



Akoestisch Onderzoek V1.0

naar de ruimte-akoestiek in het nieuw te realiseren:

Dorpshuis Voorthuizen

Onderdeel: Sporthal





Akoestisch Onderzoek **V1.0**

naar de ruimte-akoestiek in het nieuw te realiseren:

Dorpshuis Voorthuizen

Onderdeel: Sporthal

datum: 6 juni 2018

adviseur: Jan Brill

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

kenmerk: 3781 MK - xx - WO 001-23-05-18 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 sporthal	14
5.2	Elektro-akoestische configuratie	14
6	Conclusie	20

Bijlagen: A. Korte toelichting parameters

Figuren: 1. Impressie rekenmodel
 2. Voorbeeld C_{80} en STI
 3. Voorbeeld SPL_d en SPL_t



1 Inleiding

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

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

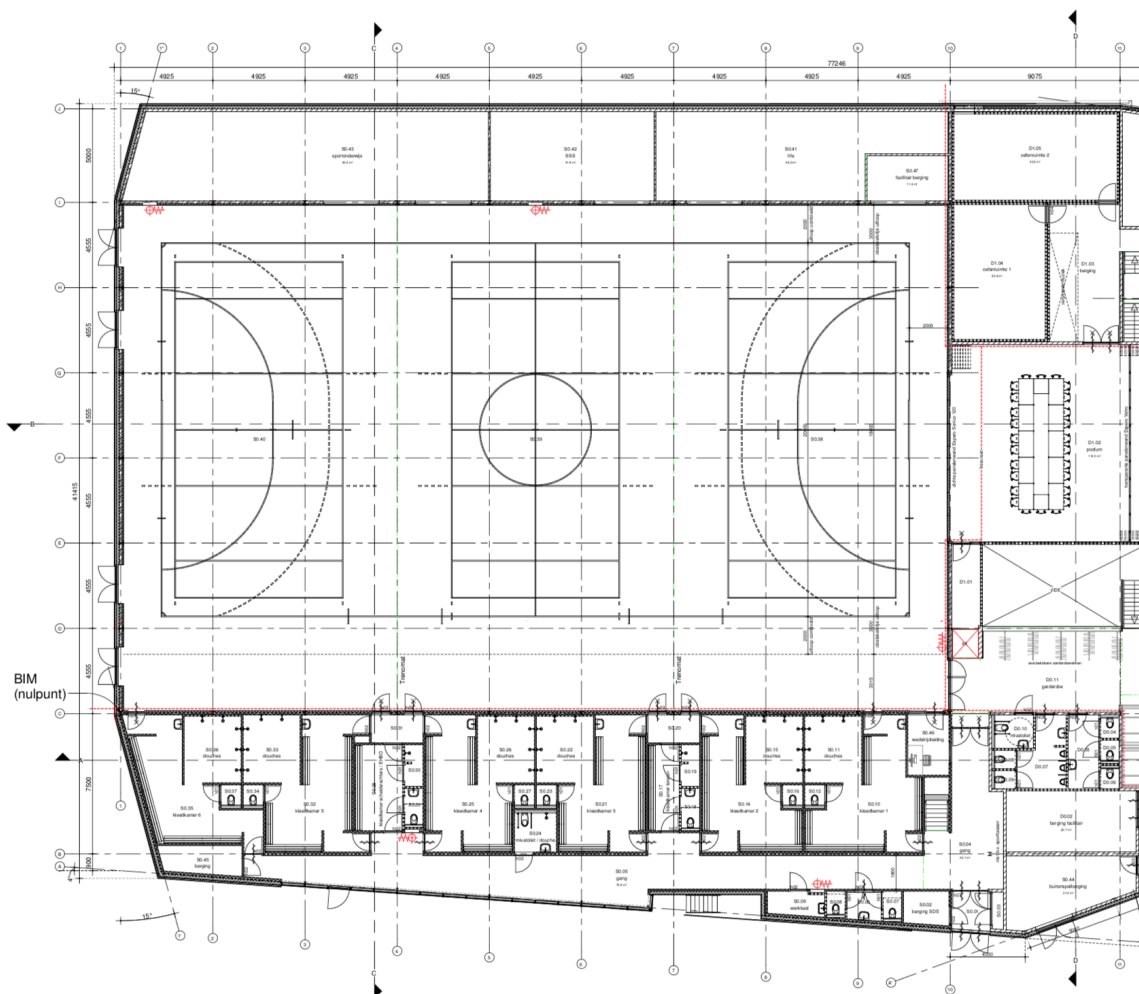
2 Uitgangspunten

2.1 Ruimtelijk ontwerp

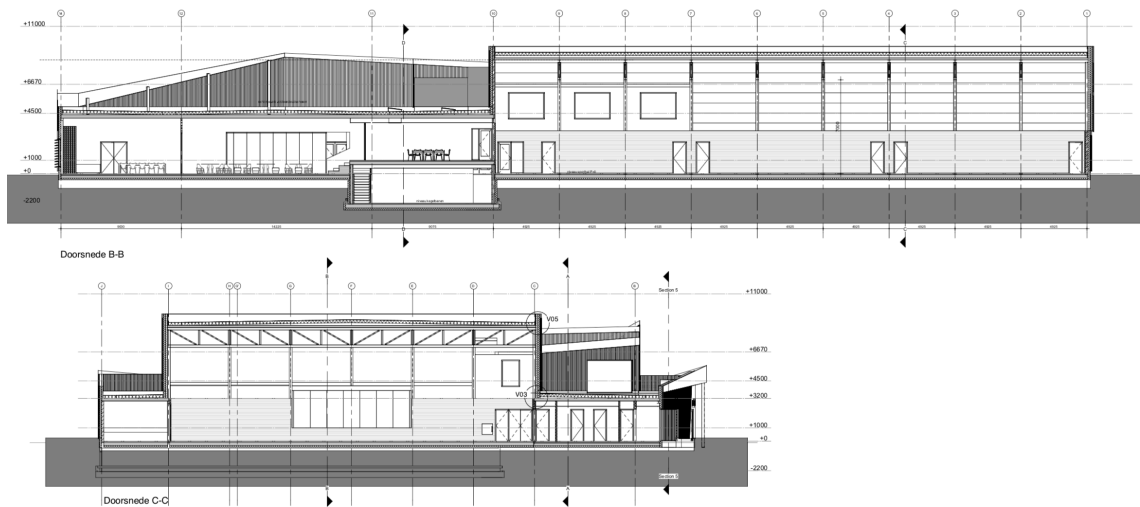
In dit onderzoek wordt de sporthal beschouwd als gehele sporthal en bij de opdeling tot 3 kleinere zalen met behulp van mobiele (Trenomat)-scheidingswanden. De sporthal betreft een ruimte met een volume van circa 10.450 m³. De hal heeft een vlakke vloer. Aan één lange zijde van de hal (zijde kleedkamers) is ruimte gereserveerd voor tribunes. De sporthal heeft een horizontaal liggend plafond op een hoogte van circa 8,6 meter. De onderzijde van de spanten zijn overal hoger dan 7 meter.

