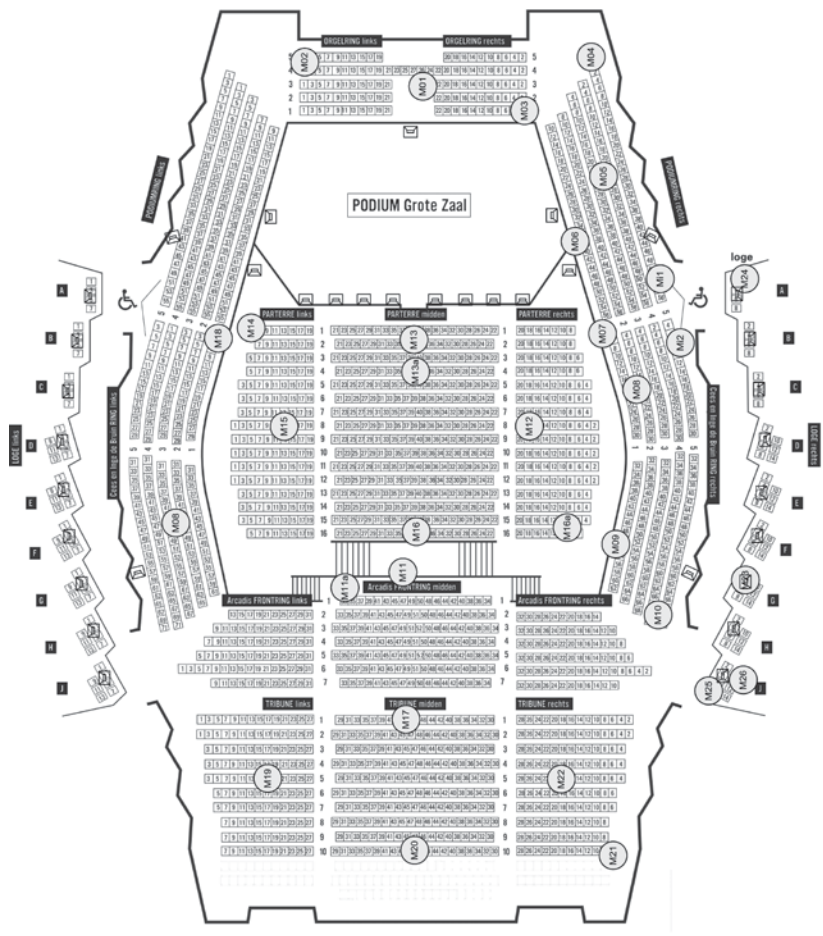
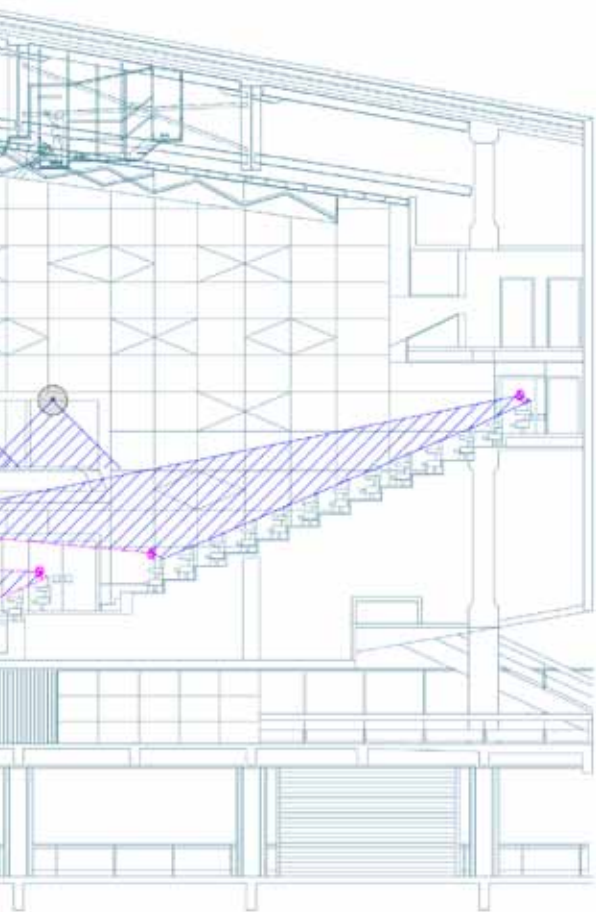


