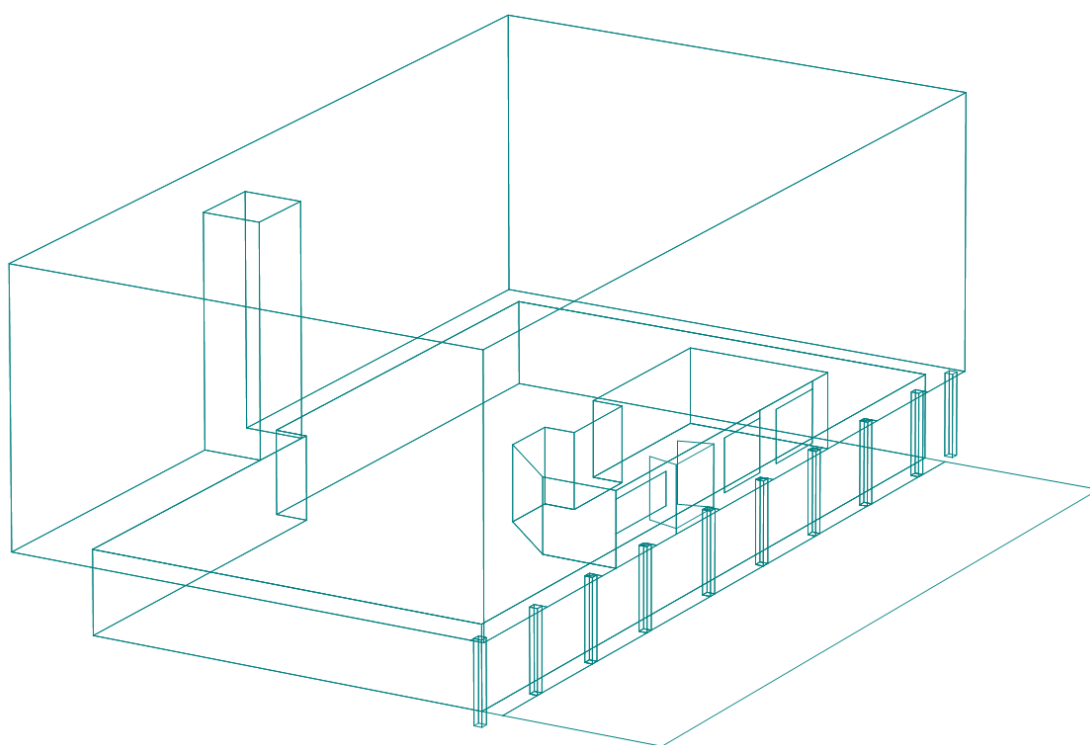


15-6-2015

ODEON ALS NIEUWE METHODE VOOR HET BEREKENEN VAN GELUIDBELASTING OP DE GEVEL



Afkortingen

A =	absorptie	(m ²)
c =	golfvoortplantingssnelheid	(m/s)
E _g =	energie van het galmveld	(J)
f =	frequentie	(Hz)
I (hoofdl. i) =	geluidintensiteit	(W/m ²)
L =	lengte	(m)
L _p =	geluiddrukkniveau	(dB)
p =	geluiddruk	(Pa)
S =	oppervlakte	(m ²)
t =	tijd; temperatuur in Celsius	(s; C)
T =	trillingstijd; nagalmtijd; temp in Kelvin; middelingstijd	(s; s; K; s)
u =	uitwijking (trillingen)	(m)
v =	deeltjessnelheid	(m/s)
V =	volume	(m ³)
W =	geluidvermogen	(W)
x =	afstand; plaats	(m)
α =	hoek; absorptiecoëfficiënt	(rad; -)
λ =	golflengte	(m)
ρ =	soortelijke massa	(kg/m ³)
τ =	transmissiecoëfficiënt	(-)

Inhoud

1. Samenvatting	3
2. Belangrijkste termen:.....	4
3. Inleiding	7
4. Waarom een nieuwe rekenmethode.....	8
5. Huidige bepalingmethode	11
a. Geomilieu	11
b. Rekenmethode	12
c. De sterktes en zwaktes van de huidige methode	12
6. Odeon	13
a. Wat is Odeon	13
b. De sterktes en zwaktes van Odeon	14
7. Validatie.....	15
a. Vlakke wand	15
Onderzoeken van complexere gevelvormen.....	20
b. Gelijkstellen van de rekenmethodes	21
c. Naar binnen liggend balkon	25
e. Metingen op de zijgevel	38
f. Balkon aan de gevel	39
g. Galerij	43
4. Conclusie	45
5. Bronnen:.....	51
6. Bijlagen.....	52
Bijlage 1: Naar binnen liggend balkon	52
Bijlage 3: meetgegevens zijgevels	57

1. Samenvatting

In dit onderzoek zal de vraag beantwoord worden of Odeon geschikt is voor het berekenen van de geluidbelasting op gevelvormen die niet met Geomilieu berekend kunnen worden.

Bij de eerste test was een vlakke gevel gemodelleerd die zowel met Odeon als met Geomilieu berekend kon worden. Met de juiste instellingen gaf Odeon in veel gevallen dezelfde uitkomst of week slechts tienden van een dB af.

Nadat er aangetoond was dat de waardes uit Odeon tenminste op een vlakke gevel betrouwbaar is werden andere gevelvormen onderzocht. Er is begonnen met het simuleren van een naar binnen liggend balkon. In Geomilieu is een benadering van deze gevelvorm gesimuleerd. De waardes uit Odeon, Geomilieu en de waardes bepaald met de correctiefactor zijn met elkaar vergeleken. Hierin vielen de waardes uit Geomilieu in de meeste gevallen het laagst uit door het ontbreken van een plafond. De waardes bepaald met de correctiefactor vielen in de meeste gevallen het hoogst uit.

De uitkomsten uit Odeon lagen grotendeels in de lijn van verwachtingen en zijn betrouwbaar geacht. Onverwachte uitkomsten konden verklaard worden.

Om te controleren of Odeon ook werkt op andere gevelvormen zijn er ook naar buiten liggende balkons en galerijen gesimuleerd.

Voor het verkrijgen van betrouwbare waardes moet het aantal late-rays hoger zijn dan standaard gebruikelijk is in Odeon zodat de ontvangers voldoende informatie ontvangen.

2. Belangrijkste termen:

Geluid:

Geluid kan gezien worden als trillingen die zich door een medium (meestal lucht) verplaatsen. Geluid is de afwisseling van drukverschillen. Deze drukverschillen worden in de meeste gevallen als golven weergegeven.

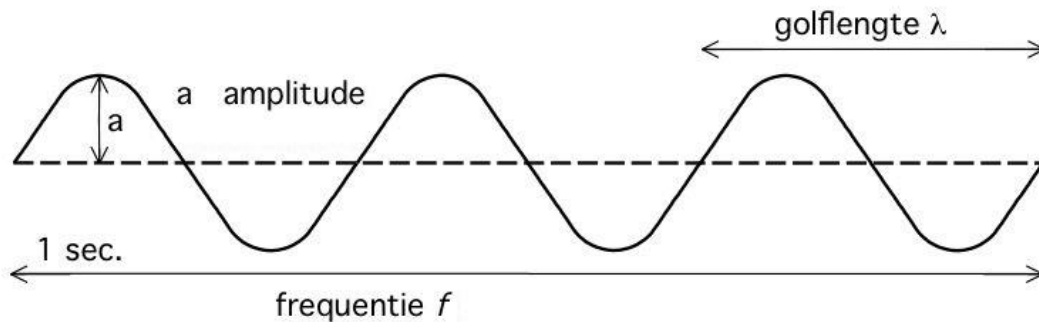


Fig. 1: grafische weergave van een geluidsgolf (6)

De amplitude staat voor de geluidsterkte, ofwel hoe hard het geluid klinkt.

De golflengte is de afstand die het geluid aflegt om 1 volledige golf te maken.

De frequentie is het aantal trillingen dat geluid maakt in 1 seconde. Een hoge frequentie betekent hoog geluid waar een lage frequentie laag geluid betekent.

Geluidsdrukniveau:

Om de geluidsdruk inzichtelijk te maken en schaalbaar, wordt de geluidsdruk omgezet naar een logaritmisch verband. Dit verband, het geluidsdrukniveau, heet decibel.

Het geluidsdrukniveau is een logaritmisch verband tussen de geluidsdruk en een referentiegetal. Als referentiegetal wordt de gehoordrempel genomen. Dit is ongeveer $2 \cdot 10^{-5}$ Pa, ofwel 0dB.

De reden van het logaritmische verband is dat geluidsdruk kwadratisch toeneemt. Dit is om het geluid weer te geven zoals het menselijk gehoor dit verwerkt.

Een kleine toename van het geluid bij een lage druk is goed hoorbaar. Om hetzelfde geluidverschil waar te nemen bij hogere drukken moet de geluidsdruk vele malen hoger worden.

Door de logaritmische berekening wordt de kwadratische lijn omgezet naar een lineaire. Dit houdt in dat een toename van 1dB bij zowel harde als zachte geluiden hetzelfde wordt ervaren.

Ter verduidelijking:

Gehoorgrens: $2 \cdot 10^{-5}$ Pa = 0dB

Drilboor: 2 Pa = 100dB

Pijngrens: 100Pa = 134dB

Om het geluidsdrukniveau, uitgedrukt in decibel, te berekenen wordt de volgende formule gebruikt:

$$L_p = 10 * \log \left(\frac{p_{eff}^2}{p_0^2} \right) (dB).$$

p_{eff} Waargenomen geluidsdruk (Pa)
 p_0 Geluidsdruk bij de gehoordrempel. (Pa)
 (7)(8)

Reflectie, transmissie en absorptie:

Wanneer geluid op een vlak valt gebeuren er drie dingen met het geluid. Een deel van het geluid wordt gereflecteerd en een deel van de energie wordt overgedragen aan het materiaal. Dit materiaal wordt dan in trilling gebracht. Een deel van deze geluidenergie wordt hierdoor geabsorbeerd en deel brengt de lucht achter het materiaal weer in trilling (transmissie).

De geluidabsorptiecoëfficiënt is het deel van het geluid dat niet gereflecteerd wordt. De berekening hiervoor luidt als volgt:

$$\alpha = \frac{I_i - I_r}{I_i} = \frac{I_a + I_d}{I_i}$$

α = Absorptiecoëfficiënt
 I_i = Invallende geluidenergie
 I_r = Gereflecteerde energie
 I_a = Geabsorbeerde energie
 I_d = Doorgelaten energie

De werkelijke geluidabsorptiecoëfficiënt is echter afhankelijk van veel meer factoren, namelijk van materiaal, dikte, frequentie, invalshoek en bevestiging van het materiaal.

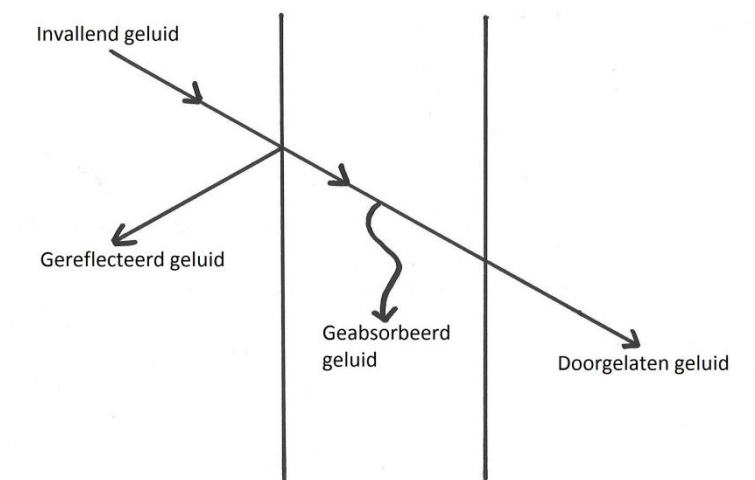


Fig. 2: Grafische weergave van de effecten van geluid dat een oppervlakte raakt.

Frequentie

De frequentie van geluid maakt inzichtelijk wat de toonhoogte van het geluid is. De frequentie is het aantal trillingen per seconde (Hz). Veel trillingen per seconde betekent een hoog geluid en weinig trillingen een laag geluid.

Het menselijk gehoor is bij geboorte in staat om frequenties tussen 20 en 20.000 Hz te horen. Verder in het leven neemt het bereik van het gehoor af. De bovengrens kan dan dalen tot 15.000 Hz. Bij slechthorendheid is het niet direct zo dat het bereik van het gehoor minder wordt. Het is namelijk de gehoordrempel die bij deze mensen hoger wordt. Dit gebeurt voornamelijk op de hogere frequenties waardoor zij deze tonen minder goed waarnemen.

Geluid op verschillende frequenties reageert anders op de omgeving. Vandaar dat geluid opgedeeld is in octaafbanden. Bij een octaafband is de hoogste frequentie 2x zo groot als de laagste frequentie. Om de middenfrequentie te weten, en hiermee ook de frequentie die het octaaf zijn naam geeft wordt de wortel uit het product van de hoogste en laagste frequentie berekend, in formulevorm:

$$f_m = \sqrt{f_h * f_l}$$

f_m	Middenfrequentie (Hz)
f_h	Hoogste frequentie (Hz)
f_l	Laagste frequentie (Hz)

Het hoorbare geluidsgebied bevat de octaafbanden 32; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 en 16000 Hz.

Octaafbanden kunnen weer verder onderverdeeld worden in tertsbanden. De octaafbanden worden dan in 3 delen opgedeeld.

3. Inleiding

Om een idee te krijgen van geluidbelastingen in de gebouwde omgeving zonder deze in de werkelijke omgeving te meten zijn er programma's ontwikkeld om dit te berekenen.

Bij DPA Cauberg Huygen maken zij gebruik van Geomilieu om de geluidbelasting te berekenen die op gevels valt. In veel gevallen is Geomilieu een programma die de werkelijke waardes redelijk goed benadert. Er zijn echter gevelvarianten die niet precies berekend kunnen worden. Dit is het geval wanneer er horizontale vlakken berekend moeten worden, zoals balkons.

Om deze varianten nauwkeuriger te kunnen berekenen is het oog gevallen op Odeon.

Odeon bleek namelijk een programma te zijn dat in theorie geschikt kan zijn om deze geveltypes te berekenen.

Odeon is een programma dat voornamelijk gebruikt wordt in de zaalakoestiek en hierdoor niet rechtstreeks toepasbaar op een buitensituatie. Dit programma heeft wel als voordeel dat het in tegenstelling tot Geomilieu wel complexere vormen kan modelleren en berekenen.

In dit onderzoek zal onderzocht worden wat de precieze verschillen tussen Odeon en Geomilieu zijn en wat wel en wat niet kan met beide programma's. Allereerst zal de vraag beantwoord worden of de waardes die Odeon geeft wel betrouwbaar zijn.

Om dit te doen zal er een model opgezet worden dat zowel door Geomilieu als door Odeon berekend kan worden.

Nadat er vastgesteld is hoe er met Odeon gewerkt moet worden om de juiste uitkomsten te krijgen zullen ingewikkelder gevelvormen onderzocht worden. Ter validatie zullen de berekende waardes vergeleken worden met de uitkomsten van de vlakke gevel. Er zal verklaard worden of de uitkomsten in de lijn van verwachting liggen. Indien dit niet het geval is zal onderzocht worden waardoor dit komt en of eventueel de invoergegevens aangepast moeten worden.

De uitkomsten uit Odeon zullen vergeleken worden met de huidige bepalingmethode. Naast Geomilieu wordt hiervoor ook gebruik gemaakt van het handboek: "herziening rekenmethode geluidwering gevels". Hierin zijn correctiefactoren te vinden voor het bepalen van de geluidbelasting op de gevel.

Aan het eind van het onderzoek kan aangetoond worden hoe en waarvoor Odeon gebruikt kan worden en wat de toegevoegde waarde hiervan is op de huidige methode.

4. Waarom een nieuwe rekenmethode

Geomilieu kan redelijk precies het geluidniveau op vlakke gevels berekenen en met behulp van correctiefactoren en benaderingen een idee geven van het geluidniveau bij andere gevelvormen zoals balkons en galerijen.

Wat is de toegevoegde waarde die Odeon kan leveren?

Met Odeon kunnen verschillende gevelvormen berekend worden. Onderdelen als plafonds en balustrades worden meegenomen in de berekeningen. In Geomilieu worden zelfs de daken, die wel in het model staan, niet meegenomen in de berekening.

De uitkomsten uit Odeon zullen hierdoor echter niet altijd resulteren in een lager geluidniveau dan wanneer deze bepaald wordt met Geomilieu. Het kan dus voorkomen dat er hierdoor extra toepassingen nodig zijn om aan de geluideisen te voldoen.

Het grote voordeel van Odeon is dat een preciezere berekening mogelijk is. Hierdoor is inzichtelijk te maken waar de geluidbelasting hoger (of juist lager) uitvalt dan verwacht. Ook is het mogelijk om te onderzoeken wat de meest geschikte oplossingen zijn voor het verlagen van het geluidniveau in die specifieke situatie.

Enkele gevelvormen waarvoor Odeon geschikt kan zijn om te berekenen:

Balkons:

Balkons hebben invloed op het geluidniveau op de gevel door de afschermende werking van het balkon. Balkons kunnen zowel naar binnen als naar buiten liggen. De vloer zal voornamelijk geluid tegenhouden terwijl het plafond juist geluid naar de gevel reflecteert.



Fig. 3: Balkons aan een gevel. (10)



Fig. 4: Naar binnen liggend balkon (11)

Galerij

Een andere veelvoorkomende situatie op flatgebouwen is de galerij. In het model en bij de berekeningen kan dit gezien worden als een balkon dat over de hele lengte van de gevel loopt.



