AUDITUM
DESIGNING ACOUSTICS

Akoestisch Onderzoek

Piramide Haarlemmerhouttuinen

Gemeente Amsterdam
Haarlemmerhouttuinen 8 e.o.
1013 GL Amsterdam

AUDITUM

Akoestisch Onderzoek

Piramide Haarlemmerhouttuinen

Gemeente Amsterdam
Haarlemmerhouttuinen 8 e.o.
1013 GL Amsterdam

datum:	3 juni 2024
adviseur:	Jan Bril | Lisa Skourtou
opdrachtgever:	Gemeente Amsterdam Stadsdeel Centrum Contactpersoon: Jeroen de Groot Postbus 202 1000 AE Amsterdam
kenmerk:	1013 GL - 8 WO 001-31-05-2024V1.0

Nobelstraat 16 3846 CG Harderwijk | kvk 61798460 | btw NL854492914B01 | bank NL30 INGB 0007 2695 33 | mail info@auditum.nl | web www.auditum.nl

© 2024 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

2.1 Situatie 6

2.2 Toetsing 9

2.3 Berekende scenario's 9

3 Metingen en berekeningen 10

3.1 Meet en rekenmethode 10

3.2 Samenvatting meet- en rekenresultaten 13

4 Samenvatting en conclusie 21

Bijlagen: A. Korte toelichting parameters
B. Samenvatting meetresultaten

1 Inleiding

In opdracht van de Gemeente Amsterdam is een onderzoek uitgevoerd naar de geluidsituatie als gevolg van activiteiten op het sport/speelterrein rondom de Piramide aan de Haarlemmer Houttuinen 8 in Amsterdam (nader te noemen: het terrein).

Omwonenden van het terrein hebben klachten over geluid en andere aspecten op het plein. Deze klachten zijn aangegeven bij de Gemeente Amsterdam en zijn onder andere vastgelegd in notulen van bijeenkomsten met werkgroep De Groene Oase, omwonenden en de gemeente.

Er zijn voornemens om het terrein aan te passen, waarbij het piramidevormig gebouw wordt verwijderd, een nieuw gebouw wordt toegevoegd en het terrein opnieuw wordt ingericht. Bij de herinrichting van het terrein spelen akoestische aspecten en het optimaliseren hiervan een rol. In de huidige situatie is het terrein relatief open, ‘hard’ afgewerkt en worden geluiden onder andere door reflecties via de bebouwing versterkt.

Het doel van het onderzoek is het bepalen van de technische mogelijkheden om geluid te reduceren en het aangeven van de mate waarin geluid bij die mogelijkheden gereduceerd kan worden. Hierbij vormen de voorlopige plannen van de herinrichting het basisuitgangspunt. Het onderzoek geeft inzicht in de geluidtechnische aspecten, die onderdeel uitmaken van het ‘totaalpakket’ aan voorzieningen (waarbij ook andere aspecten zoals esthetica, duurzaamheid, sociale aspecten en veiligheidsaspecten enzovoorts overwogen worden). Het uiteindelijke doel is het realiseren van een goed woon- en leefklimaat rondom het terrein in combinatie met het kunnen gebruiken van een fijne en comfortabele plek voor alle bewoners.

Dit rapport geeft de resultaten van het onderzoek weer.

2 Uitgangspunten

2.1 Situatie

Het terrein aan de Haarlemmer Houttuinen is gesitueerd rondom de ‘Piramide’ aan de Haarlemmer Houttuinen 8 in Amsterdam. Ten noorden van het terrein en ten zuiden van de Nieuwe Westerdokstraat bevindt zich een appartementencomplex met 95 woningen naar ontwerp van Rudy Uytenhaak (1989). Ten oosten van het terrein bevindt zich de Boomklokstraat en de Droogbak, een 19^{e} eeuws kantoorgebouw in neorenaissancestijl. Ten zuiden/oosten van het terrein bevinden zich woningen in een aaneengesloten rij (Haarlemmer Houttuinen 2 tot en met 37^{N}) uit verschillende bouwjaren, nader te noemen de oudbouw.

In de navolgende figuur is een luchtfoto met de situatie opgenomen.



Figuur 2.1 Afbeelding situatie terrein en omliggende bebouwing (bron: Google Maps 2024)

In de navolgende figuren zijn foto’s van de huidige situatie van het terrein, gezien vanuit de oostelijke en westelijke richting, opgenomen.

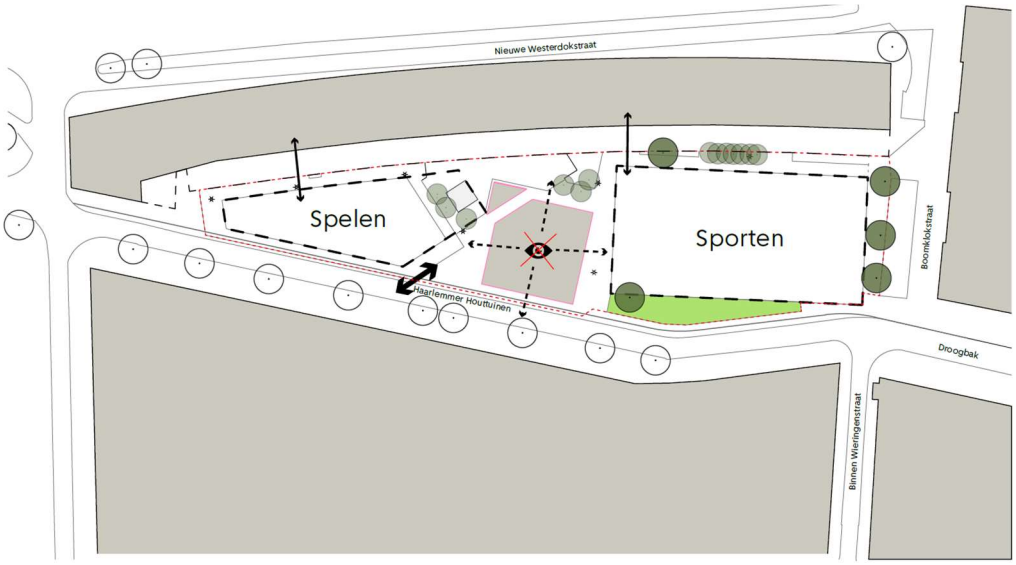


Figuur 2.2 Foto's terrein en omliggende bebouwing vanuit oostelijke en westelijke richting

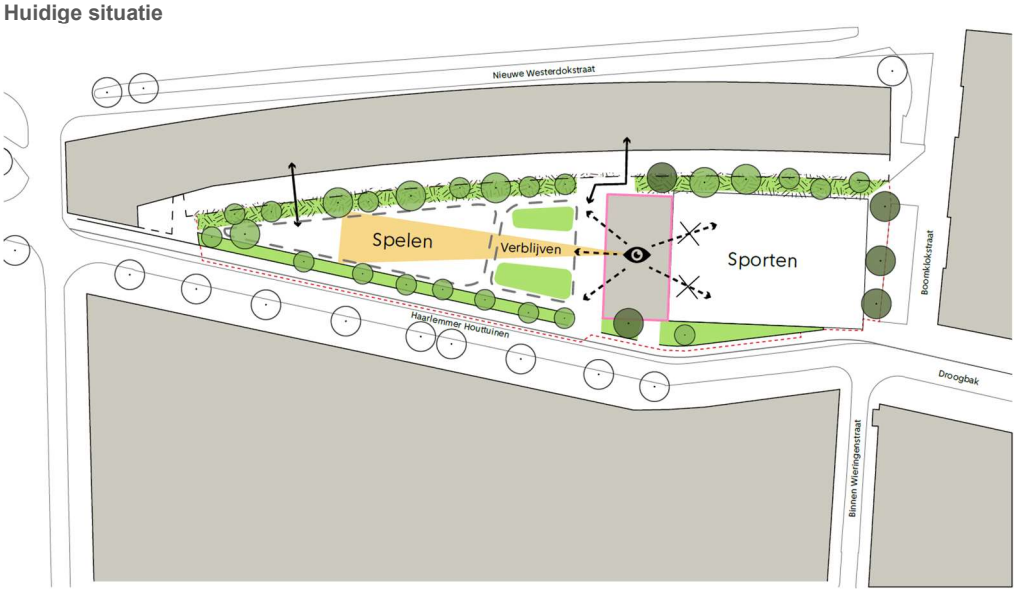
Er zijn plannen voor een herinrichting. Het idee achter de herinrichting is een minder groot verhardingsoppervlak van het plein en meer groen (een rustiger gebied met meer welbevinden, minder overlast en het bevorderen van de openbare veiligheid). Deze herinrichting heeft akoestische effecten, waarbij de concept herinrichting een aanknopingspunt is voor het optimaliseren van de akoestische situatie voor omwonenden.

