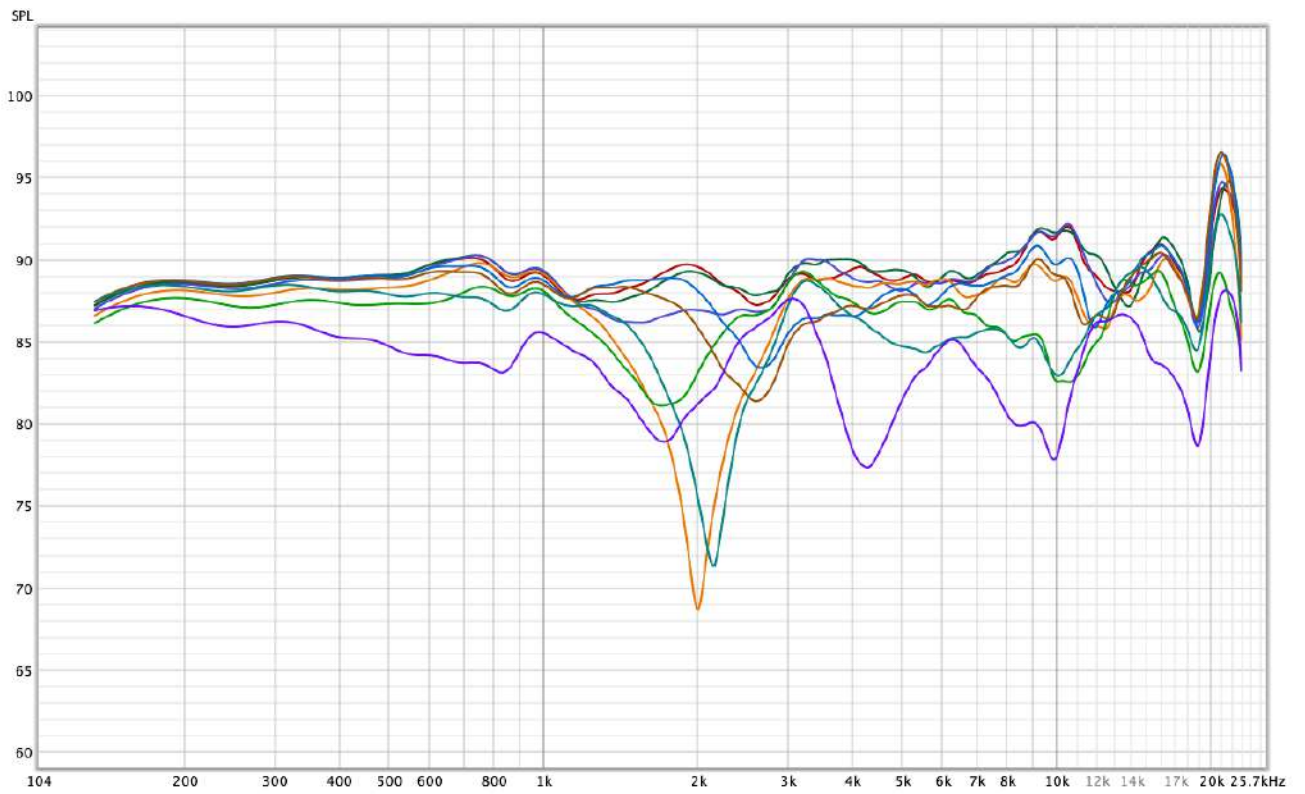
Figuur 99 De horizontale metingen van de linker speaker.



Figuur 100 De horizontale metingen van de rechter speaker.

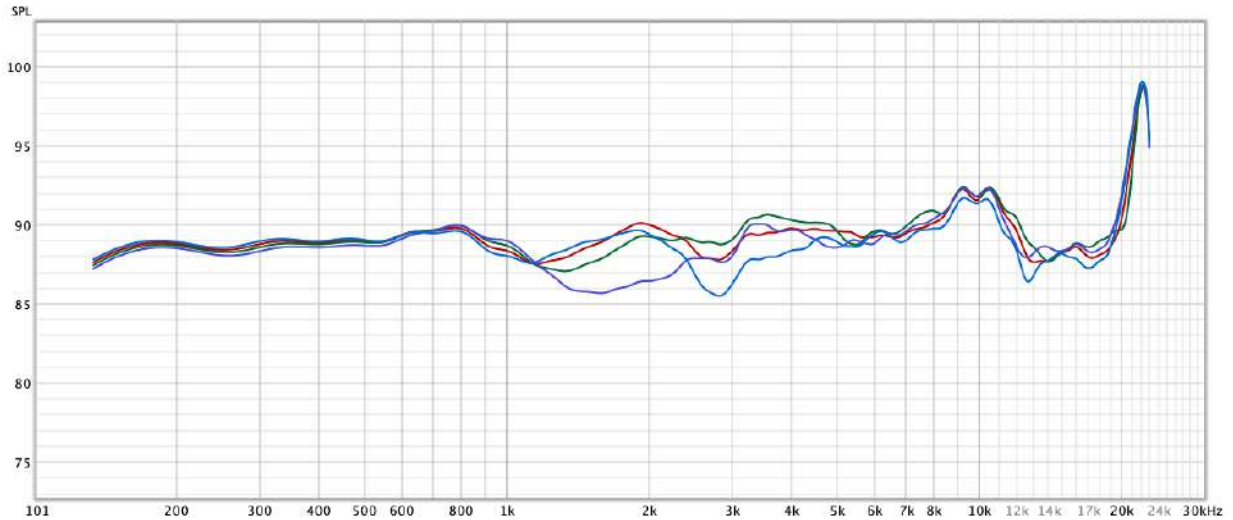


Figuur 101 De verticale metingen van de linker speaker.



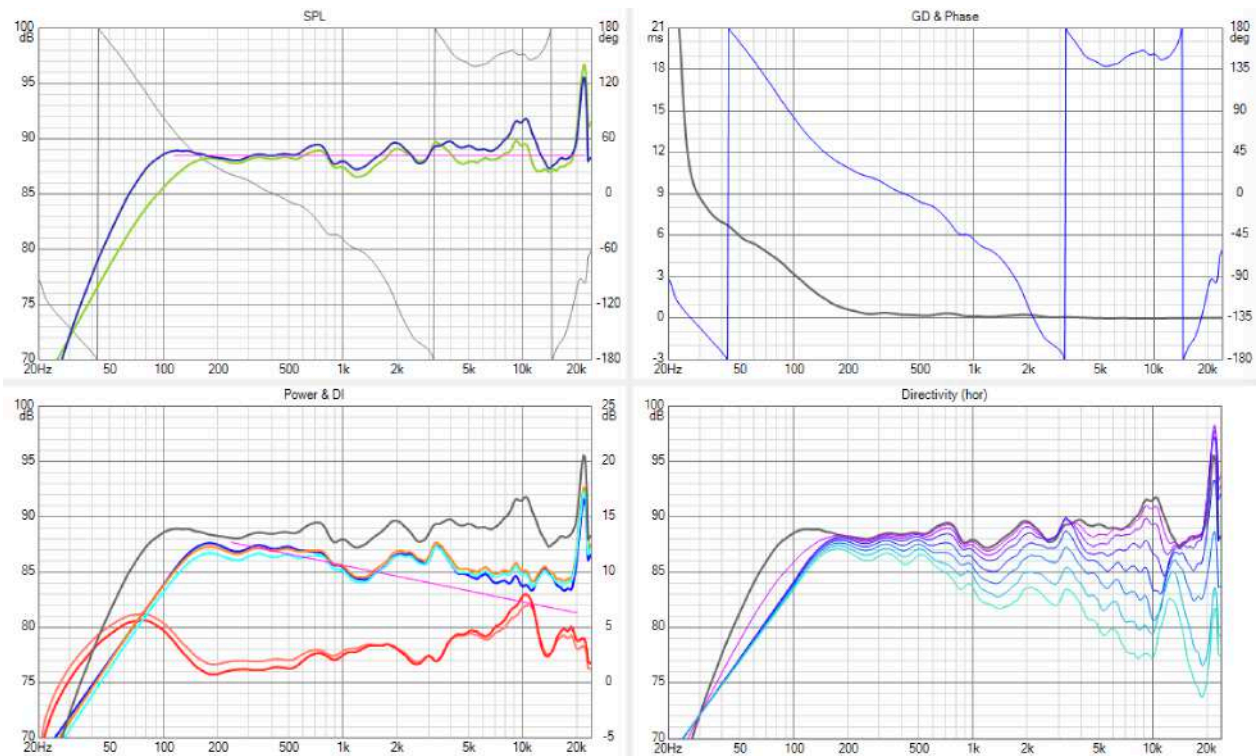
Figuur 102 De verticale metingen van de rechter speaker.

Bij de verticale meting is duidelijk de interferentie tussen beide drivers rondom de cross-over frequentie merkbaar. Door gebruik van waveguide, wordt de afstand tussen de woofer en tweeter groter, waardoor de lobing effecten heftiger worden. Maar binnen de hoeken -7 tot +15 zijn de frequentieresponses goed, zie Figuur 103.

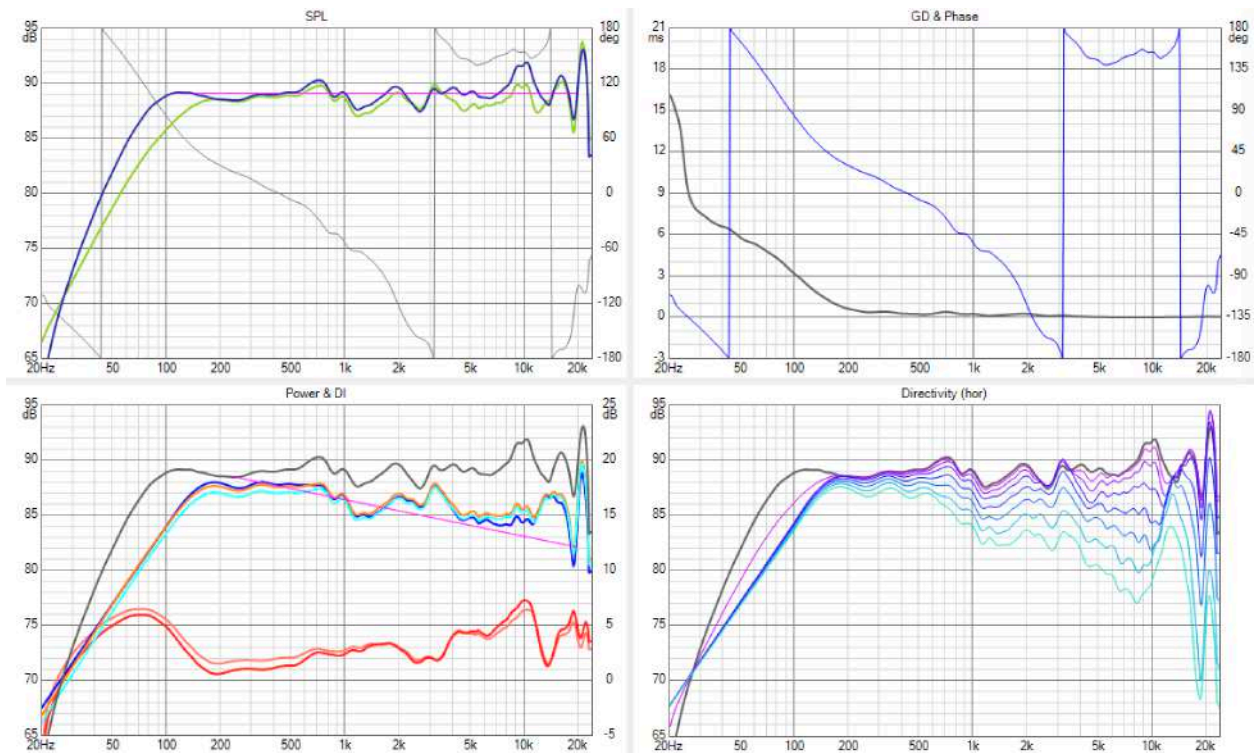


Figuur 103 De verticale metingen van de linker speaker, maar alleen de hoeken -7 t/m +15 graden.

