



AUDITUM
DESIGNING ACOUSTICS

Akoestisch Onderzoek

Grote kerk

Kerkplein 15
7607 BT Almelo

Akoestisch Onderzoek

Grote kerk

Kerkplein 15
7607 BT Almelo

datum: 18 december 2023

adviseur: 5.1.2e | 5.1.2e

opdrachtgever: Protestantse Gemeente te Almelo
College van Kerkrentmeesters
Contactpersoon: 5.1.2e
Kerkplein 3
7607 BT Almelo

kenmerk: 7607 BT - 15 WO 001-18-12-2023V1.0.docx



© 2023 Auditum 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 verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt, noch elektronisch of mechanisch, noch middels fotokopieën of op enigerlei andere wijze, zonder voorafgaande toestemming van Auditum.

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 Auditum verricht wordt gebruik gemaakt van informatie die door verschillende partijen wordt aangeleverd. Het is niet mogelijk al deze informatie op juistheid te controleren. Auditum is niet aansprakelijk voor gegevens die niet in redelijkheid op juistheid gecontroleerd hadden kunnen worden.



I Inhoud van het rapport

1. Inleiding	5
2. Uitgangspunten	6
3. Akoestische richtlijnen	9
4. Metingen en berekeningen	10
5. Voorzieningen	13
6. Conclusies	20

Bijlagen:	A. Korte toelichting parameters
	B. Samenvatting meetresultaten

Figuren:	1. impressie rekenmodel
	2. eigenschappen luidsprekers
	3. voorbeeld niveauverschil SPL_d en SPL_t
	4. voorbeeld STI



1 Inleiding

In opdracht van de Protestantse Gemeente te Almelo is een onderzoek uitgevoerd naar de akoestiek in de Grote kerk aan het Kerkplein 15 in Almelo.

Het doel van dit onderzoek is het bepalen van de randvoorwaarden voor de bouwkundige akoestiek in de kerkzaal bij de voorgenomen aanpassingen en herinrichting. De voorzieningen en materialisatie om de akoestiek conform de streefwaarden te brengen zijn in deze rapportage opgenomen.

Tevens is de configuratie voor de geluidinstallatie aangegeven, waarmee in combinatie met de bouwkundige akoestiek een goede spraakverstaanbaarheid en versterkte muziekweergave kan worden gerealiseerd.



2 Uitgangspunten

2.1 Ruimtelijk ontwerp

De Grote kerk betreft een kruiskerk een volume van circa 5.780 m^3 . De kerk heeft een houten tongewelf in alle delen met een hoogte tot circa $10,6 \text{ m}^{+vloer}$ in het schip en de transepten en tot circa $11,6 \text{ m}$ in het koorgedeelte. Het liturgisch centrum bevindt zich in het koorgedeelte nabij de trappen. Het orgel is geplaatst op een orgelbalkon aan de overzijde van het liturgisch centrum (torenzijde). In de transepten zijn banken op houten ondergrond opgesteld en in het schip en koor bevinden zich steenachtige vloeren (in het koor voorzien van tapijt) met losse rieten stoelen. In de onderstaande afbeeldingen is een overzicht van de kerk in de huidige situatie te zien.

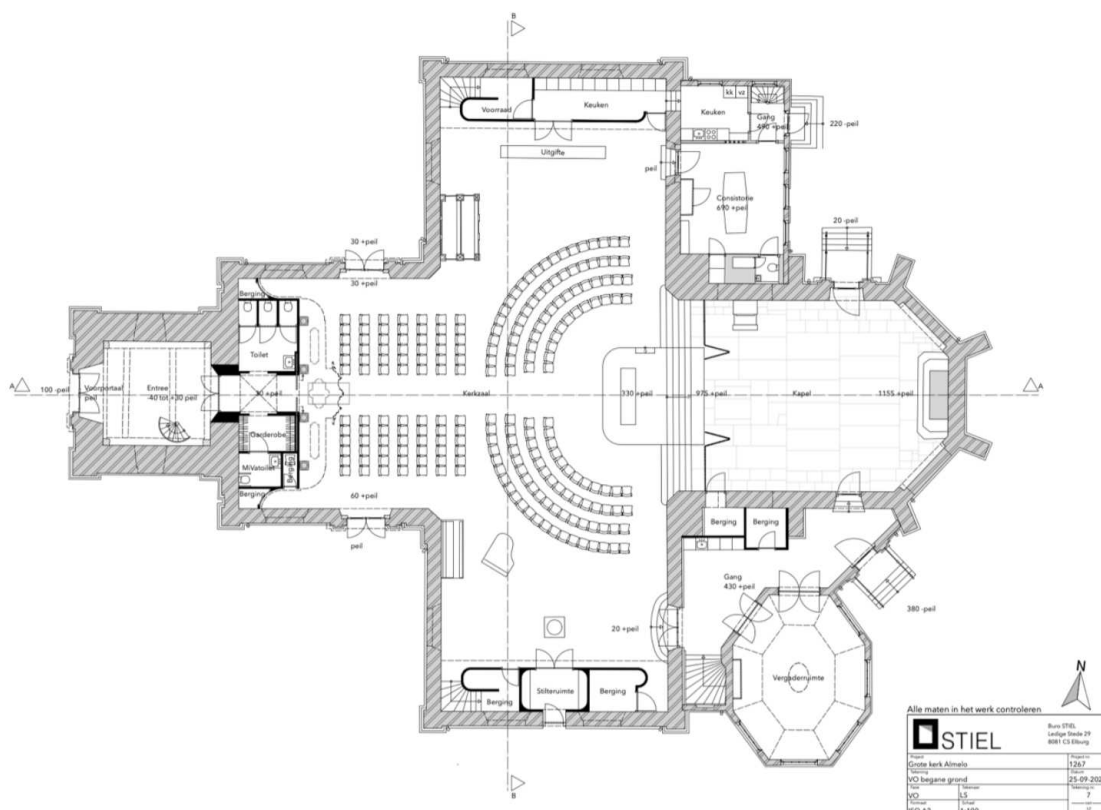


Afbeelding situatie tijdens metingen

Door Buro Stiel is een ontwerp voor de herinrichting uitgewerkt. Hierbij wordt in grote lijnen de hoofdvorm met de tongewelven, de hoge wanddelen en ramen intact gelaten. De vloer wordt opnieuw ingericht, waarbij de banken inclusief houten vloerdelen uit de transepten worden verwijderd (behoudens enkele herenbanken). In de transepten wordt voorzien in nevenruimten (keuken/voorraad in het noordertransept en stilleruimte en berging in het zuidertransept) met daarboven balkons. Onder het orgelbalkon wordt voorzien in een nieuw portaal met garderobe en sanitaire voorzieningen. In de nieuwe situatie wordt het liturgisch centrum vanuit het koor naar een podium in het schip verplaatst en nieuwe stoelen worden rondom dit podium in de transepten en het schip geplaatst. Het koorgedeelte kan als kapel afzonderlijk worden gebruikt, waarbij een koorhek het koor visueel kan afscheiden.

In dit onderzoek wordt ingegaan op de aspecten ten aanzien van de materialisatie die vanuit akoestisch oogpunt van belang zijn bij de herinrichting om de huidige akoestische kwaliteit van de kerk te behouden. Het basisuitgangspunt betreft het ontwerp van Buro Stiel d.d. 25 september 2023 met aanvullingen d.d. 14 december 2023.

In de navolgende figuur is de plattegrond van de nieuwe situatie opgenomen.



Plattegrond begane grond – nieuwe situatie (bron: buro Stiel)

2.2 Materialisatie

De huidige en toekomstige 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	Hard (houten vloer/onderconstructie)	0,12	0,08	0,07	0,06	0,06	0,06	0,2
	Hard (Steen)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,2
	Tapijt	0,02	0,04	0,06	0,20	0,30	0,35	0,2
Wanden/interieur	Glas	0,28	0,20	0,10	0,06	0,02	0,02	0,2
	Hard (steen/stucwand)	0,30	0,20	0,05	0,02	0,02	0,02	0,2
	Hout (orgelkas, balustrade etc.)	0,15	0,10	0,08	0,05	0,05	0,05	0,2
	Orgelfront	0,50	0,50	0,50	0,40	0,40	0,40	1,0
	Banken/stoelen (onbezet, hout/riet, huidig)	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05	0,05	0,8
	Stoelen (onbezet, bekleed, nieuw)	0,04	0,08	0,16	0,18	0,18	0,18	0,8
	Banken/Stoelen (bezet)	0,31	0,51	0,73	0,80	0,82	0,82	0,8
Plafond	Hard (houten tongewelf) ¹⁾	0,26	0,20	0,23	0,15	0,18	0,21	0,2
Voorzieningen	Homogene absorber voor achterwand	0,06	0,19	0,53	0,85	0,95	0,95	0,2
	Diffuserende afwerking transepten	0,15	0,10	0,08	0,05	0,05	0,05	0,6

¹⁾ Tevens correctievlak verstrooiingen metingen



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. Het totaal van de α -coëfficiënten komt overeen met de akoestiek zoals die ter plaatse is gemeten.