Bij de herinrichting wordt de Piramide verwijderd en komt een nieuw gebouw op het terrein. Er zijn twee variabelen ten aanzien van mogelijke posities van het nieuwe gebouw: een positie in het midden van het terrein (variant 1) en een positie aan de oostelijke zijde van het terrein nabij de Boomklokstraat (variant 2). Beide posities worden in het onderzoek bekeken.

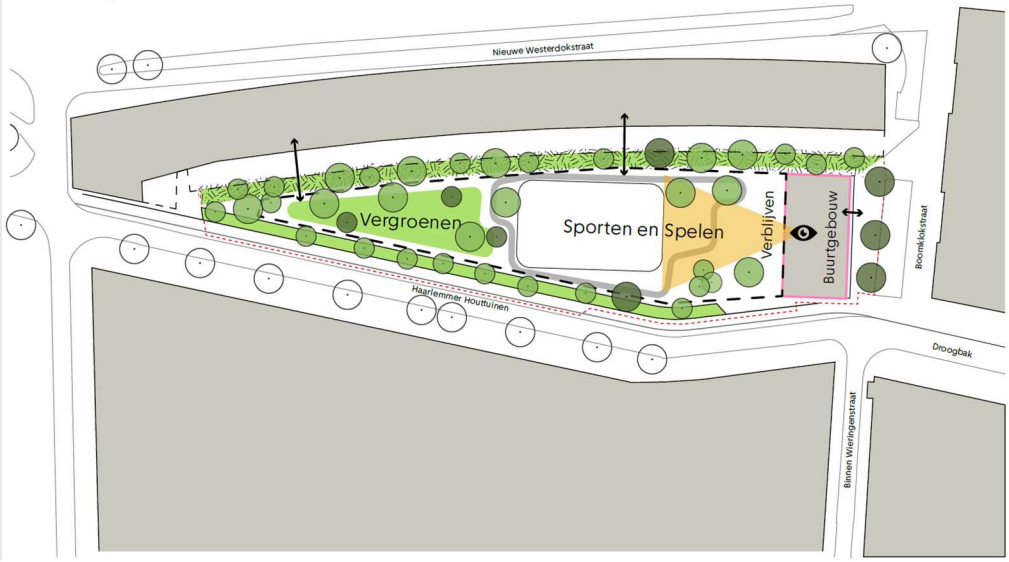
In de navolgende figuur zijn achtereenvolgens de huidige situatie, variant 1 met een positie van het nieuwe gebouw meer in het midden en een variatie van variant 2 met een positie van het gebouw aan de oostzijde opgenomen. De varianten zijn afkomstig van een ruimtelijke verkenning van Speelplan/Gemeente Amsterdam.



Huidige situatie



Toekomstige situatie, variant 1



Toekomstige situatie, variant 2 (één van de drie variaties)

Figuur 2.3 Beschouwde situaties

2.2 Toetsing

Er is geen direct wettelijk akoestisch toetsingskader voor het maken van bepaalde geluidniveaus op het terrein. Bij Omgevingsplannen moet met inachtneming van de inrichting en de te verwachten gebeurtenissen in een gebied worden bekeken of er sprake is van een goede ruimtelijke ordening. Hierbij spelen geluidaspecten een rol. Het vigerende bestemmingsplan Haarlemmerbuurt / Westelijke eilanden, dat nog onderdeel uitmaakt van het Omgevingsplan gemeente Amsterdam, voorziet hier in de aanduiding ‘Groen’ (onbebouwd) en Gemengd (bebouwing Piramide). Bij uitvoering van één van de herontwikkelingsplannen zal dit in het kader van de Omgevingswet beoordeeld moeten zijn.

In de Algemene Plaatselijke Verordening (APV) zijn regels gesteld in relatie tot geluid en overlast, waar de Omgevingswet en enkele andere wetten niet in voorzien en die ook gelden voor openbare ruimten. In hoofdstuk 5, artikel 5.5 (Milieu, Hinder) is hierbij opgenomen dat het verboden is om toestellen, geluidsapparaten of machines in werking te hebben die voor de omgeving hinder veroorzaken. Dit geldt ook voor geluid, afkomstig van motorvoertuigen die zonder noodzaak in bedrijf zijn. Deze zijn overigens conform artikel 5.9 (Milieu, Groen) ook verboden in groengebieden. Daarnaast is in artikel 5.17 (Milieu, Geluidhinder door dieren) aangegeven dat diegene met een zorg voor dieren moet voorkomen dat die voor de omgeving geluidhinder veroorzaken.

Er is op het terrein geen sprake van bedrijven die voorheen aan het Activiteitenbesluit moesten voldoen en die activiteiten hebben waar het Besluit activiteiten leefomgeving (Bal) van toepassing is. Voor de hinder bij omwonenden zijn activiteiten op het open terrein, waar geen wettelijke geluidnormering voor geldt, de grootste bron van overlast.

2.3 Berekende scenario’s

Voor de berekeningen is met name de geluidoverdracht en de reductie hiervan van belang. Wanneer de geluidoverdrachtsreducties en de verschillen in de huidige en toekomstige variant bekend zijn, kan ook worden bepaald wat het effect is bij bepaalde geluidbronnen.

De geluidbronnen bevinden zich op een aantal locaties verspreid op het terrein. De beoordeling vindt plaats op locaties voor de gevels van appartementen en woningen aan weerszijden van het terrein. Bij de berekeningen is uitgegaan van een aantal scenario’s, waarvan is aangegeven dat dit de maatgevende bronnen voor de hinderbeleving zijn. Er is geen sprake van een representatieve bedrijfssituatie in de zin van het Bal, omdat de situatie elke dag verschilt en daarmee geen langtijdgemiddeld beoordelingsniveaus $L_{Ar,LT}$ zijn vast te stellen. Bovendien is in de hinderbeleving vooral sprake van schrikeffecten vanwege piekgeluiden L_{Amax}.

De volgende scenario’s zijn benoemd als maatgevende bron voor de hinderbeleving:

- Voetballen op het (verharde) terrein.
- Met een bal hard tegen de kooihekken schieten.
- Schreeuwen bij het sporten op het sportveld.
- Praten en muziekbronnen bij groepen ter plaatse van het gebied waar men verblijft.
- Schreeuwen bij het spelen op het speelterrein.

3 Metingen en berekeningen

3.1 Meet en rekenmethode

Om de geluidoverdracht van bronnen op het terrein naar de gevels van de omliggende woningen te bepalen zijn metingen en berekeningen uitgevoerd.