Als de metingen van REW in VituixCAD geïmporteerd worden dan krijgen we de volgende grafieken, zie Figuur 104 en Figuur 105.



Figuur 104 De meetgegevens van de linker speaker in VituixCAD.

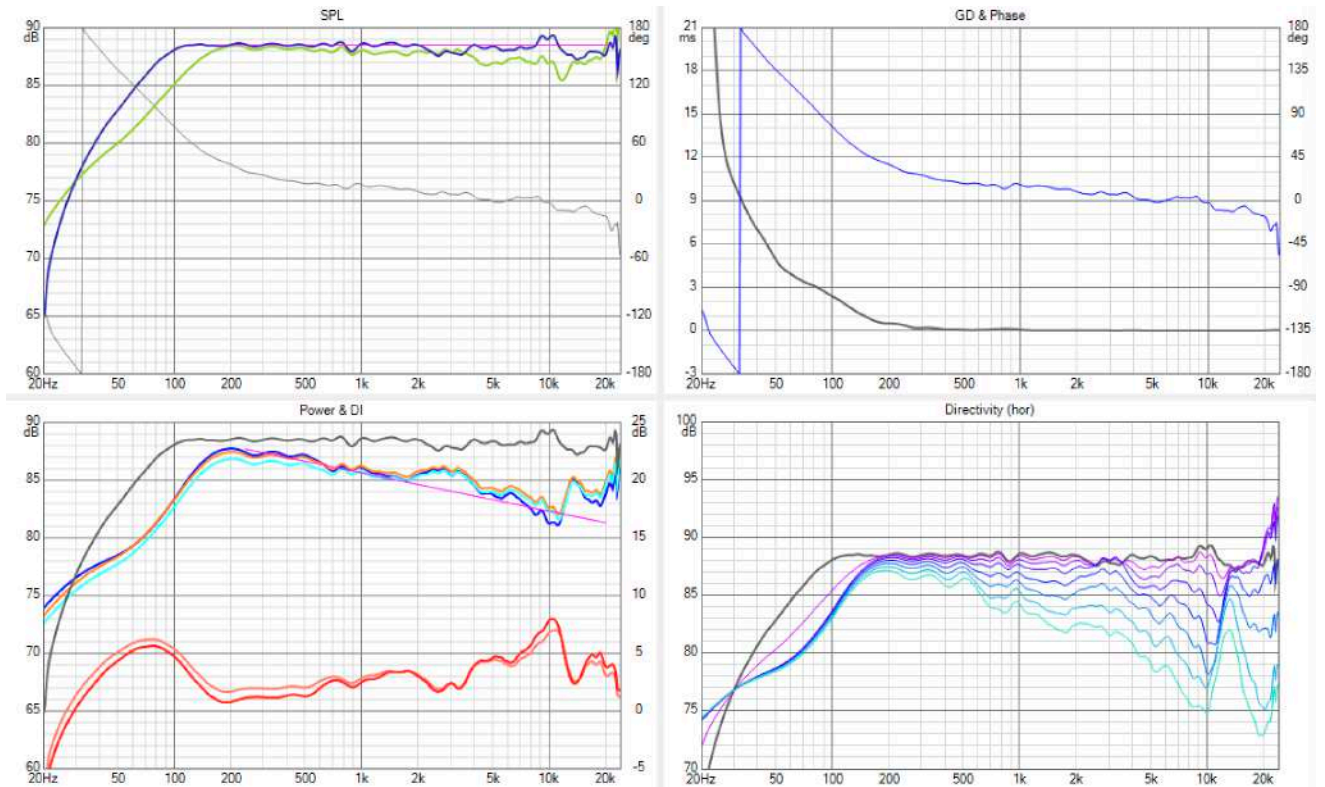


Figuur 105 De meetgegevens van de rechter speaker in VituixCAD.

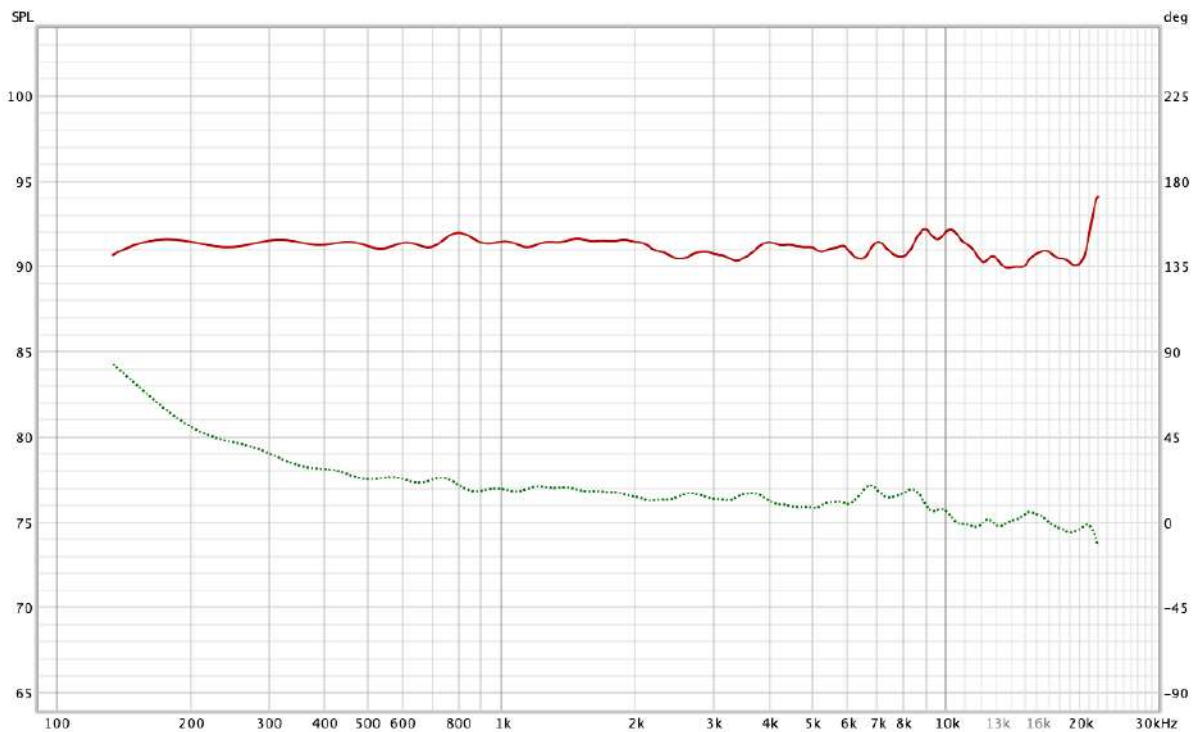
De on-axis dip bij 13–14 kHz die door waveguide duidelijk aanwezig is, is er in de powerresponse niet, daar is eerder een piek aanwezig. Dus het interferentie effect tussen de top en de rand van de dome moet net als diffractie effecten niet zomaar “gecorrigeerd” worden.

Zoals vermeld was er ook nog een DSP aanwezig om nog wat verdere optimalisaties mee te doen, die kon voor de eindversterker gezet worden. Via simulaties in VituixCad zijn zowel de on-axis response als de power response verder verbeterd, verder is de fase wat vlak getrokken.

Naast EQ om de frequentieresponse vlakker te maken, waarbij effect op de powerresponse ook in acht wordt genomen, is er een Linkwitz transform toegepast om laag iets door te trekken. De fase is vlakker gemaakt met een LR24 fase linearisatie op 2200 Hz. Verder is er een allpass filter rond de 16 kHz gebruikt voor de fase linearisatie. De filters en parameters die via VituixCad bepaald zijn, zijn met SigmaStudio in de DSP gezet en gemeten. Voor de LR24 fase linearisatie was een FIR-filter van 64 lang genoeg.

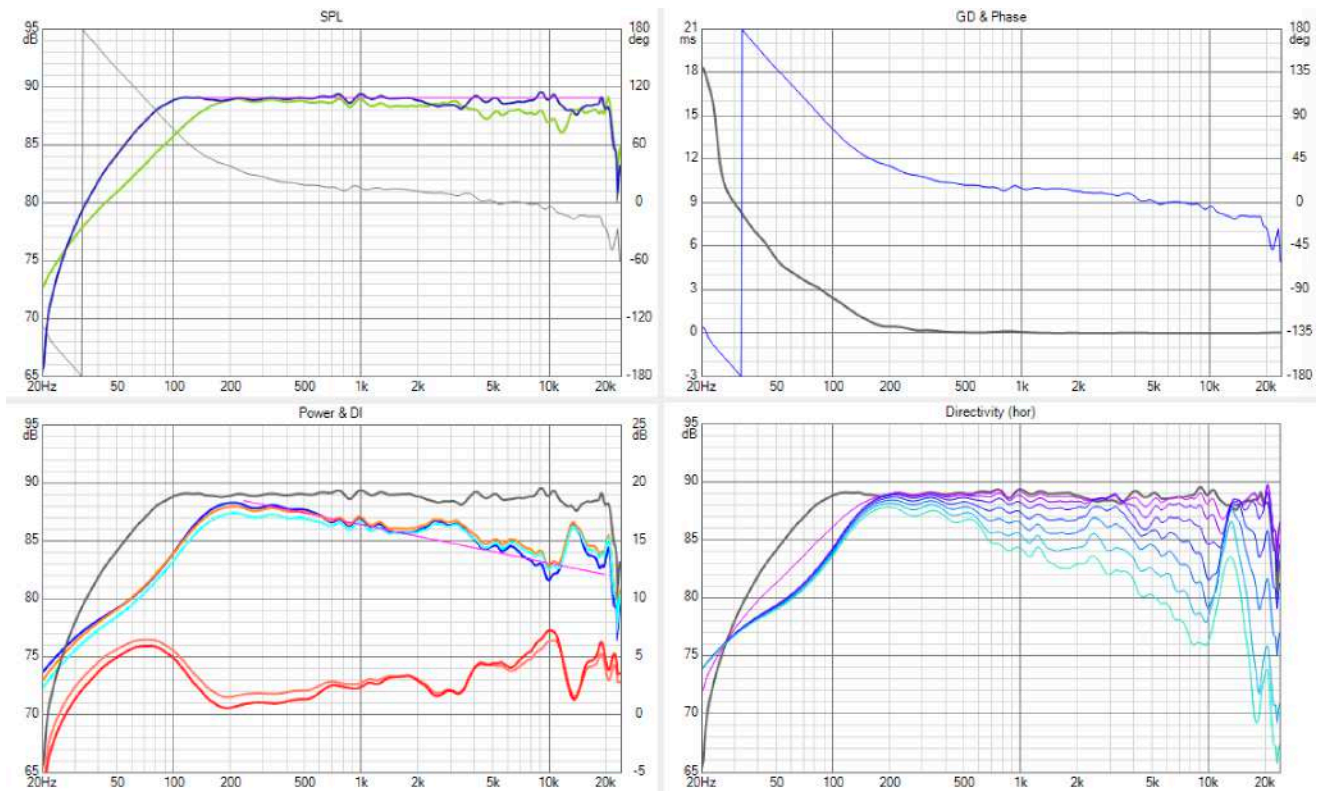


Figuur 106 De simulaties van de linker speaker in VituixCad van de optimalisaties die via een DSP geïmplementeerd kunnen worden.

