



Akoestisch Onderzoek V1.0

naar de ruimte-akoestiek in het nieuw te realiseren:

Dorpshuis Voorthuizen

Onderdeel: Multifunctioneel centrum





Akoestisch Onderzoek **V1.0**

naar de ruimte-akoestiek in het nieuw te realiseren:

Dorpshuis Voorthuizen

Onderdeel: Multifunctioneel centrum

datum: 7 juni 2018

adviseur: Jan Brill

opdrachtgever: Gemeente Barneveld
Team Vastgoed & Infrastructuur
De heer Brian Monninkhof
Raadhuisplein 2
3771 ER BARNEVELD

kenmerk: 3781 MK - xx - WO 002-07-06-18 iV10.docx



© 2018 Het GeluidBuro bv

Dit rapport mag worden gebruikt en verspreid door de opdrachtgever en belanghebbenden, zolang dit verband houdt met hetgeen waarvoor het onderzoek is verricht. Voor ander gebruik mag niets uit dit rapport in enigerlei vorm of op enigerlei wijze worden veelevoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt, noch elektronisch of mechanisch, noch middels fotokopieën of op enigerlei andere wijze, zonder voorafgaande toestemming van Het GeluidBuro.

Alle opdrachten worden aanvaard en uitgevoerd overeenkomstig De Nieuwe Regeling 2011 (DNR 2011), inclusief alle bijlagen en aanvullingen tot op heden.

Bij de onderzoeken die Het GeluidBuro verricht wordt gebruik gemaakt van informatie die door verschillende partijen wordt aangeleverd. Het is niet mogelijk al deze informatie op juistheid te controleren. Zo kunnen bestemmingen van ruimten en/of gebouwen anders blijken dan werd aangenomen of kunnen normen worden verscherpt of versoepeld. Het GeluidBuro is niet aansprakelijk voor gegevens die niet in redelijkheid op juistheid gecontroleerd hadden kunnen worden.

Inhoud van het rapport

1	Inleiding	5
2	Uitgangspunten	6
2.1	Ruimtelijk ontwerp.....	6
2.2	Materialisatie	7
3	Akoestische richtlijnen	9
3.1	Achtergrond	9
3.2	Bouwkundige streefwaarden.....	10
4	Berekeningen	11
4.1	Rekenmethode	11
4.2	Rekenresultaten en beoordeling	11
5	Voorzieningen	14
5.1	Bouwkundige voorzieningen D1.02, D0.14, D0.21 en D0.22.....	14
5.2	Bouwkundige voorzieningen overige ruimten.....	15
5.3	Elektro-akoestische configuratie	17
6	Conclusie	21

Bijlagen: A. Korte toelichting parameters

Figuren: 1. Impressie rekenmodellen
 2. Eigenschappen luidsprekers
 3. Voorbeeld nagalmtijd en STI
 4. Voorbeeld SPL_d en SPL_t



1 Inleiding

In opdracht van de Gemeente Barneveld is een onderzoek uitgevoerd naar de akoestiek in het nieuw te bouwen multifunctioneel centrum in het Dorpshuis te Voorthuizen.

Het doel van dit onderzoek is het bepalen van de bouwkundig akoestische situatie in het multifunctioneel centrum conform het ontwerp en het toetsen of deze situatie aan de gestelde randvoorwaarden kan voldoen. Waar voorzieningen nodig zijn ter verbetering van de akoestiek, worden deze op praktische wijze aangegeven.

2 Uitgangspunten

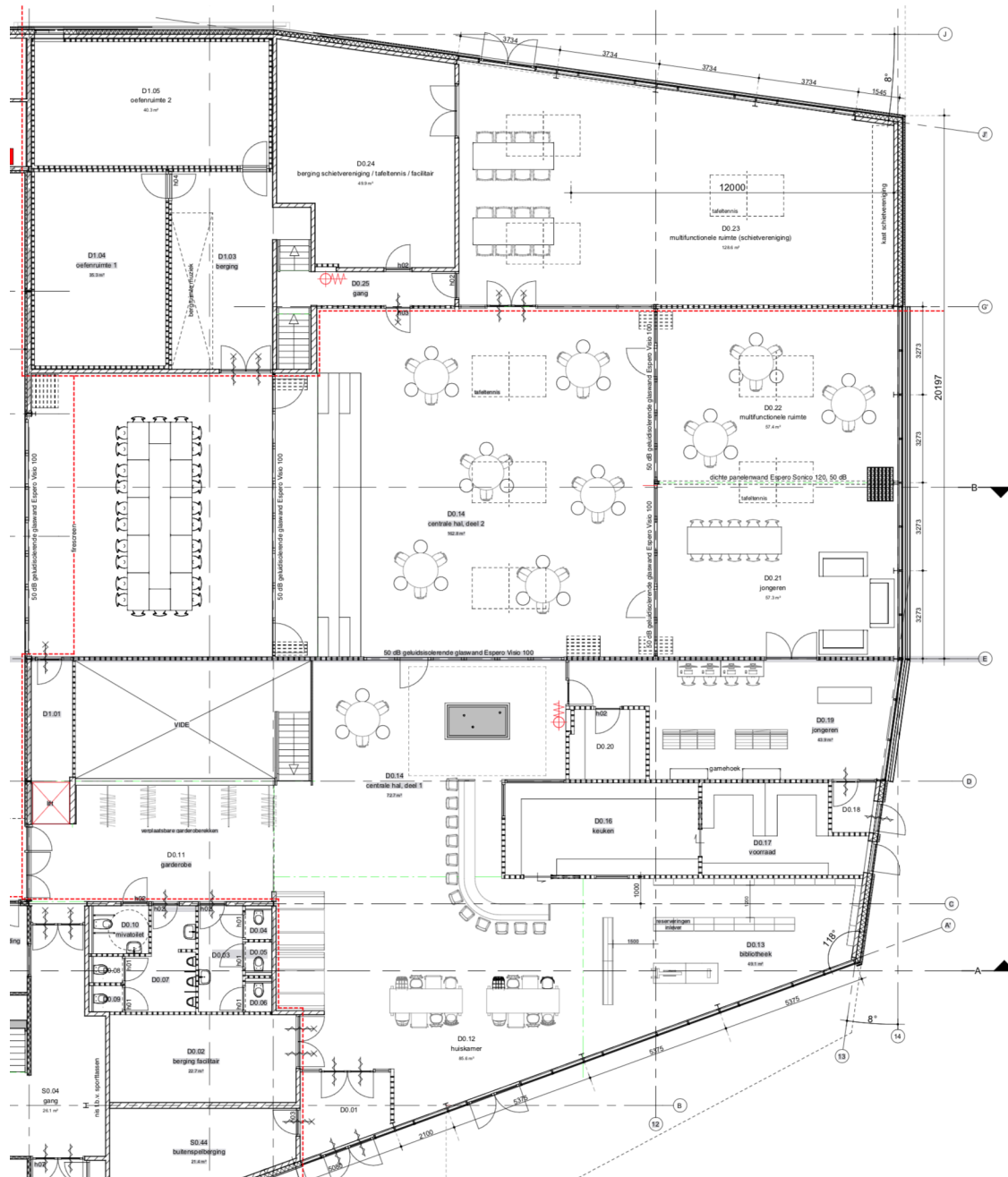
2.1 Ruimtelijk ontwerp

In dit onderzoek wordt het multifunctioneel centrum beschouwd in de varianten met geopende mobiele wanden en gesloten mobiele wanden. Hierbij worden de ruimten D0.14, D0.21, D0.22 en het podium D.102 beoordeeld voor muzikale toepassingen (al dan niet in open verbinding met de ruimten D0.12 en D0.13). De overige ruimten, behoudens ruimte D1.04 en D1.05, worden beoordeeld op een prettig akoestisch klimaat voor met name spraak en verblijf. De ruimten D1.04 en D1.05 zijn oefenruimten voor de muziekschool, die net als de sporthal afzonderlijk worden behandeld.

De ruimten D0.14, D0.21 en D0.22 hebben een plafondhoogte van circa 4,1 meter, de overige ruimten hebben een plafondhoogte van circa 3,2 meter. Het volume van de ruimten D1.02, D0.12 t/m D0.14, D0.21 en D0.22 tezamen bedraagt 2.080 m³.

De ruimtelijke uitgangspunten zijn ontleend aan de tekeningen van het gebouw met kenmerk DO-100, DO-101, DO-200 en DO-300 d.d. 22 mei 2018 van BCT Architecten.

In de navolgende figuur is een impressie van het multifunctioneel centrum opgenomen.



Afbeelding Impressie multifunctioneel centrum (bron: BCT Architecten)

2.2 Materialisatie

De voorgenoemen materialen worden als eerste uitgangspunt gebruikt bij het onderzoek. In tabel 2.1 zijn de materialen met een korte omschrijving en een samenvatting van de gehanteerde akoestische eigenschappen opgenomen. Hierbij zijn de α -coëfficiënten en de scattering-coëfficiënten (sc) vermeld.

Tabel 2.1 Basismaterialen

Bouwdeel	Omschrijving	α -coëfficiënten ($0 \leq \alpha \leq 1$)						sc (%)
		125	250	500	1000	2000	4000	
Vloeren	Vloer steenachtig (gietvloer)	0,02	0,03	0,03	0,04	0,06	0,05	0,2
Wanden/inrichting	Glas	0,25	0,10	0,07	0,06	0,06	0,04	0,0
	Hard (Vescom wand op MS/gips)	0,30	0,20	0,05	0,02	0,02	0,02	0,2
	Hard (Vescom wand op steen)	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,05	0,2
	Afwerking hout / meubilair / deur	0,15	0,10	0,08	0,05	0,05	0,05	0,2
	Boekenkasten	0,30	0,40	0,40	0,30	0,30	0,20	0,4
	Mobiele wand (glas)	0,25	0,10	0,07	0,06	0,06	0,04	0,0
Plafond	Zacht (gemiddeld uitgangspunt) ¹⁾	0,31	0,47	0,49	0,57	0,53	0,39	0,6
	Zacht (overige ruimten) ²⁾	0,43	0,85	0,98	0,93	1,00	1,00	1,0
Voorzieningen	Strook absorptie paneelwanden ³⁾	0,07	0,20	0,32	0,48	0,65	0,67	0,6
	Akoestische vitrage	0,04	0,26	0,66	0,73	0,74	0,72	0,8

¹⁾= uitgangspunt OWAcooustic Sandila 70/N (plafondsysteem) of HunterDouglas Heartfelt baffles module 80 mm in (in de ruimte D1.02, D0.14, D0.21 en D0.22 waar baffles zijn gedacht.