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.

De scattering-coëfficiënten zijn nog niet normatief vastgesteld. Deze informatie met getallen van 0 tot 1 betreft een inschatting die aangeeft in hoeverre een oppervlak voorziet in scattering (van 0 naar 100%).



3 Akoestische richtlijnen

3.1 Achtergrond

Alvorens de richtlijnen voor deze kerkzaal te definiëren is inzicht verkregen in de akoestiek van de huidige kerkzaal (0-situatie). De kerkzaal heeft een fraaie en gewaardeerde akoestiek voor muziek, met name voor de drie orgels in de kerk, koor en klassieke muziekvormen. De nagalmtijd is vergelijkbaar met veel kerken uit de gotische tijd (koorgedeelte) en heeft een 'klokvorm': in de middenfrequenties (spraak- en zangfrequenties) is de nagalmtijd langer dan in de lagere en hogere frequenties. Dit zorgt voor een 'herkenbare' klankkleur.

De 0-situatiemetingen zijn samengevat in bijlage B.

De huidige akoestiek betreft het uitgangspunt voor de toekomstige akoestiek na het uitvoeren van de ingrepen. De geluidinstallatie is technisch afgeschreven en wordt bij de herinrichting vernieuwd. Er wordt een configuratie aangegeven waarmee de spraakverstaanbaarheid aan de streefwaarden kan voldoen.

In het navolgende zijn de uitgangspunten omgezet in akoestische streefwaarden.

3.2 Streefwaarden

Als eerste wordt het ruimtelijk ontwerp getoetst op enkele 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 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 overeenkomstig de huidige situatie samengevat.

Tabel 3.1 Bouwkundige streefwaarden

Nummer	Parameter	Streefwaarde	Eenheid
1	Nagalmtijd (T_{mid}) gemiddeld (onbezet)	$\approx 3,7^{1)}$	seconden
	Nagalmtijd (T_{mid}) gemiddeld (100% bezet)	$\geq 2,5$	seconden
2	Early Decay Time (EDT_{mid})	$\approx 1,0 * T$	seconden
3	Bass-Ratio (BR)	$\approx 0,86^{1)}$	[index]
4	Treble-Ratio (TR)	$\approx 0,80^{1)}$	[index]
5	Luidheid (G_{mid})	$\approx 13^{1)}$	dB
6	Clarity (C_{80})	$\geq -1,6$	dB
7	Speech Transmission Index (STI) gemiddeld	0,60	[index]
8	Background Noise Level ($L_{p,B}$)	≤ 35	dB(A)

¹⁾= overeenkomstig de huidige situatie



4 Metingen en berekeningen

4.1 Meet- en rekenmethode

In de kerk (situatie 9 november 2023) zijn metingen uitgevoerd ter bepaling van de aanwezige akoestische situatie. De metingen zijn uitgevoerd conform NEN-EN-ISO 3382-1 en IEC 60268-16. In bijlage B zijn de metingen samengevat.

De kerk is vervolgens in een 3D ruimte-akoestisch rekenmodel gemodelleerd. In het model zijn de wijzigingen overeenkomstig het ontwerp van Buro Stiel doorgevoerd. In het model zijn simulatieberekeningen uitgevoerd ter ondersteuning van de akoestische beschouwing. Hierbij is gebruik gemaakt van het door Prof. Dr. W. Ahnert ontwikkelde pakket AFMG EASE (Enhanced Acoustic Simulator for Engineers) inclusief de module AURA (CEASAR) van Prof. Dr. M. Vorländer. Figuur 1 geeft een impressie van de rekenmodellen.

Als eerste is het ruimtelijk ontwerp aansluitend op de metingen gecontroleerd op enkele algemene aspecten die bepalend zijn voor de akoestiek, zoals die zijn benoemd in paragraaf 3.2. Hierbij is de kerk aan de hand van AURA en ray-tracing technieken beoordeeld. Vervolgens zijn de ruimte-akoestische parameters van de kerk berekend en beoordeeld. In de volgende paragraaf zijn de resultaten samengevat.

4.2 Meet- en rekenresultaten en beoordeling

De zichtlijnen zijn gecontroleerd. De zichtlijnen zijn bij het beoogde gebruik overal aanwezig richting staande personen ter plaatse van het bestaande en nieuwe liturgisch centrum.

Nuttige reflecties dienen in eerste instantie gehandhaafd te worden en hinderlijke reflecties dienen in eerste instantie vermeden te worden. Voor akoestische muziek zijn nuttige reflecties ruim voldoende aanwezig via met name het tongewelf en de hogere delen van de wanden. Deze nuttige reflecties blijven aanwezig. Het aandeel hinderlijke reflecties via de lagere wandgedeelten is momenteel te hoog bij spraakoverdracht en moet gereduceerd worden. Voor klassieke muziekvormen zijn deze reflecties niet nadelig. In hoofdstuk 5 wordt nader ingegaan op voorzieningen bij de gestelde uitgangspunten.

Stralingsconcentraties treden in de huidige en toekomstige situatie niet relevant op ter plaatse van publieksgebieden in de kerk. In het koorgedeelte treden deze wel op als gevolg van bronnen voor de kopse 3-zijdige wand. Hier wordt in hoofdstuk 5 ook nader op ingegaan. Relevante echo's en flutterecho's op oorhoogte zijn tijdens de metingen niet geregistreerd.

De meet- en 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 Meet- en rekenresultaten huidige situatie

Nummer	Parameter	Eenheid	Streefwaarde	Gemeten en Berekend	Conclusie
1	Nagalmtijd (T_{mid}) gemiddeld onbezet	seconden	$\approx 3,7^{1)}$	3,7	Voldoet
	Nagalmtijd (T_{mid}) gemiddeld bezet	seconden	$\geq 2,5$	2,6	Voldoet
2	Early Decay Time (EDT_{mid}) gemiddeld	seconden	$\approx 1,0 * T$	$1,0 * T$	Voldoet
3	Bass-Ratio (BR)	[index]	$\approx 0,86^{1)}$	0,86	Voldoet
4	Treble-Ratio (TR)	[index]	$\approx 0,80^{1)}$	0,80	Voldoet
5	Luidheid (G_{mid})	dB	$\approx 13^{1)}$	+13	Voldoet
6	Clarity (C_{80})	dB	$\geq -1,6$	-4,1	Voldoet niet
7	Speech Transmission Index (STI) gemiddeld	[index]	0,60	0,39/0,43 ¹⁾	Voldoet niet
8	Background Noise Level ($L_{p,B}$)	dB(A)	≤ 35	≤ 35	Voldoet

¹⁾= zonder spraakversterking en met spraakversterking (huidige installatie)

Toelichting meet- en rekenresultaten en beoordeling:

Nagalmtijd en Early Decay Time

De nagalmtijd is afhankelijk van de bezettingsgraad. Hoewel de nagalmtijd getalsmatig is gepresenteerd bij een volledig onbezette en bezette zaal, is de nagalmtijd relevant voor alle bezettingsgraden. Dit is een aandachtspunt omdat de zaal niet structureel 100% bezet zal zijn. Feitelijk betreft de onbezette zaal hierbij het 'worst-case' scenario als het gaat om spraakverstaanbaarheid en (versterkte) muziekoverdracht.

De gemiddelde nagalmtijd T_{mid} bedraagt 3,7 seconden in onbezette situatie, wat de kerk voor orgel, koor en klassieke muziekvormen geschikt maakt. Voor multifunctioneel gebruik is deze nagalmtijd (te) lang. Het is wel mogelijk om een goede spraakverstaanbaarheid conform de streefwaarden te realiseren bij deze nagalmtijd, maar de ruimte wordt daarbij niet optimaal voor versterkte muziek van bands.

De Early Decay Time (EDT) is net als de nagalmtijd afhankelijk van de positie, maar de waarden lopen sterker uiteen. De EDT voldoet verder aan de gangbare uitgangspunten en is in de regel niet langer dan de nagalmtijd T_{mid} .

Bass-Ratio en Treble-Ratio

De huidige Bass-Ratio (BR) en Treble-Ratio (TR) in de kerk zijn goede waarden, waarbij de klankverkleuring door de akoestiek beperkt blijft.

Luidheid

De gemeten luidheid G_{mid} geeft aan dat de huidige kerkzaal een luidheid heeft die niet afwijkt van gelijke volumes bij gestucte wanden. De kerk is relatief luid, waarbij het orgel en andere muziekbronnen relatief veel ondersteund worden. Dit is geen nadeel voor muziek en geen aanleiding om aanpassingen door te voeren.



Clarity

De gemiddelde Clarity C_{80} in de kerkzaal is voor orgel bijzonder goed, maar voor andere muziekvormen te laag. Het zorgt voor een beperking in de definitie van muziek en details in muziek. Het handhaven van de Clarity C_{80} als bouwkundige parameter is een uitgangspunt. In het spraaksignaal moet de Clarity C_{80} gereduceerd worden tot de streefwaarden, zodat details in het gesproken woord goed waarneembaar zijn.