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 onderstaande figuur is een impressie van de sporthal opgenomen.



Afbeelding Impressie sporthal (bron: BCT Architecten)



Afbeelding Impressie sporthal (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	Sportvloer	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
	Zacht (Basiswall ASA) ¹⁾	0,46	1,00	0,75	0,73	0,63	0,74	0,6
	Zacht (BIA Beton MF/LS fijn) ¹⁾	0,11	0,44	0,65	0,47	0,55	0,53	0,4
	Staalprofielen	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
	TrenoMat wand geperforeerd	0,74	0,83	0,59	0,51	0,49	0,51	0,8
	Afwerking hout / opslag / paneeldeur	0,15	0,10	0,08	0,05	0,05	0,05	0,2
Plafond	Hard (SAB 106R+/750 gesloten) ²⁾	0,26	0,38	0,23	0,12	0,10	0,07	0,4
	Zacht (plafond lage gedeelten) ³⁾	0,46	0,83	0,98	0,94	1,00	1,00	1,0
Voorzieningen	Plafond: zacht ⁴⁾ voor scenario 2 en 3	0,59	0,77	0,93	0,78	0,57	0,45	1,0

¹⁾= basisopbouw wand: Basiswall ASA 196 mm tot 3,2 m¹ en opbouw BIA Beton MF/LS-lichtbeton fijn structuur (variant 3 testrapport leverancier).

²⁾= basisopbouw dak met profielplaat SAB 106R+/750 0,70 mm gesloten binnenzijde.

³⁾= uitgangspunt een standaard plafondsysteem als Rockfon Krios 25 mm

⁴⁾= opbouw dak: dakbedekking met massa voorzieningen voor geluidwering (incl. 2 platen en betonsteen) - steenwol 175 mm, 145 kg/m³ – folie – canalurevulling steenwol (gesealed) – profielplaat SAB 106R+/750 P3 L-B 0,75 mm geperforeerd.

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 wordt gebaseerd op 3 verschillende scenario's:

Scenario 1: gebruik als sporthal

Bij scenario 1 worden de uitgangspunten gebaseerd op de eisen van NOC*NSF (Code norm ISA-US1-BF1 van juni 2005). Wanneer de hal moet worden ingedeeld in één van de in de norm opgenomen categorieën, dan blijkt dat het volume van deze sporthal overeenkomt met categorie C.2.

Dit betekent dat de gehele sporthal een nagalmtijd mag hebben tot 1,8 seconden. Voor de situatie bij 1/3e deel van de sporthal mag de nagalmtijd niet meer bedragen dan 1,2 seconden (conform categorie A.3). Wanneer in de volledige sporthal en in alle 3 delen van de sporthal wordt voldaan aan de norm, dan geldt dit eveneens voor de situatie bij 2/3e deel van de sporthal waar een nagalmtijd van ten hoogste 1,5 seconden van toepassing is (conform categorie B.3).

De bovengenoemde norm is gebaseerd op een gemiddelde α -coëfficiënt van minimaal $\alpha = 0,25$ [index] per octaafband. Hierbij geldt voor alle categorieën dat de verhouding tussen de gemiddelde en de maximale nagalmtijd in de octaafbanden voldoet aan de eis $T_{\text{gem}} : T_{\text{max/fb}} \geq 0,7$ [index].

Het achtergrondgeluidniveau in een wedstrijdruimte mag niet meer bedragen dan 40 dB(A). Dit is met name van belang voor de installatietechniek.

Naast de norm van NOC*NSF zijn tevens de normen voor gymnastieklokalen en sportzalen/delen van sporthallen met schoolgebruik (januari 2012) van de KVLO van toepassing. De akoestische normen van de KVLO komen inhoudelijk overeen met de bovengenoemde eisen van de NOC*NSF.

Scenario 2: gebruik voor spraakoverdracht en versterkte live-muziek

Bij live-muziek voor versterkte muziek (bands, combo's, fanfares etc, maar ook voor het gebruik door Live) is de ideale nagalmtijd korter dan conform de NOC*NSF eisen. Dit geldt in principe ook voor alle evenementen met spraakoverdracht. Uitgaande van de meeste theaters en poppodia dient de nagalmtijd tussen de 1,0 en 1,2 seconden te bedragen, waarbij de verhoudingen tussen de lagere en hogere frequenties gelijkmatiger zijn dan bij scenario 1 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, hinderlijke reflecties, echo's en flutterecho's, stralingsconcentraties en -verdundingen. Daarnaast zijn er enige belangrijke muzikale parameters, zoals de Clarity C_{80} (voor meer informatie over parameters: zie bijlage). Bij scenario 2 wordt de ruimte geoptimaliseerd op versterkte live-muziek en spraakoverdracht. Hoewel het voor sport niet vereist is, wordt hierbij ook de akoestiek voor prettig sporten verbeterd.

Scenario 3: gebruik voor alle soorten muziek

De nagalmtijd bedraagt bij koorzang en symfonieorkesten (minimaal) circa 2,0 seconden in de middenfrequenties. Bij kamermuziek is de ideale nagalmtijd vaak circa 1,5 seconden. Deze nagalmtijd is weer langer dan bij scenario 2.

De verdeling over de frequentiebanden moet net als bij scenario 2 gelijkmatig zijn van de lagere tot de hogere frequenties. De nagalmtijd voor een volledige sporthal conform scenario 1 (eisen NOC*NSF) zou daarmee ook voor deze muziekvormen een relatief goed compromis kunnen zijn. Voor de optimale overdracht van alle muziekvormen zijn echter meer voorwaarden van toepassing, zoals omschreven bij scenario 2. Afstemming op klassieke muziek bij live-muziek is daarmee geen bouwkundig uitgangspunt voor dit onderzoek. Hier wordt uitgegaan van de toepassing van een virtueel variabel akoestisch systeem, op basis van een bouwkundige nagalmtijd van ten hoogste 1,0 seconden en verder de parameters conform scenario 2.