²⁾= uitgangspunt Rockfon Krios A, d= 20 mm of gelijkwaardig van andere fabrikanten.

³⁾= minimale waarden, gebaseerd op Texaa Vibrasto 20 mm

Toelichting

De α -coëfficiënten van de genoemde materialen zijn ontleend aan literatuur en/of meetgegevens uit een akoestisch laboratorium. De α -coëfficiënten van een afzonderlijk materiaal kunnen per situatie, fabrikant en constructie-opbouw verschillen.

Bij voorzieningen moeten α -coëfficiënten van materialen altijd worden gecontroleerd aan de in dit rapport genoemde waarden. Controle van de α -coëfficiënten is mogelijk door het vergelijken van productspecificaties van het uiteindelijk toe te passen product aan de waarden genoemd in deze rapportage. Indien productspecificaties niet verkrijgbaar zijn is het eventueel mogelijk de α -coëfficiënten van een proefopstelling te meten. Alternatieven van constructiedelen zijn toepasbaar, mits aan de α -coëfficiënten uit dit rapport wordt voldaan.

3 Akoestische richtlijnen

3.1 Achtergrond

Het uitgangspunt voor de nagalmtijd kan vanuit muzikaal oogpunt worden gebaseerd op 3 verschillende scenario's. In alle scenario's moet voor alle ruimten, die niet met muziek verbonden zijn, een nagalmtijd heersen van circa 0,5 seconden.

Voor de ruimten D1.02, D0.14, D0.21 en D0.22 kunnen de volgende uitgangspunten voor muziek gekozen worden, in zowel de situatie met geopende als gesloten paneelwanden:

Scenario 1: geoptimaliseerd voor versterkte live-muziek, toneel, spraakoverdracht enzovoorts

Bij live-muziek voor versterkte muziek (bands, combo's, fanfares etc) is de ideale nagalmtijd, uitgaande van de meeste theaters en poppodia tussen de 1,0 en 1,2 seconden. Hierbij moeten de verhoudingen tussen de lagere en hogere frequenties gelijkmatig verdeeld zijn met een Bass-Ratio van ten hoogste 1,2 en Treble-Ratio van minimaal 0,8 [index]. Hier zijn verder aanvullende voorwaarden van toepassing, zoals het beheersen van nuttige reflecties, het vermijden van hinderlijke reflecties, echo's en flutterecho's, stralingsconcentraties en -verduiningen. Daarnaast zijn er enige belangrijke muzikale parameters, zoals de Clarity C_{80} (voor meer informatie over parameters: zie bijlage A). Hierbij wordt de ruimte geoptimaliseerd op versterkte live-muziek en spraakoverdracht. De ruimte wordt niet ideaal voor onversterkte (kamer)muziek, koren, zang en andere klassieke muziekvormen. Aangezien in de ruimte ook ander gebruik kan voorkomen waar een te lange nagalmtijd niet gewenst is (zoals vergaderen, bijeenkomsten, groepen tafels, zithoeken), wordt aangesloten bij een nagalmtijd van 1,0 seconden.

Scenario 2: geoptimaliseerd voor onversterkte kamermuziek, koren, klassieke muziekvormen

Bij een ruimte van deze omvang bedraagt de ideale nagalmtijd circa 1,5 seconden. De bij scenario 1 genoemde voorwaarden zijn eveneens van toepassing. De nadruk ligt hierbij op een ondersteuning van de overdracht tussen podium en toehoorders, muzikanten onderling en in de zaal zelf door nuttige reflecties te optimaliseren (reflectoren, diffusoren bij een relatief hard gekozen materialisatie bij dit volume). Gezien de beperkte hoogte van het podium en de zaal leidt een bouwkundige optimalisatie op deze muziekvormen niet tot een ideale akoestiek.

Scenario 3: geoptimaliseerd voor alle vormen van muziek en spraakoverdracht

Bij scenario 3 kan de ruimte middels een virtueel variabel akoestisch systeem geoptimaliseerd worden voor alle muziekvormen. Het bouwkundige basisuitgangspunt hierbij is gebaseerd op scenario 1 met een basis-nagalmtijd van 1 seconde. Ten opzichte van scenario 1 wordt de akoestiek ook verder voor spraakoverdracht geoptimaliseerd, zodanig dat in tegenstelling tot scenario 1 voor het realiseren van een goede spraakoverdracht geen microfoons nodig zijn bij sprekers op het podium en toehoorders in de zaal. De functie van ondersteuning van de overdracht tussen podium en toehoorders vindt hierbij virtueel plaats.

Voor dit onderzoek wordt bouwkundig getoetst op scenario 1, hierbij is de ruimte bouwkundig ook voorbereid op scenario 3.

In het navolgende zijn de uitgangspunten omgezet in akoestische streefwaarden.

3.2 Bouwkundige streefwaarden

Als eerste wordt het ruimtelijk ontwerp getoetst op enkele algemene aspecten die bepalend zijn voor de zaalakoestiek. Dit zijn de zichtlijnen vanuit de meest kritische locaties, hinderlijke reflecties, nuttige reflecties, stralingsconcentraties, relevante verdunningen, echo's en flutterecho's.

Uitgaande van het gewenste ambitieniveau wordt gebruik gemaakt van diverse parameters om het effect van de zaalakoestiek op de beleving van de activiteiten te kwantificeren. In bijlage A zijn de gebruikte akoestische parameters en de reikwijdte hiervan kort toegelicht. In tabel 3.1 zijn de streefwaarden samengevat.

Tabel 3.1 Streefwaarden

Nummer	Parameter	Streefwaarde	Eenheid
-	Nagalmtijd ($T_{500,1000}$) gemiddeld overige ruimten	$\pm 0,5$	seconden
Scenario 1/3	Nagalmtijd ($T_{500,1000}$) D1.02/D0.14/D0.21/D0.22	$\pm 1,0$	seconden
Scenario 1/3	Bass-Ratio (BR)	1,0 – 1,2	[index]
Scenario 1/3	Treble-Ratio (TR)	0,8 – 1,0	[index]
Scenario 1/3	Luidheid (G_{mid})	< 3	dB
Scenario 1/3	Intimiteit (ITDG)	< 45	ms
Scenario 1/3	Clarity (C_{80})	$\geq -1,6$	dB
Scenario 1/3	Spraakverstaanbaarheid STI	$\geq 0,65$	[index]
Scenario 1/3	Background Noise Level ($L_{p,B}$)	≤ 40	dB(A)

4 Berekeningen

4.1 Rekenmethode

De ruimten D1.02, D0.14, D0.21, D0.22 en de in open verbinding staande overige ruimten zijn met de voorgenoemde materialisatie in een 3D ruimte-akoestisch rekenmodel gemodelleerd. In het model zijn simulatieberekeningen uitgevoerd ter ondersteuning van de akoestische beschouwing van de genoemde ruimten in geopende situatie en met gesloten paneelwanden. Hierbij is gebruik gemaakt van het door Prof. Dr. W. Ahnert ontwikkelde pakket EASE (Enhanced Acoustic Simulator for Engineers) inclusief de module AURA (CEASAR) van Prof. Dr. W. Vorländer. Figuur 1 (zie bijlage) geeft een impressie van het rekenmodel. De overige ruimten zijn statistisch berekend.

Als eerste is het ruimtelijk ontwerp gecontroleerd op enkele algemene aspecten die bepalend zijn voor de akoestiek, zoals die zijn benoemd in paragraaf 3.2. Hierbij zijn de ruimten in het model aan de hand van AURA en ray-tracing technieken beoordeeld.

Vervolgens zijn de ruimte-akoestische parameters berekend en beoordeeld. In de volgende paragraaf zijn de resultaten samengevat.

4.2 Rekenresultaten en beoordeling

De zichtlijnen zijn gecontroleerd. In de ruimten voor muziek zijn de zichtlijnen bij het beoogde gebruik vanaf het podium overal aanwezig waar dit noodzakelijk is.

Hinderlijke reflecties dienen in eerste instantie vermeden te worden. In ruimte D1.02, D0.14, D0.21 en D0.22 met de basismaterialen zijn deze aanwezig vanwege reflecties via met name de harde paneelwanden.

Nuttige reflecties treden bij scenario 1 en 3 in principe niet op. Elke reflectie betreft feitelijk een hinderlijke reflectie. Bij scenario 3 worden nuttige reflecties voor muziek toegevoegd middels een virtueel akoestisch systeem.

Stralingsconcentraties treden niet in hinderlijke mate op in het gebied waar het publiek zich bevindt. Tussen exact evenwijdige harde wandvlakken kunnen echo's en flutterecho's ontstaan. Deze zijn aanwezig in ruimte D1.02, D0.14, D0.21 en D0.22 bij gesloten paneelwanden. Deze moeten middels voorzieningen, zoals aangegeven in hoofdstuk 5, vermeden worden.

De rekenresultaten van de akoestische parameters zijn samengevat in tabel 4.1. In deze tabel is tevens de richtwaarde opgenomen en is de conclusie samengevat. Een toelichting op de meet- en rekenresultaten wordt aansluitend op de tabel gegeven.

Tabel 4.1 Rekenresultaten met basismaterialen

Nummer	Parameter	Eenheid	Streefwaarde	Gemeten en Berekend	Conclusie
Scenario 1/3	Nagalmtijd ($T_{500,1000}$) gemiddeld overige ruimten	seconden	$\pm 0,5$	0,5	Voldoet
Scenario 1/3	Nagalmtijd ($T_{500,1000}$) D1.02/D0.14/D0.21/D0.22	seconden	$\pm 1,0$	0,9 – 1,0	Voldoet
Scenario 1/3	Bass-Ratio (BR)	[index]	1,0 – 1,2	1,0	Voldoet
Scenario 1/3	Treble-Ratio (TR)	[index]	0,8 – 1,0	1,0	Voldoet
Scenario 1/3	Luidheid (G_{mid})	dB	< 3	< 3	Voldoet
Scenario 1/3	Intimiteit (ITDG)	ms	< 45	< 45	Voldoet
Scenario 1/3	Clarity (C_{80})	dB	$\geq -1,6$	> +1	Voldoet
Scenario 1/3	Spraakverstaanbaarheid STI	[index]	$\geq 0,65$	> 0,65	Voldoet
Scenario 1/3	Background Noise Level ($L_{p,B}$)	dB(A)	≤ 40	-	Uitgangspunt

Toelichting rekenresultaten, beoordeling en overwegingen

Nagalmtijd, verhouding $T_{gem} : T_{max/fb}$, Bass-Ratio en Treble Ratio

De berekende gemiddelde nagalmtijden $T_{500,1000}$ in de voorgenomen situatie met de materialen conform tabel 2.1 voldoen aan de eisen conform scenario 1/3.