STI

Voor het bepalen van de invloed van de bouwkundige ruimte op de spraakverstaanbaarheid zijn metingen en 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 kerk onvoldoende verstaanbaar is met een gemiddelde waarde van $STI = 0,39$ [index]. Gezien de nagalmtijd, de vorm en het volume is dit voor de hand liggend. Bij het in bedrijf stellen van de huidige geluidinstallatie neemt de STI toe tot 0,43 [index], wat eveneens onvoldoende is. De STI wordt met name beperkt door de te beperkte richtwerking van de luidsprekers, het niet aanwezig zijn van een goede afregeling op de kerk (of mogelijkheid daartoe) en veel reflecties via de wanden. Er wordt een nieuwe geluidinstallatie geconfigureerd die in combinatie met de passende materialisatie kan voorzien in een STI van 0,6 [index] of hoger.

Background Noise Level

In dit onderzoek is uitgegaan van een achtergrondgeluidniveau van maximaal circa $L_{p,B} = 35$ dB(A). Dit omvat het totale achtergrondgeluidniveau vanwege buitengeluid (zoals wegverkeer), installatiegeluid (zoals luchtbehandelingssystemen) en activiteiten in de ruimte (zoals lopen, vallen van voorwerpen enzovoorts).



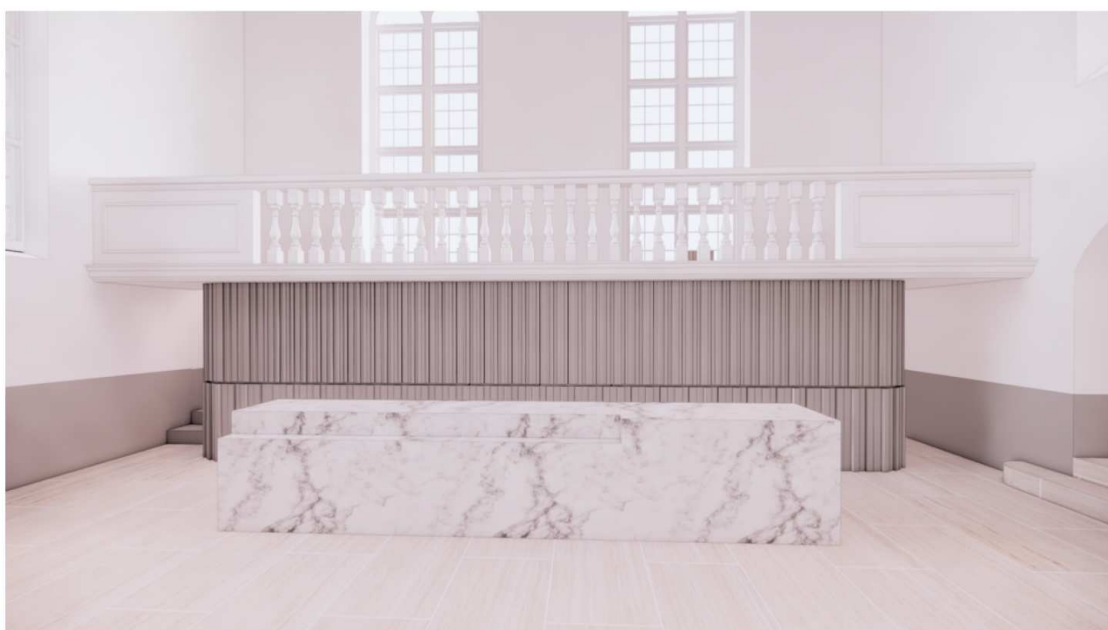
5 Voorzieningen

5.1 Bouwkundige materialisatie

Akoestische voorzieningen bij de herinrichting dienen voornamelijk gericht te zijn op het handhaven van de akoestische parameters zoals vastgelegd bij de 0-situatie metingen.

Hiertoe is de volgende materialisatie als uitgangspunt genomen:

- De vloer in het schip en koor blijft steenachtig. In de transepten zijn momenteel (verhoogde) houten vloerdelen onder de banken aanwezig. Deze worden verwijderd. Gerekend is met een geheel steenachtige vloer. De vloerbedekking in het koor en het wandkleed in één van de transepten hebben enige absorptie, die elders gecompenseerd wordt.
- De huidige banken in de transepten hebben effect op de geluidoverdracht in de ruimte. Nieuwe stoelen moeten het ontbreken van deze densiteit aan banken compenseren, gecombineerd met de bijdrage van de rieten stoelen in het schip en koor. Dit is mogelijk door in de nieuwe situatie stoelen toe te passen met de absorptiewaarden conform tabel 2.1. Dit betekent dat de stoelen ongeacht merk en type bekleed moeten zijn. De absorptiewaarden uit tabel 2.1 kunnen worden gerealiseerd met stoelen die bekleed zijn (bijvoorbeeld een Brunner First Place, Casala Curv of Lynx II met *beklede zitting en rugleuning* voldoen aan de nodige absorptiewaarden). De absorptiewaarde wordt bepaald door verschillende factoren, zoals dikte, vulling en afwerking van de bekleding. Aanbevolen wordt de keuze van bekleding en vulling van de definitieve gekozen stoel ter toetsing voor te leggen indien deze afwijken van de genoemde stoeltypen.
- De gesloten delen van de zijwanden onder de nieuwe balkons in de transepten kunnen worden voorzien van een lattenpatroon op basis van 44 mm (boven de circa 1-1,2 meter waarbij het gedeelte daaronder is gebaseerd op 88 mm breedte. De diepte is variabel tot circa 30 mm overeenkomstig de navolgende impressie (bron: buro Stiel).





Het gedeelte onder de circa 1-1,2 meter hoogte is akoestisch niet relevant, hier vinden ook geen hinderlijke reflecties als gevolg van het spraaksignaal meer plaats (niet op oorhoogte). Dit staat de nadere inrichting, waaronder een uitgiftebalie, niet in de weg.

- De achterwand (het nieuwe deel onder het orgelbalkon) is in de huidige situatie verantwoordelijk voor veel hinderlijke reflecties ten gevolge van het spraak- en muzieksignaal uit de hoofduidsprekers. Deze reflecties zijn medeverantwoordelijk voor het niet bereiken van een spraakverstaanbaarheid conform de streefwaarden in de huidige situatie. Dit kan worden verbeterd door het gesloten deel van de nieuwe wand te voorzien van een homogene absorber. Hierbij kan eventueel met dezelfde uitstraling/maten als in de transepten een absorberende variant worden gemaakt door tussen de houten delen met een breedte van 44 mm ook 44 mm tussenruimte te maken. Deze tussenruimte kan met PET-vilt 9 mm (zichtzijde) en 50 mm minerale wol, schapenwol of polyesterwol worden opgevuld. Als alternatief voor houten delen kan ook worden uitgegaan van een naadloze vlakke wand zoals een ARTwall 57 of TechPanel 50 mm (meer productinformatie: www.incatro.nl of www.akoestiek.tech).
- Op dit moment zijn absorberende materialen in het koor (vloerbedekking) en de wanden (doek/kunstwerk) aanwezig. Wanneer deze in de toekomstige situatie niet meer terugkomen dient de absorptie hiervan gecompenseerd te worden. Dit is in het koor mogelijk door de twee nissen naast het praalgraf met bijvoorbeeld een ARTwall of Techpanel als bovenstaand benoemd in te vullen. Het doek/kunstwerk in het transept kan met hetzelfde oppervlak worden gecompenseerd, op dezelfde wand, maar bij voorkeur in de hoogte tussen 1,0 en 2,5 meter in verband met het vermijden van reflecties in het spraaksignaal op oorhoogte. De absorptiewaarden van alle vlakken zijn overeenkomstig tabel 2.1.

Met deze aanpassingen wordt de huidige akoestiek conform de streefwaarden gerealiseerd.

5.2 Geluidinstallatie

5.2.1 Inleiding

De akoestiek in de kerkzaal biedt mogelijkheden om een STI van 0,60 [index] of hoger te realiseren wanneer de configuratie van de geluidinstallatie op de bouwkundige zaalakoestiek is afgestemd.

In het navolgende wordt de configuratie behandeld. 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).

5.2.2 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 en waar nodig worden geoptimaliseerd ten aanzien van gebruikersfuncties en signaalkwaliteit.



Elke bron (een ingangssignaal van microfoons, mengtafels, multimedia-bronnen enzovoorts) wordt correct en in verhouding met elkaar naar elke ontvanger (luidspreker, ruimte of apparaat) gestuurd via de Audio DSP. In een Audio DSP worden de ingangssignalen van de bronnen ook verwerkt en geoptimaliseerd voordat deze worden verstuurd naar een ontvanger. De meest toegepaste vormen van verwerking zijn compressor/limiting, trimming en equalizing van ingangssignalen om de kwaliteit van de spraakverstaanbaarheid en een gebalanceerde muziekweergave in de zaal te realiseren.