De omcirkelde punten geven de posities van de luidsprekers van de toespreekinstallatie aan. Goed te zien zijn de afzonderlijke posities voor de zaal, de eerste en tweede

Toespreek- installatie in De Doelen

De grote zaal van De Doelen in Rotterdam heeft, behalve een installatie voor muziekversterking, een aparte installatie om het gesproken woord te versterken. De installatie kwam tot stand in nauwe samenwerking tussen opdrachtgever, akoestisch adviseur en leverancier. Cees Wagenaar beschrijft de eisen, het ontwerp, de problemen die ze in de praktijk tegenkwamen en de uiteindelijke oplevering.



tribune, de tribune achter het podium en de luidsprekers in het plafond. Rechts de plattegrond van de grote zaal met een overzicht van de meetpunten. | TEKENINGEN PEUTZ |

De grote zaal van de Doelen in Rotterdam is de grootste concertzaal voor klassieke muziek in Nederland. Tussen 2005 en 2009 is deze zaal ingrijpend gerenoveerd. Een onderdeel hiervan was het inbouwen van een toespreekinstallatie, bedoeld om een korte toelichting te geven of een dankwoord te spreken, zonder meteen gebruik te hoeven maken van het grote hoofdsysteem dat dan tijdens het hele concert in beeld is en de beleving verstoort. Vandaar de wens voor een afzonderlijke en nagenoeg onzichtbare installatie voor het gesproken woord. De ontwerpcriteria en prestatie-eisen zijn in overleg met de opdrachtgever opgesteld door akoestisch adviesbureau Peutz, ook verantwoordelijk voor het akoestisch ontwerp van de zaal. Dit artikel beschrijft het ontwerp, de installatie, de metingen en de optimalisatie van de toespreekinstallatie. De akoestische uitdaging was om in deze concertzaal, ontworpen voor klassieke muziek, ook het gesproken woord kwalitatief goed en verstaanbaar uit te versterken.

De akoestische uitdaging

De grote zaal van De Doelen is gebouwd voor klassieke muziek. Het volume van de zaal en de grote hoeveelheid reflecterende oppervlakken zorgen ervoor dat de eenmaal gegenereerde geluidsenergie niet snel afneemt. De bezoeker ervaart dit als na-

galm, dit is wenselijk om alle instrumenten van een klassiek orkest te laten samensmelten tot één orkestklank. De nagalmtijd in de grote zaal bedraagt 2 seconden. Ter vergelijking: in een theaterzaal die ontworpen is voor het gesproken woord, wordt een gemiddelde nagalmtijd van circa 1 seconde als goed ervaren. De nagalmtijd (RT60) wordt uitgedrukt in een 1-getalswaarde, dit is een middeling van de verschillende galmtijden in de octaafbanden van 63 Hz tot 8 kHz. In de lagere octaafbanden is de galmtijd langer, in de hogere juist korter. Een RT60 van 2 seconden betekent dat de geluidsenergie gemiddeld binnen 2 seconden afneemt met 60 dB.

Wie in een galmende ruimte dicht bij de spreker zit, zal deze goed kunnen verstaan. Wie verder weg zit heeft het moeilijker. Een belangrijk begrip in dit verband is de galmstraal. Dit is de afstand van de geluidsbron tot het punt waar het directe geluid (van de bron) en het gereflecteerde geluid (de galm) even luid zijn. Binnen deze straal is er meer direct dan indirect geluid. In een ruimte met veel reflecties zal de galmstraal kort zijn, het directe geluid versmelt dan al snel met het galmgeluid. Dat is ongunstig voor de spraakverstaanbaarheid, maar wel de feitelijke situatie in de grote zaal van De Doelen. De akoestische eigenschappen maken de overdracht van gesproken woord dus problematisch.