Belangrijk hierbij is dat in het bijzonder uitgegaan wordt van de geluidabsorberende eigenschappen van met name het plafond met de waarden conform tabel 2.1. Hierbij is uitgegaan van een gemiddelde α -coëfficiënt in de spraakfrequenties over het gehele plafondoppervlak van 0,5 [index]. Hogere α -coëfficiënten bij dit oppervlak leiden tot een te 'droge' en daarmee onaangename ruimte voor muziek, relevant lagere α -coëfficiënten leiden tot een te lange nagalmtijd en (hinderlijke) reflecties via het plafond. Dit kan op verschillende manieren worden gematerialiseerd, enige voorbeelden zijn in hoofdstuk 5 aangegeven.

Verder is het van belang dat het plafond gecombineerd wordt met de juiste absorptie op de mobiele paneelwanden en enige gesloten wanden. Naast de afstemming van de nagalmtijd is dit ook relevant voor het vermijden van hinderlijke reflecties, echo's- en flutterecho's en de verbetering van onder andere de spraakverstaanbaarheid.

De Bass-Ratio en Treble-Ratio voldoen aan de randvoorwaarden, waarmee een gelijkmatige verdeling van de nagalmtijd over de octaafbanden gewaarborgd is.

Luidheid en intimiteit, Clarity

De berekende luidheid G geeft aan dat de ruimten niet een te sterke ondersteuning van de bron geven. De berekende ITDG geeft daarbij aan dat de ruimten akoestisch niet te afstandelijk worden, zolang bij gebruik van het podium de toehoorders zich bevinden in ruimte D0.14, D0,21 en/of D0.22. De waarden vallen binnen de streefwaarden.

De Clarity C_{80} in de ruimten voldoen eveneens aan de randvoorwaarden. Hiermee wordt het geluidsignaal van de bron (spraak of muziek) niet teveel vertroebeld.

STI

Voor het bepalen van de invloed van de bouwkundige ruimte op de spraakverstaanbaarheid zijn berekeningen uitgevoerd met een (virtuele) onversterkte menselijke stem op de verschillende posities. Hieruit blijkt dat spraak bij een achtergrondgeluidniveau van circa 35 dB(A) in de zaal op grotere afstanden onvoldoende verstaanbaar zal zijn met waarden van gemiddeld STI= 0,55 [index]. Het achtergrondgeluidniveau en de hinderlijke reflecties werken hierbij negatief op de STI-waarde.

In een situatie van podium naar toehoorders moet een geluidversterkingssysteem worden toegepast (scenario 1) of zonder microfoons gebruik worden gemaakt van de virtuele akoestiek (scenario 3). Voor scenario 1 wordt een geluidssysteem geconfigureerd, die integraal de spraakoverdracht en muziekversterking op hoog niveau kan realiseren. Verder moeten voor een optimale spraakoverdracht conform streefwaarden de voorzieningen uit hoofdstuk 5 worden toegepast.

Background Noise Level

In dit onderzoek is uitgegaan van een gemiddeld achtergrondgeluidniveau van maximaal circa $L_{p,B} = 40$ dB(A). Dit omvat met name het installatiegeluid (zoals luchtbehandelingssystemen). Deze installaties dienen daarop in het ontwerp afgestemd te worden.

Vanwege het buitengeluid wordt geen hinder verwacht in de ruimten, mede aangezien de omhullende constructie gezien de normering van het Activiteitenbesluit reeds toereikend zwaar wordt gedimensioneerd vanwege het muziekgeluid in de ruimten naar buiten toe.

5 Voorzieningen

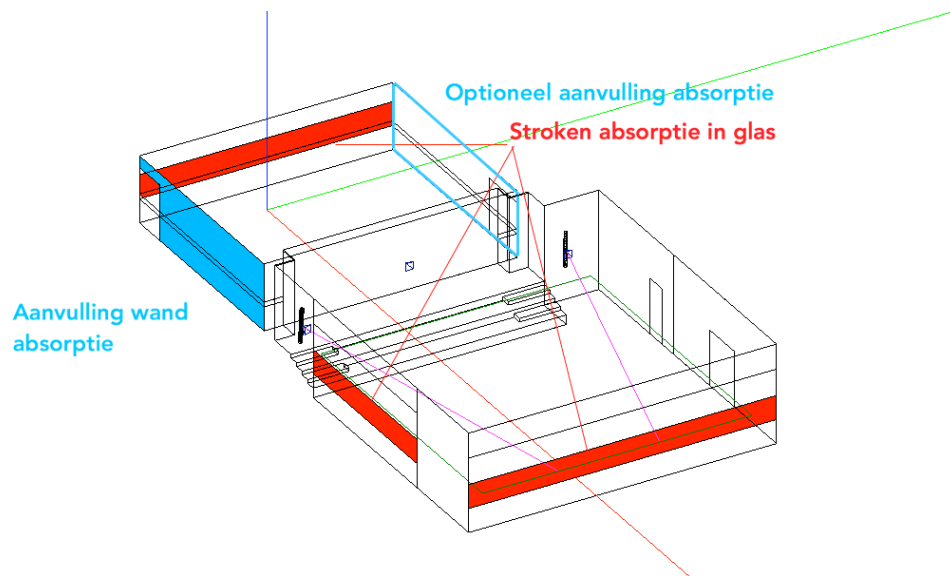
5.1 Bouwkundige voorzieningen D1.02, D0.14, D0.21 en D0.22

De in de berekeningen gehanteerde uitgangspunten voor de α -coëfficiënten zijn aangegeven in tabel 2.1. In het navolgende wordt de materialisatie omschreven:

- **Plafond:** bij de basismaterialen is een plafond met α -coëfficiënten van gemiddeld 0,5 [index] gehanteerd. Hierbij zijn onder andere de volgende mogelijkheden:
 - Een systeemplafond over het gehele plafondoppervlak van de ruimte, zoals een OWAcooustic Sandila 70/N (geperforeerd) op een afhanghoogte van tenminste 200 mm (meer productinformatie: <https://owa-akoestiekendesign.nl/product/sandila/>).
 - Akoestische plafondeilanden zoals een Incatro ARTceiling (meer productinformatie: www.incatro.nl) of Rockfon Akoestische eilanden (meer productinformatie: www.rockfon.nl) en eventueel opgebouwd uit systeemplafonds met gesloten plenum met hogere α -coëfficiënten over een kleiner oppervlak. Akoestische eilanden en systeemplafonds hebben α -coëfficiënten die oplopen tot circa 0,9-1,0 [index] of een absorptiewaarde van circa 0,70 m² O.R. per stuk. Daarmee is in de praktijk minimaal ongeveer 60% van het plafondoppervlak benodigd. De voorkeurslocaties en 'grid' worden afhankelijk van het type plafondeiland nader afgestemd.
 - Een plafond met design baffles (met doorzicht naar het constructieve plafond) zoals de Hunter Douglas HeartFelt modulair vilten plafondsysteem met een modulemaat van 70 mm over het gehele oppervlak of een kleinere modulemaat, danwel de 70 mm variant met een vulling van minerale wol over een deel van het oppervlak naar ratio van de α -coëfficiënten ten opzichte van het oppervlak (meer productinformatie: <http://www.hunterdouglasarchitectural.eu/nl-NL/ceilings/textile/heartfelt/index.jsp>).
 - Een akoestische spuitpleister zoals Asona Sonacoustic PL 65 mm over netto 65% van het oppervlak (meer productinformatie: www.asona.com). Opgemerkt wordt dat in relatie tot de lagere frequenties geen dunnere spuitpleisters of andere dunne homogene absorbers mogelijk zijn.
- **Vloer:** de vloeren zijn uitgevoerd als een akoestisch harde gietvloer. Dit is voor de ruimte-akoestiek een goed uitgangspunt, uitgaande van het feit dat in de ruimte voor uitvoeringen stoelen worden geplaatst en daardoor geen harde reflecties via de vloer plaatsvinden. De (stapelbare) stoelen zijn bij voorkeur licht bekleed om het verschil tussen een onbezette situatie (soundcheck, oefenen) en een bezette situatie (uitvoering met publiek) zo klein mogelijk te houden.
- **Wanden:** de wanden zijn als basisconstructie opgebouwd uit Metalstud o.g. of steenachtige constructies. Als visuele afwerking is een Vescom wandafwerking voorzien. Deze Vescom wandafwerking heeft in de basis een relatief gering effect op de α -coëfficiënten van de wanden. Dit is voor de meeste wanden geen probleem. Ter plaatse van het podium treedt een mogelijke flutterecho op, die vermeden moet worden. Dit is mogelijk door de zijde met een lichte scheidingswand, uitgaande van Metalstud o.g. met een plaatafwerking, te voorzien van een geperforeerde plaat. Deze locatie is in de navolgende figuur in blauw aangegeven. In de scheidingswand dient minimaal 50 mm minerale wol achter de geperforeerde plaat te worden aangebracht. Over de perforaties kan een akoestisch open vlies en de Vescom wandafwerking worden geplaatst. De nader te selecteren definitieve Vescom wandafwerking dient hierbij akoestisch transparant te zijn. Dit dient nader getoetst te worden. Als vuistregel kan worden gehanteerd dat dit het geval is indien het materiaal zo open is dat er zacht

doorheen geblazen kan worden. De wand aan de overzijde is optioneel benoemd wanneer de te realiseren α -coëfficiënten voor één wand wandconstructie te gering blijken te zijn.

- De mobiele scheidingswanden zijn momenteel in glas uitgevoerd. Het is van groot belang dat hinderlijke reflecties op oorhoogte vermeden zijn als de mobiele scheidingswanden gesloten zijn. Om een visuele verbinding tussen de ruimten te houden en tevens deze hinderlijke reflecties op oorhoogte te vermijden kan een strook absorptie in de glazen wand worden opgenomen of eventueel op het glas worden aangebracht. Deze strook dient zich te bevinden tussen 1,0 en 2,0 meter. Als absorberende constructie kan gedacht worden aan:
 - Een microgeperforeerde plaat (bijvoorbeeld Egger Pro-Akustik Fine of gelijkwaardig, perforatie 1,8/1,8/0,5 mm op een spouw van 50 mm met 30 mm minerale wolvulling).
 - Een ARTpanel in een aluminium frame (meer productinformatie: www.incatro.nl).
 - Een materiaal als Texaa Vibrasto 20 mm op het glas (meer productinformatie: <https://www.plakagroup.com/nl-NL/PLAKA-Nederland/Onze-producten/Akoestiek/Ruimteakoestiek/Geluidsabsorptie-voor-wanden/>).