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
Scenario 1, C.2	Nagalmtijd (T_{125-4k}) gemiddeld (sporthal)	$\leq 1,8$	seconden
Scenario 1, A.3	Nagalmtijd (T_{125-4k}) gemiddeld ($1/3^e$ sporthal)	$\leq 1,2$	seconden
Scenario 1, B.3	Nagalmtijd (T_{125-4k}) gemiddeld ($2/3^e$ sporthal)	$\leq 1,5$	seconden
Scenario 2	Nagalmtijd ($T_{500,1000}$) gemiddeld (sporthal)	1,0 – 1,2	seconden
Scenario 3	Nagalmtijd ($T_{500,1000}$) gemiddeld (sporthal)	1,0	seconden
Scenario 1	Verhouding $T_{gem} : T_{max/b}$	$\geq 0,7$	[index]
Scenario 2/3	Bass-Ratio (BR)	1,0 – 1,2	[index]
Scenario 2/3	Treble-Ratio (TR)	0,8 – 1,0	[index]
Scenario 2/3	Luidheid (G_{mid})	< 4	dB
Scenario 2/3	Intimiteit (ITDG)	< 45	ms
Scenario 2/3	Clarity (C_{80})	$\geq -1,6$	dB
Scenario 1/2/3	Spraakverstaanbaarheid STI	$\geq 0,65$	[index]
Scenario 1/2/3	Background Noise Level ($L_{p,B}$)	≤ 40	dB(A)

4 Berekeningen

4.1 Rekenmethode

De sporthal is met de voorgenomen materialisatie in een 3D ruimte-akoestisch rekenmodel gemodelleerd. In het model zijn simulatieberekeningen uitgevoerd ter ondersteuning van de akoestische beschouwing van de sporthal in geopende situatie en met gesloten scheidingswanden (1/3^e delen). 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.

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 is de sporthal 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 sporthal zijn de zichtlijnen bij het beoogde gebruik overal aanwezig waar dit noodzakelijk is.

Hinderlijke reflecties dienen in eerste instantie vermeden te worden. In de sporthal met de basismaterialen zijn deze beperkt aanwezig vanwege in enige frequenties nog harde wanden en oppervlakken.

Nuttige reflecties treden bij scenario 1 en 2 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 in theorie echo's en flutterecho's ontstaan. Deze zijn in de sporthal bij de juiste (geluidabsorberende) materialisatie niet aanwezig. Relevante echo's en flutterecho's zijn hierbij in de berekeningen niet geregistreerd.

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, C.2	Nagalmtijd (T_{125-4k}) gemiddeld (sporthal)	seconden	$\leq 1,8$	1,6	Voldoet
Scenario 1, A.3	Nagalmtijd (T_{125-4k}) gemiddeld (1/3 ^e sporthal)	seconden	$\leq 1,2$	1,2	Voldoet
Scenario 1, B.3	Nagalmtijd (T_{125-4k}) gemiddeld (2/3 ^e sporthal)	seconden	$\leq 1,5$	1,5	Voldoet
Scenario 2	Nagalmtijd ($T_{500,1000}$) gemiddeld (sporthal)	seconden	1,0 – 1,2	1,5 – 1,6	Voldoet niet
Scenario 3	Nagalmtijd ($T_{500,1000}$) gemiddeld (sporthal)	seconden	1,0	1,5 – 1,6	Voldoet niet
Scenario 1	Verhouding $T_{gem} : T_{max/fb}$	[index]	$\geq 0,7$	0,85	Voldoet
Scenario 2/3	Bass-Ratio (BR)	[index]	1,0 – 1,2	0,84	Voldoet met kanttekening
Scenario 2/3	Treble-Ratio (TR)	[index]	0,8 – 1,0	1,00	Voldoet
Scenario 2/3	Luidheid (G_{mid})	dB	< 4	3	Voldoet
Scenario 2/3	Intimiteit (ITDG)	ms	< 45	< 45	Voldoet
Scenario 2/3	Clarity (C_{80})	dB	$\geq -1,6$	-1 – +5	Voldoet
Scenario 1/2/3	Spraakverstaanbaarheid STI	[index]	$\geq 0,65$	0,5	Voldoet niet
Scenario 1/2/3	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 en maximale nagalmtijden T_{125-4k} in de voorgenomen situatie met de materialen conform tabel 2.1 voldoen aan de eisen conform scenario 1. Ook de verhouding tussen de maximale nagalmtijd in een octaafband en de gemiddelde nagalmtijd over de octaafbanden voldoet aan de eisen.

Belangrijk hierbij is dat in het bijzonder uitgegaan wordt van minimaal de geluidabsorberende eigenschappen van materialen ter plaatse van de gevel met de waarden conform tabel 2.1. Een hogere waarde is altijd mogelijk, een lagere waarde beslist niet.

Verder is het van belang dat de mobiele TrenoMat wanden geluidabsorberend zijn uitgevoerd. In de berekeningen is uitgegaan van dubbelzijdig geperforeerde scheidingswanden. Dit heeft ten opzichte van gesloten wanden een nadelige invloed op de geluidwering tussen twee zalen: de R'_w van deze scheidingsconstructie bedraagt 7 dB. Bij een enkelzijdig geperforeerde scheidingswand neemt de geluidwering toe met een R'_w van 16 dB (conform gegevens TrenoMat zoals verkregen door laboratoriummetingen van Ingenieursbüro Graner GmbH uit Bergisch Gladbach). Het is mogelijk om een éézijdig geperforeerde scheidingswand toe te passen bij een plafond met meer geluidabsorptie dan hier is aangehouden (zie ook de voorzieningen bij scenario 2), mits hierbij in de middelste hal tenminste één TrenoMat scheidingswand geperforeerd is uitgevoerd. Voor de ruimte-akoestiek wordt echter aanbevolen om alle scheidingswanden geluidabsorberend uit te voeren. Dit vergt in het kader van bijvoorbeeld onderwijs een nadere overweging welk aspect (geluidisolatie of geluidabsorptie) de prioriteit heeft.

Voor scenario 2 en 3 (muziek) voldoet de nagalmtijd niet aan de vereisten. Hiertoe zijn aanvullende voorzieningen nodig. Deze worden in hoofdstuk 5 behandeld.

De Bass-Ratio blijft achter bij de ideale streefwaarden voor een concertzaal (een langere nagalmtijd in de 125 Hz wordt gecompenseerd door een kortere nagalmtijd in de 250 Hz). Echter, voor een multifunctionele hal is dit niet direct problematisch voor muziek en kan een geringere nagalmtijd in de 250 Hz worden gecorrigeerd met een virtueel akoestisch systeem. De Treble-Ratio's voldoen aan de eisen.

Luidheid en intimiteit, Clarity

De berekende luidheid G geeft aan dat de sporthal niet een te sterke ondersteuning van de bron geeft. De berekende IDTG geeft daarbij aan dat de zaal akoestisch niet te afstandelijk wordt. Beide waarden vallen binnen de streefwaarden.