Fig. 5: Galerij (12)

Loggia's en overkappingen:

Soms ligt een deel van de gevel verder naar binnen, zoals het geval is bij loggia's. Geluid kan hierdoor tegen het plafond en de vloer door blijven reflecteren, wat voor een hoger geluidsniveau kan zorgen. Dit effect kan ook plaatsvinden bij grote overkappingen (te denken aan een overkapping van meerdere meters over een groot deel van de gevel). Kleinere overkappingen kunnen plaatselijk voor een hogere geluidbelasting zorgen. Als onder een dergelijke overkapping een ventilatierooster ligt kan dit betekenen dat er op deze plek meer geluid door de gevel gaat.



Fig. 6: Loggia bij een kapel (13)

2^e huid façade

Een 2^e huid façade is een gevelvorm die ook gewoon in Geomilieu te berekenen is door het plaatsen van een geluidscherm.

Niet alle 2^e huid façades beginnen echter op de grond. Sommige starten pas op hogere verdiepingen of beslaan maar een deel van het gebouw. In zulke gevallen kan Odeon wel eens uitkomst bieden.



Fig. 7: 2^e huid façade, Vitens Utrecht (14)

5. Huidige bepalingsmethode

Momenteel wordt er gebruik gemaakt van Geomilieu om de meeste situaties te modelleren en te berekenen. Voor afwijkende en veel voorkomende gevelvormen wordt er ook gebruik gemaakt van correctiefactoren uit het handboek: “herziening rekenmethode geluidwering gevels” uitgegeven door de ministerie van volkshuisvesting, ruimtelijke ordening en milieubeheer.

a. Geomilieu

Geomilieu is een softwareprogramma ontwikkeld door DGMR voor het berekenen en in kaart brengen van milieubelastingen zoals geluid en de luchtkwaliteit veroorzaakt door verkeer en industrie.

Geomilieu geeft een voorspelling van wat er in de werkelijke situatie zal gebeuren. Door de invoering van verschillende gegevens (intensiteit verkeer, absorptie van de grond, geografische informatie, etc.) en eisen opgesteld vanuit de overheid wordt de geluidbelasting bepaald.

Afhankelijk van de geluidbron zijn er verschillende rekenmodules opgezet waar Geomilieu mee rekent.

De meestgebruikte rekenmodules zijn:

- Industrielawaai (IL)
- Wegverkeerslawaai (RMW)
- Railverkeerslawaai (RMR)

Naast gebouwen kan ook de omgeving gemodelleerd worden. Zo kunnen hoogteverschillen en bodemeigenschappen toegevoegd worden.

Geomilieu maakt gebruik van de wettelijk voorgeschreven rekenmethode voor de simulatie. Geomilieu is daardoor een wettelijk goedgekeurd programma voor het maken van deze berekeningen. (16)

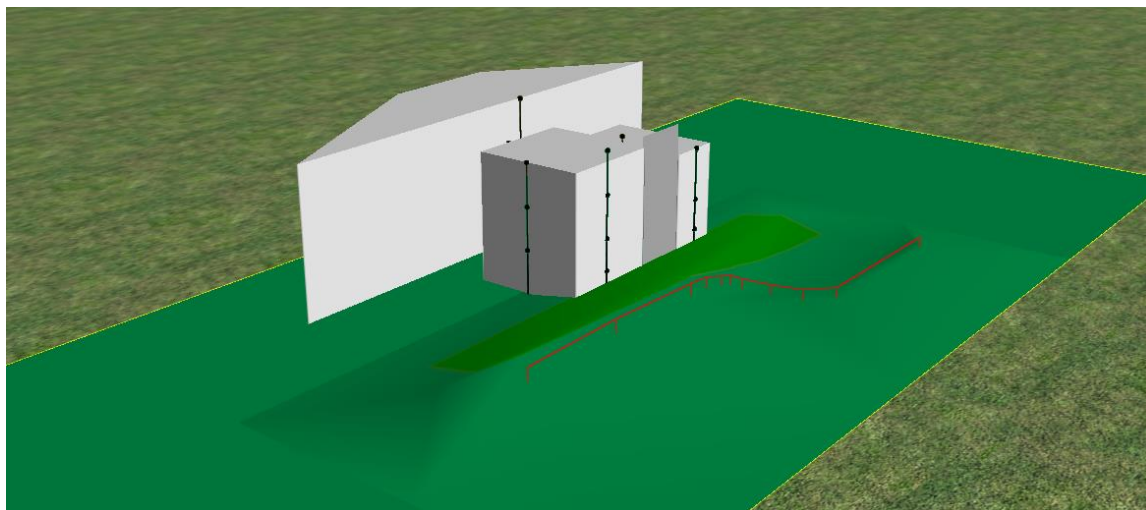


Fig. 8: 3D-weergave in Geomilieu

b. Rekenmethode

Met de “rekenmethode voor geluidwering gevels” kan het geluidniveau op de gevel van veel voorkomende gevelvormen bepaald worden. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de gevelstructuurcorrectie C_g .

Allereerst wordt het geluidniveau berekend alsof de gevel vlak is. Hierna wordt door middel van correctiewaarden een benadering gedaan op de werkelijke geluidbelasting.

Zo zijn er correctiewaarden voor overstekken, galerijen en verschillende type balkons. Daarnaast is de correctiewaarde afhankelijk van de absorptiecoëfficiënt van het plafond en van de zichtlijn (invalshoek van het geluid en de plaats waar het geluid de gevel raakt).

Een open galerij met een reflecterend plafond en een trefpunt (hoogte vanaf de galerij waarop het geluid de gevel raakt) van lager dan 1,5m geeft een correctie van -1dB. Een negatief correctiegetal betekent dat het geluidniveau op de gevel toeneemt. In dit geval betekent dit dat er 1 dB opgeteld moet worden bij het niveau van de vlakke gevel.

c. De sterktes en zwaktes van de huidige methode

De sterktes en zwaktes van de huidige methode zijn:

Sterktes:

- Geomilieu is ontworpen om het geluidniveau in een buitenmilieu te bepalen. Dit is terug te vinden in alle achterliggende berekeningen en correctiefactoren die toegepast worden.
- Naast het gebouw kan ook de omgeving gemodelleerd worden.
- Simuleren van werkelijke situaties. Een dag kan bijvoorbeeld opgedeeld worden in meerdere periodes. Bij een weg die als lijnbron is gemodelleerd kan per periode een andere intensiteit (aantal voertuigen per uur) worden ingevoerd wat zorgt voor een verschil in geluidvermogen per periode.
- Geomilieu is een wettelijk goedgekeurd rekenprogramma.
- De rekenmethode voor geluidwering gevels geeft een snel beeld van de verwachte invloed van verschillende gevelvormen,

Zwaktes:

- Geomilieu kan alleen verticale vlakken berekenen.
- Onderdelen die gemodelleerd worden kunnen niet gekoppeld worden. Een geluidscherm kan bijvoorbeeld nooit aan een gebouw gekoppeld worden. Zelfs als deze gedeeltelijk in het gebouw ligt rekent Geomilieu beide als losse onderdelen.
- Geomilieu bevat geen koppeling tussen binnen en buiten. De simulatie houdt op bij de gevel.
- De Gevelstructuurcorrectie uit de rekenmethode voor geluidwering gevel is niet altijd even nauwkeurig. De verandering in de geluidbelasting is namelijk van veel meer factoren afhankelijk, zoals het formaat van het geveldeel, de positie op de gevel en het materiaal.

6. Odeon

a. Wat is Odeon

Odeon is een programma ontwikkeld door The Odeon Company uit Denemarken dat gebruikt wordt in de zaalakoestiek en dan voornamelijk voor concertzalen. Met dit programma is dan te onderzoeken of het geluid overal in de ruimte goed te horen is en zelfs hoe dat geluid klinkt. Odeon kan zowel het geluidniveau als de nagalmtijd voorspellen. Daarnaast is het ook mogelijk om de transmissie tussen ruimtes te berekenen.

In Odeon wordt het effect van alle vormen, met uitzondering van ronde vormen, en materialen meegenomen in de berekening. Ronde onderdelen worden als meerdere rechte vlakken gemodelleerd en krijgen het materiaaltype “fractional” toegewezen. Op deze manier kan het effect van ronde onderdelen alsnog benaderd worden.

Odeon maakt gebruik van 2 technieken om het geluidniveau te bepalen, namelijk de zogeheten “Image Source Method” (voor de eerste reflecties) en ray-tracing (voor latere reflecties). Bij de “Image Source Method” worden alle mogelijke reflectiepaden die het geluid aflegt van bron naar ontvanger berekend. Bij ray-tracing wordt het geluid als een straal weergegeven die vanaf de bron alle kanten opgestuurd wordt.

Het opzetten van een model in Odeon

Omdat Odeon bedoeld is voor zaalakoestiek en niet voor buitenruimtes kunnen modellen niet rechtstreeks gebruikt worden. Berekeningen moeten namelijk plaats vinden in een afgesloten ruimte. Vandaar dat er een doos om het model gemodelleerd moet worden om Odeon het idee te geven dat het een binnenruimte is.

Het model zelf kan het best met Google Sketchup gemaakt worden. Dit is verreweg de eenvoudigste en betrouwbaarste methode. Met behulp van een plug-in in Sketchup kan het model geëxporteerd worden als Odeon bestand. Het model kan ook met Autocad gemaakt worden. Dit kan echter problemen geven bij het importeren van het .dxf bestand. Odeon kan namelijk maar enkele type vlakken inlezen. Hierdoor kan veel informatie verloren gaan en ontstaat er een incompleet model.

Om er zeker van te zijn dat een model gesloten is wordt er een bron in het gebouw geplaatst. De functie ray-tracing laat alle mogelijke wegen zien die het geluid vanaf dat punt aflegt. Als (bijna) alle lijnen in het gebouw blijven is deze goed gemodelleerd.

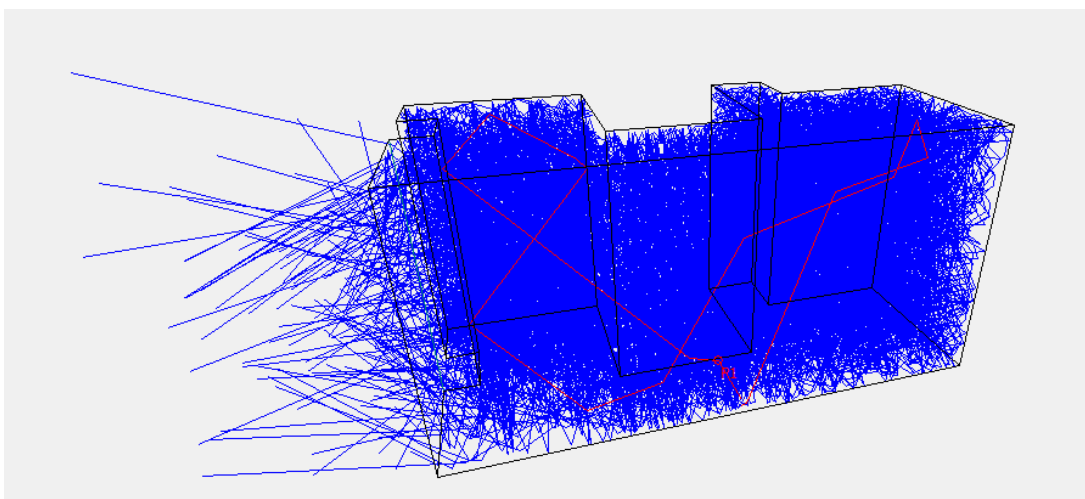


Fig. 9: Model in Odeon met 1 ontbrekende wand

Om naderhand onderdelen van het model aan te passen, bijvoorbeeld om de balustrade rond balkons te verhogen, kan het ‘text-based’ modelleer programma genaamd Odeon Editor gebruikt worden. Dit is standaard gekoppeld aan Odeon.

b. De sterktes en zwaktes van Odeon

Omdat Odeon, in tegenstelling tot Geomilieu, officieel niet bedoeld is voor buitensituaties brengt dit enige tekortkomingen met zich mee. Odeon heeft daarentegen ook verschillende voordelen.

Sterktes:

- Een kracht van Odeon is dat bijna alle mogelijke vormen meegenomen worden. Het is daardoor in staat de effecten van onderdelen zoals balkons te berekenen.
- Heeft een bibliotheek vol materialen die aan vlakken gekoppeld kunnen worden. Dit zal een realistischer uitkomst geven, omdat een materiaal niet op elke octaafband evenveel absorbeert.
- De transmissie door wanden kan berekend worden.
- Invoeren van rekenopdrachten. Per berekening kan aangegeven worden welke bronnen en welke ontvangers er in een berekening meegenomen worden. Hierdoor kunnen meerdere berekeningen in 1 model gemaakt worden.
- De weg die het geluid aflegt kan gevisualiseerd worden en zelfs worden beluisterd.

Zwaktes:

- Odeon is officieel bedoeld voor binnensituaties. Voornamelijk op afstanden groter dan 20m kan dit voor onnauwkeurigheden zorgen. Zie hiervoor hoofdstuk 6.a voor een verdere uitleg.
- Deze verschillen ontstaan onder ander door de correctiefactoren die in deze gevallen wel in Geomilieu worden meegenomen, zoals de bodemcorrectiefactor en de meteocorrectieterm.
- Door de ray-tracing methodiek die Odeon voor zijn berekeningen gebruikt bereikt in sommige gevallen te weinig informatie de ontvanger. Doordat slechts een klein deel van de lijnen de ontvanger bereikt, ontvangt deze in sommige gevallen te weinig informatie voor een nauwkeurige berekening. In het hoofdstuk validatie komt dit terug en wordt hier een oplossing voor gegeven.

7. Validatie

a. Vlakke wand

Om te zien op welke punten Odeon en Geomilieu verschillen of juist overeenkomen is er een model opgezet die beide programma's kunnen berekenen. Dit is ook om te zien of Odeon wel geschikt is om voor dit soort simulaties gebruikt te worden.

De simpelste gevelvorm en ook degene die Geomilieu het best kan berekenen is een enkele vlakke gevel. Vandaar dat deze gevelvorm als eerste test zal dienen. Als de uitkomsten van Odeon overeenkomen met Geomilieu betekent dit dat Odeon een vergelijkbare methode is om het geluidniveau op vlakke gevels te berekenen.

In het model zijn de metingen verricht op een gevel met afmetingen van 9 meter hoog en 18 meter breed.

Op deze gevel zijn 6 ontvangers aangebracht. Deze bevinden zich op 1 meter van beide hoeken en in het midden bij een hoogte van 4 en 8 meter.

Er wordt steeds gemeten met 1 puntbron. De puntbronnen worden geplaatst op een afstand van 5, 8, 15, 20, 50 en 100 meter, op een hoogte van 1 en 5 meter. Er is gerekend bij een volledig reflecterende en bij een volledig absorberende bodem.

Het geluidvermogen van de bron is per octaafband ingevoerd. De octaafbanden waarmee gerekend wordt zijn: 63Hz, 125Hz, 250Hz, 500Hz, 1000Hz, 2000Hz, 4000Hz en 8000Hz. Per octaafband wordt 100dB ingevoerd. Met de waarde van alle octaafbanden bij elkaar opgeteld gaf dit een totaal geluidvermogen van 109dB.

In onderstaande figuren is weergegeven hoe het model er in Geomilieu uit ziet.

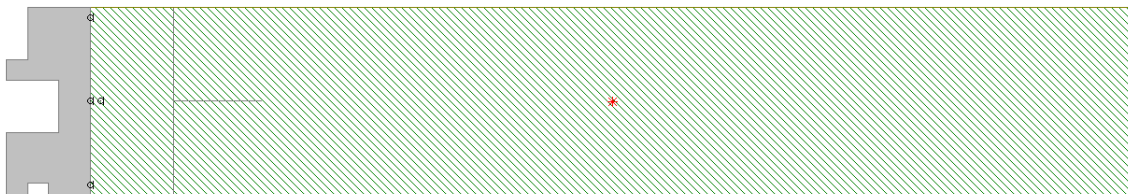


Fig. 10: bovenaanzicht eerste vergelijkingsmodel in Geomilieu

In het bovenstaande figuur is het bovenaanzicht van het model in Geomilieu weergegeven. De vorm links geeft het gebouw weer en de rondjes bij het gebouw staan voor de ontvangers. Het groene vlak is een bodemgebied, hier kan de reflectie van de bodem ingesteld worden.

De rode stip op het bodemgebied staat voor een puntbron. De lijnen in het groene vlak zijn hulplijnen.

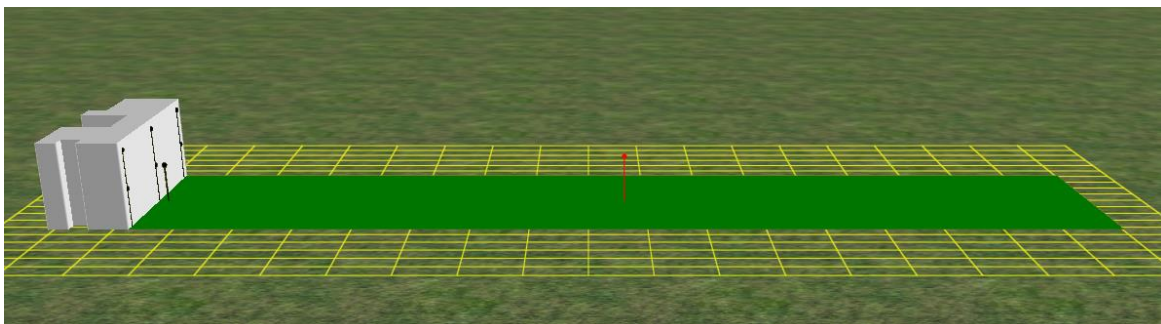


Fig. 11: 3D-weergave eerste vergelijkingsmodel in Geomilieu

In de 3d-weergave is goed te zien wat de hoogte van het gebouw, de ontvangers en de puntbron is. In dit geval staat de puntbron op 5 meter hoog.