(c) EASE 4.4 / SketchUp D0 14 u D1 02

/ 7-6-2018 11:42:35 / Team 3Sign Jan Bil

3D Perspective

Afbeelding Locatie voorzieningen (voorbeeld podium D1.02 en D0.14 – gesloten paneelwanden).

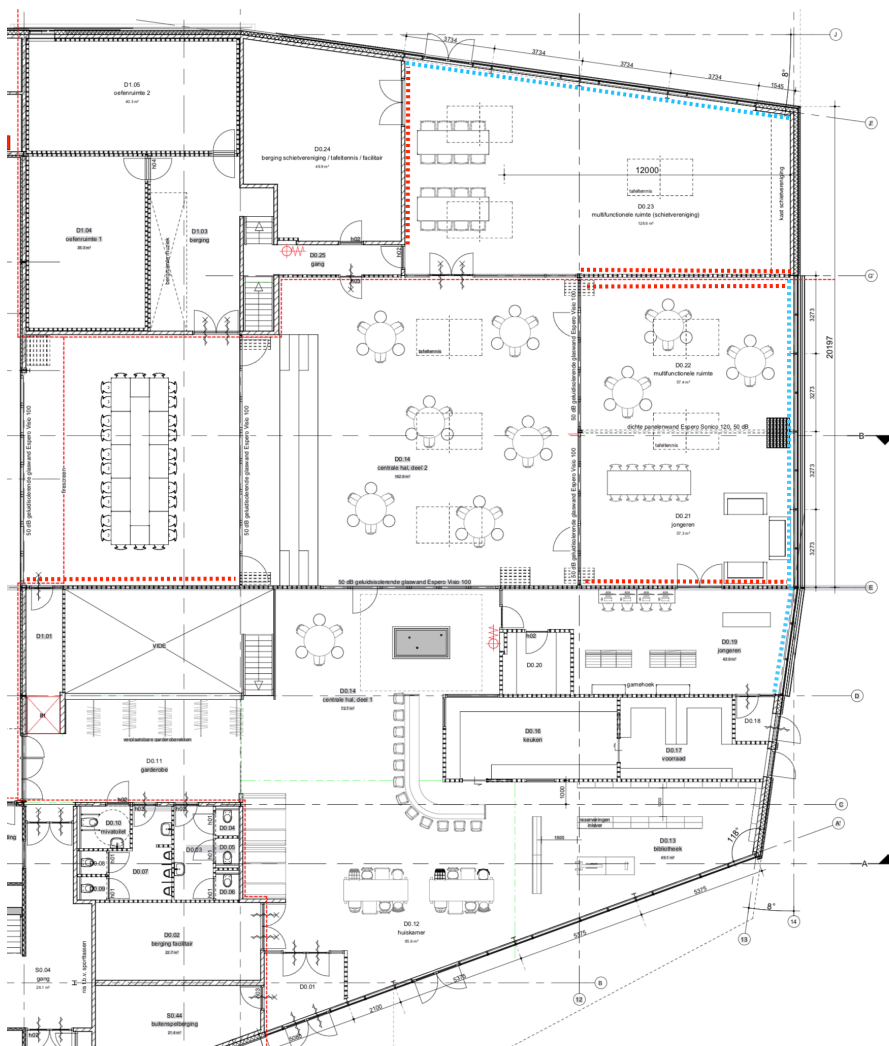
- Bij het gebruik van een geluidinstallatie voor spraak en muziek vanaf het podium vinden hinderlijke reflecties plaats via het glas in ruimte D0.21 en D0.22 wanneer de mobiele scheidingswand tussen deze ruimten en ruimte D0.14 is geopend. Om deze reflecties te vermijden wordt aanbevolen voor het glas een akoestische vitrage te hangen met de akoestische eigenschappen conform tabel 2.1. Voorbeelden van passende akoestische vitrages zijn Incatro ARTcurtain France (in plooi 2:1 of als paneel op 150 mm voor het glas) of Création Baumann Betacoustic (meer productinformatie: www.incatro.nl of www.creationbaumann.com).

5.2 Bouwkundige voorzieningen overige ruimten

In de gesloten ruimten zoals D1.01, D1.03, D0.01, D0.11, D0.16, D0.17, D0.18, D0.19, D0.20, D0.23, D0.24 en D0.25 kunnen de volgende basis-uitgangspunten worden toegepast:

- **Plafond:** een systeemplafond met hoge α -coëfficiënten zoals Rockfon Krios of gelijkwaardig met minimaal de eigenschappen conform tabel 2.1.
- **Vloeren:** een harde gietvloer is toepasbaar.
- **Wanden:** de wanden kunnen standaard van Vescom wandafwerkingen op de harde ondergrond of uitsluitend harde materialen (in ruimten die visueel minder relevant zijn) of glasvlakken worden voorzien, met de volgende uitzonderingen:
 - Ruimte D0.23: aanbevolen wordt de lichte scheidingsconstructie (zijde ruimte D0.22) absorberend te maken, analoog aan het podium (zie pagina 14), evenals de lichte scheidingsconstructie (zijde ruimte D0.24).
 - Ruimte D0.21: aanbevolen wordt de lichte scheidingsconstructie (zijde ruimte D0.19) absorberend te maken. Ditzelfde geldt voor de lichte scheidingsconstructie in ruimte D0.22 (zijde ruimte D0.23).
 - Ruimte D0.23 en D0.19: aanbevolen wordt voor het glas (buitengevel) een akoestische vitrage op te hangen, zoals omschreven bij ruimte D0.21/D0.22 (zie pagina 15).

In de onderstaande figuur zijn de locaties van de uitzonderingen aangegeven:



Afbeelding Locatie voorzieningen overige ruimten
(rood= absorberende wand, blauw= akoestische vitrage).

5.3 Elektro-akoestische configuratie

5.3.1 Inleiding

De akoestiek in de ruimten D0.14, D0.21 en D0.22 biedt na het treffen van de voorzieningen mogelijkheden om vanaf het podium (ruimte D1.02) een STI van 0,65 [index] of hoger te realiseren wanneer de configuratie van de geluidinstallatie op de bouwkundige zaalakoestiek is afgestemd.

Wanneer een geluidinstallatie wordt gedimensioneerd, kan tevens een invulling worden gegeven aan andere wensen, zoals de weergave van multimedia, stereo- of live-muziek in een volledig met spraak geïntegreerd systeem.

Dit heeft naast de kwaliteit van de spraakverstaanbaarheid en de muziek eveneens als eventueel voordeel dat muziek beter en zonder verstoringen in het gehele signaal (opname, internet) kan worden ingepast en doorgegeven.

Hierbij wordt ingegaan op de centrale aansturing (het 'hart' van het systeem), het weergavesysteem (alle signalen die het systeem produceert) en de bronnen (alle signalen die het systeem ontvangt).

5.3.2 Systeemopbouw: centrale aansturing

Een probleemloos functioneren van een systeem is sterk afhankelijk van het 'hart' van het systeem: de centrale aansturing en diens instellingen.

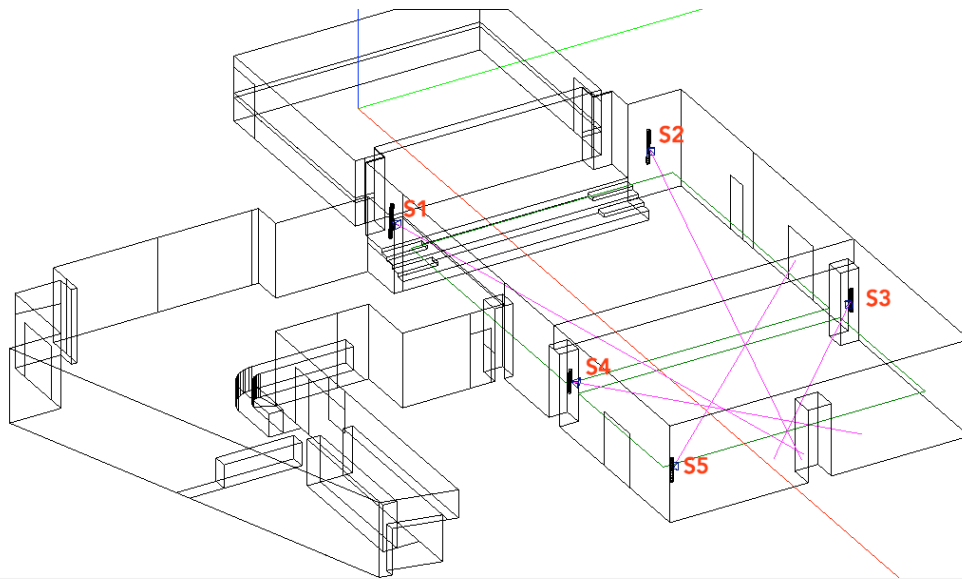
Om de ingangssignalen goed te verwerken en de luidsprekers op correcte wijze de signalen te laten weergeven, wordt sterk aanbevolen een Audio DSP toe te passen. DSP staat voor Digitale Signaal Processor: dit wil zeggen dat alle audiosignalen die binnenkomen en uitgaan worden verwerkt via een matrixmixer en waar nodig worden geoptimaliseerd ten aanzien van gebruikersfuncties en signaalkwaliteit. Deze Audio DSP kan dezelfde zijn als voor de sporthal worden gebruikt (één systeemhart). De eigenschappen van de DSP zijn in rapport 3781 MK – xx WO 001-23-05-18iV1.0 voor de akoestiek in de sporthal nader toegelicht.

5.3.3 Weergavesysteem

Het akoestisch principe van het weergavesysteem voor versterkte live-muziek, multimedia enzovoorts in het multifunctioneel centrum is gebaseerd op L+R-hoofd-luidsprekers en delay luidsprekers voor spraak- en muziekoverdracht bij gebruik van het podium. Hierbij kunnen de delay-luidsprekers ook afzonderlijk worden ingezet in de separate ruimten D0.21 en D0.22. Bovendien kan het systeem worden uitgebreid met een extra luidspreker in ruimte D0.21, zodat ook in de separate ruimte, danwel gecombineerd met ruimte D0.22 met een andere stoelopstelling, een stereo weergave van muziek en spraakoverdracht kan plaatsvinden. Verder kunnen luidsprekers worden toegevoegd voor andere scenario's in deze of andere ruimten, waar hoogwaardige muziekweergave gewenst is.