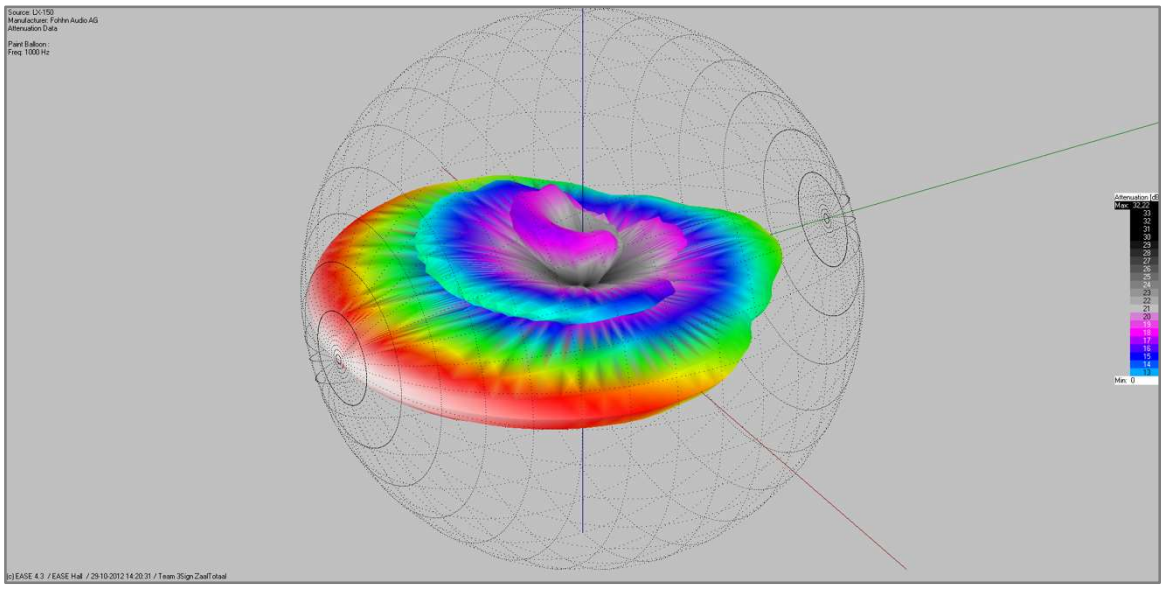
Op maandag 6 mei 2024 zijn geluidmetingen uitgevoerd op het terrein. Hierbij zijn pulsresponsies tussen verschillende bron- en ontvangerposities bepaald. De werkwijze is in principe gelijk aan een onderzoek naar zaal- en elektroakoestiek in omsloten ruimten of evenemententerreinen, waarbij gemeten en gerekend wordt conform de NEN-EN-ISO 3382-1/3, IEC 60268-16 en de overdrachtsreducties conform ISO 9613-1.

Bij de berekeningen worden de pulsresponsies bepaald in een 3D akoestisch rekenmodel. 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.

Toelichting akoestisch rekenmodel

Normaalgesproken wordt voor geluidberekeningen in buitensituaties gebruik gemaakt van software als GeoMilieu. Dit heeft te veel beperkingen voor een goede berekening van de geluidbelasting in situaties met veel reflecties en afschermingen of sterk richtingsafhankelijke geluidbronnen. Daarom wordt een meer geavanceerde methodiek toegepast. Een belangrijke aanleiding is het gegeven dat het terrein zich bevindt in een stedelijke omgeving, waarbij hogere orde reflecties (tot 20^{e} orde) en de verticale overdracht (bijvoorbeeld onderzijde balkons) bepalend zijn voor de betrouwbaarheid van de berekening.

De immissierelevante bronsterkte L_{Wr} kan in de geavanceerde software broninformatie zowel in verticale als horizontale richting per 5 graden inzichtelijk worden gemaakt (2.552 richtingen in totaal). Figuur 3.1 geeft een impressie van de uitstralingskarakteristiek van een luidspreker.



Figuur 3.1 Broninformatie (voorbeeld richtwerking Fohhn LX-150)

Deze mogelijkheden worden bij de berekeningen op dit terrein niet benut (analoog aan de 'bolbron' die bij de metingen gebruikt is). Een sferische bron benadert het beste de rondomuitstralende bronnen die op het terrein voorkomen.

Het gebruikte 3D akoestisch rekenmodel is van origine een model dat wij in de advisering inzake zaal- en elektro-akoestiek gebruiken. Berekeningen kunnen hierbij onder andere worden gebaseerd op ray-trace-, spiegelbron- en hybride methoden. Met deze software kunnen eveneens berekeningen worden uitgevoerd, die gelijkwaardig zijn aan het overdrachtsmodel II.8 conform de Handleiding meten en rekenen industrielawaai (1999) zoals die in een programma als GeoMilieu wordt toegepast.

Hierbij wordt het volgende opgemerkt:

- De overdrachtsberekeningen zijn conform methode II-8 van de Handleiding meten en rekenen industrielawaai (1999). Voor de berekeningsmethodiek wordt verwezen naar deze handleiding, waarbij het volgende wordt opgemerkt:
    - Voor D_{geo} wordt uitgegaan van een hele bol, analoog aan de handleiding.
    - Voor D_{lucht} is de luchtabsorptiecoëfficiënt in dB/m per tertsband conform ISO 9613-1: 1993 meegerekend op basis van de standaard luchtabsorptiecoëfficiënt vanuit de Handleiding meten en rekenen industrielawaai (1999) bij 10˚C, een relatieve vochtigheid van 80% en een luchtdruk van 1013 Pa. Hierbij zijn de geluidoverdrachtsberekeningen op dezelfde uitgangspunten gebaseerd.
    - De D_{refl} is in principe tot 20^{e} orde reflecties meegerekend zonder verwaarlozing van de standaard bijdrage wanneer deze meer dan 7 dB onder het geluidimmissieniveau ligt. Er wordt uitgegaan van de absorptiecoëfficiënten van de materialen zonder de gebruikelijke vereenvoudigingen in Geomilieu-modellen.
    - Bij D_{bodem} wordt niet uitgegaan van een algemeen standaard bodemfactor van 1 (zacht) en 0 (hard), maar van de absorptiecoëfficiënten van de toegepaste materialen.

- De absorptiecoëfficiënten zijn opgenomen in tabel 3.1. Hierbij zijn de α-coëfficiënten en de scattering- coëfficiënten (sc) vermeld.