Het model is ook gemodelleerd in Sketchup en daarna in Odeon geïmporteerd. De bronpunten en ontvangers zijn op dezelfde plaats gemodelleerd en hebben hetzelfde bronvermogen.



Fig. 12: Aanzicht eerste vergelijkingsmodel in Odeon

Een verschil tussen Geomilieu en Odeon is dat je bij Odeon alle bronnen allemaal tegelijk kan plaatsen. Als dit in Geomilieu gedaan zou worden dan wordt het vermogen van alle bronnen meegenomen. In Odeon kunnen er verschillende rekenopdrachten aangemaakt worden. Per opdracht wordt aangegeven welke bronnen meegenomen worden in de berekening.

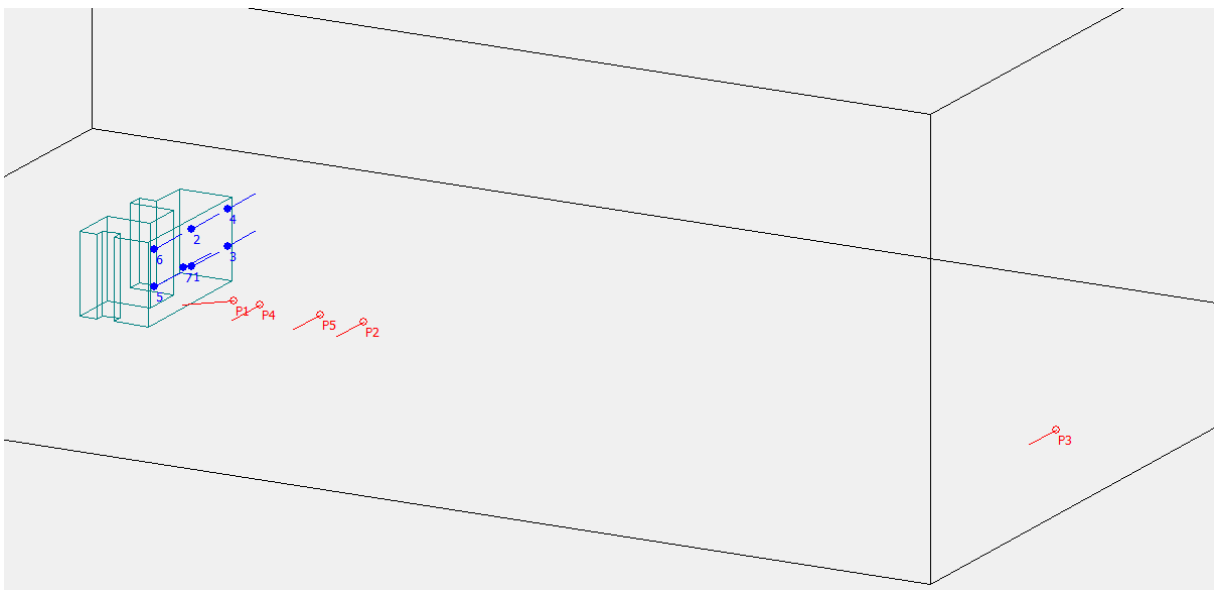


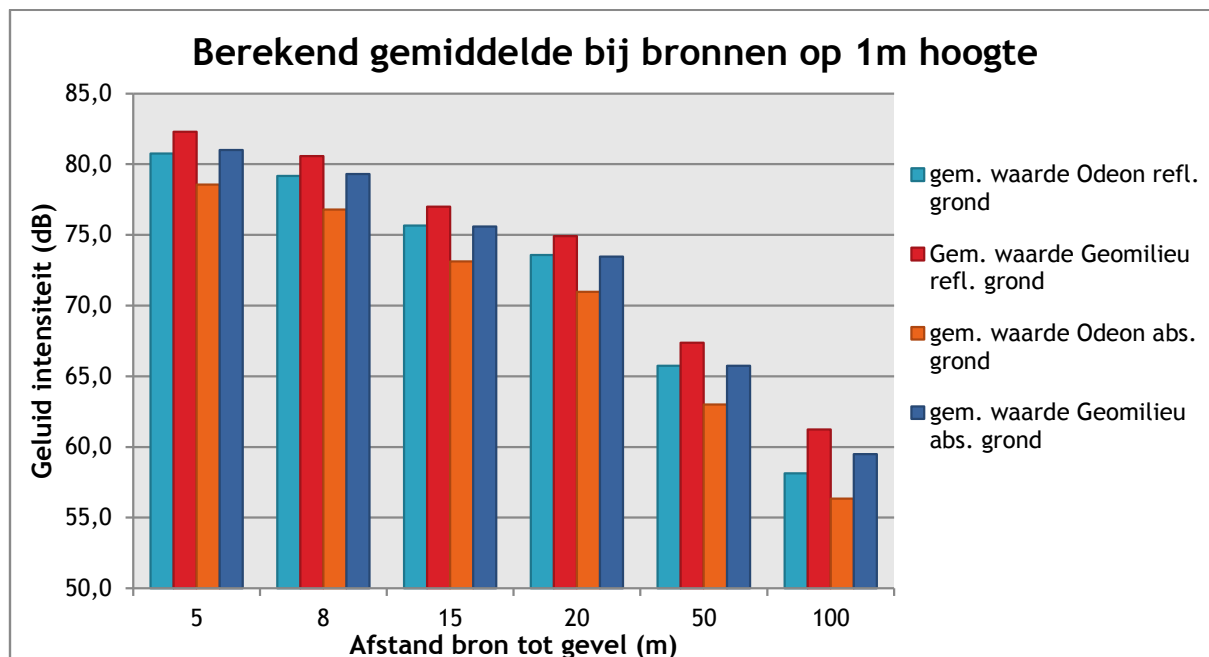
Fig. 13: 3D-weergave eerste vergelijkingsmodel in Odeon

In de 3D-weergave is goed te zien dat er een doos om het model is gemodelleerd. Alle wanden, met uitzondering van de bodem, moeten volledig absorberend gemaakt worden. Hierdoor wordt het geluid dat eigenlijk in de omgeving verdwijnt niet terug gereflecteerd. De grootte van de doos heeft enigszins invloed op de uitkomsten. Uit tests is gebleken dat de doos een voldoende grote afmeting moet hebben, aan alle zijden minimaal 100m vanaf de gevels.

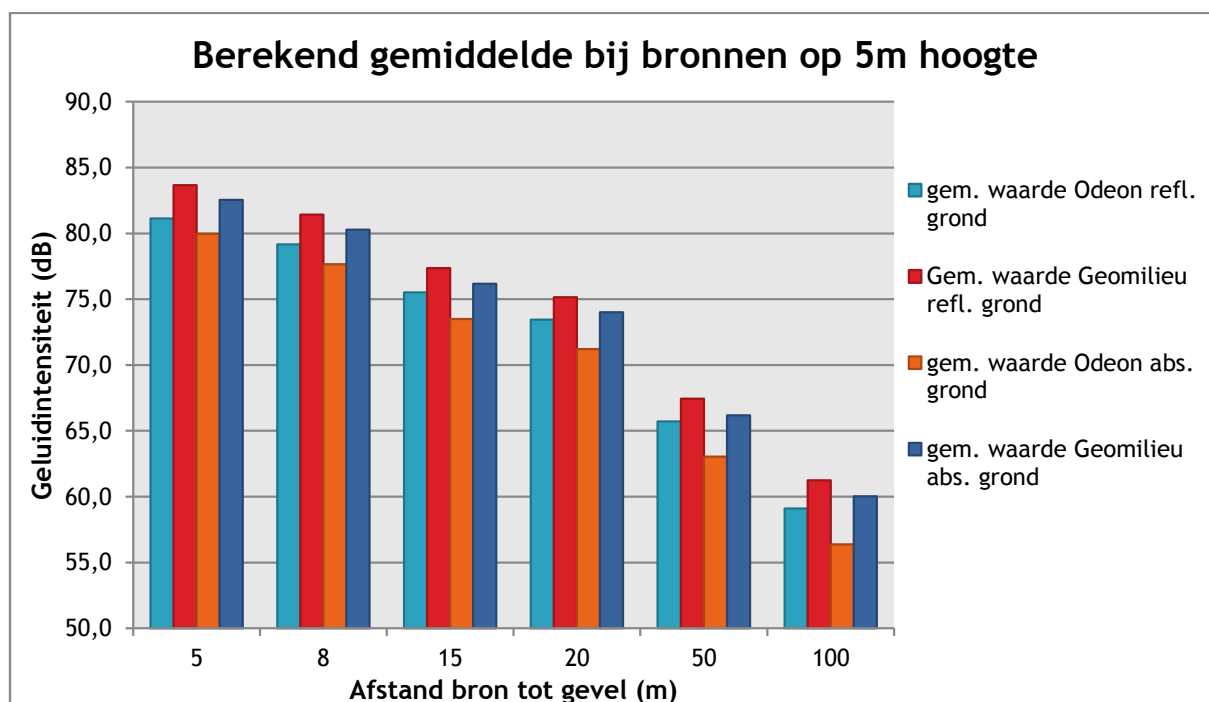
Uitkomsten:

De uitkomsten uit Odeon En Geomilieu zijn naast elkaar gezet. Hieruit blijkt dat Geomilieu in alle gevallen hoger uitvalt. Het verschil wordt ook steeds groter naarmate de afstand tussen de bron en ontvanger groter wordt.

Hieronder is weergegeven wat de gemiddelde geluidbelasting op de gevel is in Geomilieu en Odeon. De eerste grafiek geeft de uitkomsten weer bij de bronnen op 1 meter hoogte. In de tweede grafiek staan de gemiddelden van de bronnen op 5 meter hoogte.

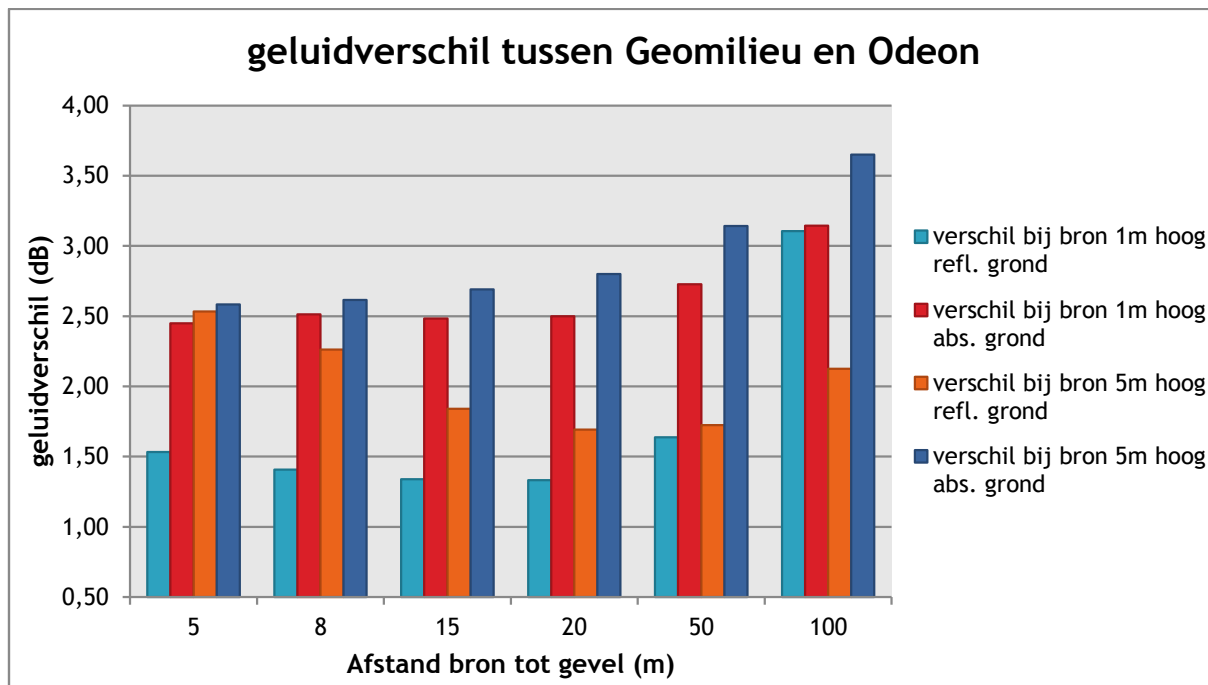


Grafiek 1: Gemiddelde berekende geluidbelastingen op de gevel bij bronnen op 1 meter hoogte



Grafiek 2: Gemiddelde berekende geluidbelastingen op de gevel bij bronnen op 5 meter hoogte

Het verschil ligt tussen de 1 en 4dB waarbij Geomilieu hoger is dan Odeon(zie grafiek 3). Dit komt onder andere door het ingevoerde vermogen. Deze is op alle octaafbanden gelijk. Het is bekend dat Geomilieu minder goed is in het rekenen met lage frequenties. Dit kan een deel van het verschil verklaren. Voor een realistischer beeld zal er daarom in de volgende tests een meer natuurlijk geluidsspectrum gebruikt worden, namelijk dat van een vrachtwagen.



Grafiek 3: Verschil in geluidbelasting tussen Odeon en Geomilieu

De reden dat het verschil groter wordt bij grotere afstanden tussen bron en ontvanger komt doordat in Geomilieu enkele correctiefactoren meegenomen worden die niet in Odeon zitten. De factoren die op een grotere afstand gaan meespelen zijn de bodemcorrecties en de zogeheten meteocorrectieterm.

Voor het bepalen van de bodemcorrectie wordt de bodem onderverdeeld in 2 of, bij grotere afstanden, in 3 delen. Namelijk het brongebied, ontvangergebied en middengebied.

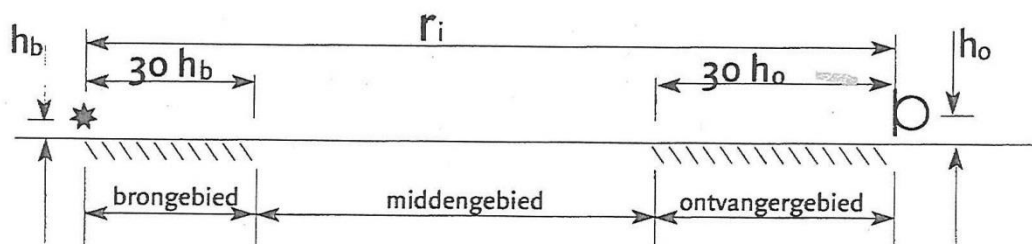


Fig. 14: Onderverdeling van bodemgebieden

De lengte van de gebieden worden bepaald aan de hand van de hoogte van de bron of ontvanger. De lengte van het gebied is 30 keer de hoogte. Het middengebied is de ruimte die nog overblijft. Overlappen het brongebied en ontvangergebied elkaar dan is er geen middengebied. De correctiefactor verschilt per octaafband.

De berekende waardes zullen nooit volledig overeenkomen met de werkelijkheid. In een buiten omgeving heeft het weer bijvoorbeeld invloed op de geluidsoverdracht. Om dit te corrigeren bestaat de meteocorrectieterm C_m .

Bij afstanden vanaf circa 20m vindt er een correctie plaats bepaald met de formule:

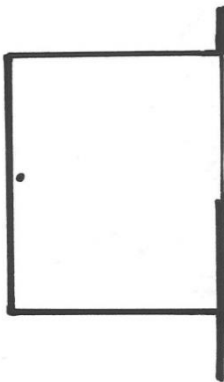
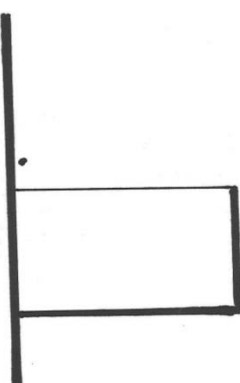
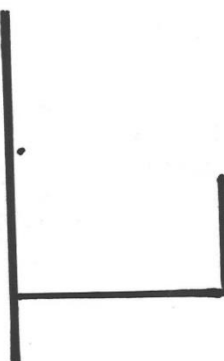
$$5 - 50 * \left(\frac{h_b + h_o}{r_i} \right)$$

h_b	Hoogte van de geluidbron boven de grond
h_o	Hoogte van de ontvanger boven de grond
r_i	afstand bron tot ontvanger

Vandaar dat de afstand van bron tot gevel niet te groot kan zijn (tot circa 20m) zodat deze correctiegetallen niet meegenomen hoeven te worden en dus geen invloed hebben op de uitkomst.

b. Onderzoeken van complexere gevelvormen

Om te onderzoeken of Odeon betrouwbare waardes geeft zullen verschillende gevelvormen onderzocht worden.