De overige ruimten worden in principe voorzien van minder hoogwaardige plafondluidsprekers voor omroep en/of achtergrondmuziek. Deze worden in dit rapport niet nader beschouwd.

In de navolgende afbeelding is het systeemprincipe aangegeven:



(c) EASE 4.4 / MFC geheel open C1 / 7-6-2018 11:24:52 / Team 35 Sign Jan Bil

3D Perspective

Afbeelding Posities luidsprekers (voorbeeld L+R-configuraties in D0.14, D0.21 en D0.22).

Per scenario worden alleen de luidsprekers die nodig zijn ingeschakeld. Bovendien worden in het systeem in een preset, die hoort bij een scenario, de klankinstellingen, signaalrouting en automatische functies (zoals compressor/limiting) bewaard. Hierbij wordt uitgegaan van de luidsprekerposities zoals die in de bovenstaande afbeelding zijn aangegeven.

In tabel 5.1 zijn enige mogelijke scenario's en de ingeschakelde luidsprekers per scenario opgenomen.

Tabel 5.1 Scenario's


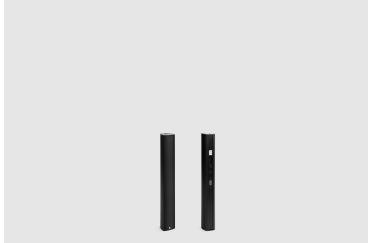

Scenario	Luidspreker nummer	Luidspreker type	Voorbeeld
Bron podium D1.02 - Publiek D0.14, D0.21, D0.22	S1, S2, S3 en S4	1 + 2	LX-150 / BS816 LX-100 / BS48
Bron podium D1.02 - Publiek alleen D0.14	S1 en S2	1	LX-150 / BS816
Bron in ruimte D0.21/D0.22 - Publiek in ruimte D0.21/D0.22 Stoelopstelling dwarsrichting	S3 en S4	2	LX-100 / BS48
Bron in ruimte D0.21/D0.22 - Publiek in ruimte D0.21/D0.22 Stoelopstelling lengterichting	S4 en S5	2	LX-100 / BS48

Luidspreker type 1 is een integrale mini line-array voor spraak en versterkte muziek. Als spraak/muziekluidspreker kan een Fohhn LX-150 of een Seis-Akustik BS816 worden ingezet. De verticale openingshoek is bij luidspreker type 1 vanwege de ruimte-akoestiek (en de strook absorptie) zeer kritisch. Daarom wordt sterk aanbevolen om geen risico's te nemen en de verticale openingshoek van de genoemde luidsprekers als maximum te hanteren. Vergelijkbare alternatieven van genoemde luidsprekers zijn mogelijk na toetsing.

Luidspreker type 2 is een kleinere integrale mini line-array voor spraak en versterkte muziek, bedoeld voor minder grote afstanden en met een grotere openingshoek. Dit kunnen luidsprekers als de Fohhn LX-100 of Seis-Akustik BS48 zijn.

Bij een integraal spraak/muzieksysteem kan een (mobiele) subwoofer op gekozen locaties worden ingezet (relatief klein en inplugbaar via speakon) die voor de meest gebruikte scenario's wordt afgestemd. Kleinere subwoofers (12" of 15") hebben gezien de grootte en de vorm van de zalen de voorkeur boven grotere subwoofers (18" of groter). De kleinere subwoofers zijn sneller in beweging (en daardoor muzikaler) en hebben voor ruimten van deze grootte ruim voldoende vermogen om live-muziek te ondersteunen en muziek van een geluiddrager weer te geven met voldoende headroom bij een geluidniveau van 95 dB(A) en spectrum dance.

Tabel 5.2 Randvoorwaarden weergavesysteem

Deel	Aandachtspunt	Voorbeelden
Luidsprekers type 1	Mini line-arrays conform tabel 5.1 (L+R).	<p>Fohhn LX-150 Seis-Akustik BS816</p> 
	Opbouw hoofd-luidsprekers uit mini-line-arrays met minimaal 12 x 4" chassis en een 1" driver voor de hoge tonen met een waveguide, danwel de toepassing van minimaal 8/16 coaxiale drivers. De H/V diagrammen moeten tenminste overeenkomen met figuur 2a.	
	De luidsprekers mogen over alle zitplaatsen een niveauverschil SPL tot gevolg hebben van maximaal +/- 2 dB.	
	Systeemgeschikte versterkers met systeemcontrole en luidsprekermanagementsysteem.	
Luidsprekers type 2	Mini line-arrays conform tabel 5.1 (L+R).	<p>Fohhn LX-100 Seis-Akustik BS48</p> 
	Opbouw hoofd-luidsprekers uit mini-line-arrays met minimaal 8 x 4" chassis en een 1" driver voor de hoge tonen met een waveguide, danwel de toepassing van minimaal 4/8 coaxiale drivers. De H/V diagrammen moeten tenminste overeenkomen met figuur 2b.	
	De luidsprekers mogen over alle zitplaatsen een niveauverschil SPL tot gevolg hebben van maximaal +/- 2 dB.	
	Systeemgeschikte versterkers met systeemcontrole en luidsprekermanagementsysteem.	
Luidsprekers subwoofers	Subwoofers 12" of 15" op vaste speakon inplugpunten per scenario. Nominaal vermogen minimaal 500W (12") of 700W (15").	<p>Fohhn AS-22/31, Proel SW115A</p> 

Versterking

De keuze voor geschikte eindversterking ligt bij de leverancier. Aanbevolen wordt om systeemspecifieke eindversterking te kiezen. Voor alle merken geldt hetzelfde: de versterkers moeten passen bij de luidsprekers qua type en vermogen.

Microfoons

De aantallen microfoons kunnen naar behoefte worden gekozen. Het is van groot belang dat de microfoons aan de randvoorwaarden voldoet. Deze randvoorwaarden zijn omschreven in rapport 3781 MK – xx WO-001-23-05-18iV1.0.

Randapparatuur voor audio weergave/opname en doorgifte internet

Tijdens bijeenkomsten dient op eenvoudige wijze een audiosignaal (van bijvoorbeeld geluiddragers als MP3, CD, DVD, BD of laptop/multimedia) weergegeven kunnen worden. Deze signalen moeten ook kunnen worden opgenomen of doorgegeven naar bijvoorbeeld een internetserver.

Live-mixers

Een externe mengtafel vanwege de regie van een band voor optredens op het podium kan eveneens op de line-inputs van de Audio DSP worden aangesloten. Hiermee kan de band gebruik maken van het optimaal ingestelde weergavesysteem. Een belangrijk uitgangspunt hier is dat de output van deze mengtafels uitsluitend naar een input van de DSP hoeven te worden geleid, zodat bij bands en combo's de geluidstechnicus het bandgeluid kan regelen over het systeem zonder fysiek bij de Audio DSP te hoeven komen. In de praktijk wordt sterk aanbevolen te voorzien in vloerpots met aansluitingen voor de bekabeling naar de Audio-DSP, alsmede CAT6-kabels van de positie van de mixer naar het podium.

6 Conclusie

De akoestiek van de multifunctionele ruimten van het Dorpshuis in Voorthuizen is vastgelegd met een basismaterialisatie. Deze situatie is getoetst aan een scenario voor versterkte live-muziek en spraakoverdracht, alsmede voor een passende ruimte-akoestiek voor een virtueel akoestisch systeem. De materialisatie is aangegeven om de akoestische situatie van de ruimten te optimaliseren conform de gehanteerde streefwaarden. Tevens is de geluidinstallatie geconfigureerd conform de randvoorwaarden van de bouwkundige akoestiek.

Met een goed geconfigureerde geluidinstallatie kan een STI van 0,65 en hoger, daarmee conform de streefwaarden worden gerealiseerd, waarbij middels een integraal spraak/muzieksysteem ook een goede muziekweergave gewaarborgd is voor de verschillende gebruiksscenario's.

Het GeluidBuro

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'J Brill'.

Jan Brill
adviseur



Bijlage A

Korte toelichting akoestische parameters

Nagalmtijd (T)

De nagalmtijd (T) is gedefinieerd als de tijd waarin het geluiddrukkniveau van een geluidbron direct na het uitschakelen van de bron met 60 dB is afgenomen (uitgedrukt in seconden).

De nagalmtijd wordt normaal gesproken uitgedrukt in een gemiddelde ééngetalswaarde per frequentieband, geldend voor de gehele ruimte. Bij berekeningen wordt een verval van 60 dB beschouwd (T), bij metingen wordt de T bepaald door het meten van een kleiner verval (vanwege het dynamisch bereik), bijvoorbeeld de tijd tussen een verval van -5 en -25 dB (T_{20} ; o.a. NEN 1077) of een verval van -5 en -35 dB (T_{30} ; o.a. NEN-EN-ISO 3382-1). Deze vervaltijden worden vermenigvuldigd met een factor 2 of 3 om de T te verkrijgen.

Early Decay Time (EDT)

De Early Decay Time ($EDT=RT_{10}$) is gedefinieerd als de tijd waarin het geluiddrukkniveau van een geluidbron direct na het uitschakelen van de bron met 10 dB is afgenomen, vermenigvuldigd met een factor 6.

$$EDT = 6 \cdot RT_{10} \text{ [s]}$$

De EDT vormt het eerste gedeelte van de nagalmtijd. Deze is voor de subjectieve indruk belangrijk. Een hoge waarde voor de EDT betekent veel galm, wat een minder goede spraakverstaanbaarheid tot gevolg kan hebben. Op korte afstand van de bron is de EDT vaak korter dan de nagalmtijd, vanwege de relatief grote bijdrage van het directe geluid.

Bass-Ratio (BR) en Treble-Ratio (TR)

De Bass-Ratio en Treble-Ratio zijn maten voor de klankverkleuring vanwege de zaal.

Bij een overwegend laagfrequent karakter spreekt men vaak van een warm klankbeeld. Een te sterk laagfrequent karakter leidt tot een storende overmaat aan lagere frequenties en vertroebeling van het oorspronkelijke signaal. De nagalmtijd in de lagere frequenties dient tot ten hoogste circa 20% langer te zijn dan de middenfrequenties.