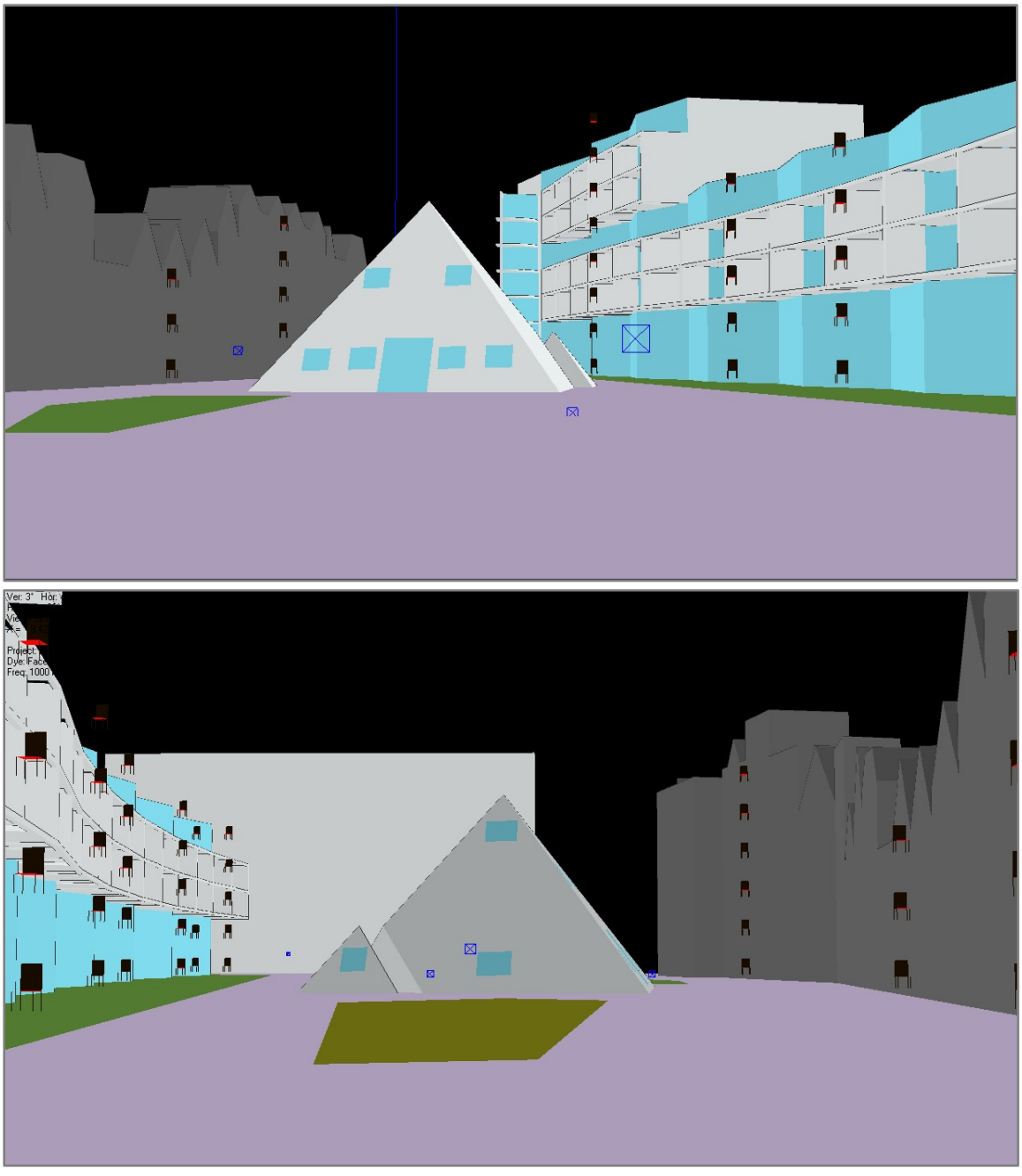
Tabel 3.1 Basismaterialen

Bouwdeel	Omschrijving	α-coëfficiënten (0≤α≤1)						sc (%)
		125	250	500	1000	2000	4000	
Bodem	Hard (steenachtig)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,2
	Zacht (gravel og).	0,25	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,2
	Zacht (groen)	0,50	0,60	0,70	0,80	0,80	0,80	0,8
Wanden/delen	Glas appartementen	0,28	0,20	0,10	0,06	0,02	0,02	0,2
	Standaard gevels met metselwerk	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,2
	Beton	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,05	0,2
Voorzieningen	Absorberende elementen	0,40	0,80	0,95	0,95	0,95	0,90	0,4

Toelichting

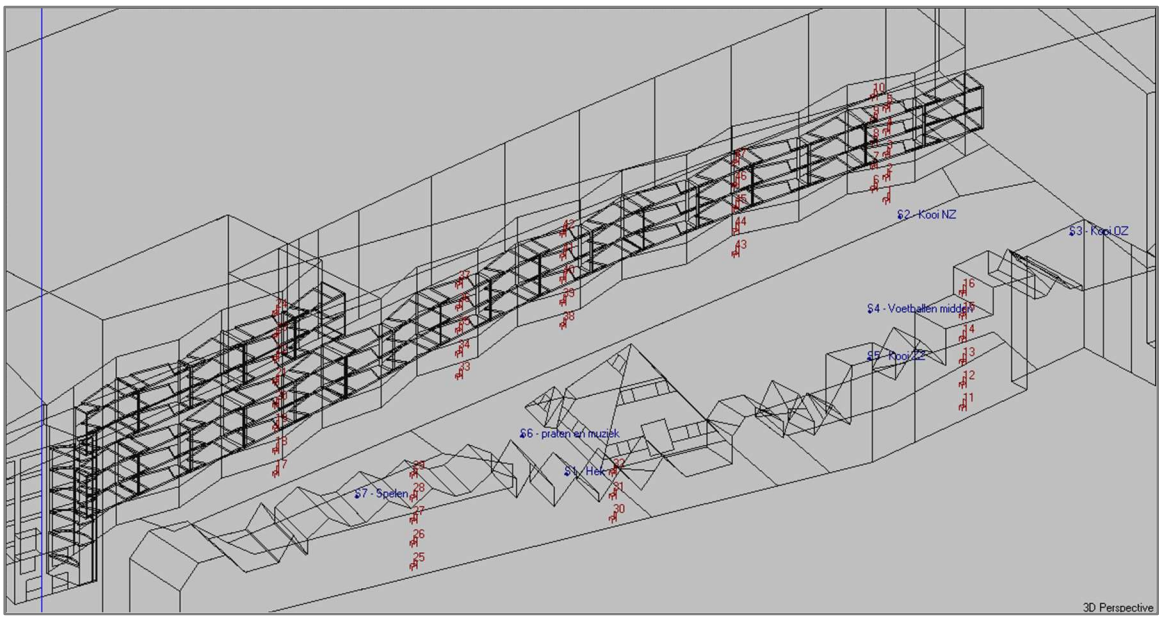
De α-coëfficiënten van de genoemde materialen zijn ontleend aan literatuur en/of meetgegevens uit een akoestisch laboratorium. De α-coëfficiënten van een afzonderlijk materiaal kunnen per situatie, fabrikant en constructie-opbouw verschillen. Het totaal van de α-coëfficiënten komt overeen met de situatie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

De immissiepunten zijn gelegen op een hoogte van 1,5 meter per bouwlaag. Figuur 3.2 geeft een weergave van het akoestisch rekenmodel van de huidige situatie.



Figuur 3.2 **Weergave akoestisch rekenmodel (boven: vanuit oost, onder: vanuit west)**

In figuur 3.3 zijn de posities van de geluidbronnen en immissiepunten weergeven.



Figuur 3.3 Weergave bronnen en beoordelingspunten

Voor de berekeningen zijn enkele bronposities gekozen. Bronpositie S1 bevindt zich ter plaatse van het toegangshek. De bronposities S2, S3 en S5 bevinden zich ter plaatse van de sportkooi, waarvan het dichtstbijzijnde kooihek zich op een afstand van 7 meter van de gevels van de appartementen bevindt. Bronpositie S4 bevindt zich op het sportterrein. Bronpositie S6 bevindt zich ter plaatse van de bankjes in de verblijfszone en bronpositie S7 bevindt zich op het speelterrein.

In figuur 3.3 zijn in rood tevens de beoordelingspunten weergegeven, die zodanig zijn gesitueerd dat de hoogste geluidbelasting vanwege de kortste afstand ten opzichte van de bronnen kan worden bepaald. Hierbij zijn punten op de begane grondniveau gelegen en op de bouwlagen waar dit van toepassing is. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen punten voor de gevel en in de loggia's. De geluidniveaus op de gevels worden bepaald zoals het wordt gemeten inclusief gevelreflectie exclusief de correctie (C_g) van 3 dB(A). De achtergrond hiervan is het technisch correct bepalen van het effect in de loggia's en het gegeven dat het om de delta van de geluidniveaus gaat.

3.2 Samenvatting meet- en rekenresultaten

3.2.1 Huidige situatie

In de huidige situatie wordt het terrein gekenmerkt door veel harde bodemoppervlakken en weinig akoestische afschermingen. Dit zorgt ervoor dat bij pulsresponsiemetingen het gebied feitelijk functioneert als een grote zaal zonder plafond: bij het produceren van geluid op het terrein zijn reflecties vanuit alle richtingen meet- en hoorbaar. Mede door de (deels gekromde) gevellijnen worden geluiden ook over grotere afstanden gereflecteerd. Daarnaast vinden ook veel reflecties plaats via de gevels van de Droogbak. Alle meervoudige reflecties versterken elkaar, wat ook meet- en hoorbaar is in de vorm van 'galm'. Daarmee is de akoestische situatie in dit gebied geheel anders dan een gangbare vrije veldsituatie.

In bijlage B zijn de meetresultaten samengevat.