Elektro-akoestiek

Om toch een goede spraakverstaanbaarheid te bereiken, moet gebruik worden gemaakt van elektro-akoestische voorzieningen. In theorie zou je iedere bezoeker een eigen hoofdtelefoon kunnen geven, maar voor De Doelen is dat natuurlijk geen realistische benadering. Toch is dit wel de essentie van de oplossing: zorg dat het direct geluid bij de luisteraar komt, zonder dat de geluidsenergie gereflecteerd wordt en dus tot meer galm leidt. Dit kan door de luidsprekers (de afgestraalde energie) zo precies mogelijk naar het publiek te richten, en niet naar de reflecterende oppervlakken. De luidsprekers moeten dan wel een hoge mate van richtwerking hebben. Aan die eis voldoen elektronisch instelbare luidsprekerzuilen, waarvan de verticale openingshoek (de afstraling in het verticale vlak) ingesteld kan worden. Daarmee is bijvoorbeeld een afstraling mogelijk van 8° in het verticale vlak, bij 120° in het horizontale vlak.

De sterke richtwerking, nodig om het galmgeluid te beperken, is meteen ook bepalend voor de positie van de luidspreker: deze zal zich precies in het zichtvlak van de toeschouwer moeten bevinden. Een tweede punt is dat de spreker gewoonlijk het woord tot het publiek zal richten vanaf het podium. Het is dus wenselijk dat het versterkte geluid ook uit de richting van het podium komt: dat bevordert de verstaanbaarheid voor het publiek en vergemakkelijkt het spreken, omdat de spreker zichzelf zonder vertraging uit die luidsprekers zal horen. Een belangrijke overweging is ook dat een zichtbare aanwezigheid van luidsprekers vanuit psychologische en architectonische overwegingen ongewenst is. De uitdaging was dus om de luidsprekers onzichtbaar weg te werken, zonder compromis ten aanzien van de optimale positie en de spraakverstaanbaarheid.

Eisen aan het toespreeksysteem

Het systeem dient een spraakverstaanbaarheid te realiseren van maximaal 10% Alcons (STI 0,52) voor 80 procent van het publiekvlak, en maximaal 15% Alcons (STI 0,45) voor het overige deel van het publiekvlak. Alcons (Articulation Loss of Consonants) is een maat voor spraakverstaanbaarheid en wordt uitgedrukt in een percentage dat het gemiddelde verlies aangeeft van medeklinkers die gehoord worden. Daarnaast dient een geluidsniveau gehaald te worden dat bij voorkeur 15 dB hoger ligt dan het achtergrondgeluid, waarbij rekening is gehouden met de dynamiek van de spreker.

Simulaties in een computermodel

Van de zaal is een 3D-model gemaakt, waarmee in het computerprogramma EASE simulaties zijn uitgevoerd. De resultaten van het directe geluid op de publiekvlakken zijn vervolgens gebruikt in een door Peutz ontwikkeld rekenmodel waarmee de te verwachten spraakverstaanbaarheid nauwkeurig kan worden bepaald. Het vertrekpunt voor de keuze van het type luidspreker en de luidsprekerposities zijn de bovengenoemde eisen. Het toespreeksysteem is opgebouwd uit de volgende onderdelen:

- 2 x 1 meter lange zuilen (met elektronisch instelbare afstraling) voor de parterre, links en rechts naast het podium in de natuurstenen wand;

- 2 x 2 meter lange zuilen voor de ring en het eerste deel van de tribune, ter hoogte van het podium, ingebouwd in het vlak met een houten wandafwerking;
- 2 x 1 meter lange actieve zuilen als aanvulling voor de tribune, ter hoogte van de achterste entree deuren op de ring, in het vlak met een houten wandafwerking;
- 3 x passieve line array elementen links en rechts in het technisch plafond ingebouwd; dit zijn onderdelen van het muzieksysteem die ook voor het toespreeksysteem gebruikt worden;
- 1 x 1 meter passieve zuil aan de achterzijde van het technisch plafond, gericht op de achterzijde van de ring, koorplaatsen;
- 18 x inbouw plafondluidsprekers, 1 boven elke loge;
- 8 x invulluidsprekers in de podiumrand voor de eerste rijen stoelen op de parterre, deze zijn ook onderdeel van het muzieksysteem;
- 1 x digitale signaalprocessor voor distributie en signaalprocessing als filters, delay en volumeregelaars.