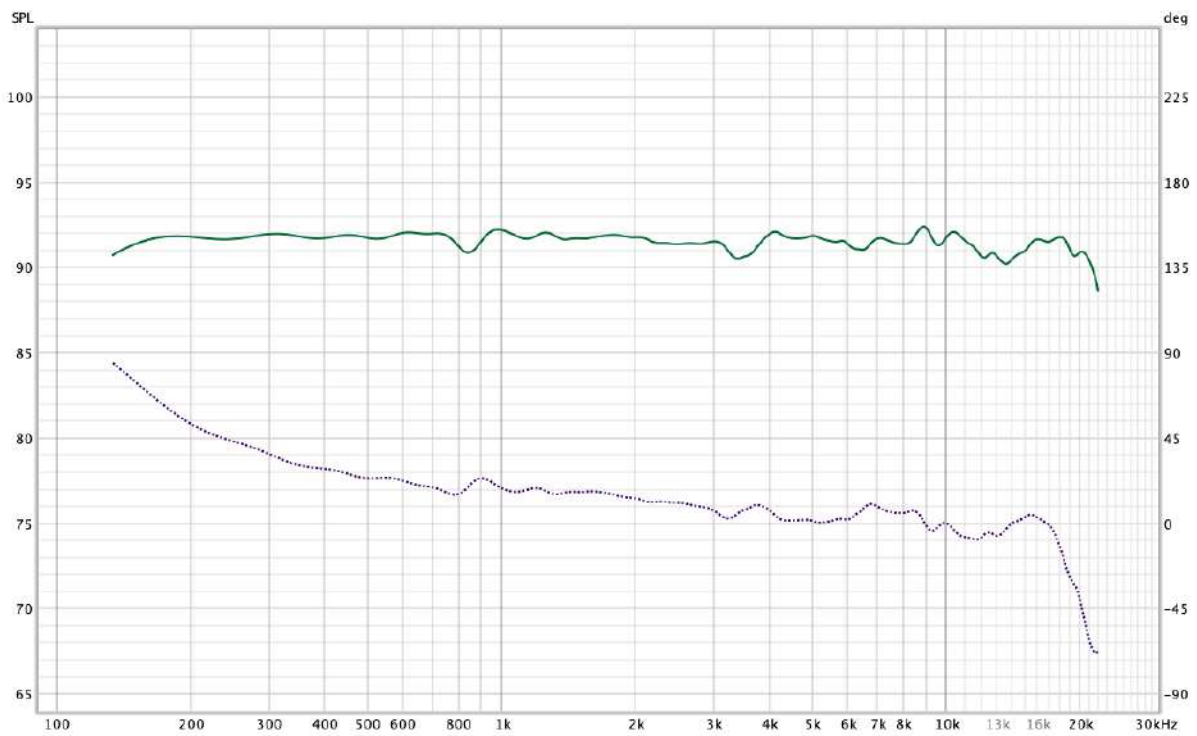


Figuur 107 Meting van linker speaker met DSP-optimalisaties, gate 7,5 ms.

Het is duidelijk dat de veranderingen, die via VituixCAD simulaties bepaald zijn, uiteindelijk na implementatie in de DSP ook meten zoals voorspeld.



Figuur 108 De simulaties van de rechter speaker in VituixCad van de optimalisaties die via een DSP geïmplementeerd kunnen worden.

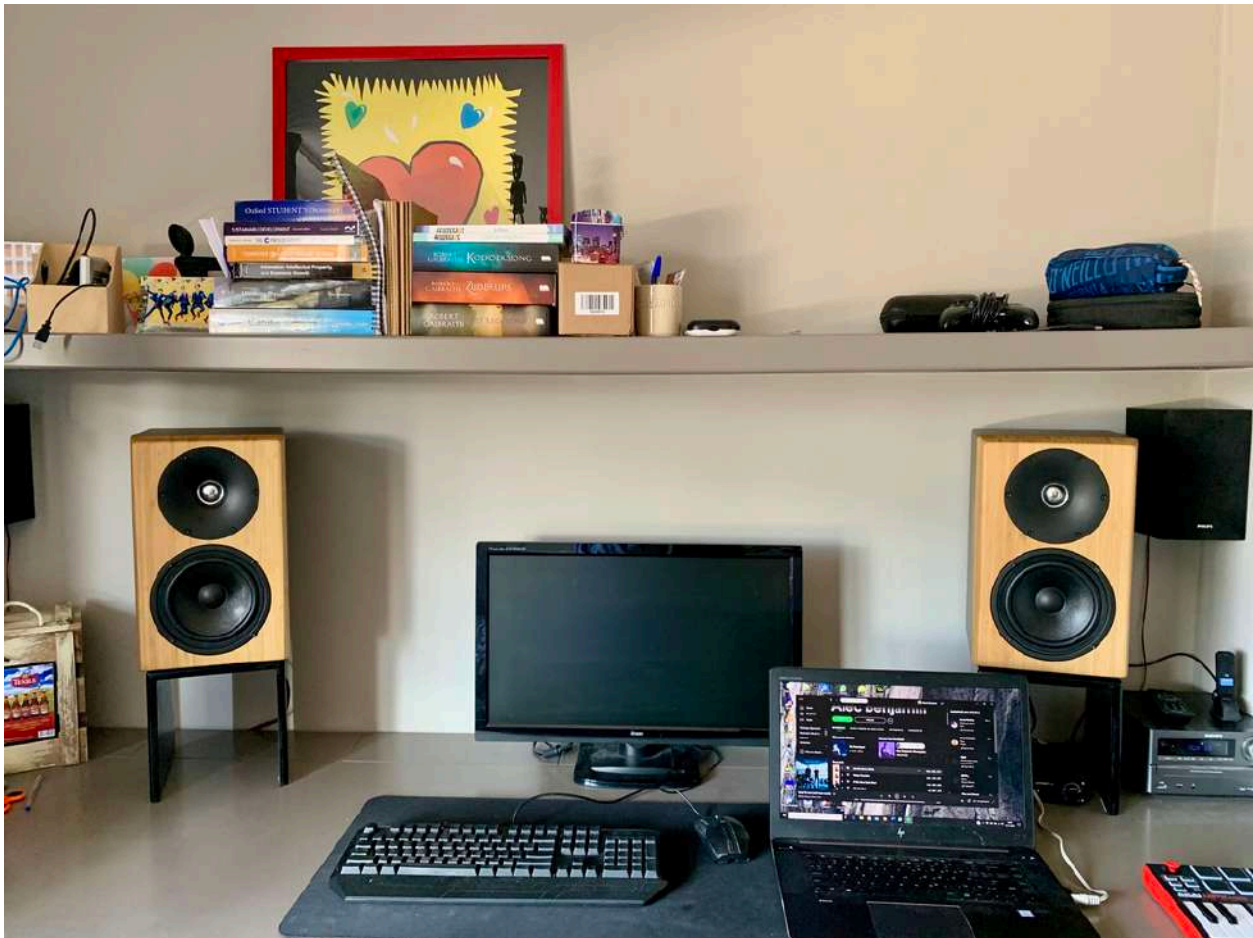


Figuur 109 Meting van rechter speaker met DSP-optimalisaties, gate 7,5 ms.

Slotwoord

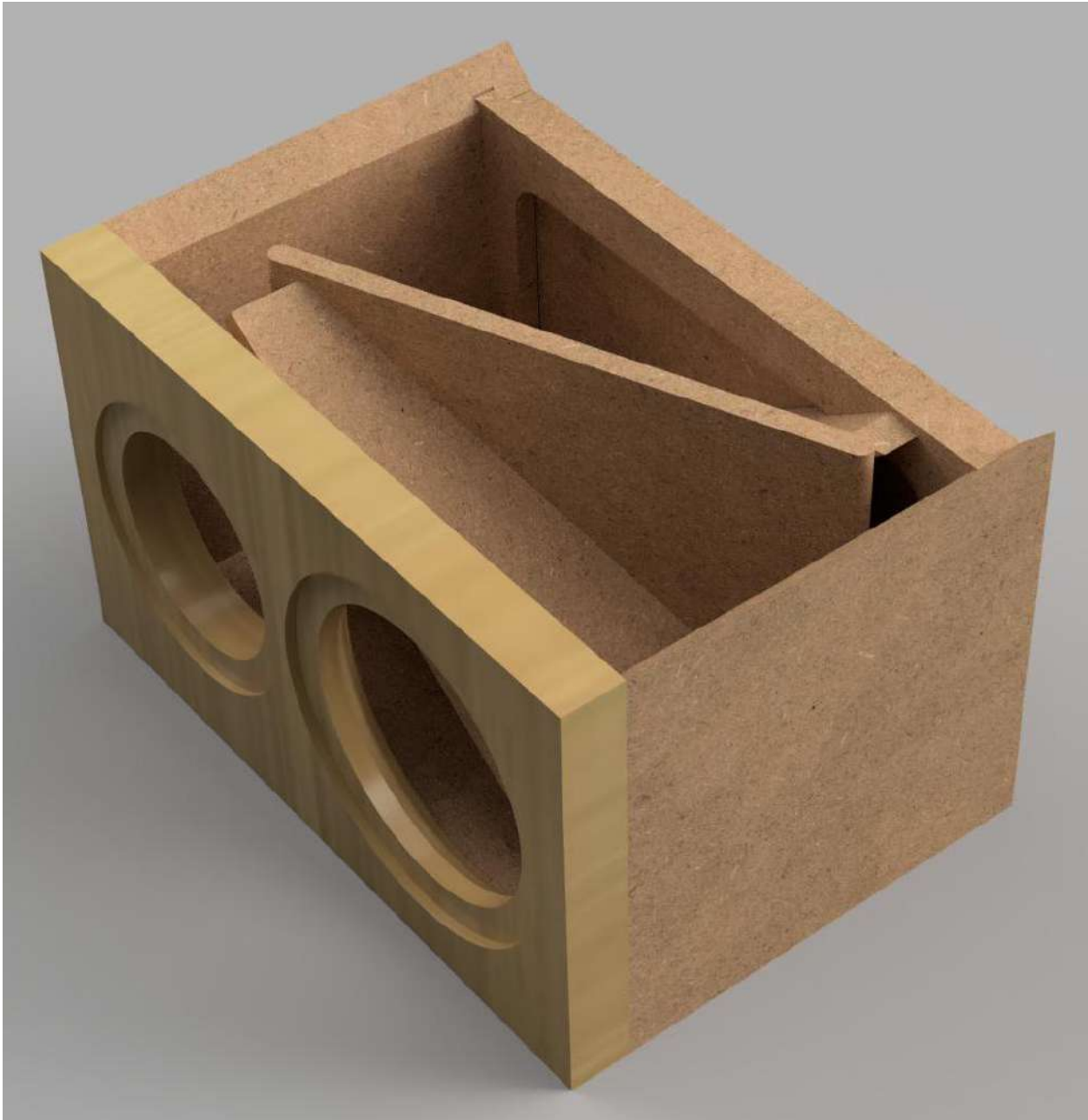
Wat valt er te zeggen, de speakers zien er goed uit, zelfs de vrouw geeft dat toe! Ze meten goed en verder klinken ze ook goed en de zoon is er erg blij mee. Die heeft voldoende tijd mede vanwege de coronacrisis en heeft dus een DAW aangeschaft en is druk daarmee bezig.