De Audio DSP wordt bij inbouw van de geluidinstallatie in principe éénmalig ingesteld op de behoefte van de gebruiker en hoeft daarna operationeel vrijwel geen aandacht meer (tenzij de gebruikerswensen of gebruiksscenario's veranderen). Dit heeft als voordeel dat het systeem in de praktijk door de beheerder met een paar eenvoudige knoppen of een tablet is te bedienen zonder alle technische kennis paraat te hoeven hebben. Hierbij kan men – indien gewenst – de basisinstellingen zonder toestemming en/of technische kennis niet veranderen zodat het systeem altijd blijft functioneren zoals het in eerste instantie ingesteld is. Dit zorgt voor een stabiel en 'fool proof' systeem.

De verschillende programma's en gebruiksscenario's worden als 'preset' in de Audio DSP geprogrammeerd. Veel gebruikte presets in kerken zijn:

- Signaalrouting. Hiermee is het mogelijk om groepen te creëren met en zonder sfeermicrofoon en wordt een instelbare dynamiek (compressor/limiter/automatische volumeregeling) en vele andere parameters per ingang geregeld. Dit wordt gekoppeld aan uitgangen, zodat middels automatische weergave de spraak (mono, gefilterd naar optimale STI) en muziek (stereo, inclusief de lage tonen en aansturing van de subwoofers) is geoptimaliseerd. Verder wordt externe apparatuur (zoals laptops en live-mixers) ook op de Audio DSP aangesloten zodat het weergavesysteem ook voor deze bronnen optimaal functioneert.
- Automatische omschakeling van sfeersignaal tijdens orgelspel en zang. Als het orgel klinkt, schakelen alle spraakmicrofoons automatisch uit. Alleen de sfeermicrofoons zijn op dat moment actief voor weergave buiten de grote zaal. Deze automatische functie is via de afstandsbediening of tablet schakelbaar.
- Automatische microfoonregie. Deze functie zorgt ervoor dat niet gebruikte microfoons altijd automatisch uitschakelen. Dit voorkomt hinderlijk 'rondzingen' en verhoogt de spraakverstaanbaarheid en de stabiliteit van de gehele installatie.

5.2.3 Weergavesysteem

Het akoestisch principe van het weergavesysteem in deze zaal moet zijn gebaseerd op een directe aanstraling van de zitplaatsen waarbij zo weinig mogelijk stoorgeluiden vanwege reflecties en nagalmtijden plaatsvinden. Het geluid moet hierbij ook qua richtingsinformatie de spreker versterken.

Het direct aanstralen van de zitplaatsen kan plaatsvinden met luidsprekers die een verticale openingshoek hebben die is afgestemd op de eerste en laatste stoelenrij. Aanbevolen wordt om het aantal luidsprekerposities zoveel mogelijk te beperken: liever weinig luidsprekers met een goede karakteristiek dan veel units die (net) niet de juiste kwaliteit hebben.

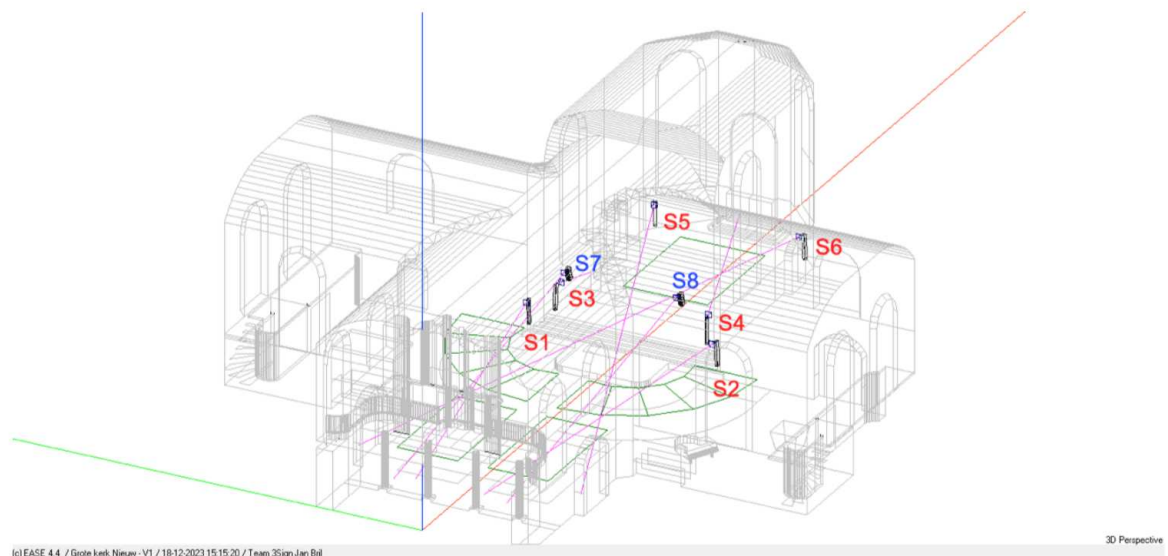
Er zijn meerdere varianten van weergavesystemen op de markt. In kerken zijn mini line-arrays (passieve danwel digitaal stuurbare kolommen) vaak toegepast. Deze bevinden zich in de regel



op de wand of kolom en zijn geschikt voor spraak en spraak/muziekweergave (voldoende voor muziek van geluid dragers en combo's). Voor multifunctioneel gebruik met volledige weergave van livemuziek kan ook worden uitgegaan van kleinere line-arrays die boven het podium/liturgisch centrum hangen (al dan niet in 1 kast). In het navolgende wordt zowel de optie van mini line-arrays als basissysteem en line-arrays als uitbreiding voor livemuziek in het schip) uitgewerkt. Andere varianten, zoals conventionele tops, zijn niet optimaal omdat de invloed van de akoestiek in het versterkte signaal onvoldoende wordt beperkt vanwege te weinig sturing en bundeling van het signaal.

Mini line-arrays (spraak en muziekcombinatie)

In figuur 5.1 zijn de luidsprekerposities aangegeven. Bij toepassing van mini line-arrays zijn voor het gehele schip (en het deel van de transepten waar stoelen zijn geprojecteerd) twee posities aan weerszijden van het podium nodig (positie S1 en S2). Voor het koorgedeelte kan worden uitgegaan van twee spreker/muzikanten locaties: bij een locatie nabij de koortrap of gebruik van de gehele kerk inclusief koor bij een locatie ter plaatse van het podium kan worden uitgegaan van positie S3 en S4. Bij een locatie nabij het praalgraf kan worden uitgegaan van positie S5 en S6.



Figuur 5.1 Posities speakers

Via de afstandsbediening of tablet kan hierbij het van toepassing zijnde scenario worden geselecteerd: gehele kerk bij spreker/muzikant op het podium voor de koortrap (S1 t/m S4), alleen schip/transepten (S1 en S2), spreker/muzikant koor zijde koortrap (S3 en S4) of spreker/muzikant zijde praalgraf (S5 en S6). De niet noodzakelijke luidsprekers staan uit.

Met deze configuratie kan een STI van 0,60 tot 0,63 [index] bij een standaarddeviatie van 0,04 in alle scenario's worden gerealiseerd indien de luidsprekers voldoen aan de eigenschappen uit tabel 5.1, ook in de worst-case situatie. Passende luidsprekers zijn luidsprekers met een zeer kleine openingshoek zoals de Fohhn LX-220 of de Seis-Akustik BS1224 (passief) of de digitaal stuurbare variant zoals de Fohhn DLI-230 of Seis-Akustik BSF1224. De realiseerbare spraakverstaanbaarheid is bij de passieve en digitaal stuurbare variant gelijk, de passieve variant maakt een hoger vermogen voor muziek mogelijk, waarbij de kostprijs per unit veel lager ligt dan bij digitaal stuurbare varianten. Deze luidsprekers staan onder een hoek ten opzichte van de wand (circa 3 graden), wat met name bij de langere varianten visueel niet ideaal is.



De digitaal stuurbare variant heeft de mogelijkheid om de in tegenstelling tot de passieve variant de luidsprekers vlak op de muur te plaatsen omdat de bundel digitaal wordt ingeregeld.

Volledigheidshalve wordt opgemerkt dat de openingshoek in de regel bepalend is, niet het vermogen van de luidsprekers. Installateurs hebben snel de neiging om een kleinere luidspreker toe te passen omdat dit qua vermogen ook past, maar bij de kleinere varianten is de openingshoek vaak te groot, waardoor te veel reflecties door de omhullende constructies ontstaat. Een zo klein mogelijke openingshoek is in deze kerk van zeer groot belang.