Bij een overwegend hoogfrequent karakter wordt vaak gesproken van een helder en sprankelend klankbeeld. De hogere frequenties dienen wat korter te zijn dan de middenfrequenties, maar mogen niet te kort zijn om de helderheid in het klankbeeld te waarborgen. De nagalmtijd in de hogere frequenties kunnen tot ten hoogste 15% korter zijn dan de middenfrequenties.

Het optreden van klankverkleuring dient daarom te worden beperkt. Klankverkleuring wordt inzichtelijk gemaakt met de Bass-Ratio (BR) en Treble-Ratio (TR):

$$BR = \frac{T_{60,125} + T_{60,250}}{T_{60,500} + T_{60,1k}}$$

Optimale waarden van de BR liggen tussen de 1,0 en 1,2 [index].

$$TR = \frac{T_{60,2k} + T_{60,4k}}{T_{60,500} + T_{60,1k}}$$

Optimale waarden van de TR liggen tussen de 0,85 en 1,0 [index].

Luidheid (Strenght G)

De luidheid is een maat voor de ondersteuning van de ruimte in de overdracht tussen bron en ontvanger. Deze is mede afhankelijk van de vormgeving en materialisatie van de zaal, de publieksgebieden en de positie van de luisteraar ten opzichte van de bron.

$$G : 10 \lg_{10} \frac{\int_0^{\infty} p^2(x, t) dt}{\int_0^{\infty} \gamma * p^2(s, t) dt} - 10 \lg \left[4\eta \frac{s^2}{m^2} \right] [dB]$$

De referentie-afstand [s] bedraagt hierbij circa 10 meter, de afstand tot de ontvanger is aangegeven met x.

Intimiteit (ITDG)

De intimiteit is een maat voor de 'akoestische' ervaring van de grootte van de zaal. De mate waarin dit gebeurt wordt inzichtelijk gemaakt met de Initial Time Delay Gap (ITDG): hoe lang duurt het na het direct invallend geluid voordat de eerste relevante reflectie komt. De ITDG wordt uitgedrukt in milliseconden. Bij een te hoge ITDG worden reflecties als storend ervaren en wordt de zaal als groot beleefd. Een kleinere ITDG geeft vanuit akoestisch oogpunt een kleinere, intiemere zaal.

Helderheid (Clarity C₇, C₅₀ en C₈₀)

De definitie van de clarity-waarden is de tien maal de logaritme uit de verhouding tussen energie van een impulsresponsie in de eerste 7, 50 of 80 ms vanaf de aankomst van het directe geluid en de energie van het resterende deel; direct geluid en vroege reflecties versus late reflecties.

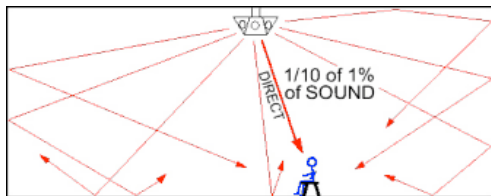
$$C_x : 10 \lg \frac{\int_0^x p^2(t) dt}{\int_{80ms}^{\infty} p^2(t) dt}$$

De clarity beschrijft zowel de helderheid van spraak als de doorzichtigheid van muziek. De C₇ en C₅₀ zijn vooral interessant voor de helderheid van spraak (spraakverstaanbaarheid). De C₈₀-waarde beschrijft het vermogen om muzikale details te horen. De variatie loopt van versmeerd/troebel tot transparant. Een grote waarde van de clarity betekent veel vroege reflecties, hetgeen een helder geluidbeeld geeft: alle details zijn goed te horen. De C₈₀ mag niet te groot worden om het verdwijnen van samenhang in het geluid tegen te gaan.

Geluidoverdracht

De geluidoverdracht in een ruimte betreft het gehele overdrachtssysteem tussen bron en ontvanger.

Het totale geluidniveau in de ruimte (SPL_{total}) ten gevolge van een bron is op elk luisterpunt verschillend¹ en bestaat uit directe en indirecte aanstraling van geluid.



De directe aanstraling ten gevolge van een bron is de straling welke rechtstreeks van de bron naar het luisterpunt wordt gerealiseerd, alsof deze zich in het vrije veld zou bevinden.

Meestal is een goede vuistregel dat zitplaatsen met een vrij gezichtsveld en goede zichtlijnen ook een goede directe aanstraling van geluid hebben, mits de afstand van de zitplaatsen tot de spreker niet te groot is.

De indirecte aanstraling ten gevolge van een bron is de aanstraling welke via reflecties vanuit de bron naar het luisterpunt wordt gerealiseerd.

Door de eigenschappen van de zaal kan op een aantal plaatsen in de publieksgebieden door reflecties belangrijke verdunningen of stralingsconcentraties plaatsvinden. Deze dienen vermeden te worden. Door onder andere ray-tracing kunnen dergelijke verdunnings- of concentratiegebieden inzichtelijk worden gemaakt.

Spraakverstaanbaarheid (STI)

Enkele maten voor de spraakverstaanbaarheid in een ruimte zijn de STI-waarden (Speech Transmission Index), de AI-waarden (Articulation Index) en de AL_{cons} (Articulation Loss of Consonants). Daarnaast kan aan de hand van de Clarity (C_{50}) een indruk van de spraakverstaanbaarheid worden verkregen.

De STI-methode is op de theorie gebaseerd dat het vermogen om spraak te verstaan primair wordt bepaald door een correct waarnemen van de laagfrequente modulaties van spraak, die wordt veroorzaakt door ritme-variaties. De STI-waarde kan variëren van 0 tot 1 (van slecht naar zeer goed) en vormt daarmee een objectieve reken- en meetbare index voor de spraakverstaanbaarheid.

¹ De SPL_{total} (Sound Pressure Level) is gedefinieerd als:

$$SPL = 10 \log_{10} \frac{p_{eff}^2}{p_0^2}$$

Hierin is p_{eff} de effectieve druk en p_0 de referentiedruk van $2 \cdot 10^{-5}$ N/m². De bijdrage van de p_{eff} wordt bepaald vanuit alle reflecties tezamen op een punt.

De STI wordt bepaald vanuit de STI-waarden per frequentieband. De STI is een gemiddelde waarde van de MTF (Modulation Transfer Function).

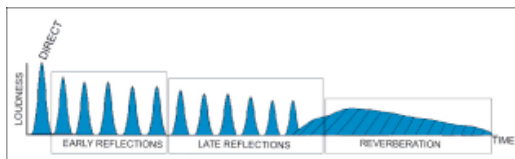
De MTF kan worden bepaald door de volgende formule:

$$MTF(F) = \left[1 + \left(2\pi F \frac{RT}{13.8} \right)^{-1/2} \right] * \left[1 + 10 \frac{SNR}{10} \right]^{-1/2}$$

Hierin is RT de nagalmtijd in seconden, de SNR het achtergrondgeluidniveau in dB en de F de modulatie-frequentie in Hz.

Echo's en flutterecho's

Reflecties die als echo's gehoord kunnen worden, dienen minstens een vertraging van 50 ms te hebben op het luisterpunt ten opzichte van het directe geluid. Dit treedt doorgaans op in zeer grote ruimten en ruimten met specifieke gebogen (holle) vlakken. Hierbij dient de reflectie bij een echo sterk boven de overige reflecties in de tijd voor en na de echo uit te komen (>10 dB), waarbij het geleidelijk afnemen van het ruimteniveau doorbroken wordt.



Flutterecho's komen doorgaans enkel voor in gevallen waarbij meervoudige reflecties dezelfde transportweg kennen (evenwijdige, harde wandvlakken of ronde vormen). Een flutterecho is een meervoudige echo, die zich manifesteert door een repeterende piek van meer dan 10 dB in een geluiddrukafname.

Distraction Distance (r_D)

Dit is de afstand tot de spreker in meters, waar de STI de waarde van 0,5 onderschrijdt. Opgemerkt wordt dat bij grotere afstanden dan de r_D de concentratie en privacy snel toeneemt.

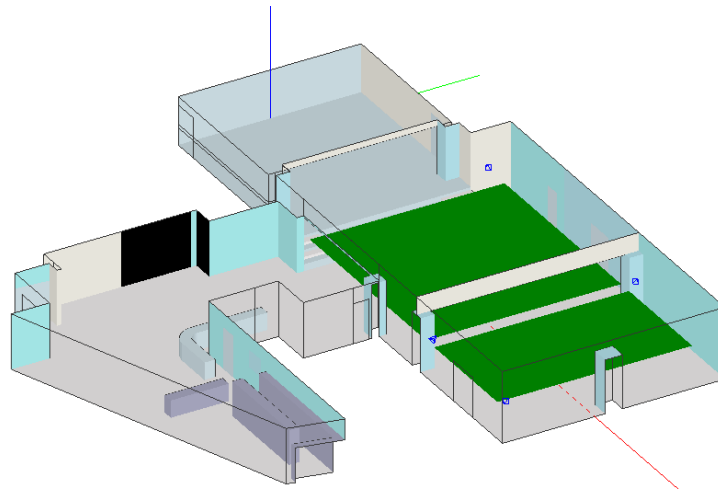
Privacy Distance (r_p)

Dit is de afstand tot de spreker in meters, waar de STI de waarde van 0,2 onderschrijdt. Opgemerkt wordt dat bij grotere afstanden de concentratie en privacy gelijkwaardig is aan een normale scheidingswand tussen twee ruimten. Waarden lager dan STI= 0,2 zijn in open ruimte met goede nagalmtijd of in kleinere ruimten zeer moeilijk te realiseren.