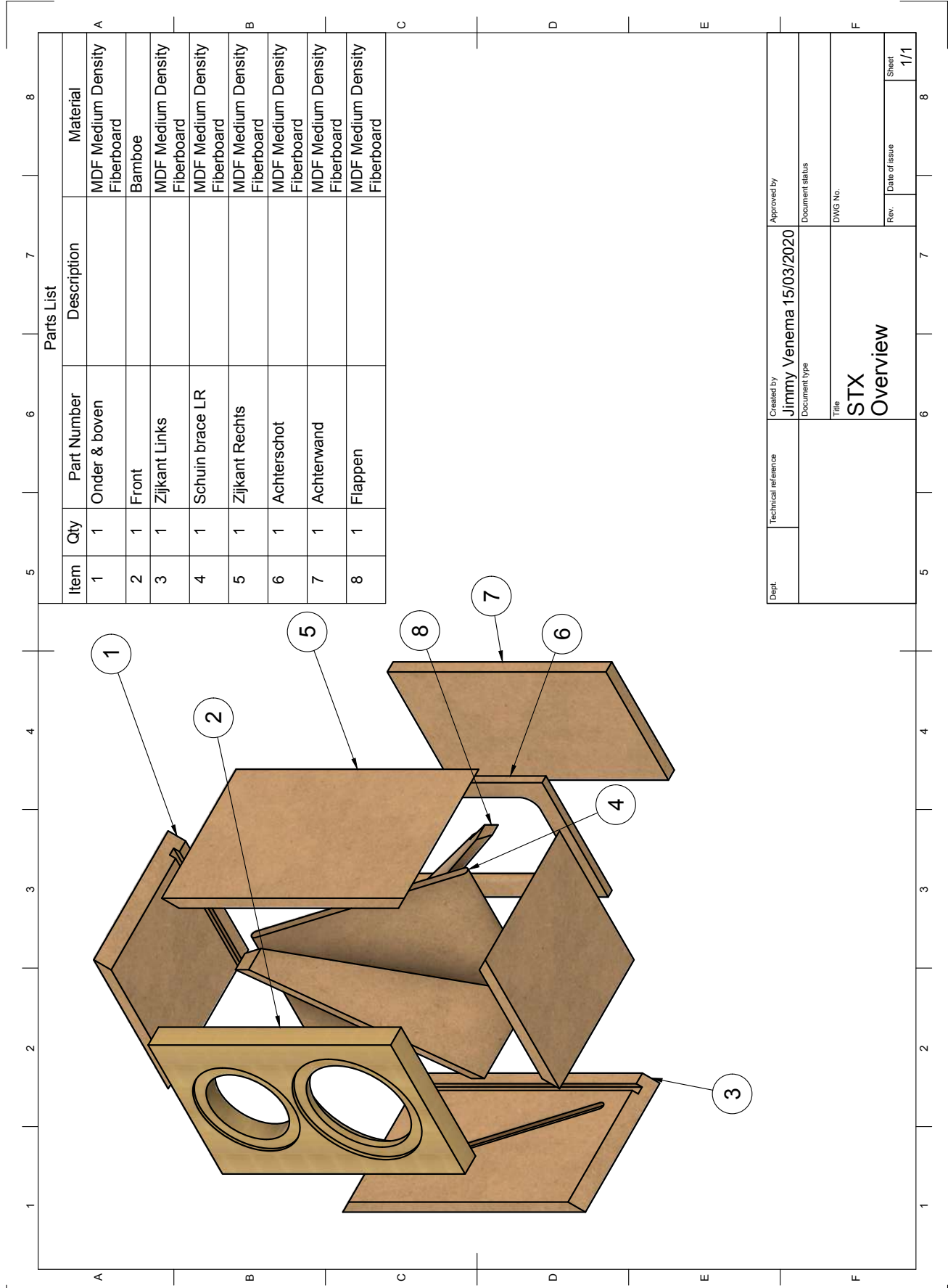
Ik had nog wat onderzetters die pasten. Hiermee komt de as tussen woofer en tweeter die ik heb aangehouden voor de metingen precies op oor hoogte. Dus op zijn bureaustoel achter de PC klopt de opstelling wat dat betreft precies.



Figuur 110 De speakers in hun opstelling op bureau van zoon. Het oude mini setje gaat nog verdwijnen en dan kunnen ze iets verder uit elkaar gezet worden.

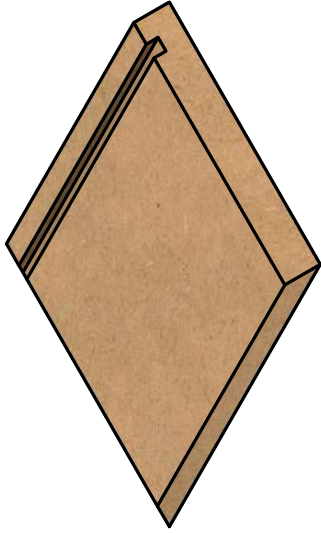
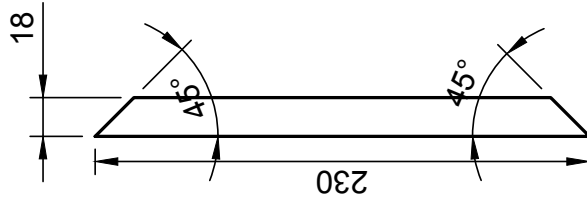
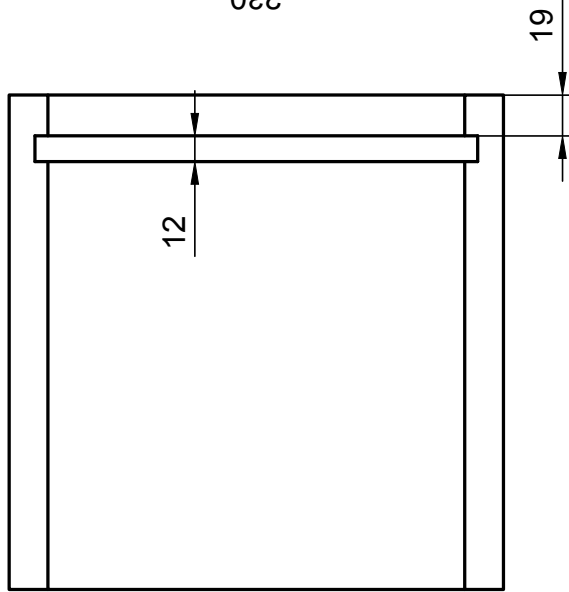
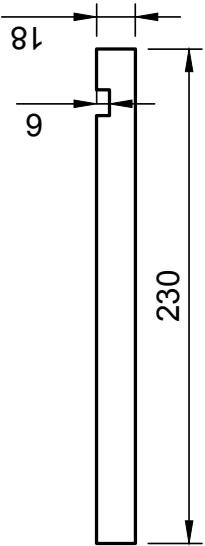
Bouwtekeningen





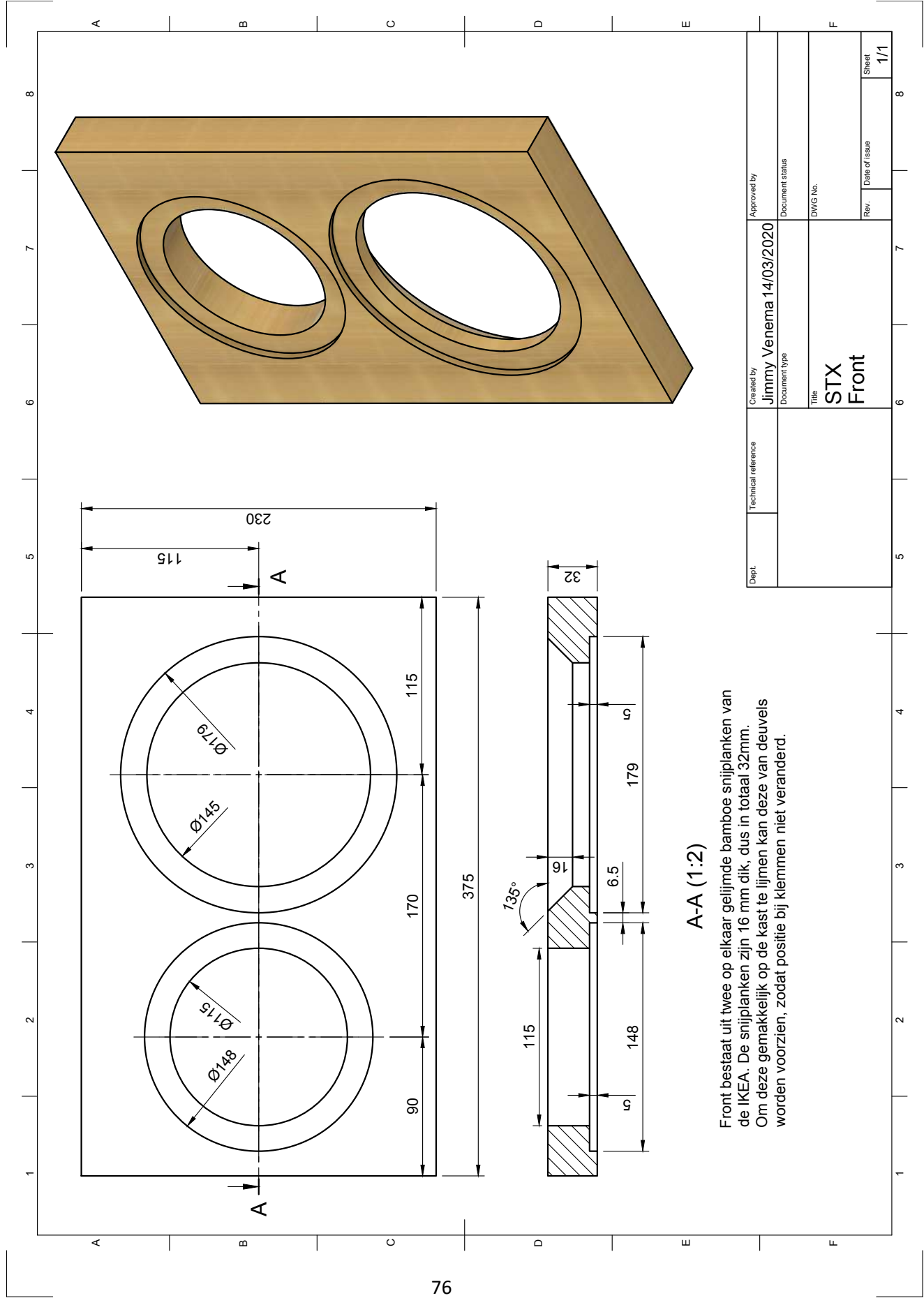
Parts List				
Item	Qty	Part Number	Description	Material
1	1	Onder & boven		MDF Medium Density Fiberboard
2	1	Front		Bamboe
3	1	Zijkant Links		MDF Medium Density Fiberboard
4	1	Schuin brace LR		MDF Medium Density Fiberboard
5	1	Zijkant Rechts		MDF Medium Density Fiberboard
6	1	Achterschot		MDF Medium Density Fiberboard
7	1	Achterwand		MDF Medium Density Fiberboard
8	1	Flappen		MDF Medium Density Fiberboard

Dept.	Technical reference	Created by Jimmy Venema	Approved by
		Document type	Document status
		Title STX Overview	DWG No.
		Rev.	Date of issue
			Sheet 1/1