Hierbij wordt het volgende geconcludeerd:

- Reflecties vinden plaats via de gevellijnen aan de noord- en zuidzijde van het terrein en de Droogbak. Met name reflecties via de Droogbak zijn nadrukkelijk hoorbaar vanwege de vertraging van het gereflecteerde signaal over de grotere afstanden. Alle reflecties dragen relevant bij aan de geluidoverdracht van bron naar ontvanger.
- Reflecties op oorhoogte (eerste bouwlaag, begane grond) via de wanden rondom het plein vinden plaats ondanks de aanwezigheid van stroken heggen, bomen en begroeiing langs het terrein. Hoewel groen enigszins diffuserend kan werken is voor een afscherming van reflecties een aanmerkelijk dikkere vegetatie nodig om het geluid (en daarmee reflecties) te dempen. In de regel heeft vegetatie vanaf 10 meter relevante invloed op reductie van geluid (in de zomer bij aanwezigheid van blad).
- Reflecties via de Piramide spelen ten opzichte van de andere reflecties een ondergeschikte rol bij bronnen in de gebieden voor sporten en spelen. Ditzelfde geldt voor afscherming van het directe geluid vanwege het gebouw.
- Het verharde terrein biedt vanwege de reflecties via het bodemoppervlak eveneens een ‘ideale’ ondersteuning voor overdracht van geluid richting alle bouwlagen. Dit draagt relevant bij aan de totale geluidoverdracht van geluidbronnen op het terrein.
- De omgeving is bouwkundig gezien ‘luider’ dan gangbare omgevingen, waarbij geluidbronnen op het terrein meer versterkt worden. De akoestische parameter ‘luidheid G_{mid}’ geeft aan dat geluidbronnen op het plein over een afstand van 10 meter +4 dB luider worden waargenomen dan in een buitensituatie zonder deze gecumuleerde reflecties via de bodem en de omliggende gebouwen (vrije veldcondities).
- Een uur voor aanvang van de metingen waren nog jongeren aan het voetballen. Maatgevende geluidbronnen waren hierbij het balgeluid door stuiteren op de ondergrond en het (extreem hard) trappen van ballen tegen het kooihek. Beide bronnen kwamen veelvuldig voor, naast het stemgeluid (schreeuwen). Van de gelegenheid is gebruik gemaakt door enkele indicatieve geluidmetingen ter bepaling van het brongeluid uit te voeren (zonder dat men hiervan op de hoogte was en dit het gedrag heeft beïnvloed). Hieruit is gebleken dat de piek van het brongeluid respectievelijk $L_{Wr,max}$= 94, 108 en 120 dB(A) bedraagt voor stuiteren, schreeuwen en trappen tegen het kooihek.
- Vergeleken met andere meetdata, zoals vastgesteld in de VDI3770 en onderzoek naar sportkooien type IJslander Citybox (geluidsarme uitvoering) van Nieman Raadgevende Ingenieurs, blijkt dat het gemeten geluid van stuiteren en schreeuwen representatief is, maar de ‘knallen’ tegen het kooihek luider is dan in een gangbare, moderne en stillere uitvoering het geval zal zijn. In het voornoemde onderzoek is een $L_{WR,max}$ van 110 dB(A) vastgesteld in situaties dat een bal hard tegen een (metalen) paal wordt geschoten. Het verschil wordt mogelijk verklaard door het duidelijk mee rammelen van de metalen hekken in de bestaande oudere kooi en het feit dat dit niet een geluidarme uitvoering is.
- Op basis van het gemeten $L_{Wr,max}$ van circa 120 dB(A) is het piekniveau op de gevel van de dichtstbij gelegen woningen aan de noordzijde op een afstand van circa 7 meter nog L_p= 101 dB(A), op basis van een $L_{Wr,max}$ van circa 110 dB(A) bedraagt het piekniveau circa L_p= 91 dB(A). Beide waarden zijn fors hoger dan een piekniveau van 70 respectievelijk 65 dB(A) in de dag- en avondperiode zoals die algemeen aanvaard zijn overeenkomstig het Activiteitenbesluit en de VNG-publicatie Bedrijven en Milieuzonering. Hieruit kan geconcludeerd worden dat een dergelijke kooi op deze korte afstand tot woningen niet acceptabel is en leidt tot zeer hoge piekgeluiden.

3.2.2 Akoestische effecten ruimtelijke verkenning

De ruimtelijke verkenning gaat uit van het verwijderen van de huidige Piramide en het toevoegen van een nieuw functioneel gebouw. Bij de verkenning zijn twee posities beschouwd, variant 1 met het gebouw meer naar het midden van het terrein en variant 2 met het gebouw aan de oostzijde van het terrein, zoals aangegeven in paragraaf 2.1.

Variant 1

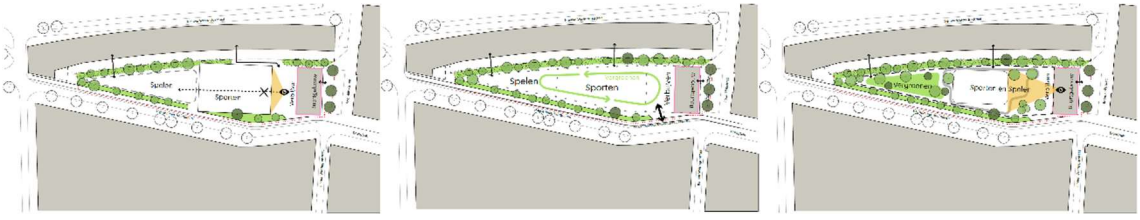
Variant 1 voorziet in een gebouw op een locatie naast de huidige Piramide. Feitelijk zijn de locatie van het gebouw en de functie verblijven omgedraaid. De locaties voor de functies sporten en spelen zijn gelijk gebleven, met dien verstande dat er stroken groen rondom de functies zijn toegevoegd.

Uit de berekeningen en beschouwing van variant 1 zijn samengevat de volgende conclusies te trekken ten aanzien van de scenario's:

- De kooi voor sporten wordt iets korter gemaakt, maar blijft op dezelfde afstand van de appartementen. Dit heeft tot gevolg dat de maatgevende geluidbronnen afkomstig van voetballen, het schieten van ballen tegen de koorhekken en het schreeuwen bij het sporten gelijk blijven. Doordat het nieuwe pand bij een verticale gevel meer reflecties veroorzaakt, wordt de geluidimmissie van brongeluiden tussen het nieuwe pand en de Droogbak ter plaatse van de appartementen aan de noordzijde en een deel van de woningen aan de zuidzijde verhoogd met +1 tot +2 dB. De hoogste piekniveaus aan de noordzijde blijven gelijk omdat het directe geluid op de korte afstand tot de ontvanger bepalend is. Daarmee heeft uitvoering van variant 1 geen geluidreducerende invloed als gevolg van sporten.
- Voor muziekbronnen, praten en schreeuwen ter plaatse van de functie verblijven en het geluid afkomstig van het speelterrein geldt hetzelfde als bij sporten: er is geen relevante verandering ten aanzien van de bronnen, door reflecties via het nieuwe gebouw neemt de geluidbelasting aan de westzijde op grotere afstanden toe met + 1 dB.
- De voorziene groenstroken hebben bij gangbare beplantingen geen relevante afschermende functie van het geluid vanaf het terrein.

Variant 2

Variant 2 voorziet in een gebouw aan de oostzijde van het terrein, nagenoeg tegen de parkeerplaatsen aan de Boomklokstraat aan. Hierbij zijn drie sub-varianten beschouwd van de inrichting van het terrein. Gezien vanaf het nieuwe gebouw van oost naar west is de functie verblijven, sporten en spelen geprojecteerd. Het verschil zit in de vergroening, waarbij variant 2a voorziet in een kooi en variant 2b in een vergroend sportterrein. Variant 2c comprimeert sporten en spelen in een kleiner gebied en geeft ruimte voor een zone met uitsluitend vergroenen aan de westzijde. In de onderstaande afbeelding zijn de drie varianten aangegeven.