De Clarity C_{80} in de sporthal voldoet eveneens aan de randvoorwaarden. Hiermee wordt het geluidssignaal van de bron (spraak of muziek) niet teveel vertroebeld. De hoogst berekende waarden zijn daarbij overigens geen zaaleigenschap, omdat deze gedeelten zich in het directe aanstralingsveld van de bron bevinden. Opgemerkt wordt dat de Clarity, onafhankelijk van de splittime, per stoel kan verschillen in de praktijk.

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 zaal overal onvoldoende verstaanbaar zal zijn met waarden van gemiddeld $STI = 0,5$ [index]. Gezien de nagalmtijd in de zaal en het volume van de zaal is dit op grotere afstanden voor de hand liggend. De spraakverstaanbaarheid moet bij het inschakelen van een geluidinstallatie toenemen tot de streefwaarden. Hiertoe wordt een geluidstelsel geconfigureerd, die eveneens geschikt is voor muziekweergave.

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 sporthal, mede aangezien de omhullende constructie gezien de normering van het Activiteitenbesluit reeds toereikend zwaar wordt gedimensioneerd vanwege het geluid in de sporthal naar buiten toe.

5 Voorzieningen

5.1 Bouwkundige voorzieningen sporthal

5.1.1 Materialen

Voor scenario 1 zijn de basismaterialen toereikend. De navolgende materialen zijn gericht op het optimaliseren van de akoestiek voor scenario 2 en 3. Hierbij is het reduceren van de nagalmtijd en het beheersen van hinderlijke reflecties een zeer belangrijk onderdeel om goede bouwkundige voorwaarden te bieden voor de spraakverstaanbaarheid en muzikale toepassingen.

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 een ongeperforeerde binnenplaat SAB106R+/750 aangehouden. Een akoestisch hard plafond is in eerste instantie mede gekozen vanwege de mogelijke verzwarende werking voor de geluidwering. Het plafond kan voor scenario 1 in de huidige vorm gehandhaafd blijven, mits de geluidinstallatie zodanig wordt geconfigureerd dat het plafond niet relevant wordt aangestraald met het versterkte signaal. Voor scenario 2 en 3 dient het plafond geluidabsorberend te worden uitgevoerd. Hierbij kan worden uitgegaan van de voorzieningen conform tabel 2.1: het plafond dient hierbij te worden voorzien van een binnenplaat SAB 106R+/750 P3 L-B, gecombineerd met een minerale wol 110 mm (145 kg/m³), waarbij de canalures gevuld moeten zijn met een gesealde minerale wol. Door deze plafondaanpassing wordt reeds voldaan aan de streefwaarden voor de nagalmtijd in zowel scenario 2 als 3.
- Vloer: de vloeren zijn uitgevoerd als sportvloer.
- Wanden: de wanden zijn voorzien van een stootbestendig materiaal tot circa 3,2 meter hoogte. Dit betreft een Basiswal ASA met een constructiedikte van 196 mm. Deze constructiedikte is nodig voor het beheersen van de nagalmtijd in de 125 Hz octaafband. Daarmee voldoen de varianten met een constructiedikte van 70 mm niet. De wanden boven 3,2 meter moeten te allen tijde geluidabsorberend zijn uitgevoerd conform tabel 2.1 voor zowel scenario 1 als 2 en 3. In de berekeningen is de BIA Beton MF/LS als binnenste schil van de wandconstructie opgenomen, een MBI open betonsteen DBML+ 50-50 is ook een toepasbaar alternatief.
- De mobiele scheidingswand tussen D1.02 en S0.38 kan aan de zijde van de sporthal akoestisch hard zijn uitgevoerd.

5.2 Elektro-akoestische configuratie

5.2.1 Inleiding

De akoestiek in de zaal biedt na het treffen van de voorzieningen mogelijkheden om 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 voordeel dat muziek beter en zonder verstoringen in het gehele signaal (opname, internet) kan worden ingepast en doorgegeven. Hierbij is het zaalgeluid van bands ook op de akoestiek afgestemd, hetgeen met eigen apparatuur niet het geval is.

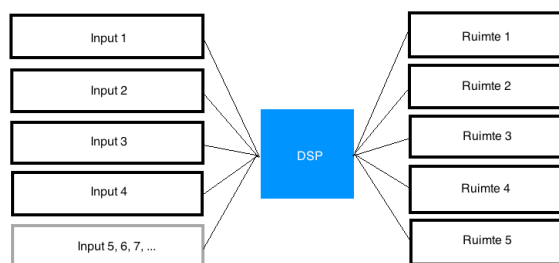
Hierbij wordt ingegaan op de centrale aansturing (het 'hart' van het systeem), het weergavesysteem (alle signalen die het systeem produceert) en de bronnen (alle signalen die het systeem ontvangt).

5.2.2 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.

Het principe van een matrixmixer is dat elke bron (eeningangssignaal van microfoons, mengtafels, multimedia-bronnen enzovoorts) correct en in verhouding met elkaar naar elke luidspreker, ruimte of apparaat kan worden gestuurd conform het navolgende principe.



Dit maakt het mogelijk om elke bron correct weer te geven op de plaats waar dit gewenst is. Dit kan zijn de verschillende gebruiksscenario's in de sporthal (voor Life of ander gebruik), een meeluistersysteem elders of het internet.

In een Audio DSP kunnen de ingangssignalen van de bronnen ook worden verwerkt en geoptimaliseerd voordat deze worden verstuurd naar een luidspreker, meeluistersysteem of het internet. De meest toegepaste vormen van verwerking zijn compressor/limiting, trimming en equalizing van ingangs-signalen 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 simpele knoppen of een iPad 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 ingeregeld 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 multifunctionele centra zijn:

- Signaalrouting matrixmixer. Hiermee is het mogelijk om groepen te creëren en kan een instelbare dynamiek (compressor/limiter/automatische volumeregeling) en vele andere parameters per ingang worden geregeld. Dit wordt gekoppeld aan uitgangen, zodat middels automatische weergave de spraak (dubbel mono, gefilterd naar optimale STI) en muziek (stereo, inclusief de lage tonen en aansturing van de subwoofer) is geoptimaliseerd. Voor de gebruiksscenario's worden presets gemaakt die eenvoudig op te roepen zijn. Verder wordt externe apparatuur (zoals live-mixers van bands) ook op de matrixmixer aangesloten zodat het weergavesysteem ook voor deze bronnen automatisch optimaal functioneert.
- 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 complete installatie.

In tabel 5.1 zijn de randvoorwaarden voor de Audio DSP aangegeven.