Word uitgevoerd in
Zwart v313 MDF

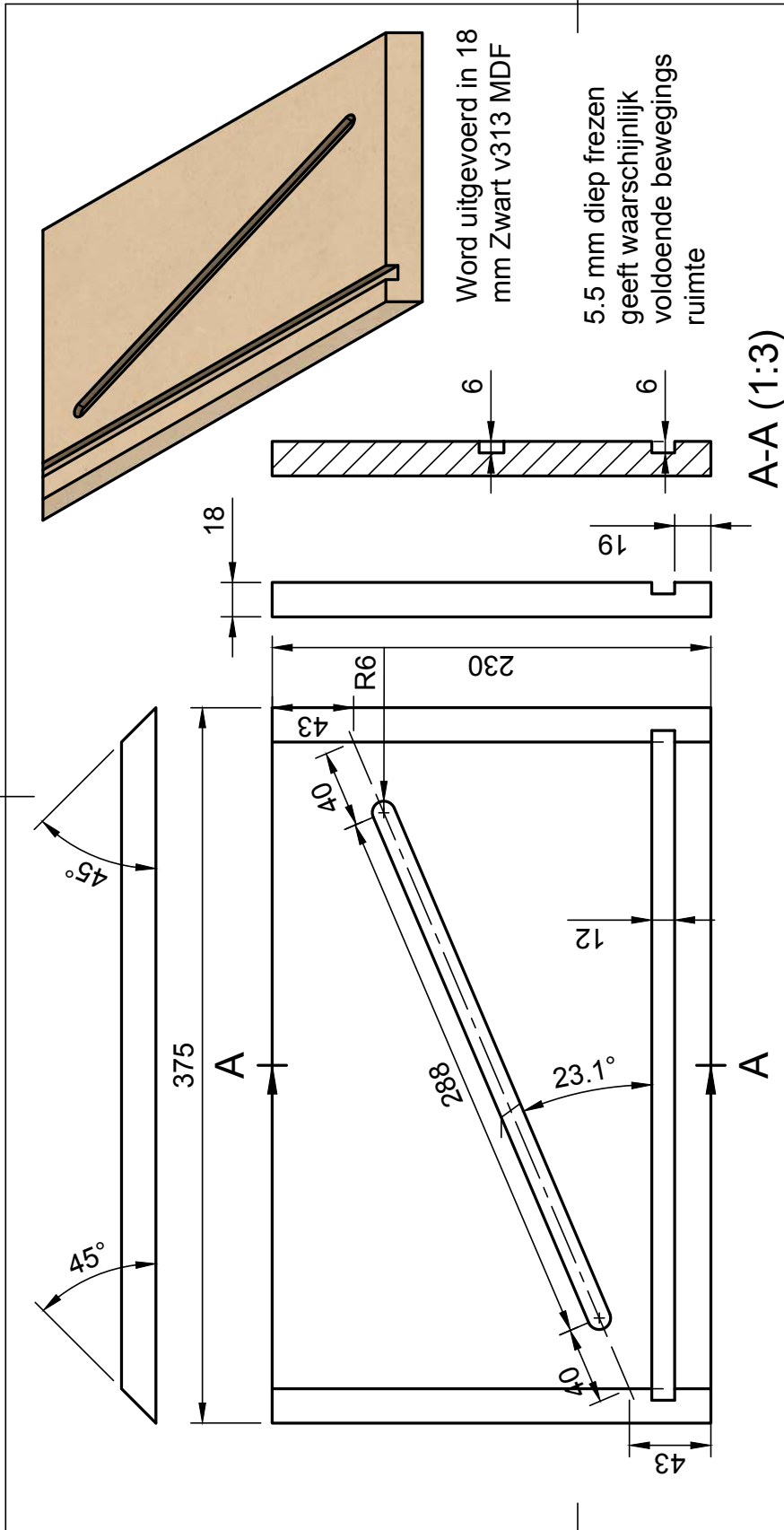
Dept.	Technical reference	Created by Jimmy Venema 15/03/2020	Approved by
		Document type	Document status
		Title STX Boven & Onder 2 x per box	DWG No.
		Rev.	Date of issue
			Sheet 1/1



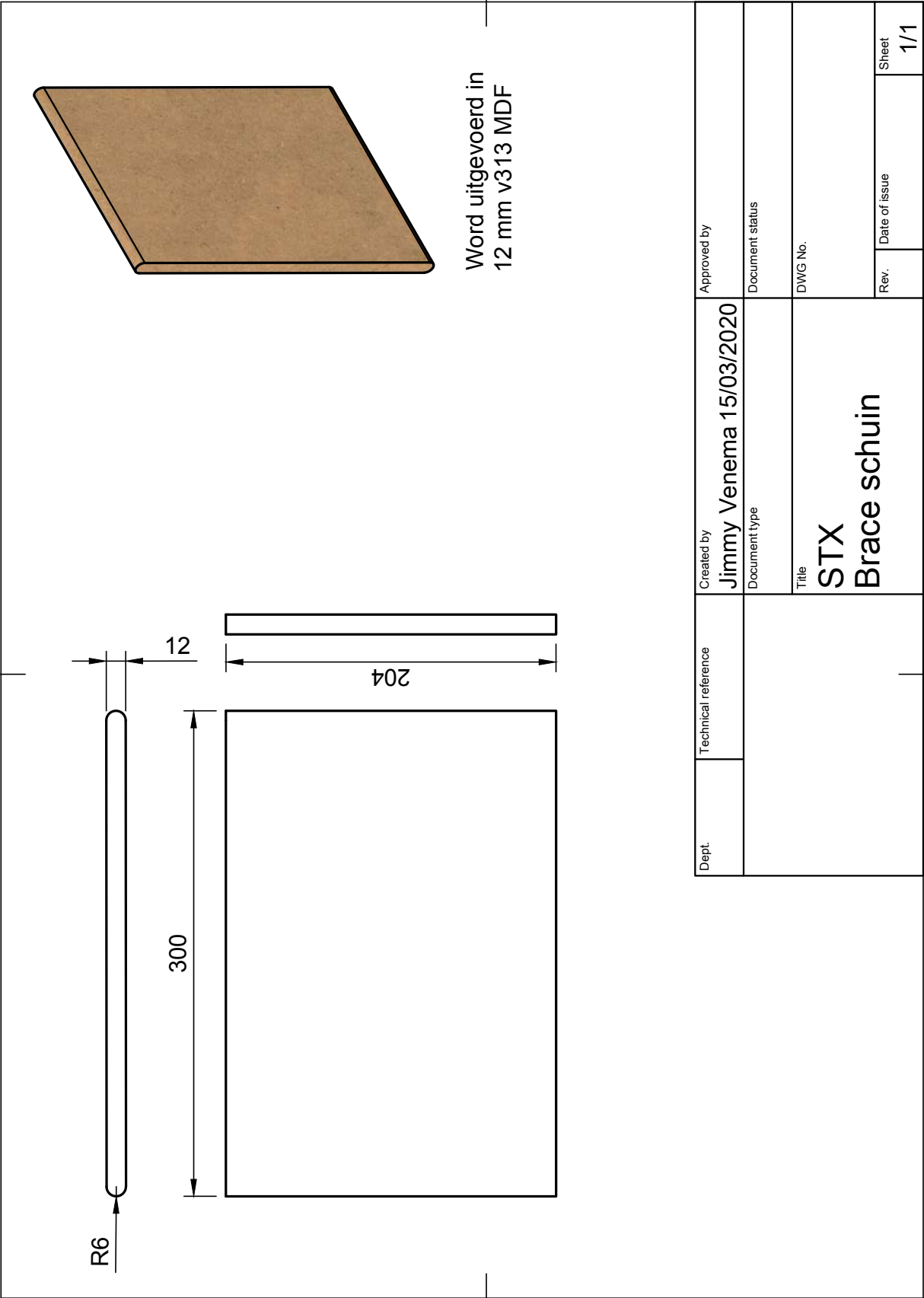
A-A (1:2)

Front bestaat uit twee op elkaar gelijkde bamboe snijplanken van de IKEA. De snijplanken zijn 16 mm dik, dus in totaal 32mm. Om deze gemakkelijk op de kast te lijmen kan deze van deuvels worden voorzien, zodat positie bij klemmen niet veranderd.

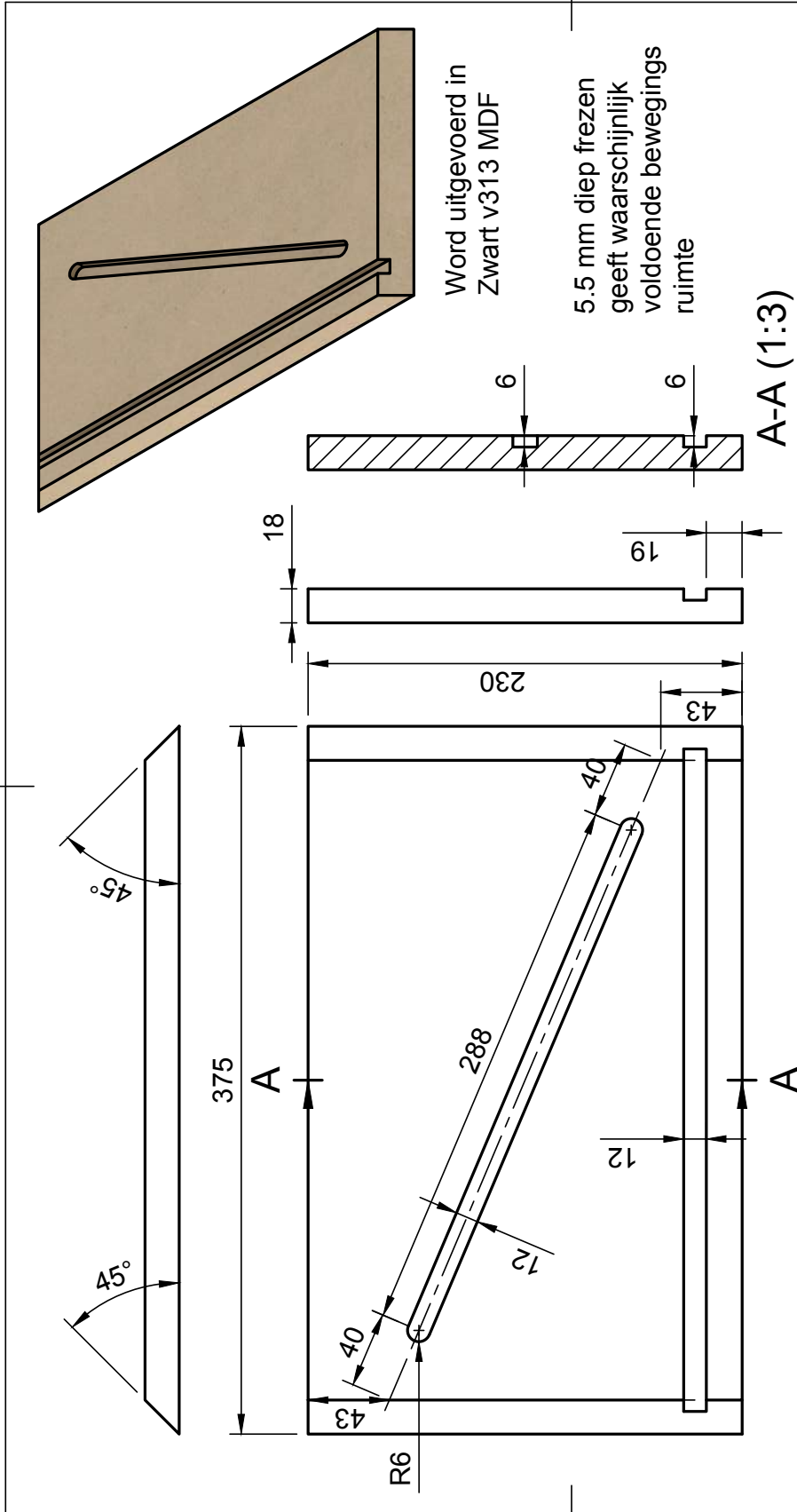
Dept.	Technical reference	Created by Jimmy Venema 14/03/2020	Approved by
		Document type	Document status
		Title STX Front	DWG No.
		Rev.	Date of issue
			Sheet 1/1