Figuur 3.4 Variant 2a (links), 2b (midden) en 2c (rechts)

Uit de berekeningen en beschouwing van variant 2 zijn samengevat de volgende conclusies te trekken ten aanzien van de scenario's:

- De kooi is bij variant 2a aanwezig en wordt meer naar het midden van het terrein verplaatst. Dit heeft tot gevolg dat de kortste afstand tot de dichtstbij gelegen appartementen nog iets korter wordt vanwege het verloop van de gevels van de appartementen. Daarmee neemt het piekgeluid met +1 dB toe. De conclusies ten aanzien van de geluidbronnen als gevolg van de kooi zijn daarmee niet anders dan in de huidige situatie en bij variant 1. Bij variant 2b is geen kooi voorzien, waarmee de pieken als gevolg van het schieten tegen de kooi ook zijn geëlimineerd. Variant 2c voorziet in een kleinere kooi, die op iets grotere afstand tot de appartementen staat. Dit heeft tot gevolg dat de piekgeluiden niet relevant gereduceerd worden en bij de appartementen nog relevant hoger dan acceptabel is voor nieuwe situaties met een nieuwe kooi (L_{Wr}= 110 dB(A)).
- De overige bronnen als gevolg van sporten (voetballen, schreeuwen op het sportveld) hebben geen relevante reductie ten opzichte van de huidige situatie indien er sprake is van een verharde ondergrond (2a). Bij een zachte ondergrond (variant 2b), zoals gras, neemt het geluidniveau als gevolg van stuiteren van ballen, voetballen en schreeuwen ten opzichte van de huidige situatie met respectievelijk 11, 2 en 2 dB af.
- Bij muziekbronnen, praten en schreeuwen in de verblijfszone blijven de hoogste geluidniveaus gelijk bij gelijke afstanden tot de dichtstbij gelegen woningen. Gezien de verplaatsing naar het oosten wordt de geluidoverlast op het gehele terrein wel minder vanwege grotere afstanden tot een deel van de woningen. Dit verschil loopt afhankelijk van afstand en de hoogte van het immissiepunt op van 1 tot 6 dB.
- Bij spelende en schreeuwende kinderen op het speelterrein nemen de geluidniveaus niet af in de varianten 2a en 2b, de locatie is ook nagenoeg gelijk aan de huidige situatie. Bij variant 2c is het spelen verplaatst naar de oostzijde. Door deze verplaatsing nemen de geluidniveaus eveneens af met 11 tot 13 in een belangrijk deel van het gebied, de piekniveaus worden eveneens 1 dB lager vanwege de iets grotere afstand tot de dichtstbij gelegen woningen.

Van de drie subvarianten heeft variant 2c de grootste reducties van geluidniveaus tot gevolg en heeft deze variant de grootste potentie om het geluid verder te reduceren. Deze variant vormt de basis voor het onderzoek naar mogelijke verdergaande reducties.

3.2.3 Overwegingen voorzieningen

Er zijn een aantal basisvoorwaarden van toepassing om de geluidoverdracht te beperken en het terrein akoestisch rustiger te maken. Hierbij zijn de volgende principes van toepassing:

- Het beperken van geluidbronnen.
- Het beperken van de geluidoverdracht.
- Het beperken van geluid bij de ontvangers.

Het beperken van geluidbronnen

De maatgevende bron voor overlast is het schieten van ballen tegen de sportkooi. In de huidige situatie is het hoogst bepaalde piekgeluid L_p= 101 dB(A) bij de appartementen op de kortste afstand van 7 meter. Bij een geluidarme sportkooi zoals de IJslander Citybox met een L_{Wr} van 110 dB(A) is het piekgeluid bij de maatgevende ontvanger nog L_p= 91 dB(A), wat relevant hoger is dan de gangbare grenswaarde van respectievelijk 70 en 65 dB(A) in de avond- en nachtperiode, wat een overschrijding van respectievelijk 21 en 26 dB(A) betekent.

Een stillere sportkooi zou theoretisch een L_{Wr} van circa 84 dB(A) mogen hebben wanneer een bal tegen een hek, net of paal wordt geschoten op relatief korte afstand van de woningen. Er zijn geen

standaard sportkooien bekend waarbij dit gerealiseerd kan worden, immers ook netten moeten worden opgehangen aan een constructie waar men tegen aan kan schieten.
Mogelijk kan een L_{Wr} van 84 dB(A) gerealiseerd worden door alleen uit te gaan van netten als contactvlak, waarbij palen verder naar achteren worden geplaatst en speciale voorzieningen de bal van de paal scheiden zodat alleen een net kan worden geraakt die vervolgens geen constructies raakt. Dit zou een nadere ontwikkeling of specifieke uitvoering van een sportkooi vragen.

Het plaatsen van de sportkooi op grotere afstand van de woningen is in theorie een mogelijkheid, maar de grootte van het terrein is te beperkt en de reflecties via de omliggende bebouwing is te groot om een piekniveau te waarborgen die voldoet aan de grenswaarde.

Niet alleen de reflecties via de omliggende bebouwing speelt een rol. Ook het feit dat dit gebied is aangemerkt als ‘stille zijde’ van de woningen die aan de noordzijde door verkeersgeluid worden belast maakt het niet verdedigbaar dat op het terrein een sportkooi wordt geplaatst. Dit geldt ook voor situaties wanneer juist aan de grenswaarden kan worden voldaan, immers de grenswaarden zijn maximale grenswaarden en corresponderen niet met stille gebieden: bij het voldoen aan de grenswaarden is geen sprake van een stille zijde. De bron is dermate luid, herkenbaar en ook vermijdbaar, dat een sportkooi niet past bij de ambitie voor het realiseren van tenminste één stille zijde van de woningen aan de noordzijde (volgend uit het stedelijk beleid). Dit maakt de situatie in dit gebied ook anders ten opzichte van andere (potentiële) locaties voor sportkooien in de stad.

Het niet plaatsen van een sportkooi in de toekomstige situatie is de enige realistische mogelijkheid om het geluid van de sportkooi voldoende te beperken.

Voor stuiteren van ballen levert het vermijden van een harde ondergrond een reductie op van 11 dB, waarmee de piekgeluiden lager zijn dan 60 dB(A) bij een zachte bodem. Ten opzichte van andere bronnen, zoals motorvoertuigen buiten het terrein, zijn deze piekniveaus aanmerkelijk lager. Het schreeuwen van sporters wordt hierbij ten opzichte van de huidige situatie met 2 dB gereduceerd. Bij hard schreeuwen (L_{Wr}= 108 dB(A)) bedraagt het hoogste piekniveau ter plaatse van de dichtstbij gelegen woningen nog 76 dB(A). Bij normaal spel kan het piekniveau ruim onder de 65 dB(A) blijven. Hiermee kan niet gewaarborgd worden dat de grenswaarden worden overschreden tijdens sporten. Beperken van dit geluid is uitsluitend mogelijk met maatregelen in de overdracht of bij de ontvanger, gedragsmaatregelen en een verbod van sporten gedurende de avond- en nachtperiode.