Line-arrays (live muziek)

Een systeem, opgebouwd met line-arrays, bestaat uit het voornoemde systeem voor de dichtstbij gelegen zitplaatsen in schip/transepten en in het koor, uitgebreid met twee line-arrays in een L+R-configuratie om een goede spreiding en hoge geluidskwaliteit in het gehele schip te realiseren. De luidsprekers moeten hangen op een hoogte van circa 4,2 meter (onderzijde). De line-arrays mogen niet te hoog hangen om een onnatuurlijke overdracht te vermijden, maar ook niet te laag om praktisch niet te veel beperkingen te hebben. In figuur 5.1 is de hoogte van relatief kleine speakers (GL 16c) op positie S7 en S8 op een hoogte van 4,2 meter (=3,5 meter onderzijde) aangegeven. De line-arrays hangen vrij boven de koortrap.

Per line-array zijn hiertoe minimaal 4 compacte units nodig (één en ander afhankelijk van het gekozen merk en type). Passende units zijn voorzien van relatief kleine drivers (bijvoorbeeld 1x/2x 4-6,5" LF en 1-2" HF). Toepasbare line-arrays in verschillende prijs- en kwaliteitsklassen zijn onder andere RCF HDL6-A, Axiom AX-2065A of Meyer Sound Mina. Als compact en budgetvriendelijk alternatief kunnen ook systemen worden toegepast die gebruik maken van line-arrays in één kast, zoals de Seeburg Acoustic Line GL 16c waarmee is gerekend.

Andere merken en typen dan hier genoemd zijn eveneens mogelijk, mits aantoonbaar wordt voldaan aan de eigenschappen zoals benoemd in tabel 5.1.

Met deze variant kan bij een juiste inregeling en afstelling eveneens een STI vanaf gemiddeld 0,60 bij een standaarddeviatie van circa 0,04 worden gerealiseerd in alle bezettingsgraden. De toevoeging van line-arrays heeft daarmee geen relevante invloed op de spraakverstaanbaarheid, waarmee ze alleen toegepast hoeven te worden indien er behoefte is aan een breed multifunctioneel gebruik inclusief livemuziek op hoog niveau.

Voor breedbandige muziekweergave is het bij beide varianten mogelijk (relatief kleine 12 of 15") subwoofers toe te passen als aanvulling op deze luidsprekers voor de midden- en hogere frequenties. De subwoofers mogen niet gevlogen worden. Aanbevolen wordt om twee subwoofers op vloerniveau te plaatsen of onder het eventuele nieuwe podium in te bouwen (als dit qua hoogte past), zoveel mogelijk in een verticale lijn onder de tops. Bij inbouw onder het nieuw podium wordt achter de subwoofer een wand met een oppervlaktemassa van tenminste 20 kg/m² gemaakt, met aan de zijde van de subwoofer tenminste 100 mm minerale wol met een dichtheid van 50 kg/m³ of hoger. De voorzijde of eventuele stootborden van de trappen worden akoestisch open uitgevoerd (gaas/luidsprekerdoek/dolby-doek toegestaan), waarachter de subwoofers staan. De podiumvloer moet ter vermindering van meetrillen tenminste bestaan uit 2x18 mm plaatmateriaal.

De volgende eigenschappen zijn van toepassing:



Tabel 5.1 Randvoorwaarden weergavesysteem kerkzaal

Deel	Aandachtspunt	Voorbeelden
S1 t/m S6	Hoofdluidsprekers schip S1 en S2, koorluidsprekers S3 en S4, S5 en S6 (L+R stereo)	Fohhn LX-220 (passief) Fohhn DLI-230 (digitaal stuurbaar) Seis-Akustik BS1224 (passief) Seis-Akustik BSF1224 (digitaal stuurbaar)
	Mini line-arrays met minimaal 18x 4" chassis en 3 x 1" driver met waveguide of coaxiale speakers met minimaal 12x 4" drivers en 24x1" drivers voor de hoge tonen. De H/V-diagrammen per mini line-array moeten tenminste overeenkomen met figuur 2a (zie bijlage).	
S7 en S8	Hoofdluidsprekers in L+R-opstelling, aanvulling voor live-muziek	RCF HDL6-A Proel Axiom 2065 Meyer Sound Mina Seeburg Acoustic Line GL16c
	Opbouw hoofdluidsprekers uit minimaal 4 units per line-array met 1/2x 4-6,5" chassis en 1 x 1/2" driver voor de hoge tonen. De H/V-diagrammen per line-array moeten tenminste overeenkomen met figuur 2b (zie bijlage).	
	Actieve units of systeemgeschikte versterkers met systeemcontrole en luidsprekermanagementsysteem.	
	De luidsprekers realiseren met voldoende headroom een SPL van 95 dB(A) of meer met een standaarddeviatie van 2 dB.	

De keuze voor geschikte eindversterking ligt bij de leverancier. Aanbevolen wordt om systeemspecifieke eindversterking te kiezen. Diverse line-arrays zijn actief uitgevoerd, waarbij geen externe versterkers noodzakelijk zijn.

5.2.4 Bronnen

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 kunnen worden naar bijvoorbeeld een internetserver. Hiertoe kunnen analoge line- inputs en outputs of digitale SP/DIF-aansluitingen van de Audio DSP worden gebruikt.

Live-mixers

De externe mengtafel vanwege de regie van een band kan eveneens op de line-inputs van de Audio DSP worden aangesloten. Hiermee kan de band of combo gebruik maken van het optimaal ingestelde weergavesysteem. Wanneer regelmatig (wisselende) bands optreden wordt aanbevolen hiertoe van het podium naar een vast punt in de zaal een CAT5/6-kabel voor Digital Snakes voor te bereiden, zodat digitale mixers aangesloten kunnen worden. Een belangrijk uitgangspunt hier is dat de output van deze mengtafels uitsluitend naar een input van de Audio 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.

Microfoons

De aantallen microfoons kunnen naar behoefte worden gekozen. Bestaande microfoons kunnen worden hergebruikt. Het is van groot belang dat aanvullende of nieuwe microfoons aan de randvoorwaarden voldoen. Voor de hand liggende microfoons zijn:



- Draadloze headsetmicrofoons. Dit type microfoon is met name flexibel voor een breed toepassingsbereik en zorgt ervoor dat de spreker ook dynamisch kan bewegen zonder het spraaksignaal negatief te beïnvloeden.
- Draadloze hand/statiefmicrofoons. Dit type microfoon is geschikt voor extra sprekers of (solo) zangers ter plaatse van het liturgisch centrum of elders in de zaal. Deze microfoons zijn makkelijk door te geven omdat ze robuust zijn gebouwd en daarmee geschikt voor toepassing in 'publiek'.
- Draadloze of bekabelde zwanenhalsmicrofoons. Dit type microfoon is geschikt voor statische situaties, ook in moeilijke akoestische omstandigheden. Het kenmerk van dit type microfoons is een gebalanceerde klank en een breed 'opvanggebied' waardoor de spreker toch bewegingsvrijheid heeft. Het verdient aanbeveling om op vaste locaties zoals bij de dientafel een aansluitvoorziening te hebben voor een bekabelde zwanenhalsmicrofoon, zodat bij uitval van draadloze zenders een spraakversterking altijd mogelijk is.
- Sfeer- en orgeldetectiemicrofoons (sfeermicrofoons dubbel uitgevoerd). Dit type microfoon is voor het registreren van (muzikale) activiteiten in de ruimte voor de weergavemix van het signaal naar buiten de zaal en detectie van orgelmuziek voor schakelingen.

Voor de draadloze microfoons gelden een aantal randvoorwaarden:

- De headset- en reversmicrofoons moeten beschikken over een goede kwaliteit met minimale contactgeluiden vanwege de microfoon en het snoer. Bevestigingen moeten betrouwbaar zijn en de microfoons moeten zijn voorzien van het True Diversity systeem.
- Alle spraakmicrofoons beschikken over een condensator microfoonkapsel met niervormige (cardioïde) karakteristiek. De bodypackzenders moeten beschikken over een zendvermogen van minimaal 50 mW (headset- of reversmicrofoons) of 30 mW (hand- en statiefmicrofoons).
- Een systeemgebonden laadunit inclusief het structureel terugplaatsen van de microfoons in de laadunits is een vereiste.

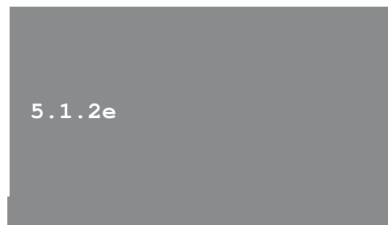


6 Conclusie

De akoestiek in de kerkzaal is onderzocht. Hierbij is de huidige situatie gemeten (0-situatie) en is ten aanzien van de voorgenomen aanpassingen uitgegaan van het optimaliseren van de akoestiek conform de uitgangspunten waarbij de spraakverstaanbaarheid goed moet zijn en de akoestiek verder behouden blijft.