Gevelvorm 1: Vlakke Gevel <i>Doel:</i> Door een vlakke gevel met beide programma's te berekenen kan er naderhand gezegd worden of Odeon überhaupt wel geschikt is voor geluidberekeningen op de gevel.	
Gevelvorm 2: Naar binnen liggend balkon <i>Doel:</i> Om te zien of Odeon geschikt is voor andere gevelvormen wordt een naar binnen liggend balkon gesimuleerd. <i>Varianten:</i> Er worden 3 balkons op verschillende hoogtes gesimuleerd. De hoogte van de balustrade wordt gevarieerd.	
Gevelvorm 3: Uitstekend balkon <i>Doel:</i> Wanneer de uitkomsten uit gevelvorm 2 aannemelijk blijken te zijn kan getest worden of dit ook geldt voor andere gevelvormen. <i>Varianten:</i> 2 balkonafmetingen en verschillende balustradehoogtes.	
Gevelvorm 4: Galerij <i>Doel:</i> Extra test voor het testen van Odeon <i>Varianten:</i> variëren van balustradehoogte	

c. Gelijkstellen van de rekenmethodes

Na de eerste tests is bekend wat de invoerwaardes moeten zijn om bij de vervolgtests betrouwbare waardes te krijgen. Voor alle volgende tests is een nieuw model opgezet dat overeenkomt met veel standaard situaties.

Opzet

Het nieuwe model bevat de volgende gegevens:

- *Afmetingen 100x10x30 meter*
- *2 lijnbronnen op 1 meter hoogte:*
 - o *Op 10 meter afstand*
 - o *Op 20 meter afstand*
- *Bronnen modelleren als lijnbron*
 - o *Bronpunten 10 meter vanaf beide hoeken van gebouw*
 - o *Bronpunten om de 5 meter*
- *Grond reflecterend*
- *Reflectie van de gevel op 80%*

Lijnbronnen:

In buitensituaties wordt het geluid in veel gevallen veroorzaakt door een nabij gelegen weg. Omdat het geluid van een weg niet vanuit 1 punt komt, maar uitgespreid ligt over een langere afstand wordt dit gesimuleerd als lijnbron.

In de beschikbare versie van Odeon is het niet mogelijk om een lijnbron te modelleren. Meerdere puntbronnen op een rij mogen echter ook beschouwd worden als lijnbron.

Bij lijnbronnen wordt in de meeste gevallen met een vermogen per meter gerekend. Om deze reden moet het vermogen van de puntbronnen omgerekend worden naar een vermogen per meter om dit daarna in Geomilieu in te kunnen voeren.

In Geomilieu kan ook een totaal vermogen ingevuld worden. Dit wordt dan automatisch verrekend naar een vermogen per meter

Om het totale geluidvermogen te berekenen moet het vermogen van alle geluidbronnen via een logaritme bij elkaar opgeteld worden:

$$L_p = L_b + 10 \log(n)$$

L_p	Totaal geluidniveau (dB)
L_b	geluidvermogen van 1 bron (dB)
n	aantal bronnen

Om een lijnbron te modelleren waarbij de bronpunten 5 meter uit elkaar liggen zijn 21 bronpunten nodig.

Het totale geluidsniveau van alle puntbronnen bij elkaar wordt dan:

$$99,7 + 10 * \log 21 = 112,9 \text{ dB}$$

Om een betrouwbaardere meting te kunnen doen is het spectrum van een vrachtwagen als invoerwaarde gebruikt. Hiervoor moet er per octaafband een bepaalde hoeveelheid decibel afgetrokken worden. De correctiewaardes zijn:

Octaafband	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Correctie (dB)	-22	-18	-13	-8	-4	-6	-13	-23

Voordat het effect van de verschillende gevelvormen getest wordt, wordt eerst gecontroleerd of na de eerste test Odeon en Geomilieu nu wel dezelfde waardes geven wanneer een vlakke gevel berekend wordt.

Hiervoor is het volgende model opgezet:

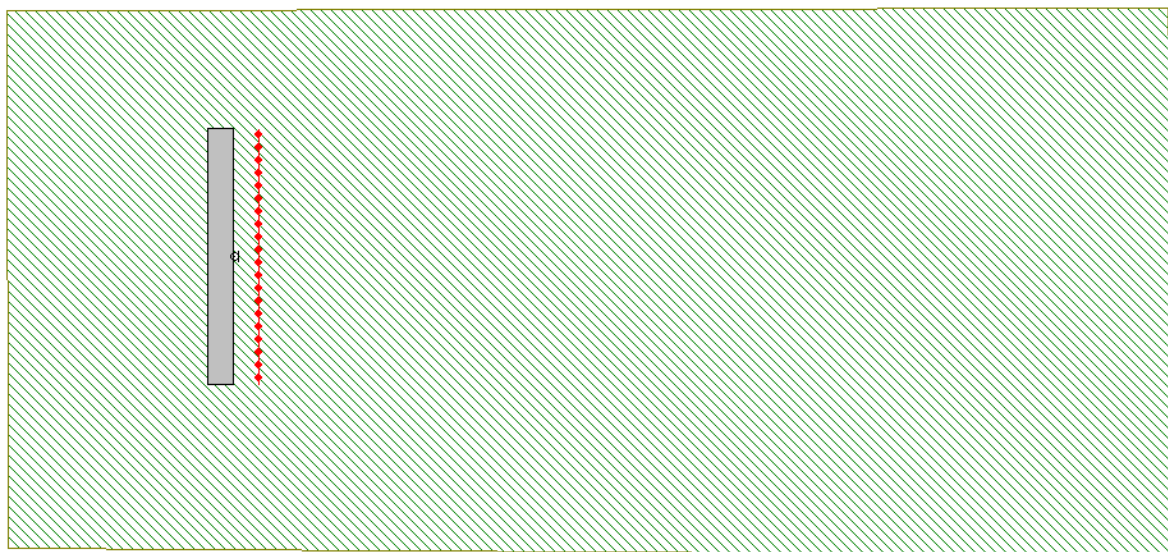


Fig. 15: Bovenaanzicht van het nieuwe model in Geomilieu

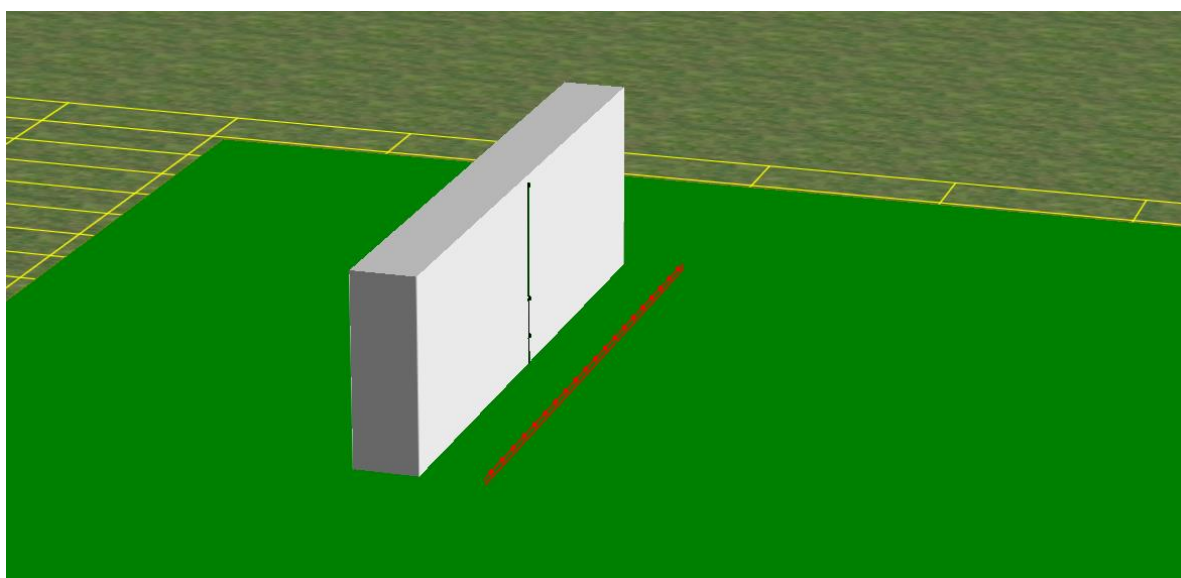


Fig. 16: 3D-weergave van het nieuwe model in Geomilieu

In Geomilieu wordt de lijnbron onderverdeeld in puntbronnen die in een vaste afstand van elkaar over de lijnbron verdeeld liggen. Het aantal punten is afhankelijk van de ingevoerde afstand tussen de punten.

In Odeon worden puntbronnen op 5 meter afstand van elkaar geplaatst. Om het model wordt een doos gemodelleerd.

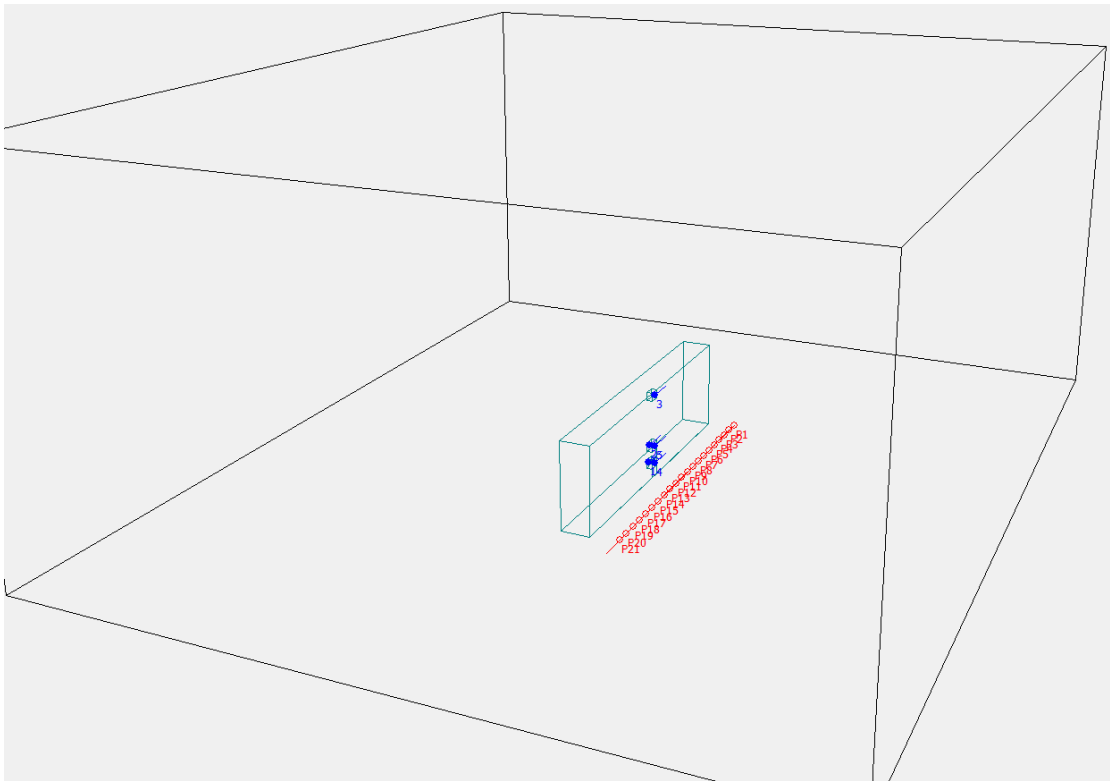


Fig. 17: 3D-weergave van het nieuwe model in Odeon

Uitkomsten

Na de berekening bleken de waarden in Odeon bijna 3dB hoger te liggen. De reden hiervoor is de reflectie van de gemeten gevel. Door de reflectie wordt de geluidintensiteit bij het meetpunt 2x zo groot. Een verdubbeling van de intensiteit betekend een toename van 3dB. Als je het geluidniveau wilt weten wat op de gevel valt dan moet de reflectie van de berekende gevel niet meegenomen worden. Om bij metingen en berekeningen hiervoor te corrigeren wordt er een correctie van 3dB toegepast. In Geomilieu, wanneer de ontvanger op 10cm van de gevel wordt geplaatst, wordt de reflectie van de berekende gevel niet meegenomen in de berekening. Dit verklaart dan ook het verschil van 3dB.

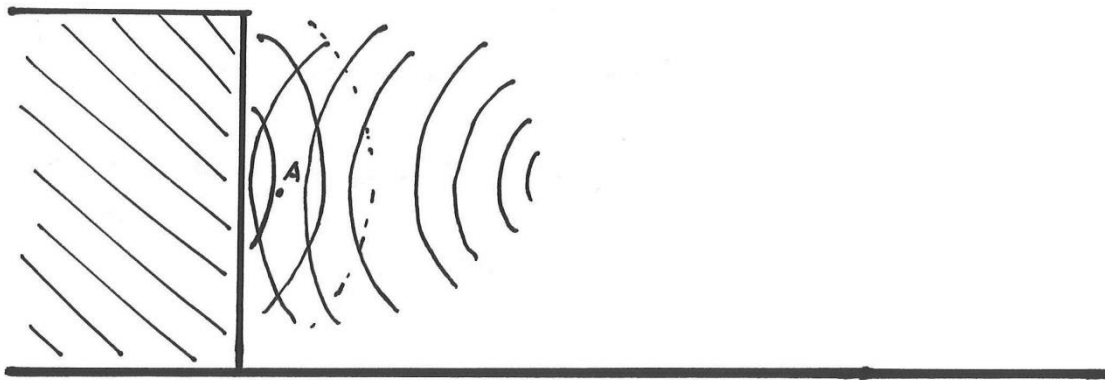


Fig. 18: Wanneer geluid op de gevel reflecteert valt er ongeveer 2x zoveel geluidenergie op ontvanger A. Dit zorgt voor een toename in het geluidniveau van 3dB

Wanneer in Odeon de gevel volledig absorberend gemaakt wordt (waardoor de reflectie van de gevel 0 is) blijkt het verschil bijna volledig te verdwijnen.

Uitkomsten van de vergelijking, wanneer de gevel in Odeon absorberend gemaakt wordt:

invoer: 100dB lijnbron op 10m afstand			
hoogte	Odeon	Geo	verschil
4,5m	78,1	78,0	0,1
10,5m	76,6	76,7	-0,1
27,5m	72,3	72,3	0,0

Tabel 1: verschil op een vlakke wand bij een lijnbron op 10m afstand

invoer: 100dB lijnbron op 20m afstand			
hoogte	Odeon	Geo	verschil
4,5m	74,7	74,5	0,2
10,5m	74,1	74	0,1
27,5m	71,4	71,4	0,0

Tabel 2: verschil op een vlakke wand bij een lijnbron op 20m afstand

Het verschil is klein en eigenlijk verwaarloosbaar. Hieruit blijkt dat ondanks dat beide programma's verschillende rekenmethodes gebruiken beide programma's in deze situatie even betrouwbaar zijn. Ondanks dit kan er voor vlakke gevels alsnog het best gebruik gemaakt worden van Geomilieu, omdat dit de berekeningen zijn waar Geomilieu voor bedoeld is.

Doordat Odeon in deze situatie overeenkomt met Geomilieu, dat gebruik maakt van de wettelijk verplichte rekenmethodes, biedt dit meer zekerheid dat de uitkomsten in andere situaties ook betrouwbaar zullen zijn.

d. Naar binnen liggend balkon

Om te onderzoeken wat het effect van verschillende gevelvormen is en of Odeon hiervoor betrouwbare resultaten geeft zal een flatgebouw met naar binnen liggende balkons worden gesimuleerd.

Gegevens van het naar binnen liggend balkon:

1. *Balkons op verschillende hoogtes:*
 - a. 3 meter met ontvanger op 4,5 meter
 - b. 9 meter met ontvanger op 10,5 meter
 - c. 27 meter met ontvanger op 28,5 meter
2. *Balkon in het midden met een breedte van 3,6 meter en een diepte van 2 meter*
3. *Balustrade van verschillende hoogtes:*
 - a. Geen balustrade
 - b. 1,2m hoog
 - c. 1,5m hoog
 - d. 2m hoog

Het is in Geomilieu niet mogelijk om balkons te modelleren. Het is wel mogelijk om het model zo op te zetten dat het de werkelijke situatie benadert. Hiervoor wordt er een inham gemaakt op de plaats waar het balkon zich bevindt. Door middel van een scherm wordt de ruimte onder het te meten balkon afgesloten.

Deze manier van modelleren betekent echter dat de balkons geen plafond hebben. Hierdoor zullen de berekende waardes lager uitvallen dan de werkelijkheid doordat er geen reflectie van het plafond meegenomen kan worden.

In “Herziening rekenmethode geluidwering gevels” jaargang '89 is voor de berekening van de geluidwering van de gevel een correctiefactor opgenomen voor verschillende gevelvormen. Zo ook voor naar binnen liggende balkons. De correctiefactor voor deze gevelvorm is 1 dB.

Odeon heeft deze beperkingen niet en kan dus zonder meer een naar binnen liggend balkon simuleren.

Wel moet er in Odeon aan gedacht worden om van het berekende geluidniveau 3dB af te trekken om te compenseren voor de reflectie van de gemeten gevel.

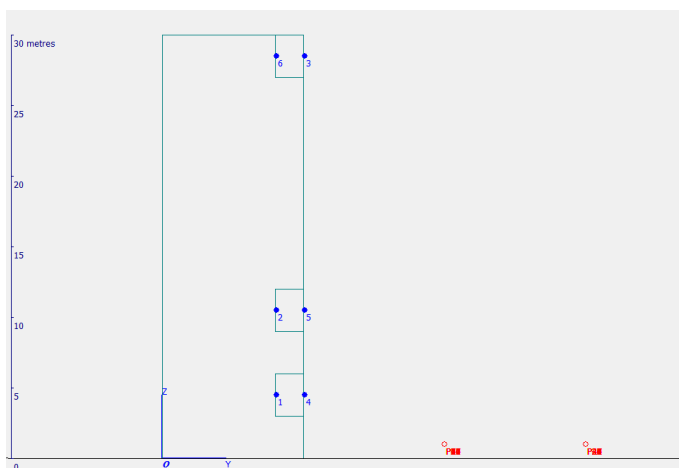


Fig. 19: Doorsnede van het model in Odeon met de 3 balkons en de lijnbronnen op 10 en 20 meter afstand.