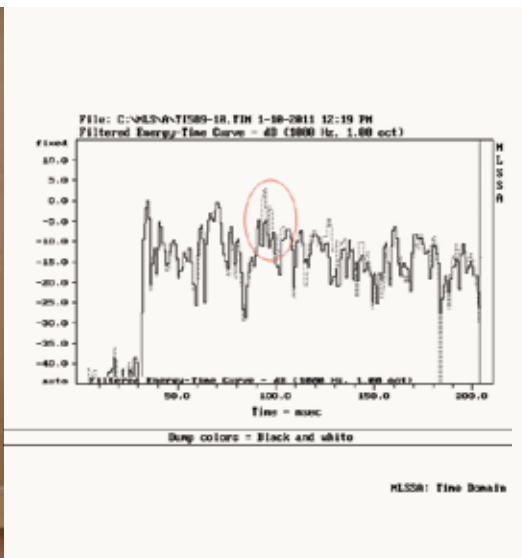
Tijdens het ontwerpproces is veelvuldig overleg gepleegd met Reinier Bruijns (TM Audio) om actuele data en in de praktijk opgedane ervaringen mee te nemen in de keuze voor de systeemcomponenten. De berekeningen toonden aan dat het mogelijk moest zijn om de gestelde eisen te halen, maar de marges waren klein. Het systeem en de ontwerpprincipes zijn door Peutz beschreven in een definitief ontwerp, dat na goedkeuring door de opdrachtgever is uitgewerkt door de leverancier. In dit stadion is ook al aan de opdrachtgever de wens kenbaar gemaakt dat zowel akoestisch adviseur als leverancier bij de metingen aanwezig zouden zijn, zodat bij eventuele afwijkingen meteen aanpassingen zouden kunnen worden doorgevoerd. Dat heeft zijn vruchten afgeworpen, want zoals wel vaker was de situatie in de praktijk alweer enigszins gewijzigd ten opzichte van de situatie tijdens het ontwerp.

Inbouw

De afwerking van de wanden bestaat uit natuursteen en houten panelen. Voor de luidsprekerzuilen zijn bouwkundige sparingen in de wanden gemaakt, die zijn afgewerkt met een geluidsdoorlatende stof, een stevig kaasdoek. Dat is vervolgens met de hand gekleurd (niet beschilderd) door een decorschilder (Vorm & Decor) met een perfect passend patroon van natuursteen dan wel hout. Dit idee is samen met de theateradviseur uitgewerkt en het resultaat is erg goed. Wie er niet naar zoekt, zal niet vermoeden dat er luidsprekers in de wand zijn weggewerkt.

Aanpassingen in de uitvoeringsfase

In het ontwerp zijn de twee meter lange zuilen op de ring, ter hoogte van het podium, uitgevoerd met één enkele lob (bundel gerichte geluidenergie) met het akoestisch centrum (vertrekpunt) onderin de zuil. Daarmee was een prima dekking mogelijk, zowel voor de nabije zitplaatsen op de ring als voor de zitplaatsen verder weg op de tribune. Echter, in de tijd tussen ontwerp en uitvoering zijn de zitplaatsen nabij de zuil ingedeeld als rolstoelplaatsen. Die plaatsen zijn veel hoger dan de standaardstoelen en verstoren zo de opbouw van de lob vóór de zuil (die



Links koof zonder foam, rechts koof met foam. Midden het meetplaatje met vergelijking van die twee.