Door bij de herinrichting met de juiste materialisatie en stoelkeuze de huidige akoestiek te handhaven en specifieke hinderlijke reflecties in het versterkte signaal te vermijden wordt de spraakverstaanbaarheid verbeterd bij behoud van de huidige akoestische kwaliteiten voor muziek. De nodige materiaaleigenschappen en enkele voorbeelden van materialen zijn in dit onderzoek aangegeven.

Tevens is de op deze bouwkundige akoestiek afgestemde configuratie van de geluidinstallatie beoordeeld. Met de geluidinstallatie kan een STI met een gemiddelde waarde hoger dan 0,60 [index] en daarmee conform de streefwaarden worden gerealiseerd in samenwerking met de bouwkundige voorzieningen. Voor versterkte muziek kan gekozen worden tussen een spraak/muziekcombinatie voor de meeste muziekvormen (inclusief geluid dragers en combo's) of een aanvulling met line-arrays voor livemuziek op hoog niveau.



Senior adviseur



Bijlage A



Korte toelichting akoestische parameters

Nagalmtijd (T)

De nagalmtijd (T) is gedefinieerd als de tijd waarin het geluidsdrukkniveau 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 geluidsdrukkniveau 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.

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

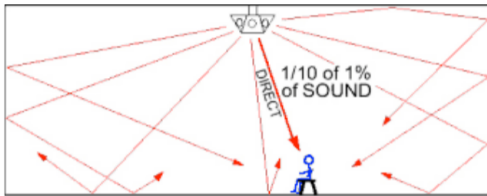
De clarity beschrijft zowel de helderheid van spraak als de doorzichtigheid van muziek. De C₇ en C₅₀ zijn vooral interessant voor de helderheid van spraak (spraakverstaanbaarheid). De C₈₀-waarde beschrijft het vermogen om muzikale details te horen. De variatie loopt van versmeerd/troebel tot transparant. 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 $2 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2$. 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).

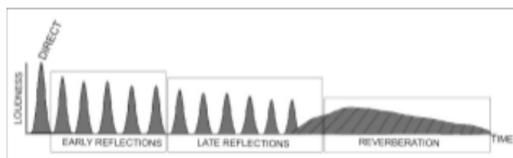
De MTF kan worden bepaald door de volgende formule:

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

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.



Bijlage B



Samenvatting meetresultaten

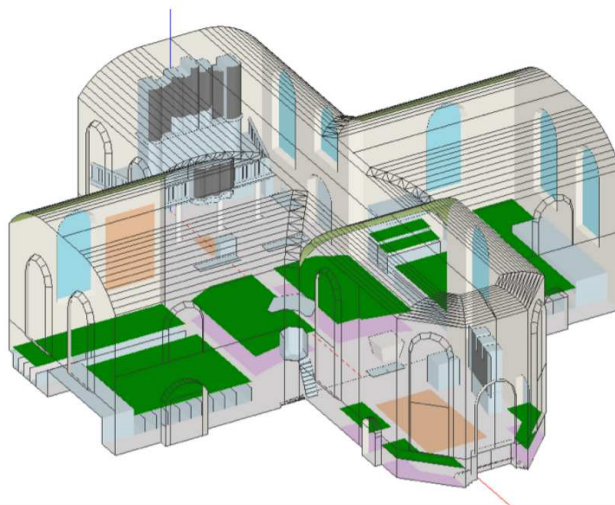
Ruimte	Grote kerk Almelo	
Datum metingen	9 november 2023	
Situatie	Onbezet, gemeubileerd	
Omschrijving metingen	Er zijn 48 metingen op 12 posities, verspreid over de gehele kerk (zowel schip als koor) uitgevoerd. Voor de bouwkundig akoestische metingen is een sweep-sigitaal uitgestuurd middels een bolvormige meetbron die is gepositioneerd op 2 posities in het liturgisch centrum en het midden van de kerk. Bij de metingen aan de geluidinstallatie is een testsignaal elektronisch toegediend aan de installatie. De metingen zijn uitgevoerd conform NEN-EN-ISO 3382-1 en IEC 60268-16.	
Meetapparatuur	Asus UX-325 E	
	AFMG EASERA v.1.2.13	
	AFMG EASERA SYSTUNE Pro v.1.3.7.486	
	ZOOM F8n	
	NTI M2211 Class 1 Microphone Neuman KU-100	
	NTI DS3 Dodekaeder met Power Amplifier	
Meetresultaten samengevat	T _{30,500Hz}	3,3 seconden gemiddeld
	T _{30,1kHz}	3,7 seconden gemiddeld
	T _{20,500Hz}	3,6 seconden gemiddeld
	T _{20,1kHz}	3,8 seconden gemiddeld
	EDT _{500Hz}	3,3 seconden gemiddeld
	EDT _{1kHz}	3,8 seconden gemiddeld
	Bass-Ratio	0,86 [index]
	Treble-Ratio	0,80 [index]
	Strength G	+13 dB
	Clarity C ₈₀	-4,1 dB
	STI bouwkundig (gem.)	0,39 [index] – St.Dev 0,05 [index]
	STI installatie (gem.)	0,43 [index] = St.Dev 0,05 [index]



Figuren



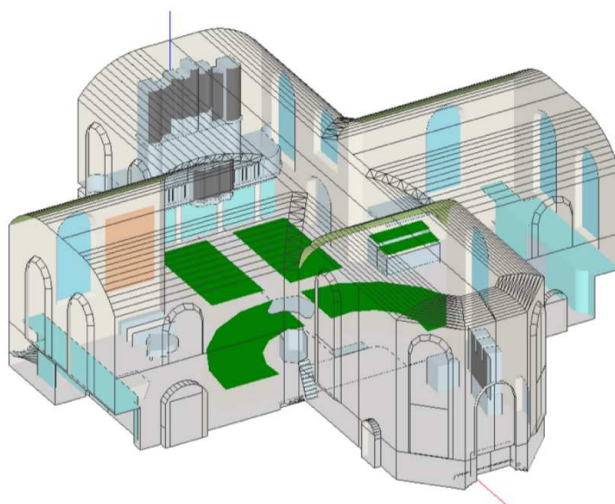
Ver: 30° Hor: 120°
Project: Grote kerk Albelo - Bestand C1
Dye: Alpha Spectrum
Freq: 1000 Hz



[c] EASE 4.4 / Grote kerk: bestand C1 / 19-12-2023 15:16:25 / Team: 3Sign-Jan Bil

Rekenmodel totaaloverzicht (bestand)

Ver: 30° Hor: 120°
Project: Grote kerk Albelo - Nieuw N1
Dye: Alpha Spectrum
Freq: 1000 Hz

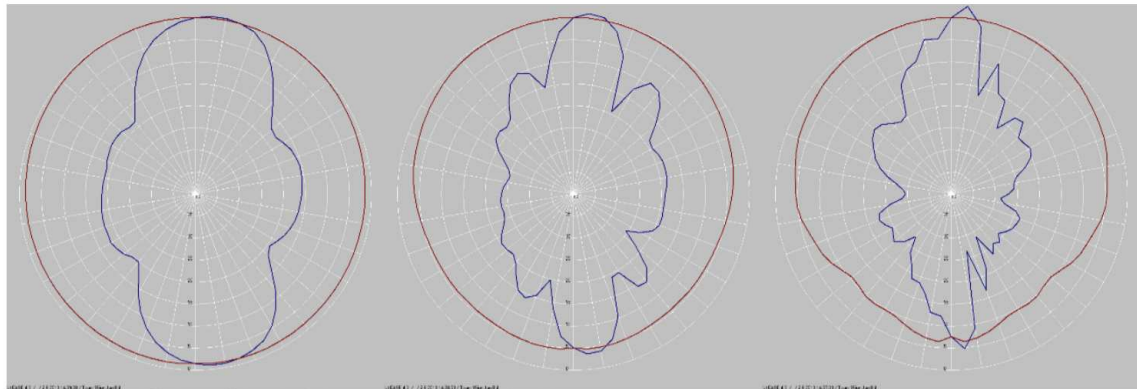


[c] EASE 4.4 / Grote kerk: Nieuw - N1 / 19-12-2023 15:18:02 / Team: 3Sign-Jan Bil

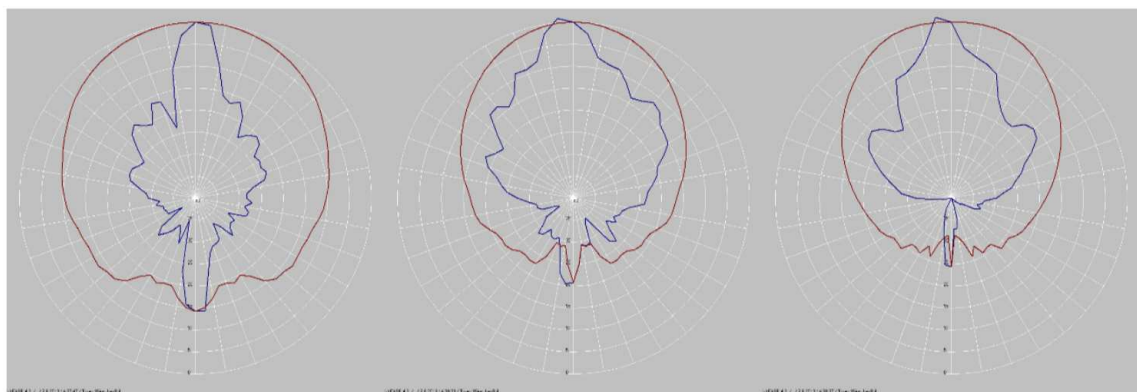
Rekenmodel totaaloverzicht (nieuw)