Bij elk van de volgende tests wordt steeds de balustrade iets verhoogd. Per balustradehoogte wordt de geluidbelasting op alle 3 de balkons berekend en wordt er naar het verschil gekeken tussen de hoogtes en tussen beide bepalingmethoden.

Zie bijlage 1 voor alle uitkomsten.

Geen balustrade:

Geomilieu

Als eerste test wordt berekend wat het geluidniveau op de verschillende balkons is wanneer de balkons geen gesloten balustrade hebben. De uitkomsten van Geomilieu en Odeon zullen met elkaar vergeleken worden.

In Geomilieu worden de balkons gemodelleerd door het plaatsen van een geluidsscherm voor de inham. Per verdiepingshoogte moet dit geluidsscherm aangepast worden. In de eerste test wordt het scherm verhoogd tot het vloerniveau van de balkons.

Rekenmethode

Aan de hand van de correctiefactoren uit de rekenmethode geluidwering gevels kan benaderd worden wat de invloed is van de gevelvorm.

Hieruit volgt dat bij een volledig open en naar binnen liggend balkon er 1dB moet worden opgeteld bij de berekende waarde van een vlakke gevel.

Odeon

In tegenstelling tot Geomilieu kunnen in Odeon de balkons wel worden gemodelleert en dus preciezer worden berekend. Hieronder staat het model weergegeven dat gebruikt is voor de berekening. De balkons zijn volledig open. Met behulp van de functie “3DBillards” is inzichtelijk gemaakt hoe het geluid op de balkons valt. Hiermee kan ook onderbouwd worden waardoor een eventueel verschil tussen de balkons ontstaat.

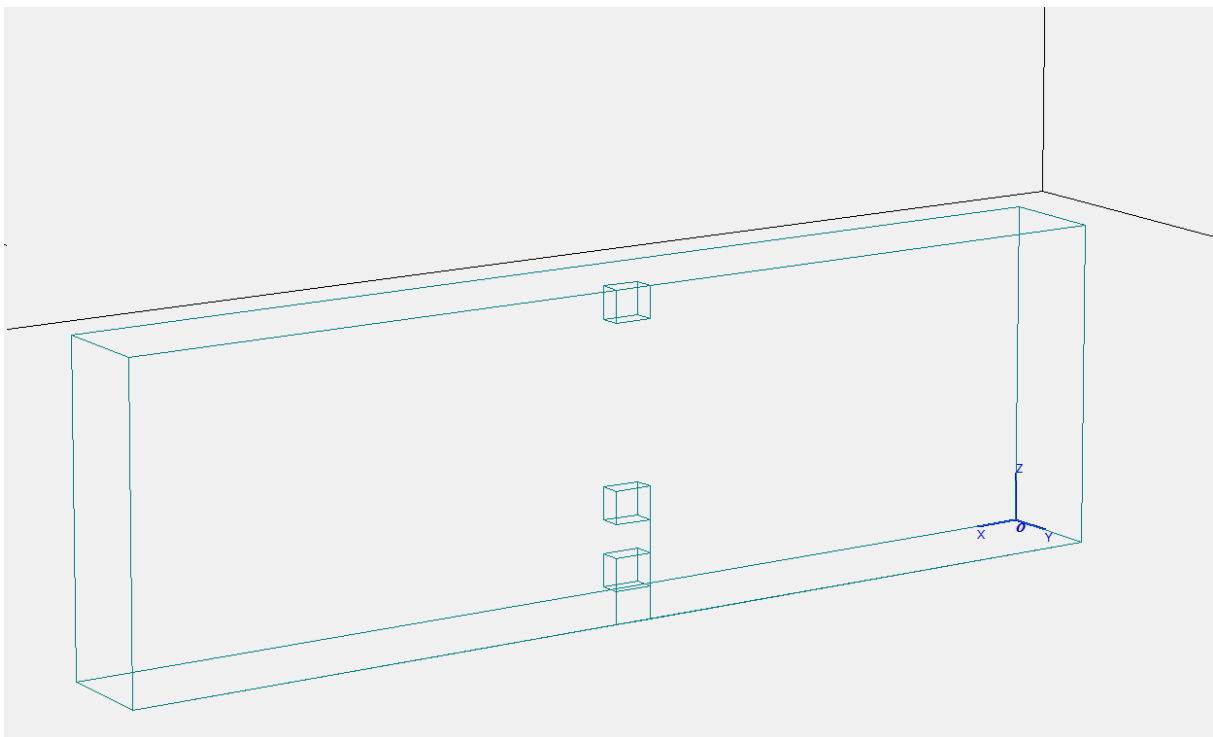
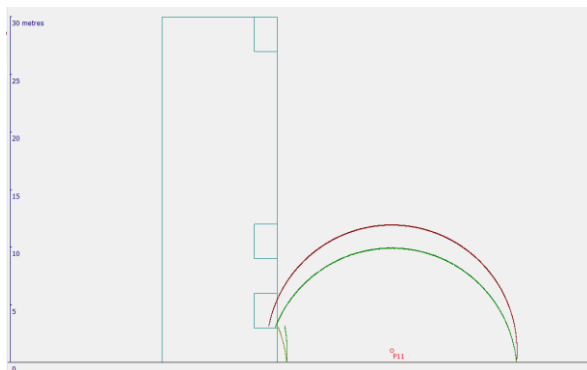
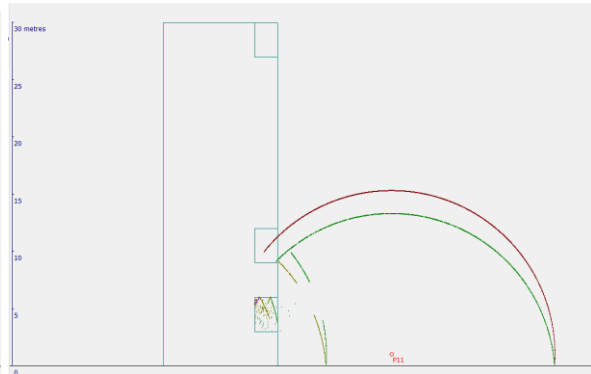


Fig. 20: 3D-weergave van het Odeon model met open balkons

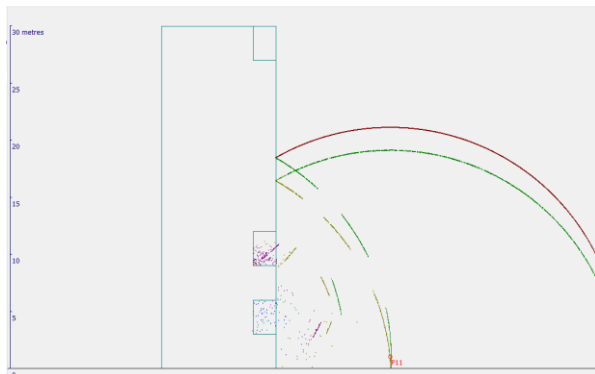
Hieronder staat stap voor stap beschreven hoe het geluid zich gedraagt wanneer het de gevel bereikt.



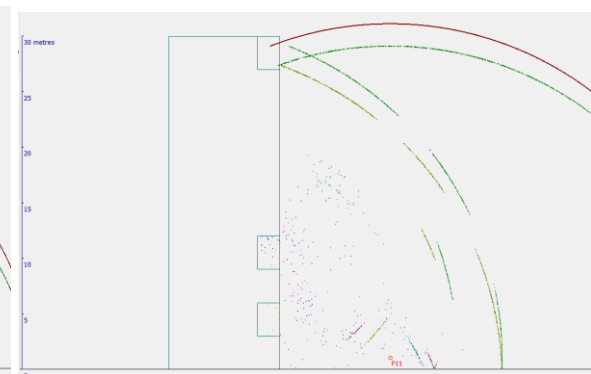
(1)



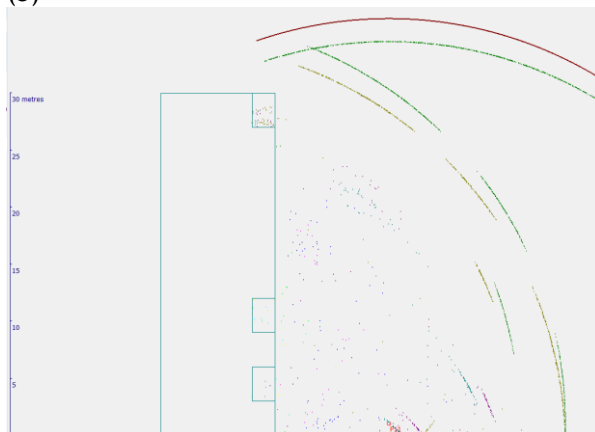
(2)



(3)



(4)



(5)

(1): Geluid valt op het eerste balkon. Het geluid komt bijna verticaal binnen en reflecteert voornamelijk tegen de gevels weer naar buiten.

(2): Het geluid bereikt het tweede balkon. Het geluid komt binnen onder een hoek van rond de 45° . Het geluid reflecteert voornamelijk tegen het plafond en het bovenste deel van de gevels voordat het weer naar buiten wordt gereflecteerd.

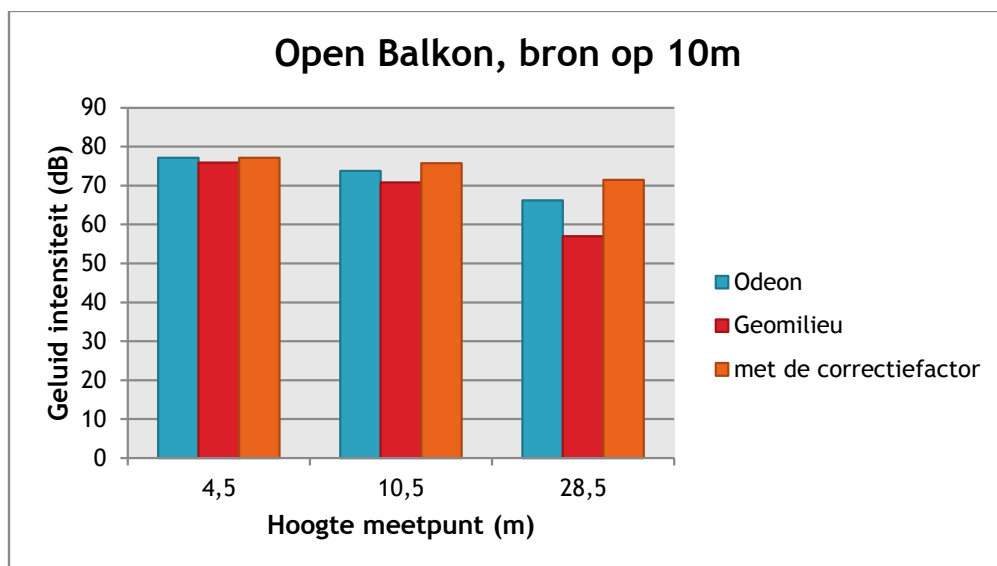
(3): Waar het geluid uit het eerste balkon vrijwel direct weer naar buiten reflecteert vinden er op het tweede balkon meer reflecties plaats voordat het geluid weer verdwijnt in de omgeving.

(4): Het geluid bereikt het bovenste balkon. Door de kleine invalshoek zal het geluid vrijwel volledig op het plafond vallen.

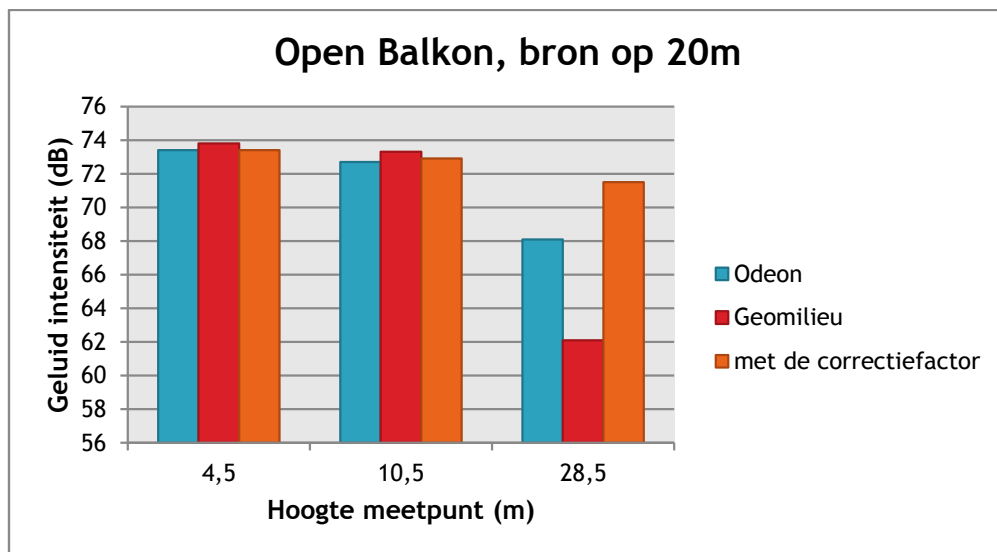
(5): Pas na 1 of meerdere reflectie valt het geluid op de gevels van het bovenste balkon.

Uitkomsten:

De uitkomsten uit Odeon, Geomilieu en de waarde berekend met de correctiefactor zijn naast elkaar gezet ter vergelijking.



Grafiek 4: berekende geluidintensiteit bij een naar binnen liggend open balkon en de bron op 10m



Grafiek 5: berekende geluidintensiteit bij een naar binnen liggend open balkon en de bron op 20m

De waarden tussen Odeon en Geomilieu verschillen in de meeste gevallen slechts enkel dB's. Bij de bron op 10 meter afstand liggen de waarden uit Odeon hoger, terwijl de waarden uit Odeon bij de bron op 20m bij de balkons op 3 meter en 9 meter juist lager uitvallen.

De reden hiervoor is de hoek waarmee het geluid op de gevel valt. Bij de bron op 10 meter is de hoek groter waardoor meer geluid via het plafond naar het meetpunt wordt gereflecteerd dan bij de bron op 20 meter. Hier zal het geluid voornamelijk rechtstreeks van de bron komen. Er reflecteert wel geluid via het plafond, maar door de hoek zal dit voornamelijk op het bovenste deel van de gevel vallen. Bij het balkon op 27 meter hoogte wordt de hoek echter weer groter.

De waarden die via de correctiefactor uit de rekenmethode bepaald zijn komen voor het balkon op 3 en 9 meter redelijk overeen met de waarden uit Odeon en Geomilieu. Voor het balkon op 27 meter geeft de rekenmethode een negatief beeld vergeleken met de gebruikte programma's.

Balustrade 1,2m:

Door een dichte balustrade toe te passen zal minder geluid de gevel bereiken. Geluid dat de gevel wel bereikt kan echter weer terug reflecteren via de achterzijde van de balustrade.

Geomilieu

In Geomilieu wordt het scherm wordt verhoogd tot 4,2m, 10,2m en 28,2m. Het geluidniveau op de gevel zal zeer waarschijnlijk afnemen. Minder geluid bereikt namelijk de ontvanger.

Rekenmethode

De correctiefactor voor een naar binnen liggend balkon verandert niet. Er wordt hierin geen onderscheid gemaakt tussen een open of (gedeeltelijk) gesloten balkon.