een product is van de samenwerkende luidsprekers in de zuil). Hierdoor werd de richtwerking aangetast. De leverancier heeft dit opgelost door de zuil in te zetten als symmetrische zuil⁽¹⁾, waarbij het akoestisch centrum in het midden van de zuil zit. De richtwerking wordt nu niet meer verstoord, maar er is geen dekking meer voor de nabije zitplaatsen. Om dit op te lossen is een tweede lob in de software gegenereerd die de nabijgelegen zitplaatsen verzorgt. Dat was nog niet alles, want ook de positie van de aanvullende zuil voor de tribune was vanwege bouwkundige complicaties enige meters verschoven. Deze bleek gedeeltelijk afgedekt te worden door de achterste loge. Om die reden werd nog een derde lob in deze zuilen gegenereerd. De marge van het systeem nam hierdoor duidelijk af: door meerdere lobben te gebruiken was het totaal van de openingshoek van het systeem toegenomen, en zou meer galm worden gegenereerd.

Metingen

Als eerste meetpunten zijn de naar verwachting meest lastige plaatsen gekozen, daarnaast een aantal meetpunten die juist goed zouden moeten zijn. Op deze posities zijn eerst de geluidsniveaus gemeten en de onbalansen uit het systeem gehaald - de verschillen in geluidsniveaus duiden op een verstoorde direct/galmverhouding, wat weer nadelig werkt op de spraakverstaanbaarheid van het gehele systeem. Daarna konden de metingen aan de spraakverstaanbaarheid worden uitgevoerd, eerst in de meest kritische situatie van een volledig onbezette zaal. Deze metingen zijn uitgevoerd met een MLSSA meetsysteem (Maximum Length Sequence System Analyzer), waarbij het meetsignaal bestaat uit sequenties van meetimpulsen die door het hele systeem gaan en op de meetposities worden opgenomen met een meetmicrofoon. Door de impulsrespons (antwoord op de impuls) te vergelijken met het uitgezonden signaal worden afwijkingen duidelijk. Bij een ongunstige direct/galmverhouding zal de impulsrespons afwijken van het origineel. Uit de mate van verschil is af te leiden in hoeverre de spraakverstaanbaarheid zal zijn afgenomen.

Meetresultaten

Bij de eerste metingen werd duidelijk dat de gestelde eis van maximaal 15% Alcons niet werd gehaald. Door het onderlinge volume van luidspreker(clusters) aan te passen en de instellingen van de delaytijd te verfijnen, kon de installatie worden geoptimaliseerd. Maar de gestelde eisen werden nog niet volledig gehaald. Bij een van de metingen was een vreemde piek in het opgenomen signaal duidelijk zichtbaar. Aan de hand van de looptijd werd de oorsprong hiervan bepaald en door de luidsprekers om beurten uit te schakelen werd de bron van de piek opgespoord. Deze bleek afkomstig van een schuin tegenoverliggende zuil die helemaal niet in deze richting zou mogen afstralen. Nadat het met stof bespannen voorzetraam was weggenomen bleek dat de bouwkundige afwerking in de koof te wensen overliet: aan de zijkant van de zuil was een sterk reflecterend vlak ontstaan. Dit werd provisorisch verholpen met geluidabsorberende stroken, maar na het openen van alle koven bleek dat dit probleem zich op meerdere posities voordeed. De koven zijn naderhand aangepast. Daarna zijn definitieve opleveringsmetingen uitgevoerd en voldeed het systeem aan alle gestelde eisen.

Behalve in een onbezette zaal zijn ook metingen verricht in een gesimuleerde bezette situatie. De stoelen en tussenliggende paden worden hiertoe afgedekt met lange lappen van een speciale stof. Het effect is alsof de zaal grotendeels vol zit met publiek. Uiteraard voldeed het systeem in deze omstandigheden nog beter omdat de absorptie in de zaal was toegenomen. De meetresultaten in deze situatie tonen een gemiddelde van 8,5% Alcons (STI 0,55) waarbij slechts 3 meetposities boven de 10% uitkomen met een maximum van 12% Alcons (STI 0,48). Voor elke plaats in de zaal wordt nu dus ruimschoots aan de gestelde eisen voldaan. ◀

De auteur Cees Wagenaar is elektro-akoestisch adviseur bij Peutz.

⁽¹⁾ Dat is alleen mogelijk als de zuil over de gehele lengte is voorzien van luidsprekers op gelijke afstand van elkaar.