Groene vlak:	beoordelingsvlak
Wandkleuren:	α -coëfficiënt (geen realistische kleur)
Blauwe driehoeken:	posities luidsprekers en spreker

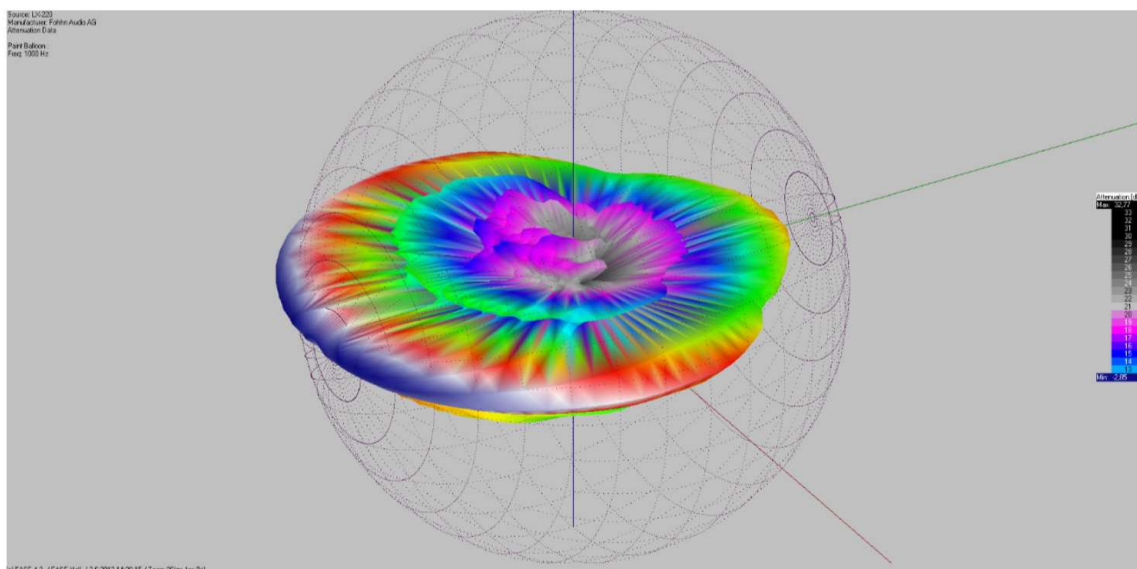
Figuur 1 | impressie rekenmodel



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



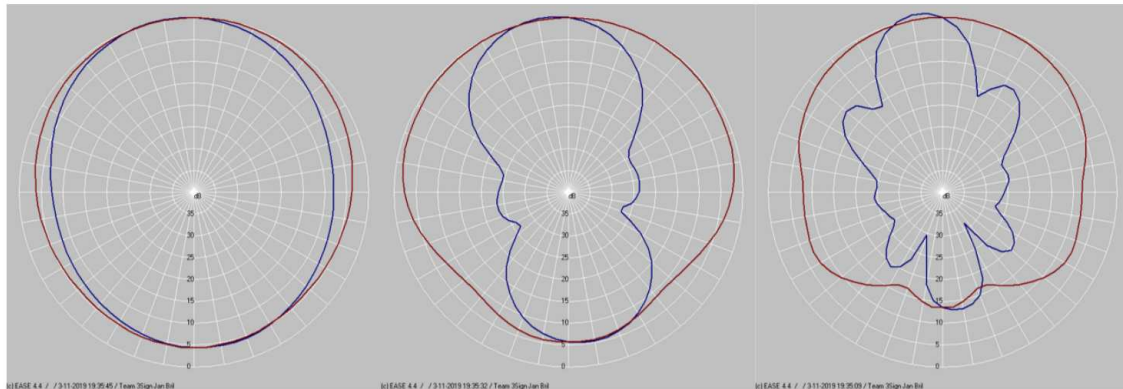
H (rood) / V (blauw) in 2 kHz, 4 kHz en 8 kHz