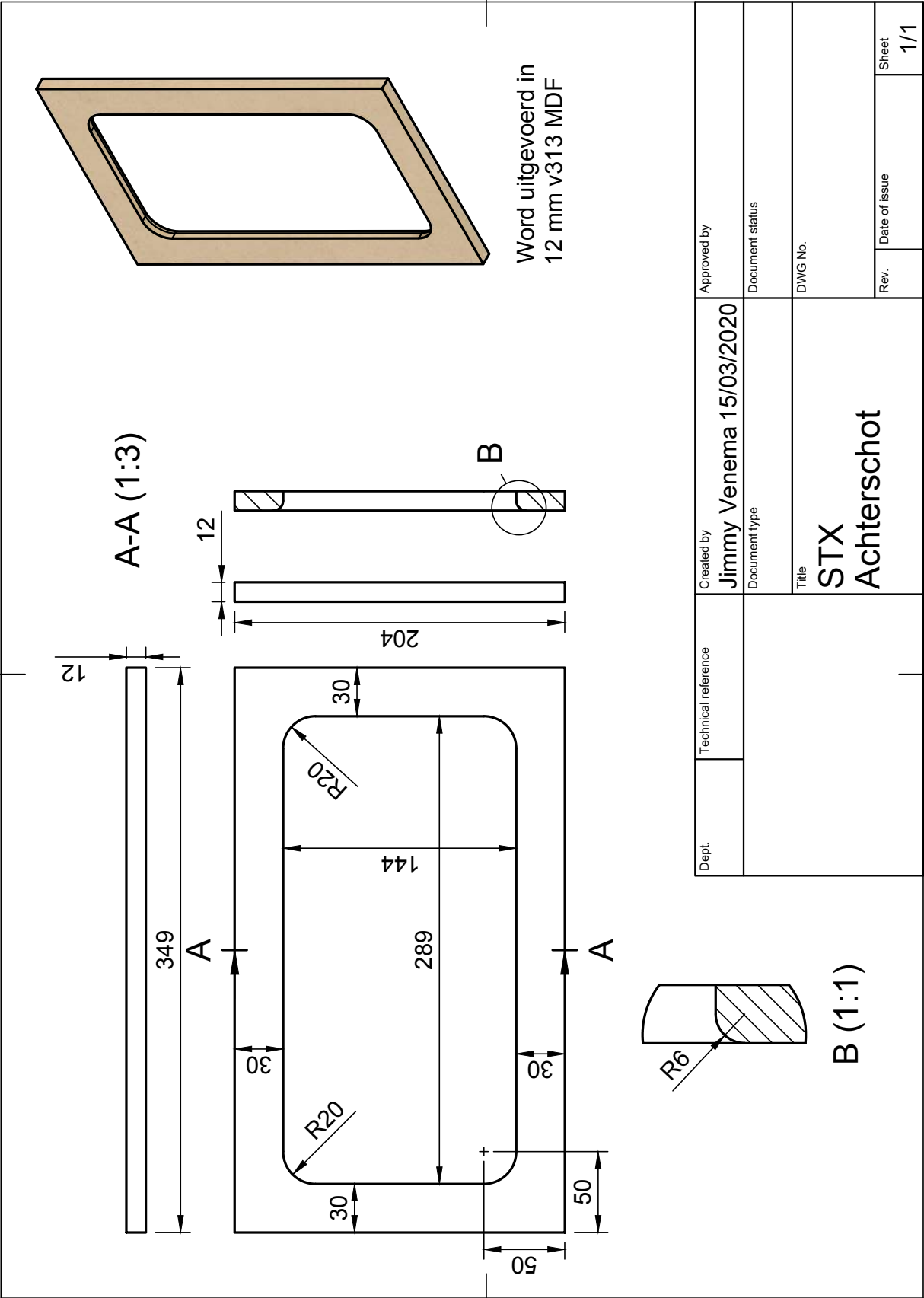
Dept.	Technical reference	Created by Jimmy Venema	Approved by
		14/03/2020	Document status
			DWG No.
		STX	Rev.
		Zijkant Links	Date of issue
			Sheet
			1/1



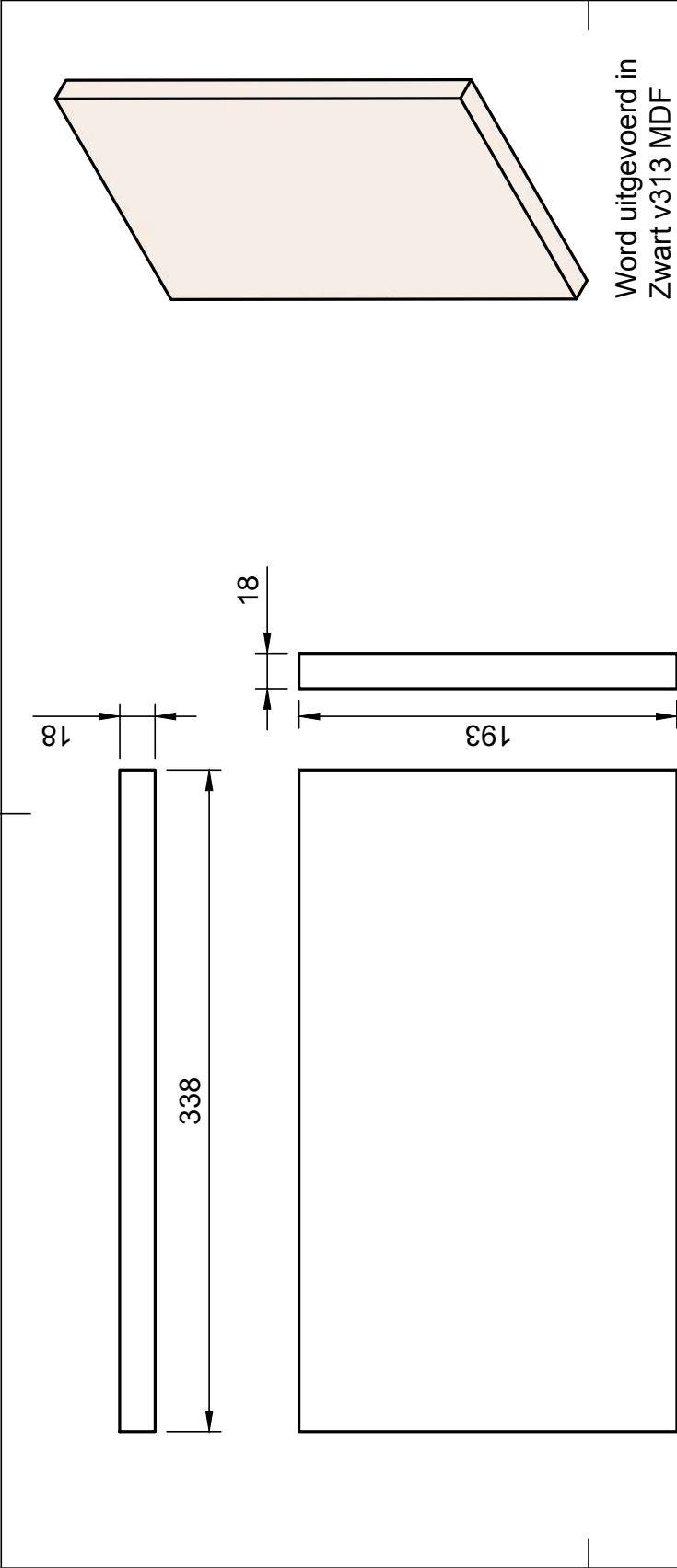
Dept.	Technical reference	Created by Jimmy Venema 15/03/2020	Approved by
		Document type	Document status
		Title STX Brace schuin	DWG No.
		Rev.	Date of issue
			Sheet 1/1



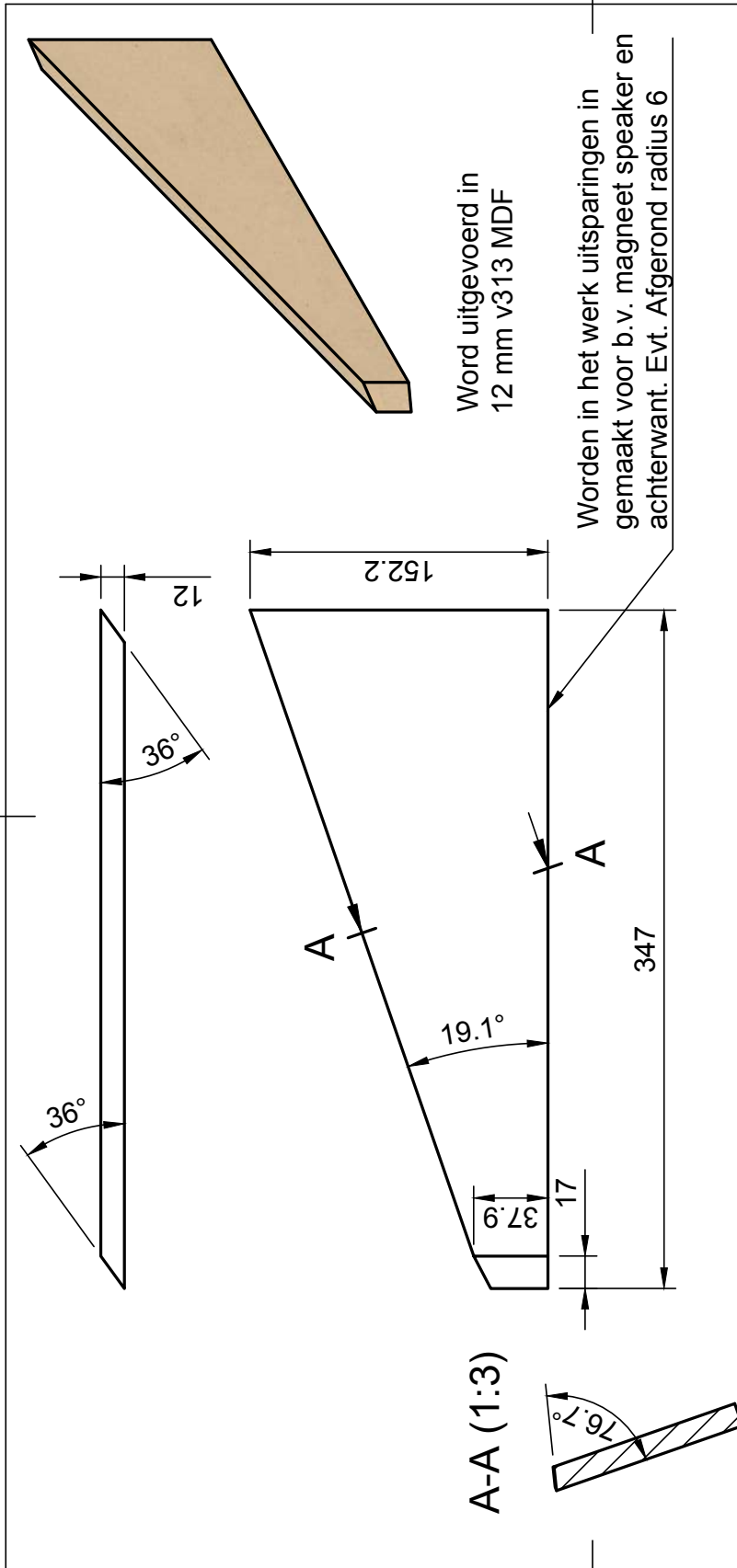
Dept.	Technical reference	Created by Jimmy Venema	Approved by
		14/03/2020	Document status
		Document type	DWG No.
		Title STX Zijkant Rechts	Rev.
			Date of issue
			Sheet 1/1