Odeon:

Met behulp van de Odeon Editor kunnen de vlakken voor de balustrades gemodelleerd worden. In de Odeon Editor worden hiervoor 3 extra vlakken toegevoegd. (zie figuur 21)

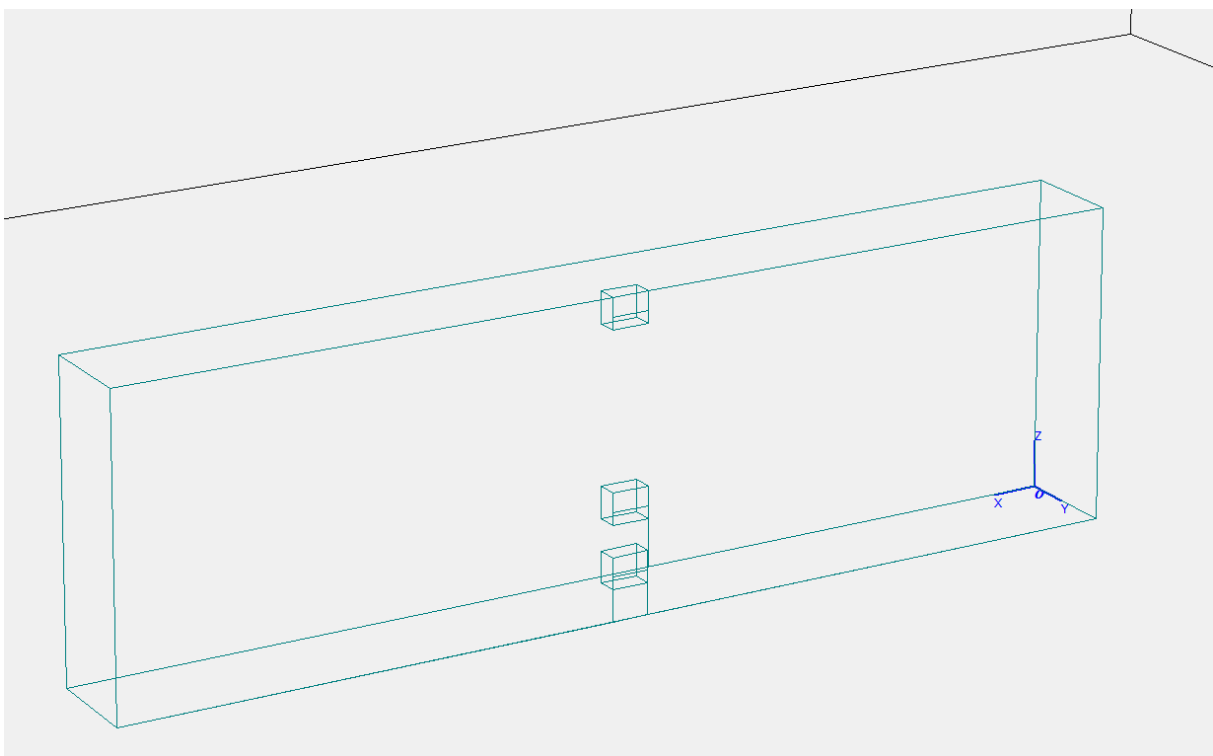
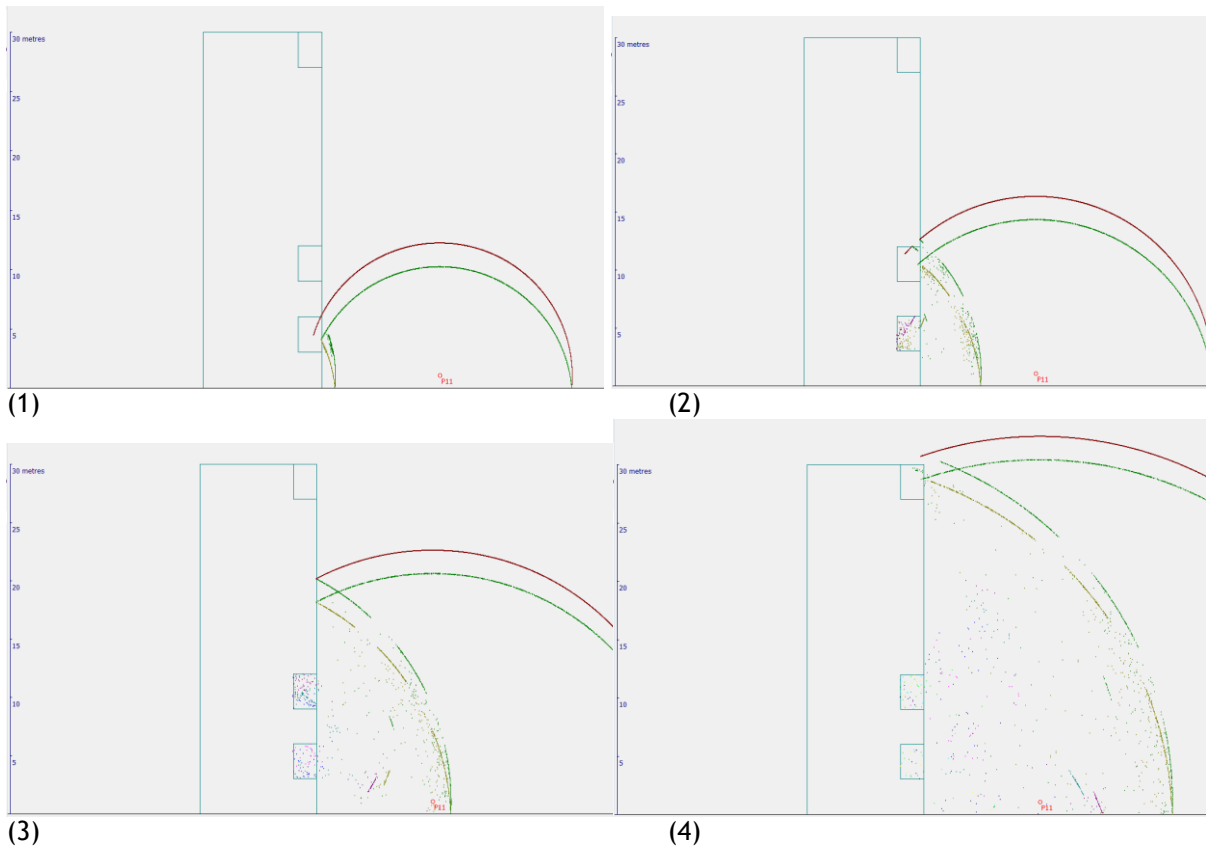


Fig. 21: 3D-weergave van het model in Odeon met balustrades van 1,2 meter hoog

Hieronder staat stap voor stap beschreven wat het effect van de balustrade is op het geluid.



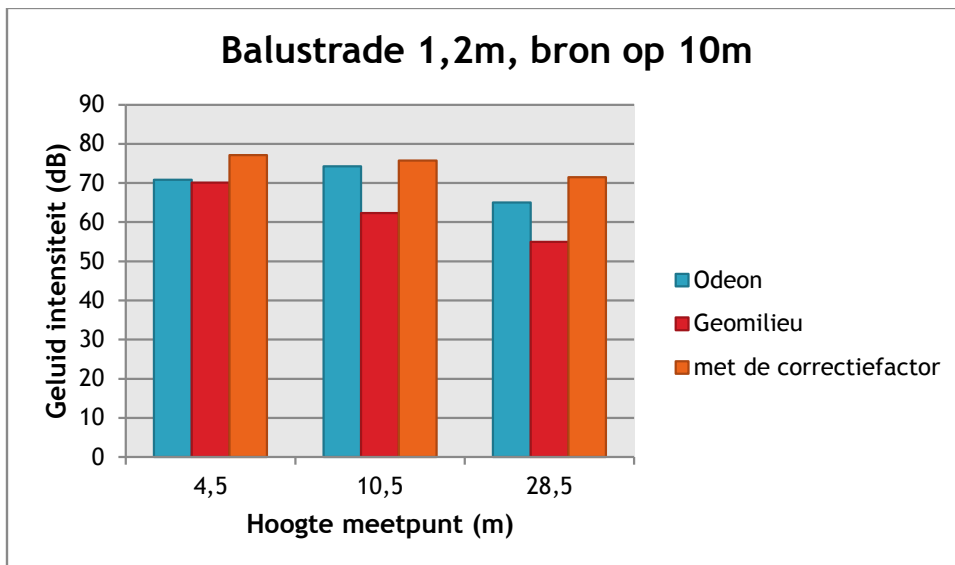
(1): Door de balustrade wordt een gedeelte van het geluid tegengehouden. Het grootste deel van het geluid dat doorgelaten wordt reflecteert via de gevels weer terug naar buiten.

(2) en (3): Bij het tweede balkon heeft een balustrade echter een negatief effect. Geluid dat dat boven de balustrade op het balkon valt reflecteert niet direct weg, maar komt tegen de binnenzijde van de balustrade aan waardoor het langer blijft nagalmen.

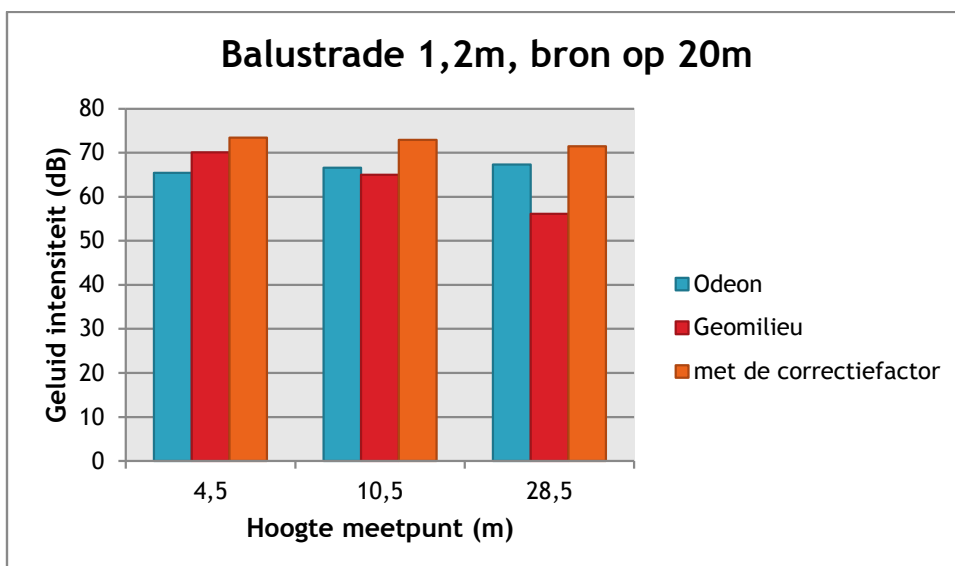
(4): Door de grote invalshoek en de balustrade bereikt maar een klein gedeelte van het geluid de achtergevel.

Uitkomsten:

Alle uitkomsten van de 3 bepalingsmethodes zijn naast elkaar gezet. De uitkomsten worden vergeleken en verklaard.



Grafiek 6: berekende geluidintensiteit bij een naar binnen liggend balkon met een balustrade van 1,2m en de bron op 10m



Grafiek 7: berekende geluidintensiteit bij een naar binnen liggend balkon met een balustrade van 1,2m en de bron op 20m

Zowel bij Odeon als Geomilieu is de geluidbelasting op de gevel gedaald. Het balkon dat op 9 meter hoog zit met de bron op 10 meter geeft echter een afwijkende waarde. De verwachting was dat de waarde tussen die van de andere balkons zou liggen. De waarde valt hierdoor hoger uit dan verwacht. Dit komt doordat geluid dat tegen het plafond en de bovenzijde van de gevel reflecteert achter de balustrade blijft nagalmen.

Bij de lijnbron op 20m is dit effect minder aanwezig. Door de kleinere invalshoek wordt meer geluid weer rechtstreeks naar buiten gereflecteerd. Toch zorgt de reflectie tegen het plafond ook hier ervoor dat het geluidniveau op de balkons van 9 en 27 meter hoog hoger uitvalt dan verwacht.

Doordat het geluidniveau berekend met de rekenmethode niet afneemt zal deze in alle gevallen een negatief beeld geven.

Balustrade 1,5m:

Een lichte verhoging van het balkon van 1,2m. Het geluidniveau zal naar verwachting iets afnemen, maar het verschil zal niet groot zijn.

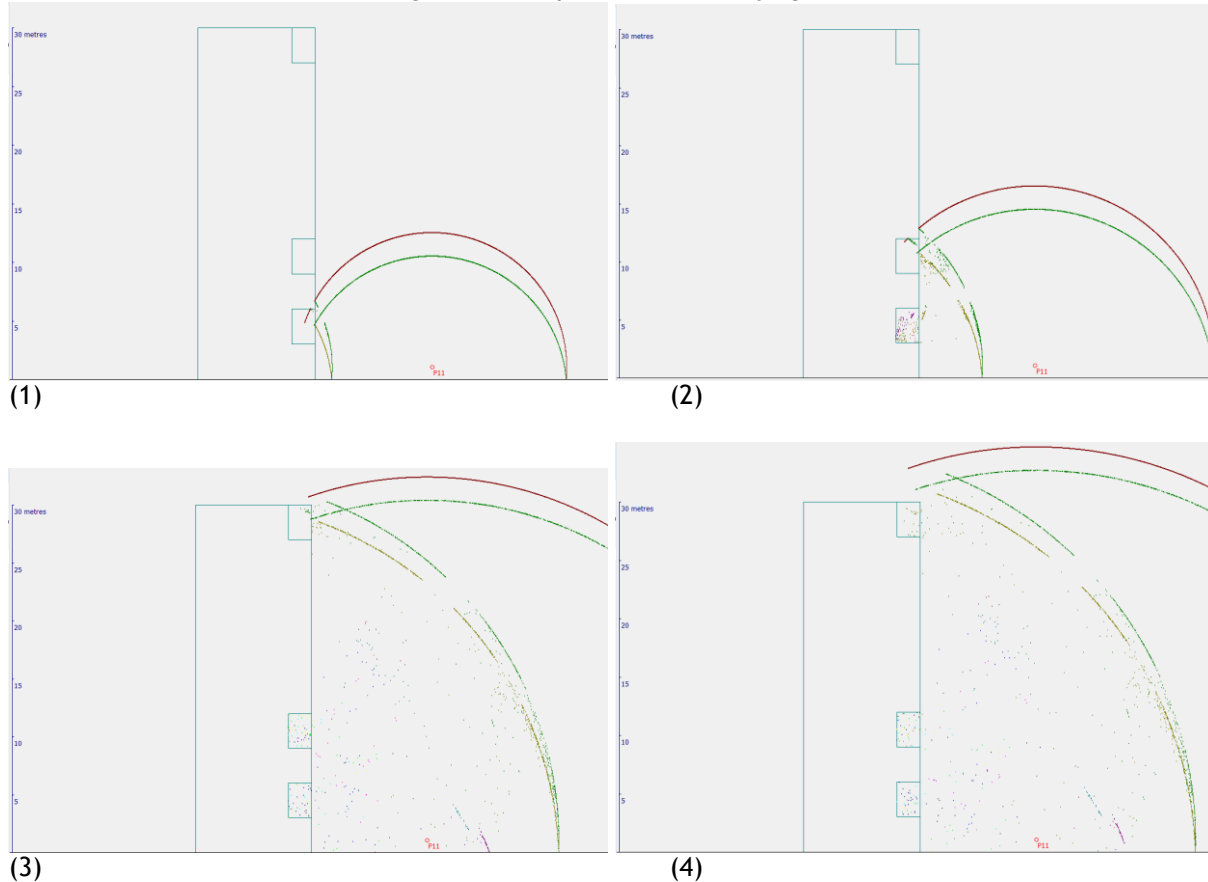
Geomilieu

Het scherm wordt verhoogd naar 4,5m, 10,5m en 27,5m.

Odeon

Alle balustrades worden met 0,3 meter verhoogd.

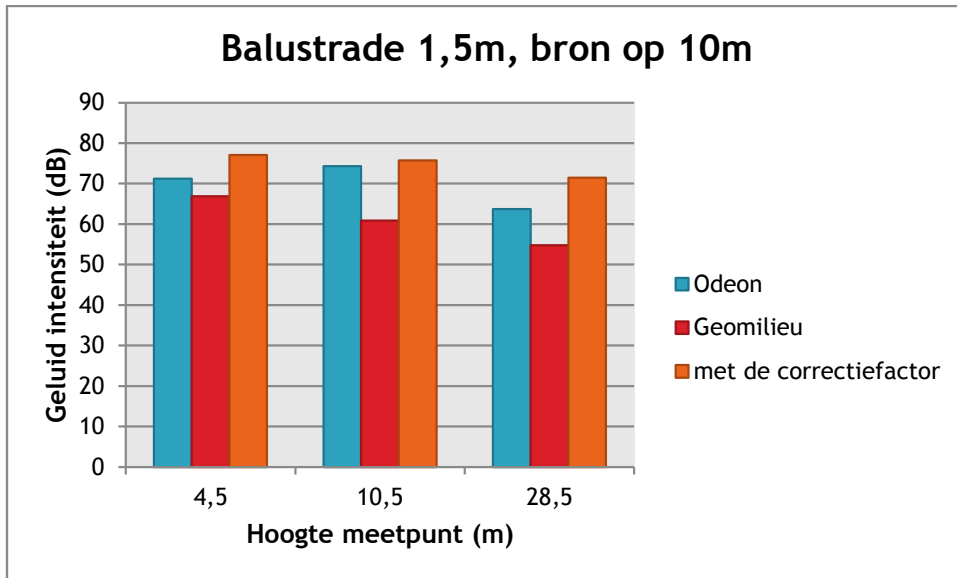
Met de functie 3D-billiards is het geluidverloop weer inzichtelijk gemaakt.



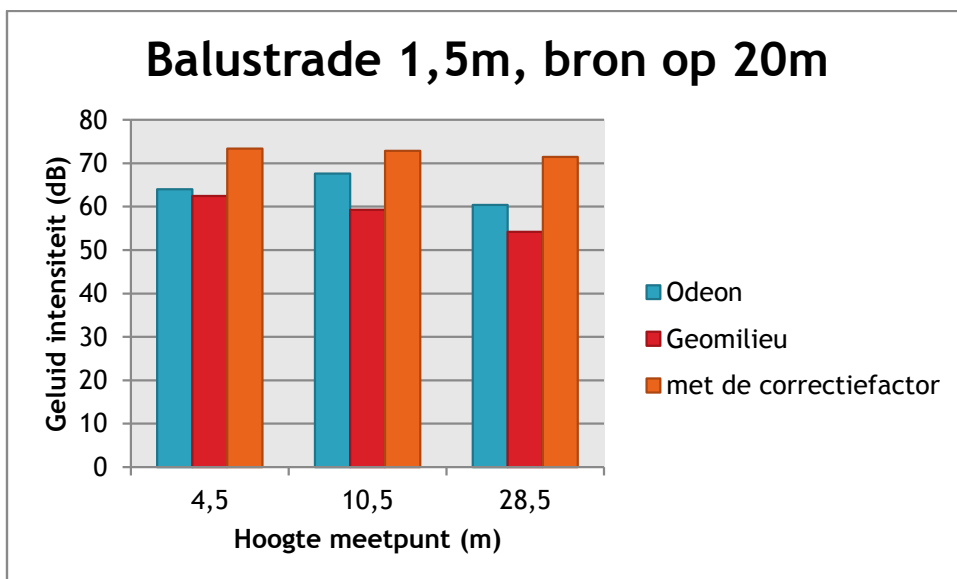
(1), (2), (3), (4): Het geluidverloop is vrijwel identiek aan de balustrade van 1,2m meter hoog. Het effect dat de balustrades op het geluid heeft veranderd dan ook niet veel. Er wordt slechts iets meer geluid tegengehouden. De kans dat het geluid achter de balustrade blijft door reflecteren wordt echter ook groter.

Resultaten:

De waardes zijn in een grafiek gezet en zullen met elkaar vergeleken worden.