Tabel 5.1 Randvoorwaarden Audio DSP

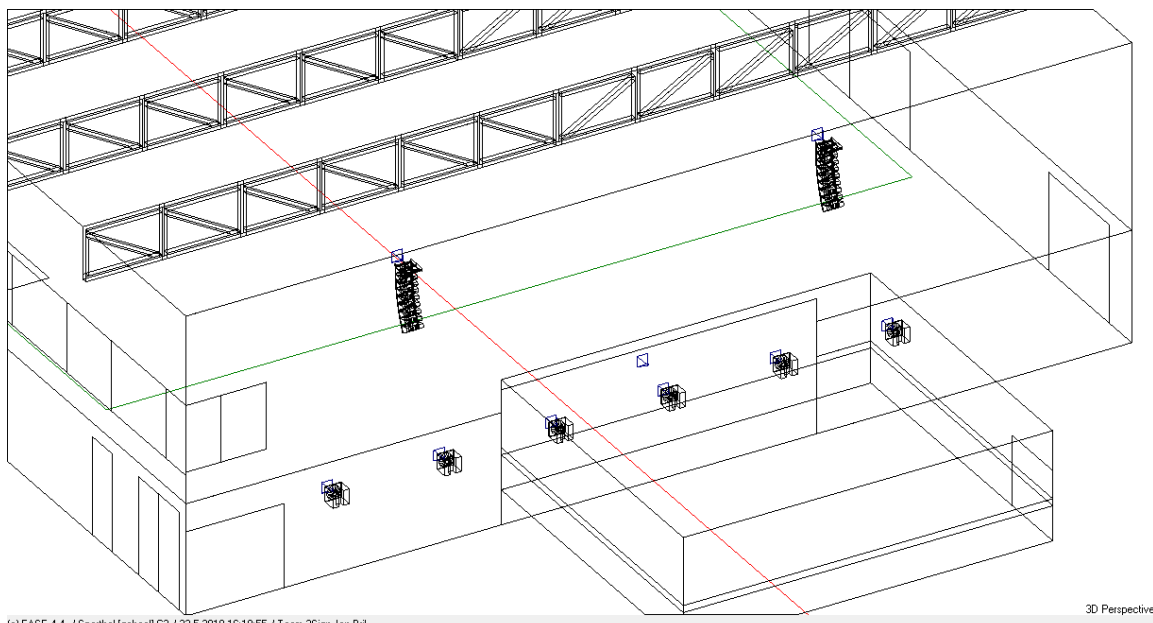
Component	Aandachtspunt	Voorbeelden
Audio DSP	Beschikt over de mogelijkheid gebruikersscenario's te programmeren, waaronder signaalrouting, sfeerschakeling en microfoonregie.	Xilica Neutrino A1616 BSS Blu-100 Biamp Nexia CS
	Minimaal 12 ingangen en 10 uitgangen (2x)	
	Compressor / limiter / equalizing instelbaar per in- en uitgang.	
	Parametrische equalizer en instelbare delay per uitgang.	
	Systeem afstandsbediening of iPad app met alleen de belangrijkste bedienfuncties.	
Uitgangen met identieke signalen kunnen – indien gewenst – gesplitst worden via een lijn distributieversterker.		

5.2.3 Weergavesysteem

Het akoestisch principe van het weergavesysteem in deze zaal is gebaseerd op L+R-hoofdluidsprekers en ondersteunende luidsprekers voor spraak- en muziekoverdracht bij gebruik van het podium, alsmede een L+C+R-configuratie bij gebruik van het podium voor Life in het midden van de zaal.

In principe kan hiervoor hetzelfde systeem met dezelfde (type) componenten worden gehanteerd. Bij de tops van de L+R-configuratie voor het vaste podium zijn vooralsnog 2 line-arrays met 9 units gehanteerd en bij de L+C+R-configuratie voor Life 3 line-arrays met 6 units. Dit verschil wordt bepaald door de lengte van de zaal bij de L+R-configuratie en de breedte van de zaal bij de L+C+R-configuratie gezien de podiumopstelling in de breedte van de zaal.

In de navolgende afbeelding is het systeemprincipe aangegeven:



Afbeelding Posities luidsprekers (voorbeeld L+R-configuratie).

Als tops kan worden uitgegaan van line-arrays met relatief kleine units met 2 x 6,5" drivers en een (1/1,4") tweeter per unit. In het onderzoek is gerekend met d&b audiotechniek T10 units. Andere merken met deze drivers (met verschillende kwaliteit- en prijsniveaus) zijn bijvoorbeeld Meyer Sound Lina, Westlab twosixfive, L'Acoustics Kiva II of Axiom AX2065A.

Voor integrale weergave van versterkte muziek (bands, combo's, multimedia) kunnen afhankelijk van de cardiode werking 2 tot 6 subwoofers, in verticale lijn onder de tops, worden toegepast. De cardiode werking moet zeer nauwkeurig worden afgestemd op de zaal.

Op basis van de in onderling overleg vast te stellen uiteindelijke systeemkeuze dient in relatie tot de richtwerking een fijnafstemming van het weergavesysteem plaats te vinden voor de beide podia. Deze fijnafstemming is eveneens leidend voor de mogelijke optredende maximale geluidniveaus in de sporthal ten opzichte van de omgeving.

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.

Voor de hand liggende microfoons (bij eventuele uitbreiding) 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 op statief. 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 op een lessenaar, 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 de kansel een aansluitvoorziening te hebben voor een bekabelde zwanenhalsmicrofoon, zodat bij uitval van draadloze zenders een spraakversterking altijd mogelijk is.

Voor de draadloze microfoons gelden een aantal randvoorwaarden:

- De headsets 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 terugplaatsen van de microfoons is een vereiste.

In tabel 5.2 zijn de belangrijkste randvoorwaarden voor de microfoons samengevat.

Tabel 5.2 Randvoorwaarden microfoons

Component	Aandachtspunt	Voorbeelden
Headsets	Goede kwaliteit met minimale contactgeluiden	Sennheiser EW series, AKG WMS470 series of gelijkwaardig.
	Gebruiksvriendelijke/betrouwbare bevestiging.	
	True Diversity systeem	
	Bodypackzender minimaal 50 mW	
	Laadcontacten ten behoeve van systeemplader	
Draadloze hand- of statiefmicrofoon	Uitgangen met identieke signalen kunnen – indien gewenst – gesplitst worden via een lijn distributieversterker.	Sennheiser EW series, AKG WMS470 series of gelijkwaardig.
	Moet zowel uit de hand als op statief gebruikt kunnen worden	
	True Diversity systeem	
Draadloze of bekabelde zwanenhalsmicrofoons	Minimaal zendvermogen 30 mW	Sennheiser, AKG of gelijkwaardig
	Condensatormicrofoon met nier-karakteristiek	
	Microfoon moet spreker natuurlijke bewegingsvrijheid geven	
	Sfeermicrofoons dubbel uitvoeren (stereo)	

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 (bij spraak/muziekintegratie)

Een externe mengtafel vanwege de regie van een band 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 geluidtechnicus het bandgeluid kan regelen over het systeem zonder fysiek bij de Audio DSP te hoeven komen.