Dept.	Created by Jimmy Venema 15/03/2020	Approved by
Technical reference	Document type	Document status
Title STX Achterschot		DWG No.
Rev.		Date of issue
Sheet		1/1

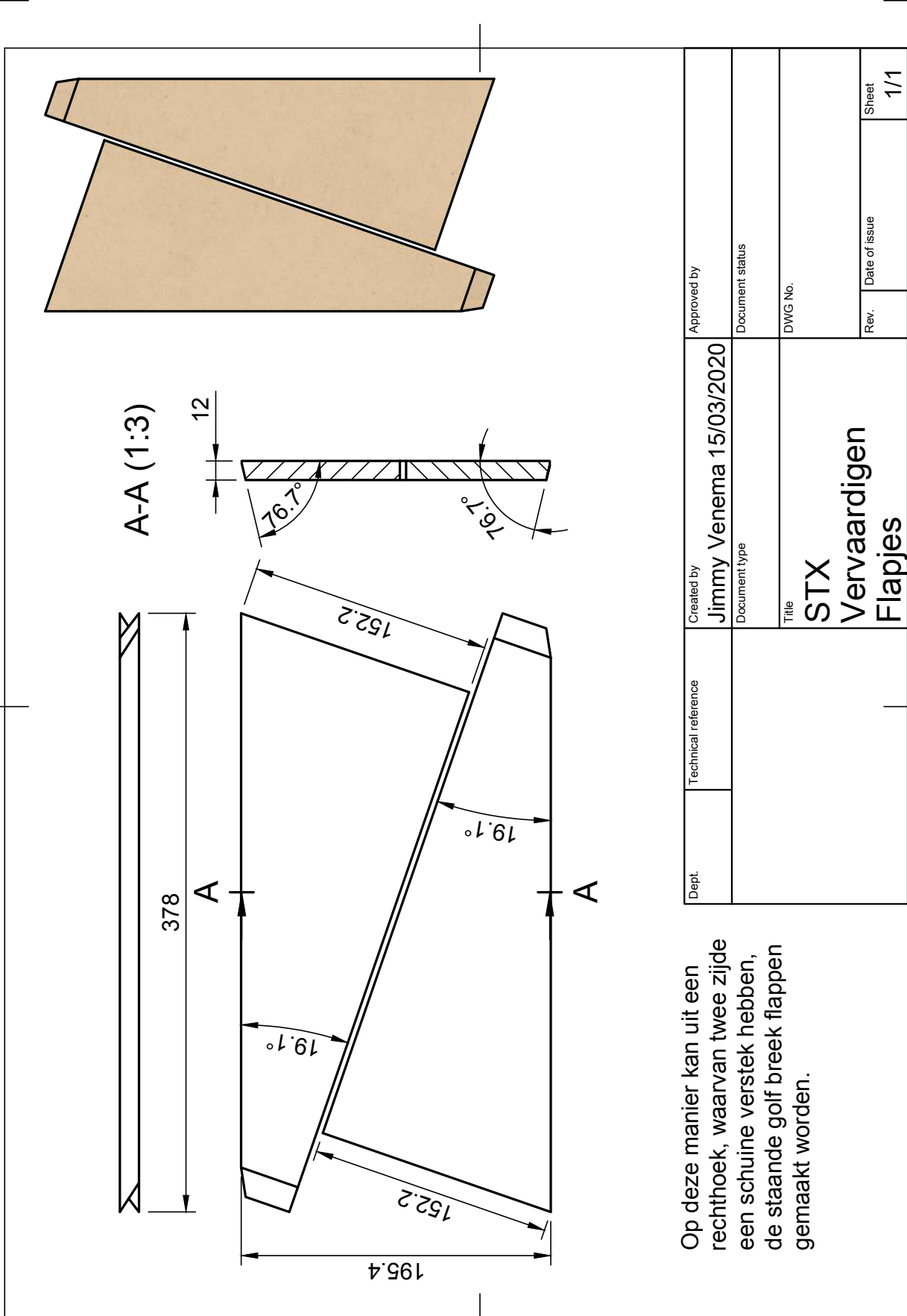


Dept.	Technical reference	Created by Jimmy Venema 15/03/2020	Approved by
		Document type	Document status
		Title STX Achterwand	DWG No.
		Rev.	Date of issue
			Sheet 1/1



Twee flappen worden vervaardigd uit een parallellogram of rechthoek, waarvan lange zijde op de juiste verstekhoek gezaagd zijn.

Dept.	Technical reference	Created by Jimmy Venema 15/03/2020	Approved by
		Document type	Document status
		Title STX Flap tegen brace 2 x per box	
		DWG No.	
		Rev.	Date of issue
			Sheet 1/1



Op deze manier kan uit een rechthoek, waarvan twee zijde een schuine verstek hebben, de staande golf breek flappen gemaakt worden.

Dept.	Technical reference	Created by Jimmy Venema	Approved by
		15/03/2020	Document status
		Document type	DWG No.
		Title STX Vervaardigen Flapjes	
		Rev.	Date of issue
			Sheet 1/1

Lijst van afbeeldingen

<i>Figuur 1 De "freestafel", doet al meer als 20 jaar dienst.</i>	<i>5</i>
<i>Figuur 2 De geleiding van een sleuf frezen in actie.</i>	<i>6</i>
<i>Figuur 3 Het hulpstuk dat gebruikt is om cirkels te frezen, door draadeinden is straal nauwkeurig in te stellen.</i>	<i>6</i>
<i>Figuur 4 Response van beide STX-tweeters in een grote baffle, voor leesbaarheid zijn de grafieken iets uit elkaar geplaatst.</i>	<i>9</i>
<i>Figuur 5 In een bruine doos die netjes werd bezorgd, zaten deze dozen met de drivers.</i>	<i>12</i>
<i>Figuur 6 Uitgepakt zien de drivers er zo uit.</i>	<i>13</i>
<i>Figuur 7 De aluminium frontplaat is eenvoudig van te tweeter te verwijderen, 4 schroeven moeten met inbus verwijderd worden.</i>	<i>13</i>
<i>Figuur 8 De schroefgaten op waveguide staan net iets verder uit elkaar dan die op de tweeter. Door de gaten op te boren van 4 naar 6 mm gaat het passen.</i>	<i>14</i>
<i>Figuur 9 De plaat van de tweeter kan nu op de waveguide geschroefd worden en de positie van de andere 4 gaten worden overgenomen.</i>	<i>14</i>
<i>Figuur 10 De positie van de gaten is overgenomen. Met kolomboor met 6mm boor het gat overnemen en iets inboren.</i>	<i>15</i>
<i>Figuur 11 Met 6 mm frees de gaten vlak maken en voldoende diep.</i>	<i>15</i>
<i>Figuur 12 De schroeven waarmee frontplaat van tweeter vast zit, kunnen nu verzinken in de waveguide.</i>	<i>16</i>
<i>Figuur 13 Tweeter op waveguide geschroefd, er zijn zwarte schroeven meegeleverd, die zijn bij het proef passen nog niet gebruikt.</i>	<i>16</i>
<i>Figuur 14 En zo ziet het er uiteindelijk van voren uit.</i>	<i>17</i>
<i>Figuur 15 Vanwege de kosten zijn twee flappen als een parallellogram besteld. Deze moet in tweeën gezaagd worden.</i>	<i>17</i>
<i>Figuur 16 De flappen gezaagd uit parallellogram, moet nog wat verder bewerkt worden.</i>	<i>18</i>
<i>Figuur 17 Boren van de gaten in achter tussenschot, dit schot komt in een gefreesde sleuf in zij en boven en onderkant. Het houdt deze kanten bij elkaar en achterwand wordt hier tegenaan geschroefd.</i>	<i>18</i>
<i>Figuur 18 De gaten zijn geboord.</i>	<i>19</i>
<i>Figuur 19 Met decoupeerzaag binnen stuk weggezaagd.</i>	<i>19</i>
<i>Figuur 20 Het frezen van de schuine sleuf voor de brace. De zijkant is ingeklemd tussen twee stukken MDF waarop een aluminium hoekprofiel als geleide wordt gebruikt. Borg werkstuk zodat die niet kan verschuiven, b.v. met duct tape.</i>	<i>20</i>
<i>Figuur 21 De sleuf is gefreesd.</i>	<i>20</i>
<i>Figuur 22 Front wordt met duvels op kast gefixeerd, zodat die bij lijmen niet kan verschuiven. Dus op een plank zijn hiervoor al gaten geboord. In de ander is gat geboord voor middelpunt om drivers uit te frezen.</i>	<i>21</i>
<i>Figuur 23 Bison woodmax erop.</i>	<i>21</i>
<i>Figuur 24 En dit uitgesmeerd, bleek dat met lijmklemmen erop, de twee planken gemakkelijk wilde verdraaien, dus dat vervolgens anders aangepakt.</i>	<i>22</i>
<i>Figuur 25 De gaten als middelpunt voor frezen drivers, zijn nu ook overgenomen in de achterste bamboe snijplank, door hier twee pinnen door te doen tijdens lijmen, kunnen ze niet meer wegdraaien. t.o.v. elkaar.</i>	<i>22</i>
<i>Figuur 26 Wat schilders tape over de pinnen heen, zodat die er niet uit kunnen vallen.</i>	<i>23</i>
<i>Figuur 27 De pinnen die ik had komen er net niet doorheen, deze komen wel wat vast te zitten met lijmen, maar zijn er eenvoudig uit te slaan met een hamer en een hulpstuk.</i>	<i>23</i>
<i>Figuur 28 Detail opname van gat met pin.</i>	<i>24</i>
<i>Figuur 29 Afplakken met tape, want er komt een plank overheen om de druk van de lijmklemmen te verdelen en er kan dus lijm uit gat komen en de aandrukplank moet hierdoor niet vastgelijmd worden.</i>	<i>24</i>
<i>Figuur 30 De twee planken worden met lijmklemmen tegen elkaar gedrukt.</i>	<i>25</i>
<i>Figuur 31 Frezen van de gaten voor de drivers, door de draadeinden, is de juiste straal eenvoudig nauwkeurig in te stellen.</i>	<i>25</i>
<i>Figuur 32 Laatste stukken worden even met decoupeerzaag gedaan, omdat anders het middelpunt niet meer gefixeerd is.</i>	<i>26</i>
<i>Figuur 33 Resultaat van het frezen, er is ook de nodige chamfer aangebracht bij de woofer aan de achterzijde.</i>	<i>26</i>