Grafiek 8: berekende geluidintensiteit bij een naar binnen liggend balkon met een balustrade van 1,5m en de bron op 10m



Grafiek 9: berekende geluidintensiteit bij een naar binnen liggend balkon met een balustrade van 1,5m en de bron op 20m

De berekende waardes veranderen niet veel. De balustrade wordt maar een klein beetje hoger. Er wordt wel meer geluid tegengehouden, maar daartegen staat ook weer dat geluid meer reflecteert achter de balustrade. Dit zal uiteindelijk voor een soort evenwicht zorgen.

Balustrade 2m:

Een verhoging van een halve meter ten opzichte van de vorige balustrade. 2/3 van het geluid dat normaal de gevel bereikt wordt tegengehouden.

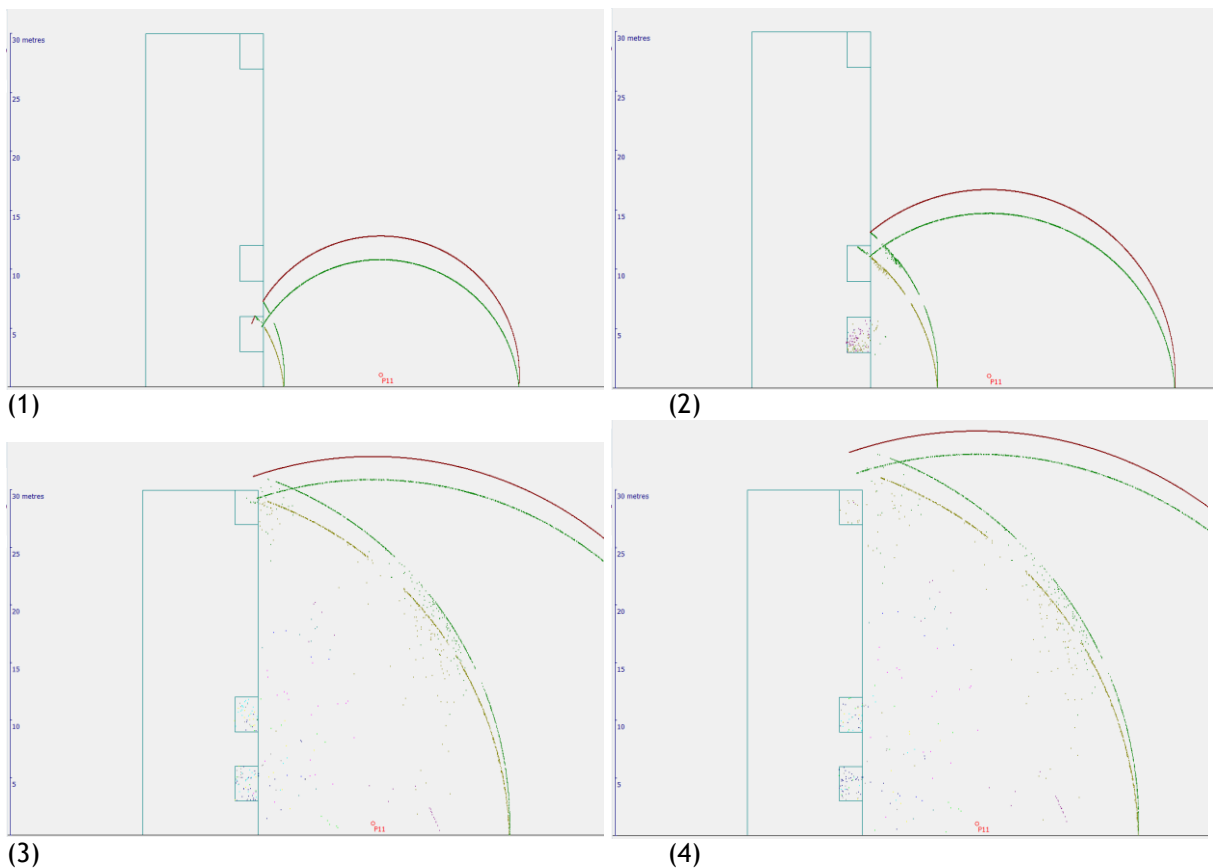
Geomilieu

Het scherm wordt verder verhoogd naar 5m, 11m en 29m. Het berekende geluidniveau zal verder afnemen.

Odeon

De balustrades worden met 0,5 meter verhoogd.

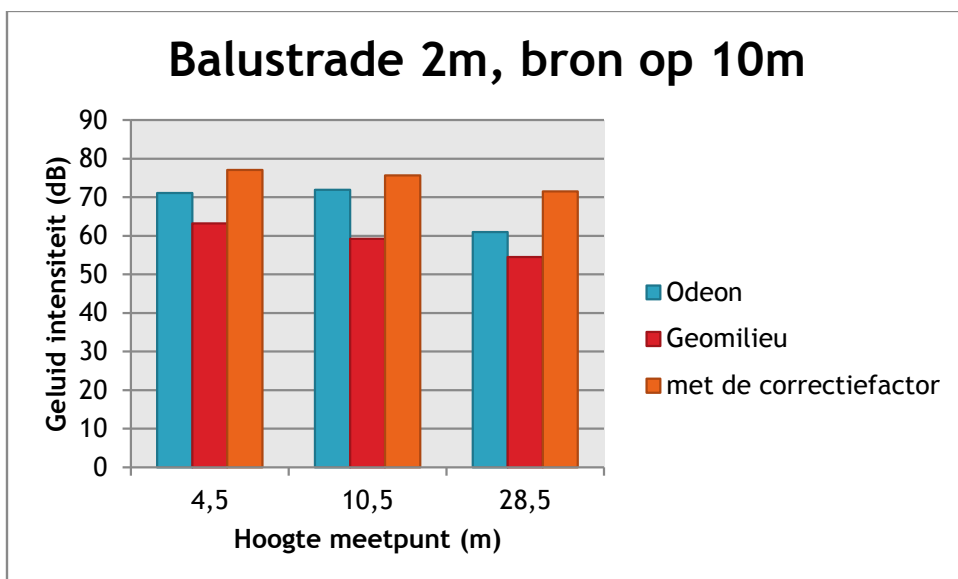
Door het plafond zal het geluidniveau op de gevel waarschijnlijk minder sterk afnemen dan in Geomilieu.



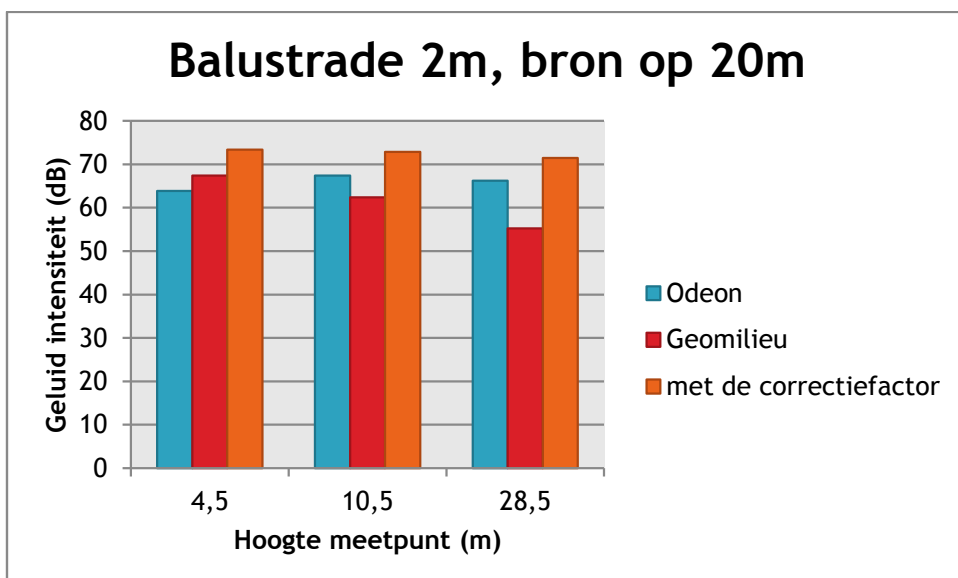
(1), (2), (3), (4): Wanneer de balustrade groter wordt, wordt er meer geluid tegengehouden, maar kan het invallende geluid dus ook moeilijker weg. Wat de optimale hoogte is, is voornamelijk afhankelijk van de invalshoek.

Resultaten

De uitkomsten uit Geomilieu, Odeon en de correctiefactor worden naast elkaar in een grafiek gezet en vergeleken.



Grafiek 10: berekende geluidintensiteit bij een naar binnen liggend balkon met een balustrade van 2m en de bron op 10m



Grafiek 11: berekende geluidintensiteit bij een naar binnen liggend balkon met een balustrade van 2m en de bron op 20m

Het effect van het verhogen van de balustrade heeft niet op alle balkons evenveel effect. De geluidbelasting op het balkon op 3m hoogte neemt bijna niets meer af dan bij een balustrade van 1,5m. Bij het balkon op 9 meter neemt het geluidniveau iets af. Er wordt dan meer geluid tegengehouden dan dat er achter de balustrade blijft door reflecteren. Het geluidniveau op het hoogste balkon neemt ook verder af.

Absorberend plafond:

Voornamelijk bij kleinere invalshoeken valt een groot deel van het geluid via reflectie van het plafond op de achtergevel. Een absorberend plafond zal in zulke gevallen een uitkomst zijn om het geluidniveau naar beneden te brengen. Een deel van het geluid dat normaal op de achtergevel valt zal dan namelijk worden geabsorbeerd en bereikt de gevel niet.

Conclusie naar binnen liggend balkon

In bijna alle gevallen zorgt de balustrade voor een afname van de geluidbelasting op de gevel. Geomilieu geeft in bijna alle gevallen lagere waarden dan Odeon.

De waardes uit de rekenmethode geven alleen een vergelijkbare uitkomst bij het open balkon. In alle andere gevallen zijn de uitkomsten hoger dan Geomilieu en Odeon.

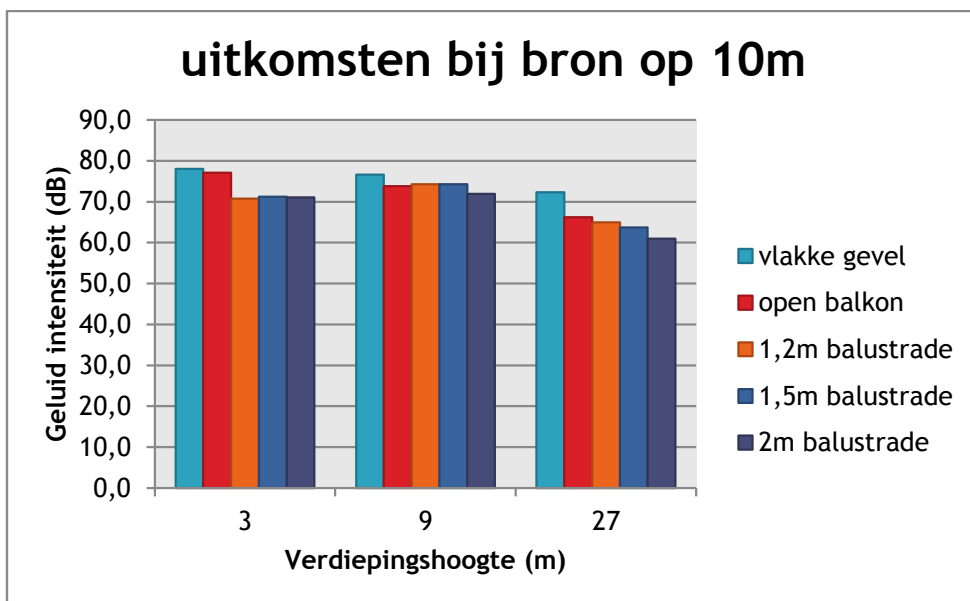
De verschillen tussen Geomilieu en Odeon zijn toe te schrijven aan het plafond boven de balkons. Bij de balkons waar veel geluid via het plafond op de gevel valt, wordt het verschil in geluidsniveau groter.

Wanneer de balustrade hoger wordt zorgt dit niet altijd voor de verwachte afname. Een hogere balustrade zorgt ervoor dat meer geluid wordt tegengehouden, maar zorgt er ook voor dat geluid dat zich achter de balustrade bevindt langer door reflecteert voordat het volledig geabsorbeerd is of uit het balkon gereflecteerd wordt.

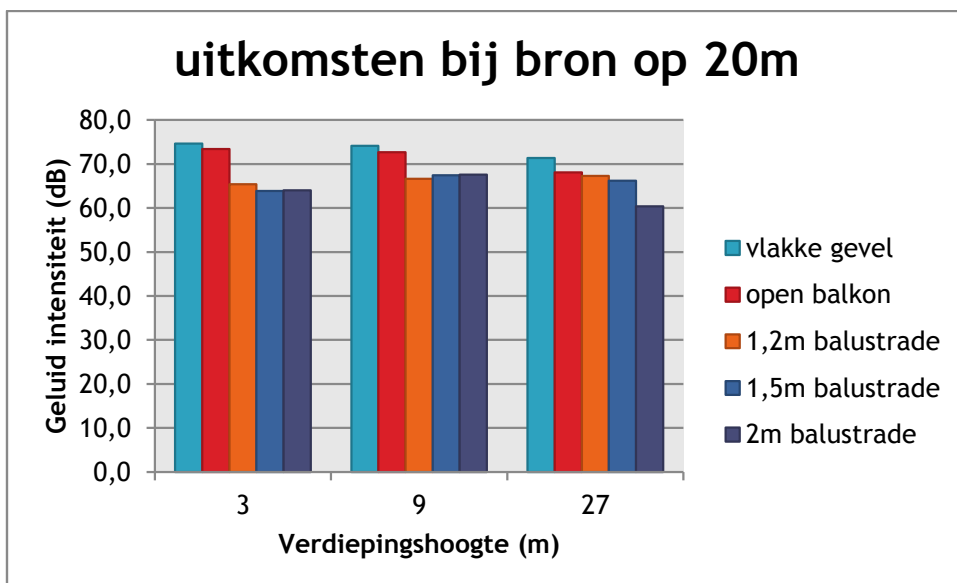
Naar alle waarschijnlijkheid zal Odeon dichterbij het werkelijke geluidsniveau liggen dan Geomilieu. Om hier echter helemaal zeker van te zijn, is een vergelijking met werkelijke situaties noodzakelijk.

Met behulp van deze berekeningen is het mogelijk om te zien wat de optimale afmetingen zijn voor de balustrade. Bij de bron op 10 meter kan er voor het balkon op 3 meter hoogte de balustrade het best 1,2m hoog worden. Voor het balkon op 27 meter is echter een hogere balustrade beter.

Het effect is ook goed te zien in de volgende grafieken:



Grafiek 12: geluid intensiteit van alle varianten van het naar binnen liggende balkon bij een lijnbron op 10 meter afstand



Grafiek 13: geluid intensiteit van alle varianten van het naar binnen liggende balkon bij een lijnbron op 20 meter afstand

(Zie bijlage 1 voor alle uitkomsten)

e. Metingen op de zijgevel van het balkon

Met deze test wordt onderzocht of de berekeningen op de zijgevels van het balkon ook betrouwbare resultaten geeft.

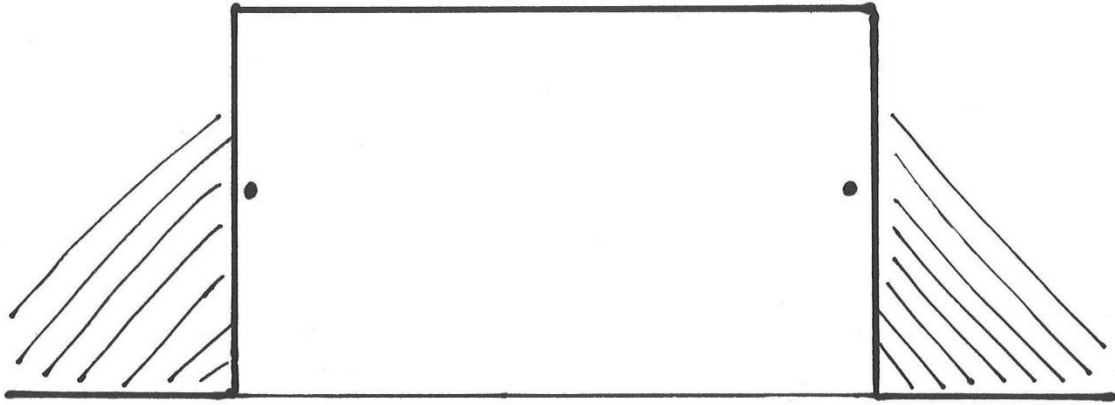


Fig. 22: Bovenaanzicht van het naar binnen liggende balkon met ontvangers op de zijwanden

Verder onderzoek wees uit dat om de juiste waarde te verkrijgen het aantal late rays vergroot moet worden. Dit zijn het aantal lijnen met informatie die door de bronnen uitgezonden worden. Doordat de bron alle kanten op straalt, waardoor maar een relatief klein deel de ontvanger bereikt, kan het in sommige gevallen zijn dat de uitkomsten minder nauwkeurig zijn. Dit komt doordat er minder informatie is om mee te rekenen. Door het aantal lijnen te vergroten bereikt meer informatie de ontvangers.

Na het vergroten van het aantal late rays was het tussen links en rechts niet groter dan 0,2 dB.

In alle bovenstaande (en alle volgende) berekeningen wordt gerekend met 100.000 late rays. Deze hoeveelheid bleek de beste resultaten te geven. (zie bijlage 2 voor de uitkomsten)

f. Balkon aan de gevel

Nu bekend is dat een naar binnen liggend balkon door Odeon met betrouwbare uitkomsten berekend kan worden zal onderzocht worden of dit ook het geval is bij andere gevelvormen.