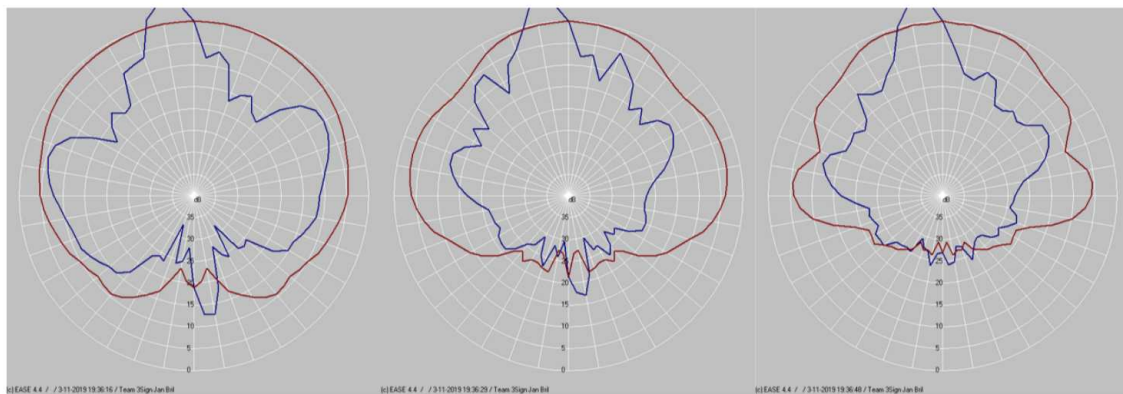
Impressie balloon in 1 kHz

Voorbeeld luidspreker: S1 t/m S6: Fohhn LX-220

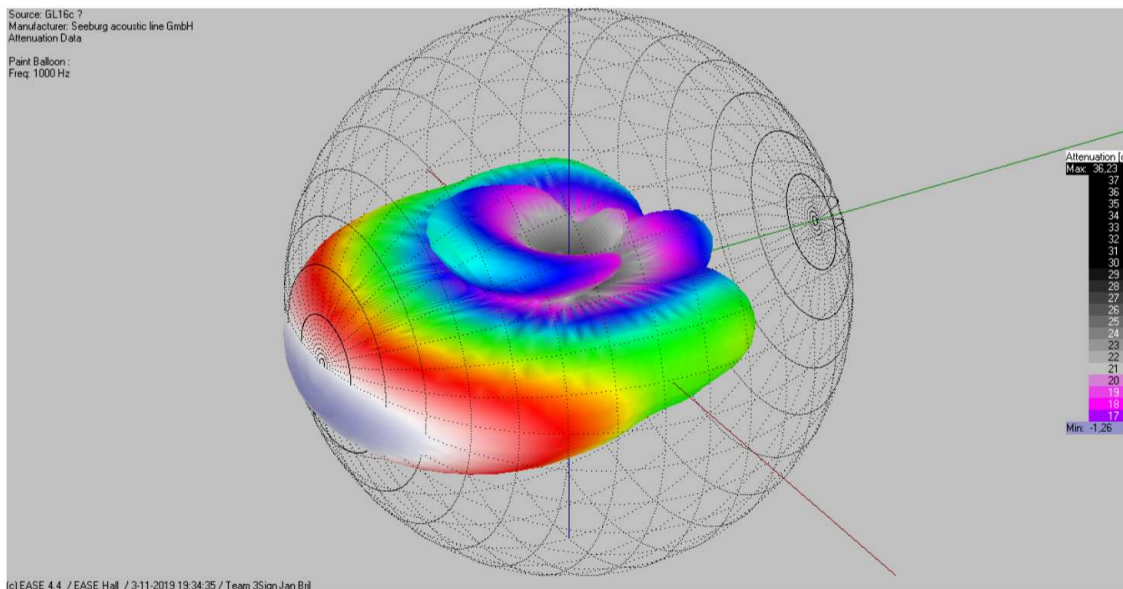
Figuur 2a | eigenschappen luidsprekers



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



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



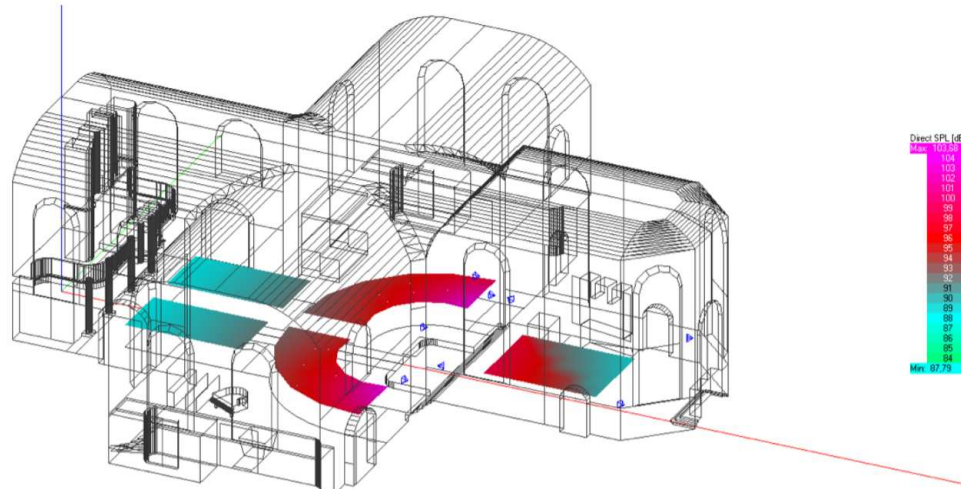
Impressie balloon in 1 kHz

Voorbeeld luidspreker: S7 en S8: Seeburg Acoustic Line GL16c

Figuur 2b | eigenschappen luidsprekers



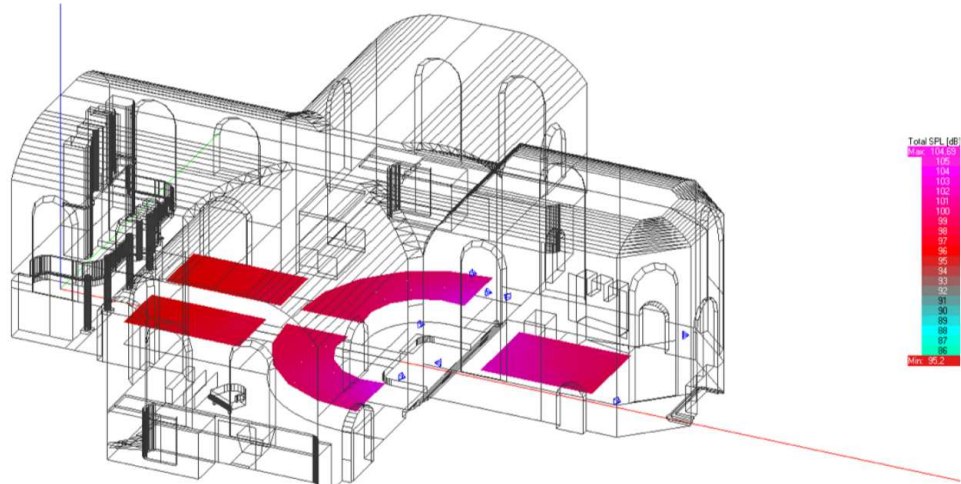
Ver: 27° Hor: 155°
Lspk: S1, S1*, S2, S2*, S3, S3*, S4, S4*
- Speaker Data Not Authorized -
Project: Grote kerk Alkmaar - Nieuw V1
Map: Direct SPL (d)
(Surround Mapping)
Freq: 1000 Hz
(1/3 Octave Smoothing)
Shadow Cast: Yes
Resolution = 1.00 m



(c) EASE 4.4 / Grote kerk Nieuw - V1 / 18-12-2023 14:04:24 / Team 35ign Jan Bilt

Voorbeeld niveauverschil SPL_d geluidinstallatie (St.Dev 3,9 dB, scenario S1 t/m S4)

Ver: 27° Hor: 155°
Lspk: S1, S1*, S2, S2*, S3, S3*, S4, S4*
- Speaker Data Not Authorized -
Project: Grote kerk Alkmaar - Nieuw V1
Map: Total SPL (t)
(Surround Mapping)
Freq: 1000 Hz
(1/3 Octave Smoothing)
Shadow Cast: Yes
Resolution = 1.00 m



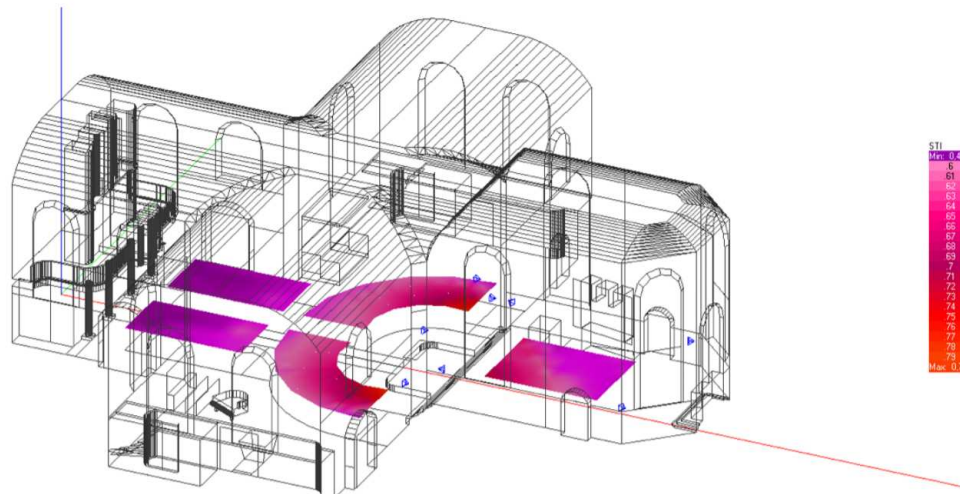
(c) EASE 4.4 / Grote kerk Nieuw - V1 / 18-12-2023 14:03:57 / Team 35ign Jan Bilt

Voorbeeld niveauverschil SPL_t geluidinstallatie (St.Dev. 2,0 dB, scenario S1 t/m S4)

Figuur 3 | voorbeeld niveauverschil SPL_d en SPL_t



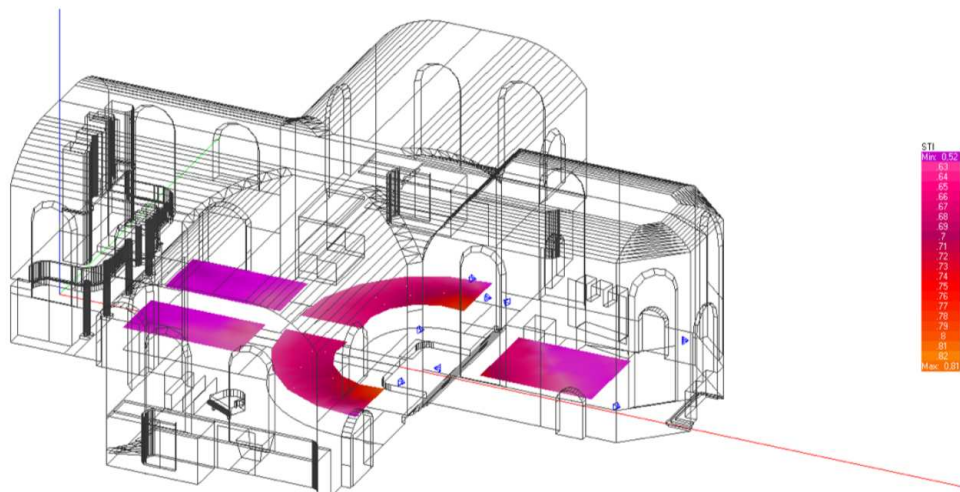
Ver: 27° Hor: 155°
Lup: S1, S1*, S2, S2*, S3, S3*, S4, S4*
- Speaker Data Not Authorized -
Project: Grote kerk Albelo - Nieuw V1
Map: STI [M] vN
[Aural Mapping]
Shadow Cast: Yes
Resolution = 1.00 m



[c] EASE 4.4 / Grote kerk Nieuw - V1 / 18-12-2023 14:02:15 / Team 35ign Jan Bilt

Voorbeeld STI (onbezet) – gemiddeld 0,60 (St.Dev 0,04 [index], scenario S1 t/m S4)

Ver: 27° Hor: 155°
Lup: S1, S1*, S2, S2*, S3, S3*, S4, S4*
- Speaker Data Not Authorized -
Project: Grote kerk Albelo - Nieuw V1
Map: STI [M]
[Aural Mapping]
Shadow Cast: Yes
Resolution = 1.00 m



[c] EASE 4.4 / Grote kerk Nieuw - V1 / 18-12-2023 15:10:30 / Team 35ign Jan Bilt

Voorbeeld STI (100% bezet) – gemiddeld 0,63 (St.Dev 0,04 [index], scenario S1 t/m S4)

Figuur 4 | voorbeeld STI

Legenda toegepaste uitzonderingsgrondslagen

In dit document zijn gegevens geanonimiseerd op grond van:

Wet	Artikel	Beschrijving	Pagina('s)
Wet open overheid	Art. 5.1 lid 2 sub e	De eerbiediging van de persoonlijke levenssfeer	2 20