Bij veelvuldig gebruik wordt sterk aanbevolen op de locaties voor de mengtafel 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 (bij digitale mixers, indien van analoge mixers sprake is kan aanvullend eventueel een multikabel-trace worden overwogen).

6 Conclusie

De akoestiek in de sporthal is vastgelegd met een basismaterialisatie. Deze situatie is getoetst aan 3 scenario's. De materialisatie is aangegeven om de akoestische situatie van de zaal te optimaliseren conform de gehanteerde streefwaarden voor de scenario's. Tevens is de geluidinstallatie geconfigureerd conform de randvoorwaarden in de bouwkundige akoestiek.

Scenario 1 betreft het gebruik als sporthal, waarbij getoetst is conform de eisen van NOC*NSF en KVLO. Uit de toetsing blijkt dat de sporthal met de basismaterialisatie kan voldoen aan de uitgangspunten.

Scenario 2 betreft het gebruik van de sporthal voor versterkte muziek (Life en live). Uit de toetsing van de basismaterialisatie blijkt dat de akoestiek niet voldoet aan de muzikale uitgangspunten. Hiertoe zijn nadere voorzieningen gedimensioneerd aan het plafond.

Scenario 3 betreft het gebruik van de sporthal voor alle soorten muziek, waarbij een virtueel akoestisch systeem wordt ingebouwd. Uit de toetsing hiervan blijkt dat er voor de inbouw van een virtueel akoestisch systeem geen aanvullende bouwkundige voorzieningen noodzakelijk zijn ten opzichte van scenario 2.

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

De rekenresultaten van de akoestiek na het treffen van voorzieningen voor scenario 2 en 3 zijn in de onderstaande tabel aangegeven.

Tabel 6.1 Rekenresultaten met voorzieningen

Nummer	Parameter	Eenheid	Streefwaarde	Gemeten en Berekend	Conclusie
Scenario 1, C.2	Nagalmtijd (T_{125-4k}) gemiddeld (sporthal)	seconden	$\leq 1,8$	1,0	Voldoet
Scenario 1, A.3	Nagalmtijd (T_{125-4k}) gemiddeld (1/3 ^e sporthal)	seconden	$\leq 1,2$	0,7	Voldoet
Scenario 1, B.3	Nagalmtijd (T_{125-4k}) gemiddeld (2/3 ^e sporthal)	seconden	$\leq 1,5$	0,9	Voldoet
Scenario 2	Nagalmtijd ($T_{500,1000}$) gemiddeld (sporthal)	seconden	1,0 – 1,2	1,0	Voldoet
Scenario 3	Nagalmtijd ($T_{500,1000}$) gemiddeld (sporthal)	seconden	1,0	1,0	Voldoet
Scenario 1	Verhouding $T_{gem} : T_{max/fb}$	[index]	$\geq 0,7$	0,85	Voldoet
Scenario 2/3	Bass-Ratio (BR)	[index]	1,0 – 1,2	1,2	Voldoet
Scenario 2/3	Treble-Ratio (TR)	[index]	0,8 – 1,0	1,0	Voldoet
Scenario 2/3	Luidheid (G_{mid})	dB	< 4	3	Voldoet
Scenario 2/3	Intimiteit (ITDG)	ms	< 45	< 45	Voldoet
Scenario 2/3	Clarity (C_{80})	dB	$\geq -1,6$	+1 – 5	Voldoet
Scenario 1/2/3	Spraakverstaanbaarheid STI	[index]	$\geq 0,65$	0,65 – 0,75	Voldoet
Scenario 1/2/3	Background Noise Level ($L_{p,B}$)	dB(A)	≤ 40	-	Uitgangspunt

Het GeluidBuro

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

Jan Brill
adviseur



Bijlage A

Korte toelichting akoestische parameters

Nagalmtijd (T)

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

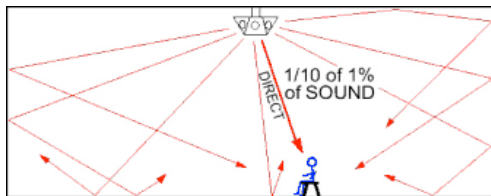
$$C_x : 10 \lg \frac{\int_0^x p^2(t) dt}{\int_{80ms}^{\infty} p^2(t) dt}$$

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).

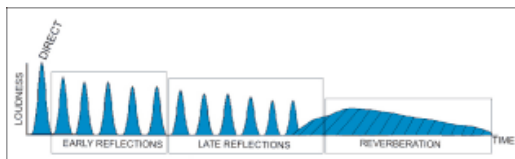
De MTF kan worden bepaald door de volgende formule:

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

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 onderschrijft. Opgemerkt wordt dat bij grotere afstanden dan de r_D de concentratie en privacy snel toeneemt.

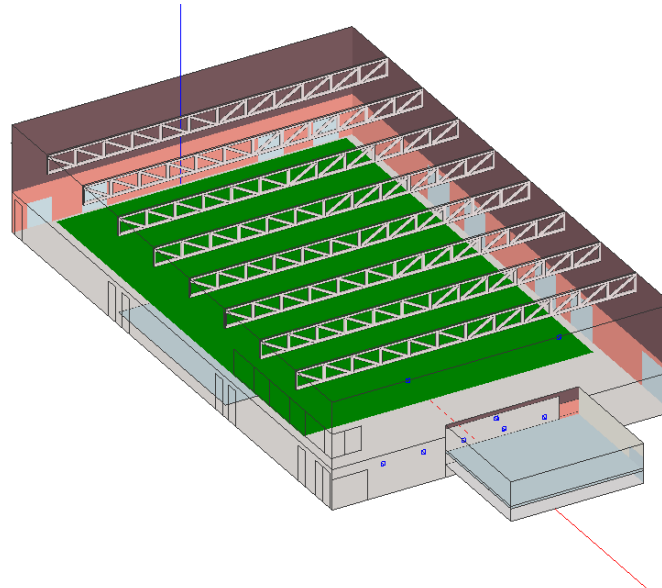
Privacy Distance (r_p)

Dit is de afstand tot de spreker in meters, waar de STI de waarde van 0,2 onderschrijft. 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.