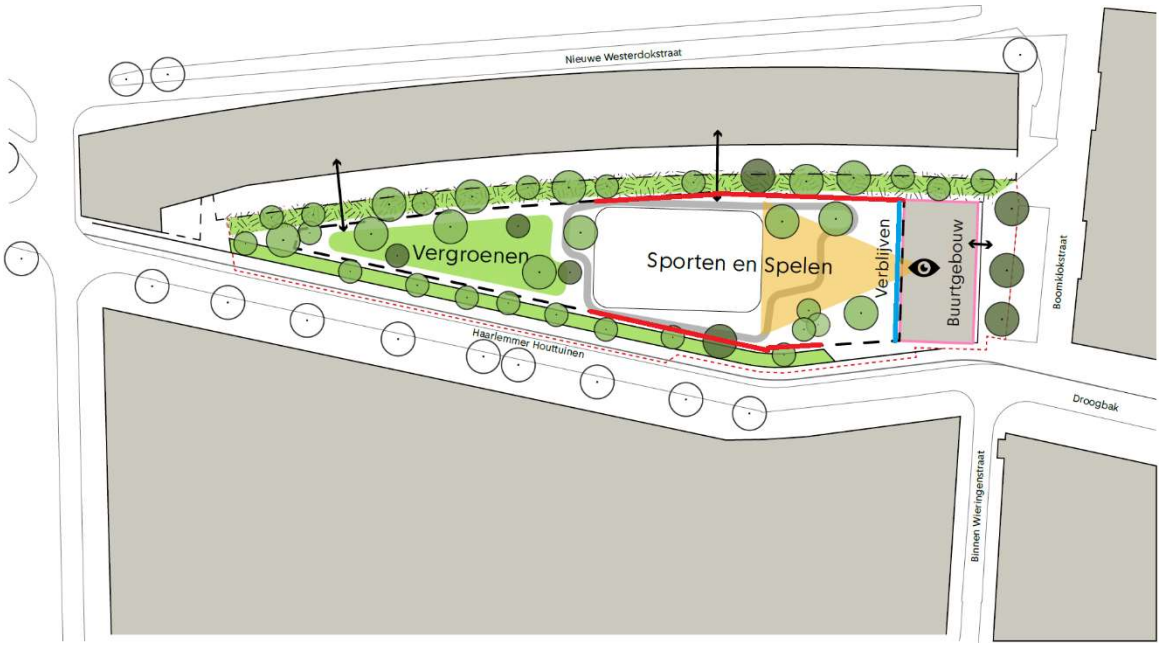
Het beperken van de geluidoverdracht

Aanvullend op de bronmaatregelen zijn de volgende maatregelen ter reductie van de geluidoverdracht mogelijk:

- Het beperken van invallende geluidniveaus door afschermingen te plaatsen. Dit is mogelijk door het groen aan de noordzijde te combineren met een beperkte verhoging van het maaiveld tot circa 2 meter, danwel een afscherming in het groen te plaatsen over het gebied van het nieuwe gebouw tot het westelijke einde van de zone voor sport en spel. Aan de zuidzijde is dit eveneens mogelijk over de zone voor sport en spel. Deze afschermingen of (vergroende) verhogingen van het maaiveld zijn in rood aangegeven in figuur 3.5. Hiermee worden de geluidniveaus op beganegrond-niveau bij de dichtstbij gelegen woningen beperkt, maar ook reflecties via deze gevels die nadelig zijn voor de overzijde van het terrein. In dit kader is variant 2c aanmerkelijk eenvoudiger dan de overige varianten, waarbij de afschermingen voor een gelijk effect veel langer moeten zijn. Vanuit akoestisch oogpunt is een afscherming geheel rondom het

sportterrein zinvol, maar vooralsnog wordt aangenomen dat dit vanuit ander perspectief (zichtlijnen, veiligheid) niet gewenst is.

- Het beperken van reflecties via het nieuwe gebouw door de westgevel aan de zijde van het terrein geluidabsorberend te maken of geometrisch zodanig te ontwerpen dat reflecties niet ter plaatse van de woningen komen. Deze gevel is aangegeven in blauw in figuur 3.5. De geluidabsorptie of geometrische uitwerking kan bij de nadere uitwerking van het gebouw worden gedimensioneerd, waarbij de absorptiewaarden uit tabel 2.1 leidend zijn.



Figuur 3.5 Afschermingen (rood) en geluidabsorberende gevel (blauw)

Het beperken van geluid bij de ontvangers

De eigenaar/herinrichting van het terrein kan geen maatregelen treffen aan objecten van derden. Er wordt inzicht gegeven in het effect van voorzieningen bij de ontvangers voor het geval er met derden afspraken worden gemaakt of gezamenlijke acties plaatsvinden om geluidoverlast te beperken.

Voorzieningen in de vorm van vliesgevels (dove gevels) of hoge afschermingen zijn geen realistische optie. Wel kunnen voorzieningen aan de onderzijde van de balkons worden toegepast, waarmee reflecties via het plafond boven de mensen worden beperkt. Dit effect is beperkt op begane grondniveau, maar op de hogere verdiepingen neemt de reductie toe tot 2 dB in combinatie met de afschermingen.

3.2.4 Samenvatting effecten en voorzieningen

Uitgaande van de scenario's uit paragraaf 2.3 met de bronlocaties S1 t/m S7 zijn in de navolgende tabel de reducties samengevat. Dit zijn de reducties van de meest geluidreducerende variant 2c ten opzichte van de huidige situatie en de reducties van variant 2c inclusief de voorzieningen uit paragraaf 3.2.3.

Tabel 3.2 Reducties hoogste geluidniveaus ten opzichte van huidige situatie

		Concept herinrichting Variant 2c		Na optimalisatie maximaal	
		Reductie minimaal [dB]	Reductie maximaal [dB]	Reductie minimaal [dB]	Reductie maximaal [dB]
S1	Bronlocatie ter plaatse van toegangshek	0	0	4	7
S2	Bronlocatie sportkooi NZ	-1*	12	∞	∞
S3	Bronlocatie sportkooi OZ	-1	14	∞	∞
S4	Bronlocatie sporten	0	2	2	6
S5	Bronlocatie sportkooi ZZ	-1*	10	∞	∞
S6	Bronlocatie verblijven (praten en muziek)	1	3	2	6
S7	Bronlocatie spelen	0	1	3	7

*= toename vanwege kortere afstand tot woningen

De minimale reducties treden op waar zichtlijnen blijven bestaan (en daarmee het directe geluid), vaak gecombineerd met kortere afstanden tot de bron of ter plaatse van de woningen op de hogere bouwlagen. De maximale reducties treden op die locaties op waar maximaal gebruik wordt gemaakt van reflectievermijding in de vorm van (bodem-, gevel- en plafond) absorptie en afschermingen. De gemiddelde reductie door toepassing van de geluidabsorberende plafonds in de loggia's is afhankelijk van de bouwlaag 2-3 dB in de spraakfrequenties bij toepassing van een absorber met de eigenschappen conform tabel 3.1. Praktisch betekent dit dat bijvoorbeeld een HWC-plafond (materiaaldikte 25 mm op spouw 100 mm, gevuld met 50 mm minerale wol) of een geperforeerde metalen cassette (bijvoorbeeld Akustik und Raum Metall absorber 50 mm, direct te monteren op de harde ondergrond) toegepast kan worden. Opgemerkt wordt dat een reductie van 3 dB getalsmatig klein lijkt, maar feitelijk wel een halvering van de geluidenergie omvat. Hiermee is dit een effectieve maatregel voor het reduceren van geluid.

Voor een getalsmatige indruk van specifieke geluidbronnen zijn de rekenresultaten in tabel 3.3 samengevat voor bronnen op beoordelingspunten ter plaatse van de balkons van woningen op de kortste afstand tussen de bronlocatie en de buitenruimten op de begane grond en de balkons op de maatgevende 3e verdieping in de huidige situatie en de situatie na de geoptimaliseerde herinrichtingsplannen.

Tabel 3.3 Geluidniveaus t.g.v. bronnen op kortste afstand tot woningen

Bronlocatie en bron		Huidige situatie		Na herinrichting en optimalisatie	
		BG Geluid-niveau [dB[A)]	3e verd. Geluid-niveau [dB(A)]	*BG Geluid-niveau [dB[A)]*	3e verd. Geluid-niveau [dB(A)]
S1	Stemverheffing bij hek (L_{Wr}= 80 dB(A))	*56*	55	*52*	50 (48)*
S2	Bal schieten tegen sportkooi (L_{Wr}= 120 dB(A))	*101*	99	*0*	0
S4	Voetballen sportveld (L_{Wr}= 94 dB(A))	*65*	63	*63*	61 (59)*
S6	Stemverheffing/muziek verblijf (L_{Wr}= 80 dB(A))	*54*	52	*51*	48 (46)*
S7	Gillend kind spelen (L_{Wr}= 90 dB(A))	*65*	63	*61*	58 (56)*

*= waarde tussen haakjes: inclusief voorzieningen plafond balkon

De geluidniveaus van individuele bronnen worden in relevante en hoorbare mate gereduceerd, waarbij de herinrichting en de optimalisatie hiervan een positief resultaat heeft op de geluidniveaus als gevolg van de bronnen. Dit telt cumulatief door bij alle bronnen die op een dag op het terrein zijn, waarbij de gehele beleving van het terrein relevant rustiger wordt en het equivalente geluidniveau en langtijdgemiddeld beoordelingsniveau wordt verlaagd.