<i>Figuur 34 Even een hulpstuk gemaakt uit resthout, om juiste hoek af te schuiven. Hoek is 54 graden, de maximale hoek bij opmaatzagen is 46 graden, wat te weinig is, dus laatste stukje moet geschuurd worden.</i>	<i>27</i>
<i>Figuur 35 Het schuren van de juiste hoek.</i>	<i>27</i>
<i>Figuur 36 Proef passen en aftekenen.</i>	<i>28</i>
<i>Figuur 37 De plaatst van de flap op schuine brace is afgetekend, Binnen de lijnen dus bison woodmax aanbrengen. Breng geen lijm aan bij de uiteinden, want het is niet de bedoeling dat het per ongeluk vastgelijmd wordt aan het zwarte MDF.</i>	<i>29</i>
<i>Figuur 38 Uitgehard is woodmax een enorm sterke lijm, de aanhecht kracht in begin is niet voldoende om plankje op zijn plaatst te houden. Met lijmpistool even een wat smeltlijm aangebracht om plankje op zijn plek te houden. Even aanbrengen vasthouden en wachten tot lijm afgekoeld is.</i>	<i>29</i>
<i>Figuur 39 Nog een detail van aangebrachte lijm met lijmpistool bovenin. Nadat woodmax voldoende uitgehard is kan lijm van lijmpistool weggesneden worden en naad eventueel afgestroken met woodmax.</i>	<i>30</i>
<i>Figuur 40 Lijm van lijmpistool is weggesneden en naad is verder afgewerkt met woodmax.</i>	<i>30</i>
<i>Figuur 41 De drivers in front geplaatst.</i>	<i>31</i>
<i>Figuur 42 Proefpassen of uitsparing voor magneet ruim genoeg is.</i>	<i>31</i>
<i>Figuur 43 De voorkant van schuine brace is van demping voorzien 2 cm dik wat stevige persing Polyester wol.</i>	<i>32</i>
<i>Figuur 44 Alle boven en onderkanten voorzien van 4 cm dik polyester wol van wat lichtere persing.</i>	<i>32</i>
<i>Figuur 45 De flap aan voorkant is nu ook van wat demping voorzien.</i>	<i>33</i>
<i>Figuur 46 Zo ziet het er ongeveer uit als je het in elkaar gaat zetten. Extra losse demping kan altijd nog aangebracht worden. Dat wat op wanden gelijmd wordt is aangebracht.</i>	<i>33</i>
<i>Figuur 47 Alles ligt klaar, de spanband de beschermers van de hoeken etc.</i>	<i>34</i>
<i>Figuur 48 Als eerste een streep lijm (bison woodmax) in de gefreesde sleuven. De sleuven zijn ongeveer een halve mm dieper dan de theoretische "past precies". Hierdoor loop je nooit hier als eerste vast en gaan de buiten naden goed sluiten. De lijm vult de ruimte die eventueel overblijft.</i>	<i>34</i>
<i>Figuur 49 De brace wat in sleuf valt, word van lijm voorzien.</i>	<i>35</i>
<i>Figuur 50 Lijm met spatel uitsmeren.</i>	<i>35</i>
<i>Figuur 51 De schuine kant van flap heeft wat speling dus ruim voorzien van lijm, deze komt op de linker zijwand.</i>	<i>36</i>
<i>Figuur 52 De brace wordt in schuine sleuf in linker zijwand geplaatst.</i>	<i>36</i>
<i>Figuur 53 Dan op achterschot aan beide kanten lijm aanbrengen en uitsmeren. Vervolgens in linker zijwand plaatsen.</i>	<i>37</i>
<i>Figuur 54 De boven en onderkant van lijm voorzien. Uitsmeren op de schuine verstek zijde. In gleuf strook lijm aanbrengen, niet uitsmeren hier.</i>	<i>37</i>
<i>Figuur 55 De boven en onderkant worden ongeveer in positie gebracht.</i>	<i>38</i>
<i>Figuur 56 Een strook lijm wordt aangebracht in de sleuven van de rechter zijkant. Deze wordt vervolgens aangebracht en met spanband naar elkaar toe getrokken.</i>	<i>38</i>
<i>Figuur 57 Door het achterschot die in sleuf valt en de brace die ook in gefreesde sleuf valt, zet alles zich automatisch goed door de spanband. De 45 graden verstek buitennaden sluiten daardoor perfect. De hoek klemmen zorgen dat je die goed in hun positie houdt.</i>	<i>39</i>
<i>Figuur 58 Inkijk aan de voorkant, het front wordt er later op gelijmd.</i>	<i>39</i>
<i>Figuur 59 Met een klein plamuurmes kun je alle lijm wegsteken van achterschot. Poets de laatste lijmresten weg met b.v. Wasbenzine.</i>	<i>40</i>
<i>Figuur 60 Plak achterwand af met glad schilders tape, zodat die niet per ongeluk vastgelijmd wordt.</i>	<i>40</i>
<i>Figuur 61 Achterwand kan nu geplaatst worden, zodat je zeker weet dat alles goed haaks staat en achterwand er ook goed inpast.</i>	<i>41</i>
<i>Figuur 62 Een uitlijn duvel in het midden van de boven en onderkant. De andere vier gaten worden overgenomen, met de ijzeren pinnen die in de gaten van bamboe front geplaatst zijn.</i>	<i>41</i>
<i>Figuur 63 Zo zie je dus waar je gat voor duvel moet boren.</i>	<i>42</i>
<i>Figuur 64 Lijm aanbrengen, wat in gaten smeren en uitsmeren over rand.</i>	<i>42</i>
<i>Figuur 65 Front wordt op kast gelijmd, de 6 duvels houden front op de juiste plaats en met lijmklemmen wordt er druk uitgeoefend.</i>	<i>43</i>
<i>Figuur 66 Detail opname van buiten naad, de 45 graden verstek naad sluit perfect.</i>	<i>43</i>
<i>Figuur 67 De achterwand heeft rondom 0,5 mm spelling. Door op de hoeken twee laagjes schilders tape aan te brengen, gaat hij mooi in het midden liggen en kun je de gaten overnemen met 4 mm boor. Daarna gaten in achterschot opboren met 5 mm voor aanbrengen inslagmoer. De gaten in achterwand blijven 4 mm!.....</i>	<i>44</i>
<i>Figuur 68 Inslagmoer onder aanbrengen en van bovenaf met een schroef in het hout van achterschot trekken.</i>	<i>44</i>

<i>Figuur 69 o ziet het ervan opzij uit, om de inslagmoer aan te brengen en in achterschot te trekken.....</i>	<i>45</i>
<i>Figuur 70 De achterwand kan er vervolgens ingeschroefd worden. De binding posts zijn nog niet aangebracht, hiervoor zijn twee 7 mm gaten nodig.....</i>	<i>45</i>
<i>Figuur 71 Zo ziet de kast eruit met bamboe front. Het bamboe front is 15 graden afgeschuind, vonden we optisch iets mooier en was ook noodzakelijk omdat de afkant frees wat heeft gehapt. Wel heel lang moeten schuren ;-)...</i>	<i>46</i>
<i>Figuur 72 Wat dun grijs schuim wordt gebruikt, om de kleine ruimte tussen tweeter en waveguide op te vullen. Eerst even van karton een mal gemaakt.....</i>	<i>47</i>
<i>Figuur 73 En zo ziet de stukken schuim er uiteindelijk uit. Dit schuim gebruik ik ook tussen waveguide en kast om af te sluiten. De zelfklevende foam die ik had, werd te dik, daarvoor had ik misschien 0,5-1 mm dieper uit moeten frezen.</i>	<i>47</i>
<i>Figuur 74 En zo ziet het eruit met de drivers gemonteerd.</i>	<i>48</i>
<i>Figuur 75 De speakers in de blanke PU lak, voor vrouwlief een verfwerkje extra. Uiteindelijk 3 lagen verf aangebracht, met licht schuren tussendoor.....</i>	<i>49</i>
<i>Figuur 76 De gebruikte meet apparatuur.....</i>	<i>50</i>
<i>Figuur 77 Schema van schakeling voor impedantiemetingen.</i>	<i>51</i>
<i>Figuur 78 In groen de kalibratie file van mijn EMM6 microfoon, in geel gemiddelde van een aantal EMM6 microfoons en in rood mijn geschatte correctie file die ik gebruik.....</i>	<i>51</i>
<i>Figuur 79 De impedantiemeting van de twee STX-woofers, in de gesloten behuizing.....</i>	<i>53</i>
<i>Figuur 80 Impedantiemeting van de tweeters.</i>	<i>53</i>
<i>Figuur 81 In groen de meting van de woofer op 1 meter afstand, in oranje de dichtbij meting van de woofer</i>	<i>54</i>
<i>Figuur 82 Het resultaat van het aan elkaar plakken van de dichtbij meting en de 1 meter meting.</i>	<i>55</i>
<i>Figuur 83 De impedantiemeting, zowel free air als in de behuizing.....</i>	<i>55</i>
<i>Figuur 84 In groen de on-axis meting op 1 meter afstand en in oranje een dichtbij meting op 10 cm afstand. In blauw ter referentie meting van de tweeter in grote baffle gemeten op 30 cm.....</i>	<i>56</i>
<i>Figuur 85 Het cross-over schema.</i>	<i>57</i>
<i>Figuur 86 De gesimuleerde frequentie response.....</i>	<i>58</i>
<i>Figuur 87 Frequentieresponse zonder 19 kHz notch met L3, L4, C5 en R2.</i>	<i>59</i>
<i>Figuur 88 Frequentieresponse zonder C1.....</i>	<i>59</i>
<i>Figuur 89 Frequentieresponse zonder L5, C6, R3 en R4.....</i>	<i>59</i>
<i>Figuur 90 Het gesimuleerde resultaat van het cross-over filter, met ook de powerresponse en andere grafieken van VituixCAD.</i>	<i>60</i>
<i>Figuur 91 De gesimuleerde frequentieresponse van de andere box.</i>	<i>60</i>
<i>Figuur 92 Het DSP bordje met ADAU1701.....</i>	<i>61</i>
<i>Figuur 93 De filter responses in VituixCAD, deze zijn nagemaakt in SigmaStudio.</i>	<i>61</i>
<i>Figuur 94 De meetopstelling, waar een spoel gemeten wordt, op scherm erachter de impedantie grafiek.....</i>	<i>62</i>
<i>Figuur 95 De grafiek van een condensator met een opgegeven waarde van 1.8 uF en gemeten 1.78 uF.....</i>	<i>63</i>
<i>Figuur 96 De grafiek van een spoel met een opgegeven waarde van 1.8 mH, deze meet als 1.82 mH.</i>	<i>63</i>
<i>Figuur 97 De plaatsing van de componenten wordt bepaald, met schilders tape zijn de plaatsen aangegeven waar de componenten niet mogen komen.....</i>	<i>64</i>
<i>Figuur 98 Compleet cross-over filter op achterwand gemonteerd.....</i>	<i>65</i>
<i>Figuur 99 De horizontale metingen van de linker speaker.</i>	<i>66</i>
<i>Figuur 100 De horizontale metingen van de rechter speaker.</i>	<i>66</i>
<i>Figuur 101 De verticale metingen van de linker speaker.</i>	<i>67</i>
<i>Figuur 102 De verticale metingen van de rechter speaker.....</i>	<i>67</i>
<i>Figuur 103 De verticale metingen van de linker speaker, maar alleen de hoeken -7 t/m +15 graden.....</i>	<i>68</i>
<i>Figuur 104 De meetgegevens van de linker speaker in VituixCAD.</i>	<i>68</i>
<i>Figuur 105 De meetgegevens van de rechter speaker in VituixCAD.....</i>	<i>69</i>
<i>Figuur 106 De simulaties van de linker speaker in VituixCad van de optimalisaties die via een DSP geïmplementeerd kunnen worden.</i>	<i>70</i>
<i>Figuur 107 Meting van linker speaker met DSP-optimalisaties, gate 7,5 ms.....</i>	<i>70</i>
<i>Figuur 108 De simulaties van de rechter speaker in VituixCad van de optimalisaties die via een DSP geïmplementeerd kunnen worden.</i>	<i>71</i>
<i>Figuur 109 Meting van rechter speaker met DSP-optimalisaties, gate 7,5 ms.</i>	<i>71</i>
<i>Figuur 110 De speakers in hun opstelling op bureau van zoon. Het oude mini setje gaat nog verdwijnen en dan kunnen ze iets verder uit elkaar gezet worden.....</i>	<i>72</i>