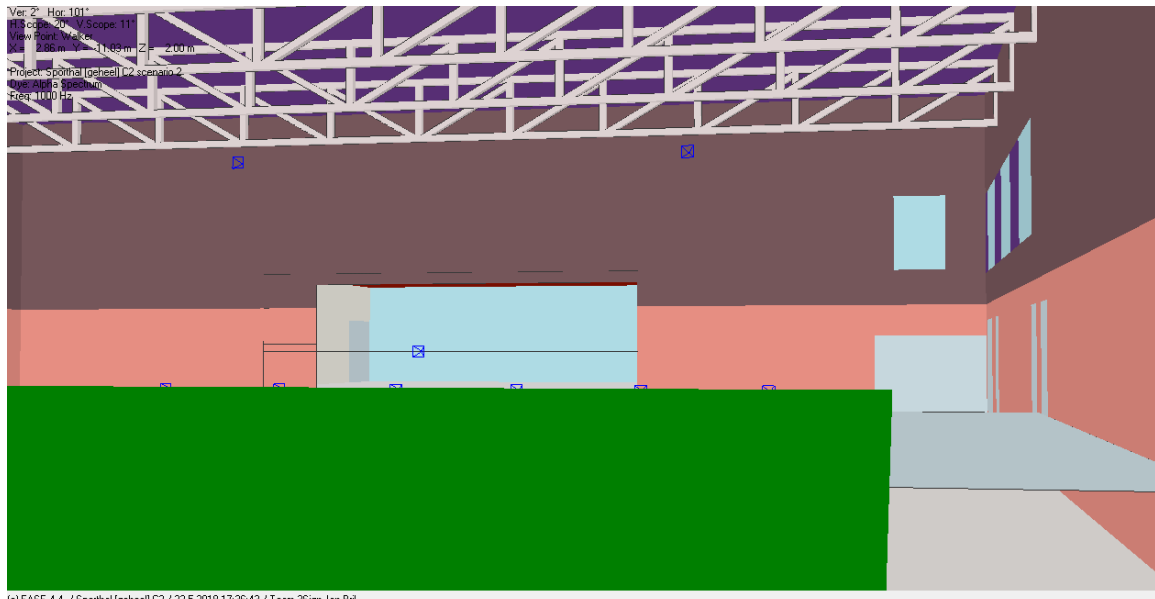
Figuren

Ver: 30° Hor: 120°
Project: Sporthal [geheel] C2 scenario 2
Dye: Alpha Spectrum
Freq: 1000 Hz



(c) EASE 4.4 / Sporthal [geheel] C2 / 22-5-2018 17:36:01 / Team 3Sign-Jan Bri

Rekenmodel totaaloverzicht



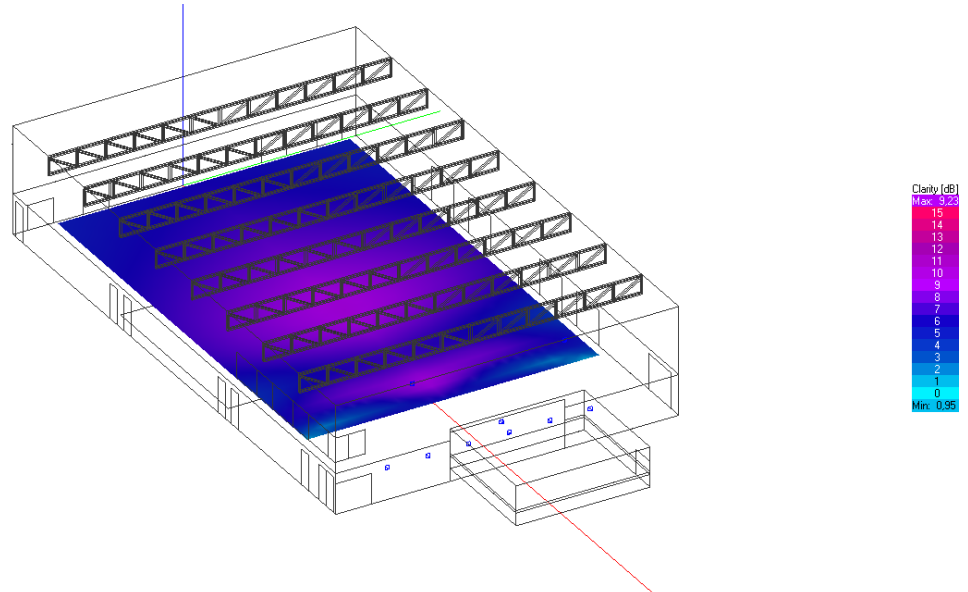
(c) EASE 4.4 / Sporthal [geheel] C2 / 22-5-2018 17:36:43 / Team 3Sign-Jan Bri

Rekenmodel zicht in de ruimte

Groene vlak:	beoordelingsvlak
Wandkleuren:	α -coëfficiënt (geen realistische kleur)

Figuur 1 | impressie rekenmodel

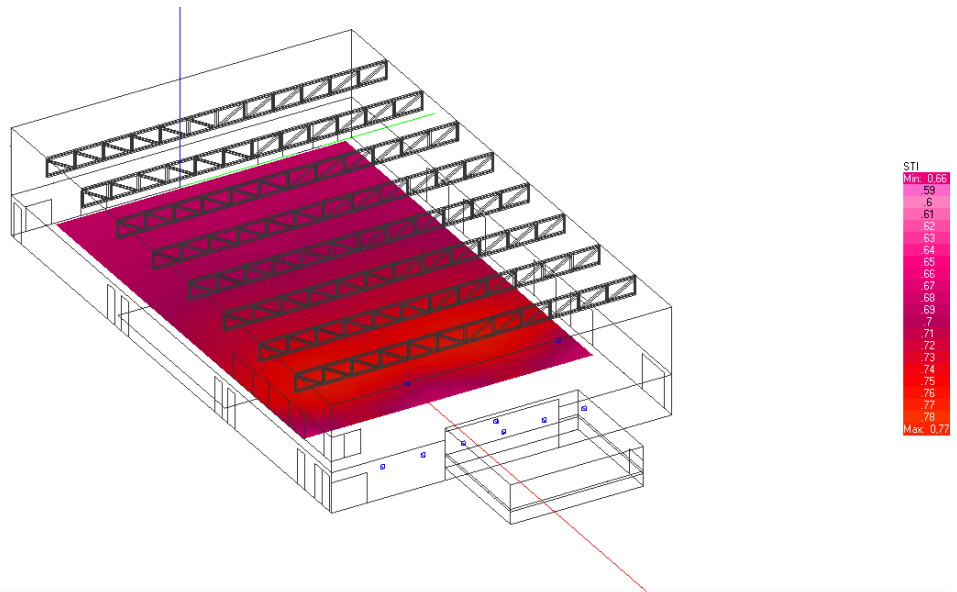
Ver: 30° Hor: 120°
 Lspk: S1, S2, S2', S3, S8, S7, S6, S5, S4
 - Speaker Data Not Authorized -
 Project: Sporthal [geheel] C2 scenario 2
 Map: C80
 (Standard Mapping)
 Freq: 1000 Hz
 (1/3 Octave Average)
 Shadow Cast: Yes
 Resolution = 1.00 m