De herinrichting met vergroening heeft tevens als doel om ongewenste geluiden waar mogelijk te vermijden en van het terrein uit te sluiten (denk aan muziek, schreeuwen), alsmede het gedrag van aanwezigen op het terrein bewust en onbewust te beïnvloeden. Deels is dit met regelgeving te sturen, waarbij waarborging afhankelijk is van controle en handhaving. Dit effect is niet terug te zien in de berekende geluidniveaus als gevolg van de aanwezige bronnen, maar versterkt de rustiger beleving van het plein in relevante mate. Dit is met name van belang omdat juist deze bronnen bepalend zijn voor de hinderbeleving bij omwonenden: wanneer een persoon zich irriteert aan ongewenst gedrag van iemand op het terrein, blijft deze irritatie ook bij een aantal dB's reductie bestaan zolang de hinderbron aanwezig blijft.

Aanvullende voorzieningen kunnen hierbij bestaan uit onder andere:

- Beperking tijdsduur verblijf op het terrein (analoog aan de huidige situatie).
- Verscherpen beperking tijdstuur sporten tot 19.00 uur, zodat geluidbronnen als gevolg van sporten niet meer aanwezig zijn in de avond- en nachtperiode.
- Verbod op het ten gehore brengen van muziek op het terrein. In de APV is reeds geregeld dat dit van toepassing is bij geluidhinder, maar een algeheel verbod geeft meer duidelijkheid en een betere mogelijkheid tot handhaving.

Een getal, uitgedrukt in dB's, geeft besluitnemers mogelijk geen sluitend gevoel bij de vraag of de investering in voorzieningen en reducties in de beleving het gewenste effect bereiken. Om gehoormatig te bepalen wat het effect van de voorzieningen is (bij de bron, in de overdracht of bij de ontvanger in de loggia's) wordt aanbevolen om de effecten van de voorzieningen in het acoustic experience lab op gehoor te beoordelen en te bespreken (in het kader van een kosten/baten analyse) en het resultaat hiervan in het definitieve ontwerp van de herinrichting door te voeren.

4 Samenvatting en conclusie

In opdracht van de Gemeente Amsterdam is een onderzoek uitgevoerd naar de geluidsituatie als gevolg van activiteiten op het sport/speelterrein rondom de Piramide aan de Haarlemmer Houttuinen 8 in Amsterdam.

Omwonenden van het terrein hebben klachten over geluid en andere aspecten. Het terrein wordt heringericht, waarbij geluidtechnische mogelijkheden aanwezig zijn om de geluidsituatie te verbeteren en overlast te verminderen.

Uit het onderzoek blijkt dat het concept herinrichtingsplan reeds voorziet in een akoestische verbetering. Er zijn op grond van de berekeningen voorstellen gedaan om de akoestische situatie verder te optimaliseren. Hierbij zijn de volgende voorzieningen minimaal nodig om te komen tot een voldoende verbetering en zeer hoge piekniveaus te vermijden:

Technisch:

- Basisuitgangspunt indeling conform ruimtelijke verkenning variant 2c met gebouw ten oosten van het terrein en westelijk deel uitsluitend vergroening.
- Geen sportkooi plaatsen.
- Terreinverharding zoveel mogelijk beperken, sporten op onverhard terrein (gras).
- Afschermingen in groen aan weerszijden zone sporten en spelen.
- Geluidabsorberend maken nieuw gebouw zijde zone sporten en spelen.
- Indien realiseerbaar: geluidabsorberende plafonds boven balkons (afhankelijkheid derden).

Organisatorisch:

- Beperking tijdsduur verblijf op het terrein (analoog aan de huidige situatie).
- Verscherpen beperking tijdstuur sporten tot 19.00 uur.
- Verbod op het ten gehore brengen van muziek op het terrein.

Met deze voorzieningen kan technisch een relevante reductie van geluidniveaus van bronnen worden gerealiseerd, met als resultaat dat het verblijven op het terrein en ter plaatse van het buitengebied, behorende bij omliggende woningen, rustiger en prettiger wordt.

AUDITUM

Jan Bril
Senior adviseur

Bijlage A

Korte toelichting akoestische parameters

Nagalmtijd (T)

De nagalmtijd (T) is gedefinieerd als de tijd waarin het geluiddrukniveau 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 geluiddrukniveau van een geluidbron direct na het uitschakelen van de bron met 10 dB is afgenomen, vermenigvuldigd met een factor 6.

EDT= 6*RT_{10} [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.

$$G : 10 \lg_{10} \frac{\int_{0}^{\infty} p^2\,(x,t)\,dt}{\int_{7ms}^{0} \gamma * p^2\,(s,t)\,dt} - 10 \lg \left[4\eta \frac{s^2}{m^2} \right] [dB]$$

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

Intimiteit (IDTG)

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 C_7, C_{50} en C_{80})

De definitie van de clarity-waarden is de tien maal de logarithme 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.

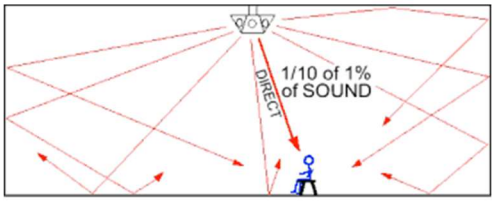
$$C_x : 10 \lg \frac{\int_{0}^{x} p^2\,(t)\,dt}{\int_{80ms}^{\infty} (t)\,dt}$$

De clarity beschrijft zowel de helderheid van spraak als de doorzichtigheid van muziek. De C_7 en C_{50} zijn vooral interessant voor de helderheid van spraak (spraakverstaanbaarheid). De C_{80}-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 C_{80} 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 verschillend[1] 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_o de referentiedruk van $2*10^{-5}$ 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).

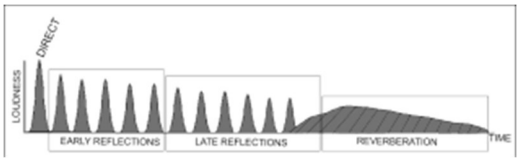
De MTF kan worden bepaald door de volgende formule:

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

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 afstranden dan de r_D de concentratie en privacy snel toeneemt.

Privacy Distance (r_D)

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	Terrein Haarlemmer Houttuinen 8 Amsterdam	
Datum metingen	6 mei 2024	
Situatie	Onbezet, gemeubileerd	
Omschrijving metingen	Er zijn 32 metingen op 8 posities, verspreid over het gehele terrein uitgevoerd. Voor de akoestische metingen is een sweep-signaal uitgestuurd middels een bolvormige meetbron die is gepositioneerd op 2 posities op het terrein. De metingen zijn uitgevoerd analoog aan NEN-EN-ISO 3382-1 en IEC 60268-16.	
Meetapparatuur	Omen Transcent 16	
	AFMG EASERA v.1.2.13	
	AFMG EASERA SYSTUNE Pro v.1.3.7.486	
	MOTU M2 | ZOOM F8n	
	Neuman KU-100 | Sennheiser AMBEO VR-Mic	
	NTI DS3 Dodekaeder met Power Amplifier	
	Brüel & Kjær Calibrator 4031	
Meetresultaten samengevat	$T_{30,500Hz}$	1,2 seconden gemiddeld
	$T_{30,1kHz}$	1,1 seconden gemiddeld
	$T_{20,500Hz}$	1,2 seconden gemiddeld
	$T_{20,1kHz}$	1,0 seconden gemiddeld
	EDT_{500Hz}	0,5 seconden gemiddeld
	EDT_{1kHz}	0,8 seconden gemiddeld
	Bass-Ratio	1,0 [index]
	Treble-Ratio	0,9 [index]
	Strength G	+4 dB
	Clarity C_{80}	+16 tot +17 dB
	STI bouwkundig (gem.)	0,85 [index] – St.Dev 0,01 [index]
	STI installatie (gem.)	-
	