Figuren

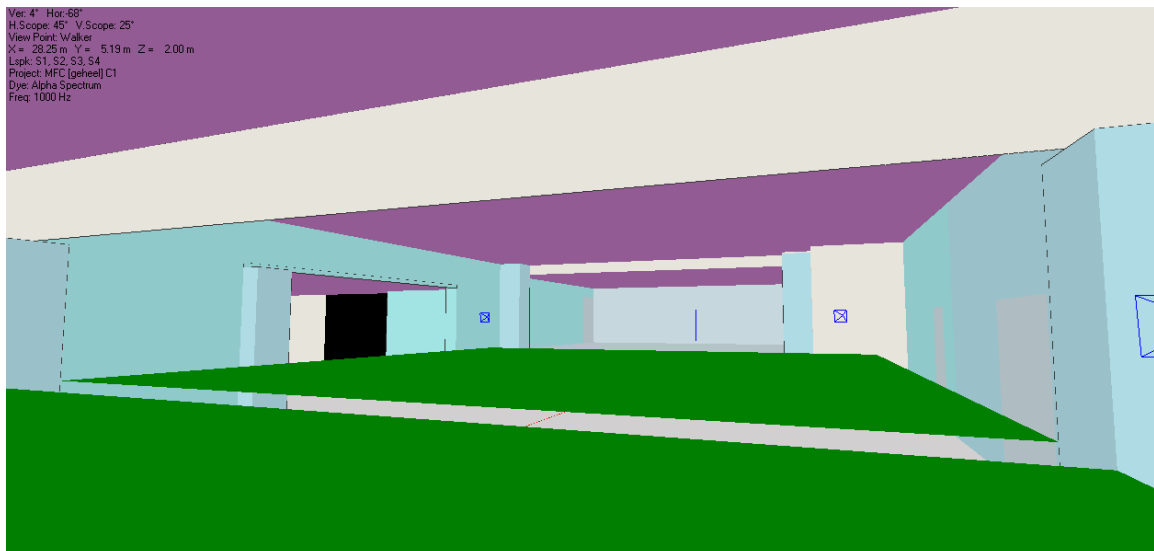
Ver: 30° Hor: 120°
 Lspk: S1, S2, S3, S4
 Project: MFC [geheel] C1
 Dye: Alpha Spectrum
 Freq: 1000 Hz



(c) EASE 4.4 / MFC geheel open C1 / 8-6-2018 15:11:34 / Team 3Sign.Jan Brill

Rekenmodel totaaloverzicht (geheel D1.02, D0.14, D0.21 en D0.22, D0.12, D0.13)

Ver: 4° Hor: 68°
 H.SCOPE: 45° V.SCOPE: 25°
 View Point: Waken
 X = 28,25 m Y = 5,19 m Z = 2,00 m
 Lspk: S1, S2, S3, S4
 Project: MFC [geheel] C1
 Dye: Alpha Spectrum
 Freq: 1000 Hz



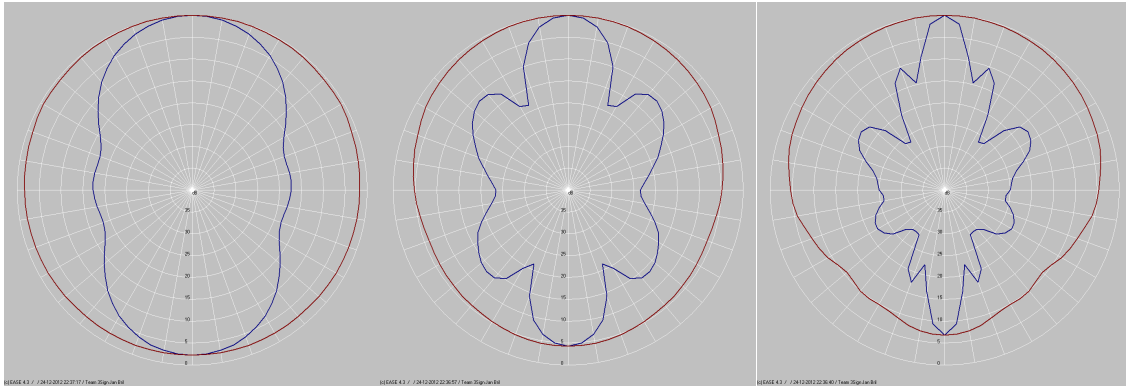
(c) EASE 4.4 / MFC geheel open C1 / 8-6-2018 15:12:22 / Team 3Sign.Jan Brill

Rekenmodel zicht in de ruimte (vanuit D0.22 richting D0.14/D1.02)

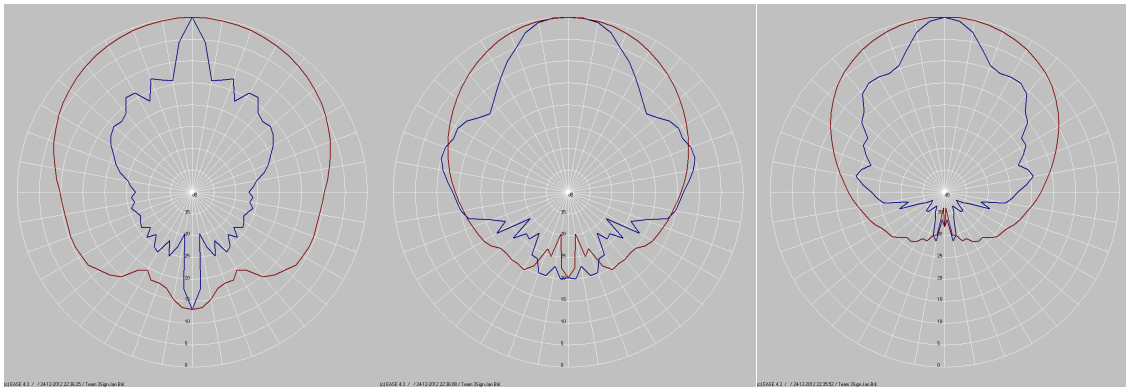
Groene vlak:
 Wandkleuren:

beoordelingsvlak
 α -coëfficiënt (geen realistische kleur)

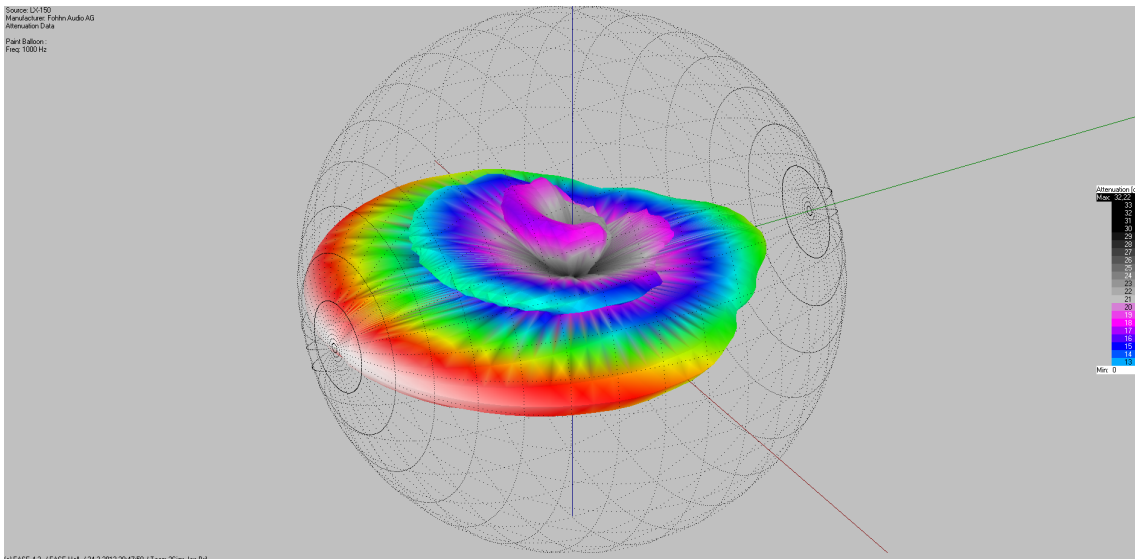
Figuur 1 | impressie rekenmodel



H (rood) / V (blauw) in 250 Hz, 500 Hz en 1 kHz



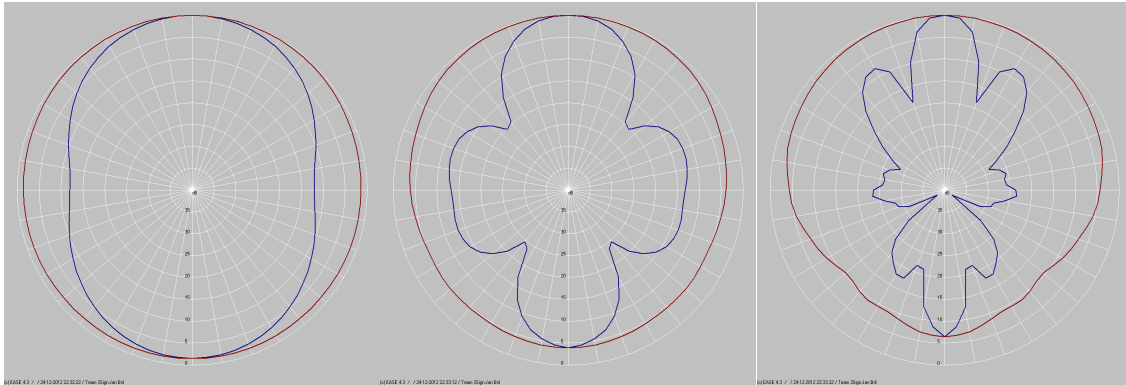
H (rood) / V (blauw) in 2 kHz, 4 kHz en 8 kHz