(c) EASE 4.4 / Sporthal [geheel] C2 / 22-5-2018 16:17:23 / Team 3Sign Jan Brijl

Voorbeeld C₈₀ (L+R-configuratie) incl. voorzieningen

Ver: 30° Hor: 120°
 Lspk: S1, S2, S2', S3, S8, S7, S6, S5, S4
 - Speaker Data Not Authorized -
 Project: Sporthal [geheel] C2 scenario 2
 Map: STI (M)
 (Standard Mapping)
 Shadow Cast: Yes
 Resolution = 1.00 m

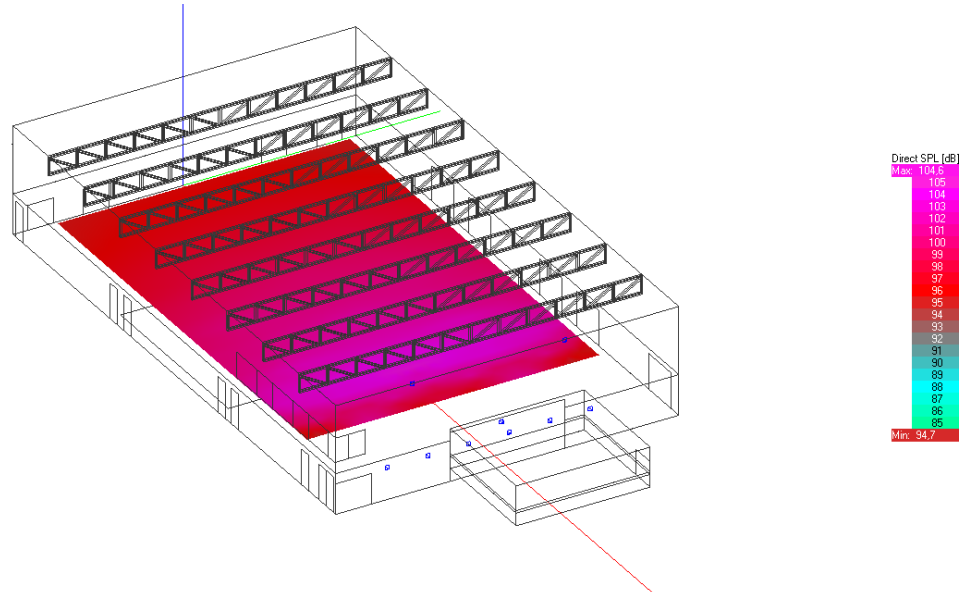


(c) EASE 4.4 / Sporthal [geheel] C2 / 22-5-2018 16:17:08 / Team 3Sign Jan Brijl

Voorbeeld STI (L+R-configuratie) incl. voorzieningen

Figuur 2 | voorbeeld C₈₀ en STI

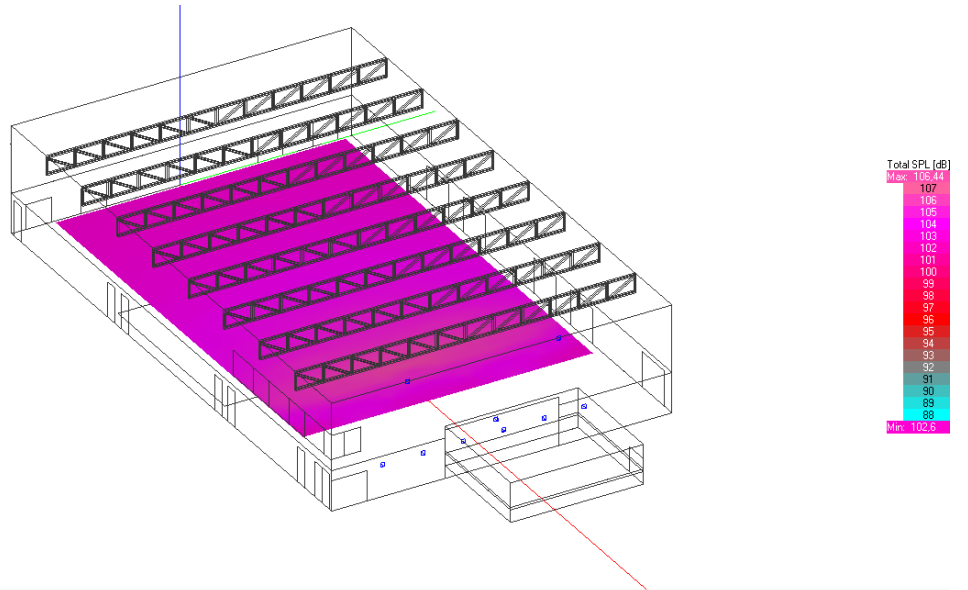
Ver: 30° Hor: 120°
 Lspk: S1, S2, S2', S3, S8, S7, S6, S5, S4
 - Speaker Data Not Authorized -
 Project: Sporthal [geheel] C2 scenario 2
 Map: Direct SPL (A)
 (Standard Mapping)
 Freq: 1000 Hz
 (Broad Band Average)
 Shadow Cast: Yes
 Resolution = 1.00 m



(c) EASE 4.4 / Sporthal [geheel] C2 / 22-5-2018 16:16:29 / Team 3Sign Jan Bri

Voorbeeld SPL_d (L+R-configuratie)

Ver: 30° Hor: 120°
 Lspk: S1, S2, S2', S3, S8, S7, S6, S5, S4
 - Speaker Data Not Authorized -
 Project: Sporthal [geheel] C2 scenario 2
 Map: Total SPL (A)
 (Standard Mapping)
 Freq: 1000 Hz
 (Broad Band Average)
 Shadow Cast: Yes
 Resolution = 1.00 m



(c) EASE 4.4 / Sporthal [geheel] C2 / 22-5-2018 16:16:47 / Team 3Sign Jan Bri

Voorbeeld SPL_t (L+R-configuratie)

Figuur 3 | voorbeeld SPL_d en SPL_t