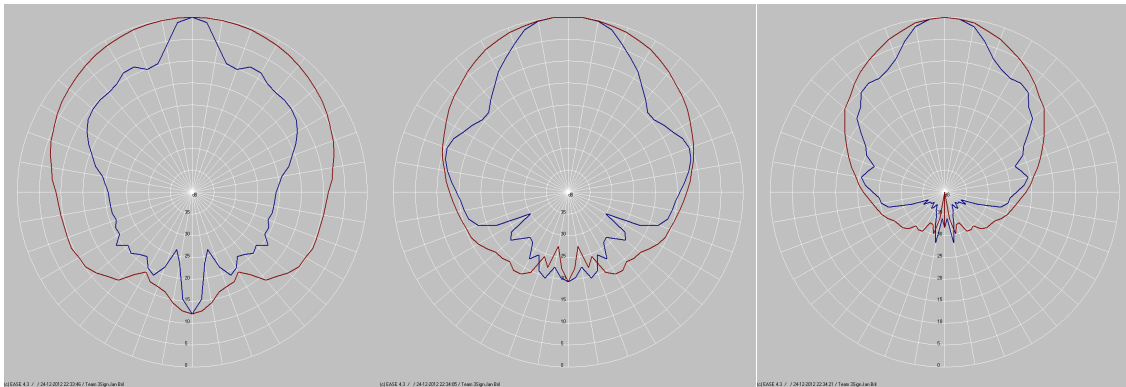
Impressie ballon in 1 kHz

Voorbeeld luidsprekertype 1: Fohhn LX-150

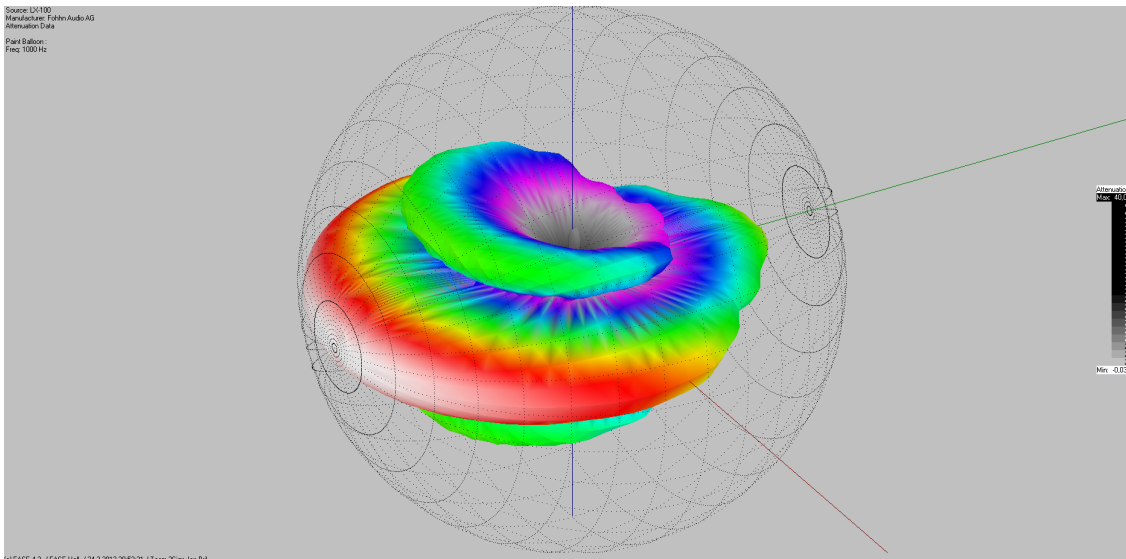
Figuur 2a | eigenschappen luidsprekers



H (rood) / V (blauw) in 250 Hz, 500 Hz en 1 kHz



H (rood) / V (blauw) in 2 kHz, 4 kHz en 8 kHz

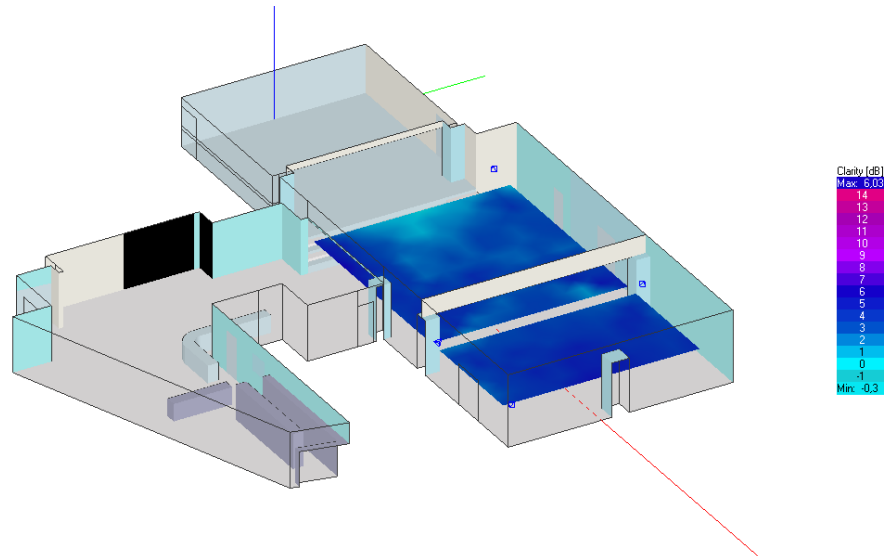


Impressie ballon in 1 kHz

Voorbeeld luidsprekertype 2: Fohhn LX-100

Figuur 2b | eigenschappen luidsprekers

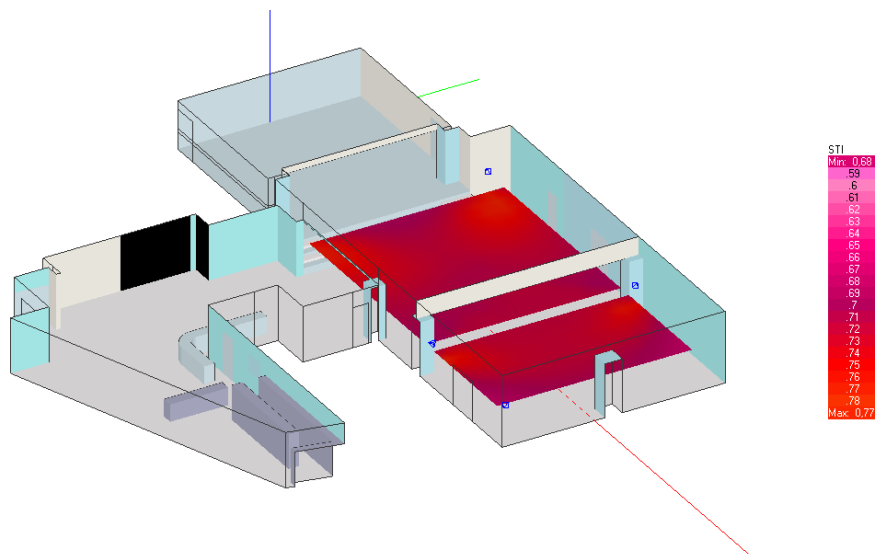
Ver: 30° Hor: 120°
 Lspk: S1, S2, S3, S4
 Project: MFC (geheel) C1
 Map: C80
 (Aura Mapping)
 Freq: 1000 Hz
 (Broad Band/Average)
 Shadow Cast: Yes
 Resolution = 1.00 m



(c) EASE 4.4 / MFC geheel open C1 / 7-6-2018 11:22:16 / Team 35ign-Jan Bri

Voorbeeld C₈₀ (L+R-configuratie S1/S2 en S3/S4) incl. voorzieningen

Ver: 30° Hor: 120°
 Lspk: S1, S2, S3, S4
 Project: MFC (geheel) C1
 Map: STI +N
 (Standard Mapping)
 Shadow Cast: Yes
 Resolution = 1.00 m

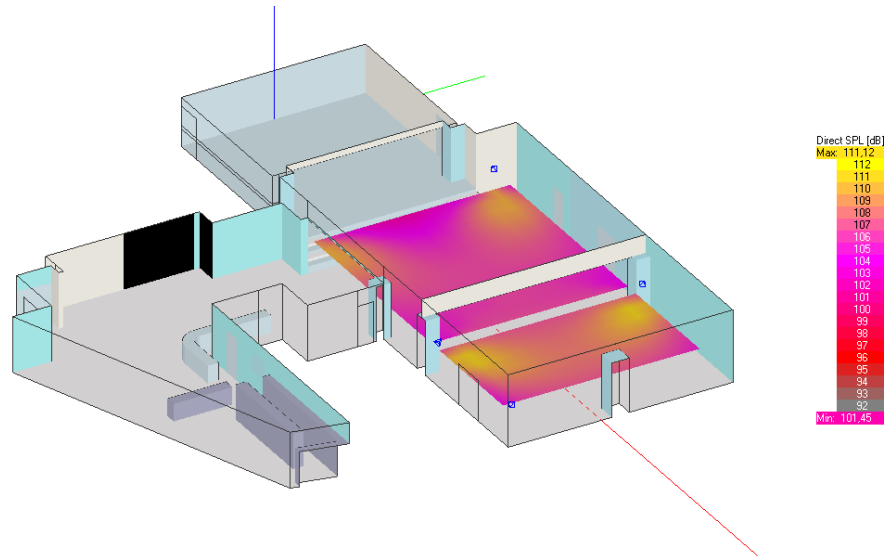


(c) EASE 4.4 / MFC geheel open C1 / 7-6-2018 11:23:41 / Team 35ign-Jan Bri

Voorbeeld STI (L+R-configuratie S1/S2 en S3/S4) incl. voorzieningen

Figuur 3 | voorbeeld C₈₀ en STI

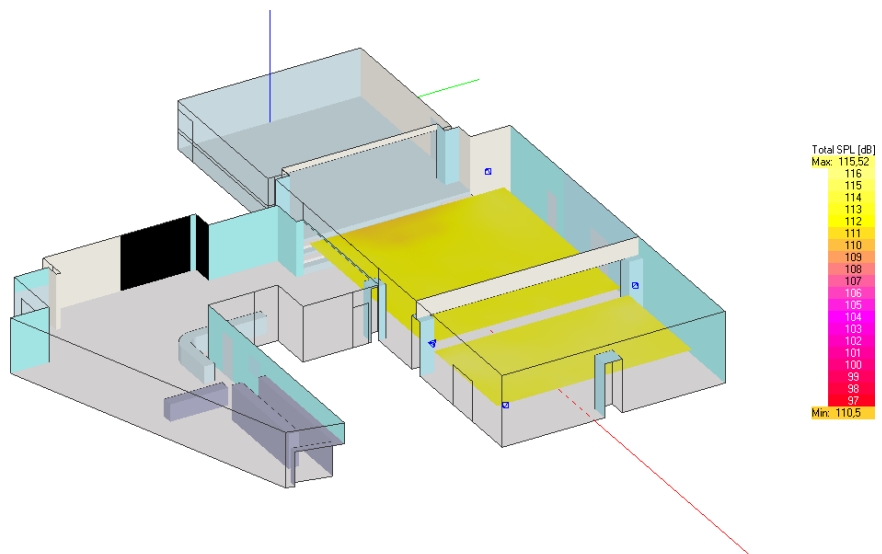
Ver: 30° Hor: 120°
 Lspk: S1, S2, S3, S4
 Project: MFC (geheel) C1
 Map: Direct SPL (A)
 (Aura Mapping)
 Freq: 1000 Hz
 (Broad Band Average)
 Shadow Cast: Yes
 Resolution = 1.00 m



(c) EASE 4.4 / MFC geheel open C1 / 7-6-2018 11:21:49 / Team 35ign-Jan Bri

Voorbeeld SPL_d (L+R-configuratie S1/S2 en S3/S4)

Ver: 30° Hor: 120°
 Lspk: S1, S2, S3, S4
 Project: MFC (geheel) C1
 Map: Total SPL (A)
 (Aura Mapping)
 Freq: 1000 Hz
 (Broad Band Average)
 Shadow Cast: Yes
 Resolution = 1.00 m



(c) EASE 4.4 / MFC geheel open C1 / 7-6-2018 11:22:01 / Team 35ign-Jan Bri

Voorbeeld SPL_t (L+R-configuratie S1/S2 en S3/S4)

Figuur 4 | voorbeeld SPL_d en SPL_t