Een veel voorkomende gevelonderdeel is het balkon aan de gevel. In tegenstelling tot het naar binnen liggend balkon steekt deze uit naar buiten. Het grote verschil is dan ook dat dit balkon geen zijwanden heeft, waardoor geluid van meerdere richtingen de gevel kan bereiken maar ook gemakkelijker weer weg reflecteert.

Er zullen 2 verschillende balkons onderzocht worden. 1 van 3 meter breed en 1 van 5 meter breed. Bij beide balkons zullen de balkons op 3m, 9m en 27m berekend worden. Er zal gerekend worden met balustrades van 1,2m, 1,5 en 2m hoog.

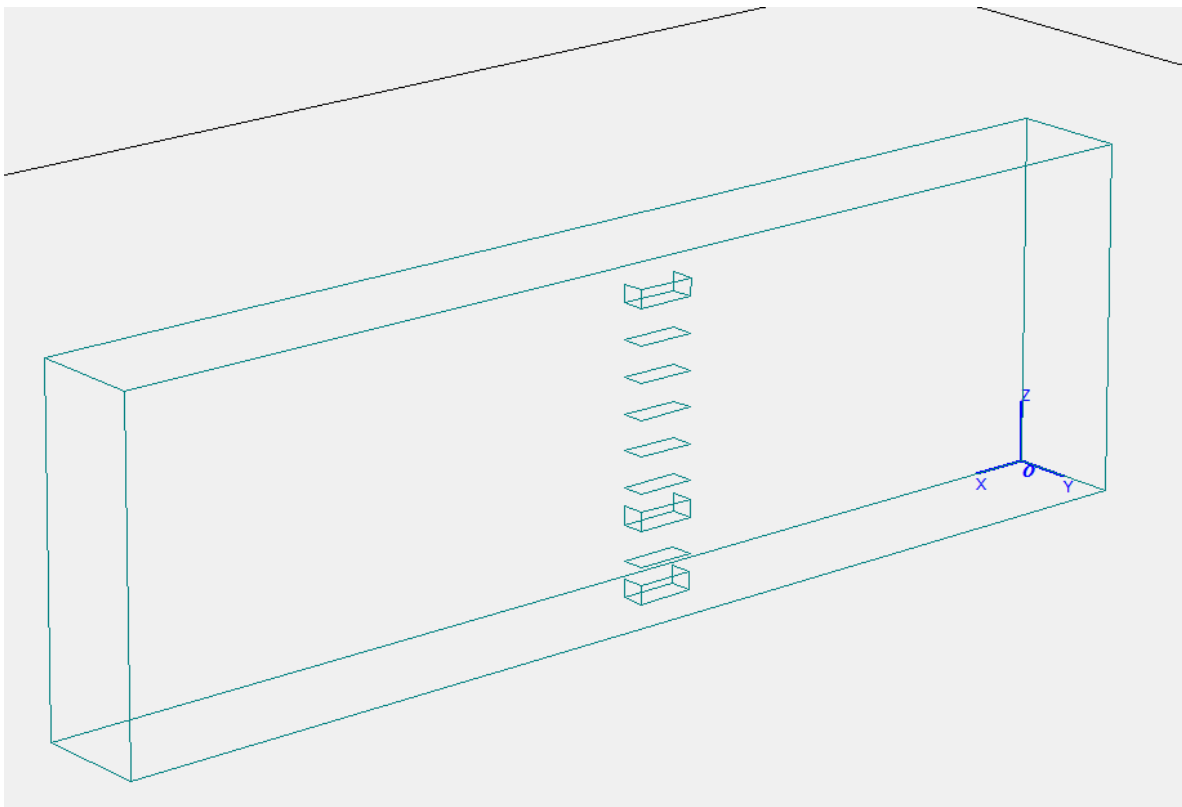


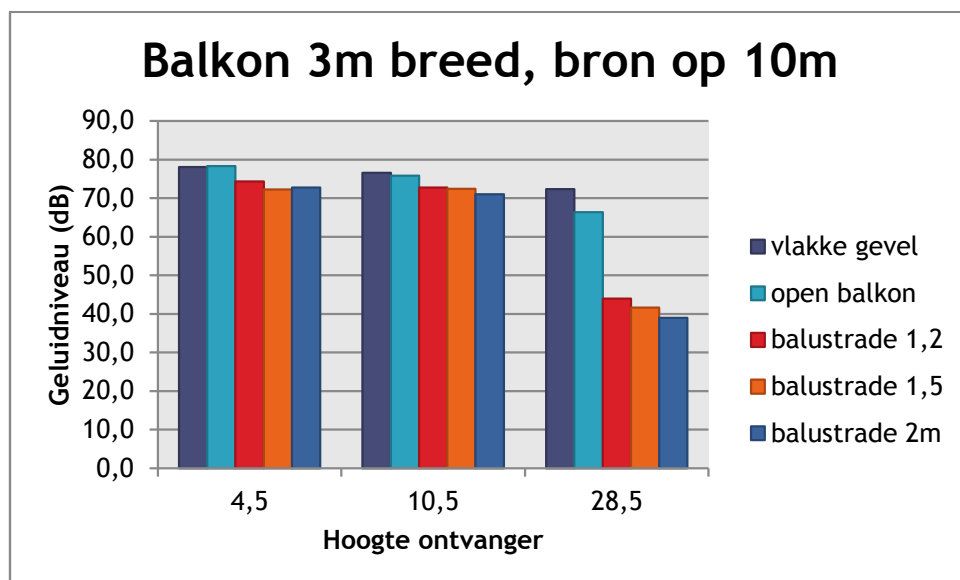
Fig. 23: 3D-model van het model met de balkons aan de gevel

Om een conclusie te kunnen trekken zijn alle berekeningen verwerkt in grafieken. Per balkon en bronafstand zijn de uitkomsten van de vlakke gevel, de balkon zonder balustrade en de balkons met balustrade naast elkaar gezet.

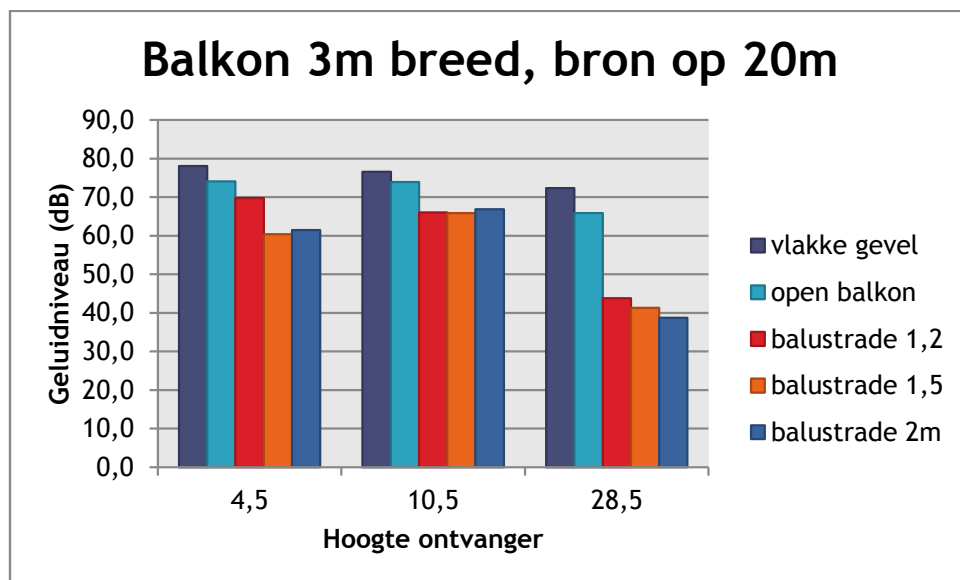
De uitkomsten worden vergeleken en aan de hand hiervan worden conclusies getrokken.

Voor alle rekenwaardes zie bijlage 3.

Uitkomsten van het balkon van 3 meter breed:



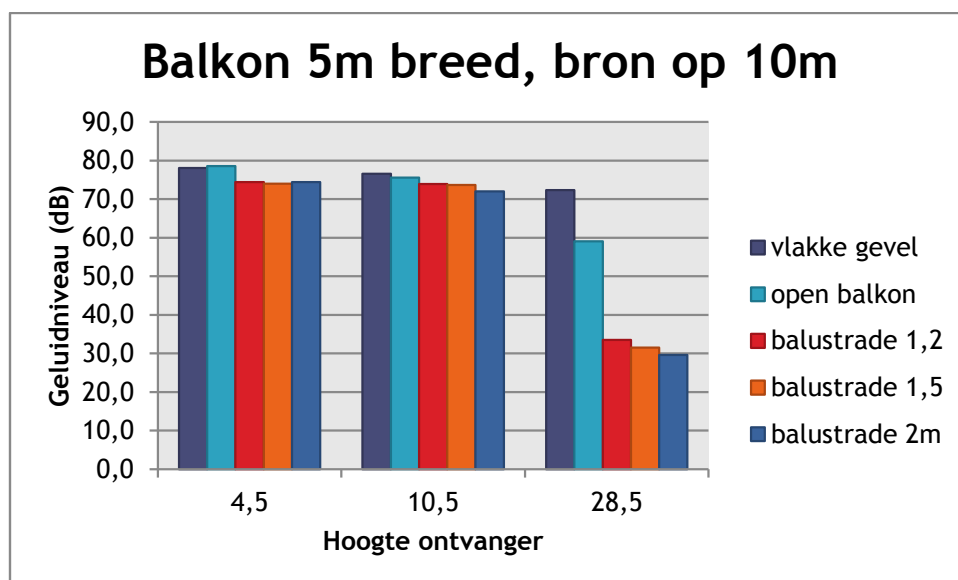
Grafiek 14: Geluidniveau bij balkons van 3m breed bij een lijnbron op 10m afstand



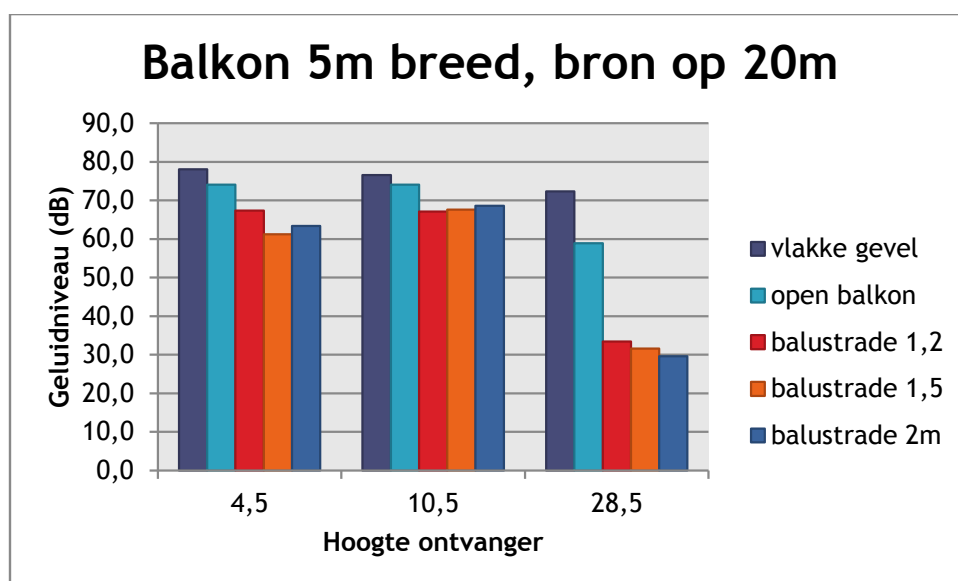
Grafiek 15: Geluidniveau bij balkons van 3m breed bij een lijnbron op 20m afstand

Doordat het geluid, net als bij de test op het naar binnen liggende balkon, op het balkon op 9 meter langer door blijft reflecteren achter de balustrade zorgt dit ervoor dat de waardes op dit balkon hoger uitvallen. Doordat het balkon aan de zijkanten open is wordt dit effect echter een stuk kleiner, omdat geluid sneller terug de omgeving in wordt gereflecteerd.

Uitkomsten van het balkon van 5 meter breed:



Grafiek 16: Geluidniveau bij balkons van 5m breed bij een lijnbron op 10m afstand



Grafiek 17: Geluidniveau bij balkons van 5m breed bij een lijnbron op 20m afstand

Het verschil tussen de balkons is minimaal. Dit komt waarschijnlijk door de grote lengte van de bron. Hierdoor valt het geluid onder veel verschillende hoeken op het balkon. Het balkon iets groter of kleiner maken heeft hier weinig invloed op. Daarnaast zorgt het plafond boven het balkon ervoor dat geluid wat normaal het plafond mist nu wel richting de ontvanger wordt gereflecteerd. Dit compenseert de extra afschermdende werking die een groter balkon heeft.

Doordat het bovenste balkon geen plafond heeft treed hier wel een verschil op tussen beide balkons.

Bij sommige varianten stijgt het geluidniveau wanneer de balustrade hoger wordt. Er treedt waarschijnlijk een wisselwerking op tussen de hoeveelheid geluid die door de balustrade wordt tegengehouden en de hoeveelheid die achter de balustrade door blijft reflecteren.

Wanneer een balustrade hoger wordt, wordt meer geluid tegengehouden. Geluid dat achter de balustrade komt blijft hierdoor echter ook langer door reflecteren, doordat het reflectievlak groter is geworden.

Bij de balkons op 27 meter hoogte is een afname van rond de 30-40dB te zien bij de balkons met een balustrade ten opzichte van de vlakke gevel. Dit komt doordat er bijna geen geluid op de ontvanger valt. (zie afbeelding 23)

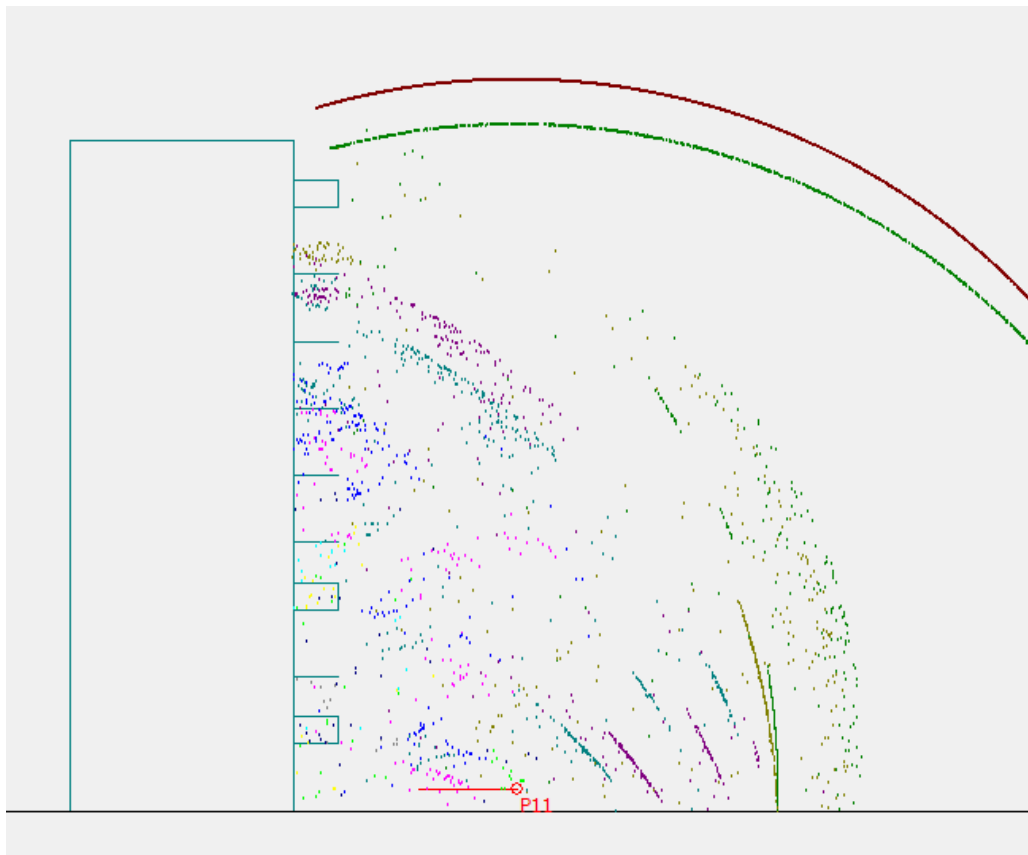


Fig. 24: Geluidverloop bij balkons aan de gevel

Volgens de regelgeving is de maximale afname 20dB. Namelijk, zelfs al lijkt er geen geluid het balkon te bereiken, er zal op het balkon alsnog geluid te horen zijn dat afkomstig is van de bron. Geluid buigt namelijk over de bovenrand van de balustrade.

In binnenruimtes zijn er in de meeste gevallen altijd wel wegen waarop geluid de ontvanger bereikt. De bovenstaande situatie komt daar dan ook niet voor. Odeon geeft hierdoor een te gunstig beeld van de werkelijke situatie. Het blijkt dus dat Odeon niet goed om kan met een situatie waarbij geluid niet op de ontvanger valt.

g. Galerij

In het model is een galerij in principe een balkon die over de hele lengte van de gevel ligt. Net als in de vorige modellen zal ook hier gerekend worden op 3m, 9m en 27m hoogte. De balustrades zijn 0m, 1,2m 1,5m en 2m hoog.

Naast de ontvanger op het midden van de galerij zijn er ook ontvangers geplaatst op ... meter van de linker- en rechterhoek. Dit was om te controleren of de uitkomsten van beide zijdes overeenkomen met elkaar.

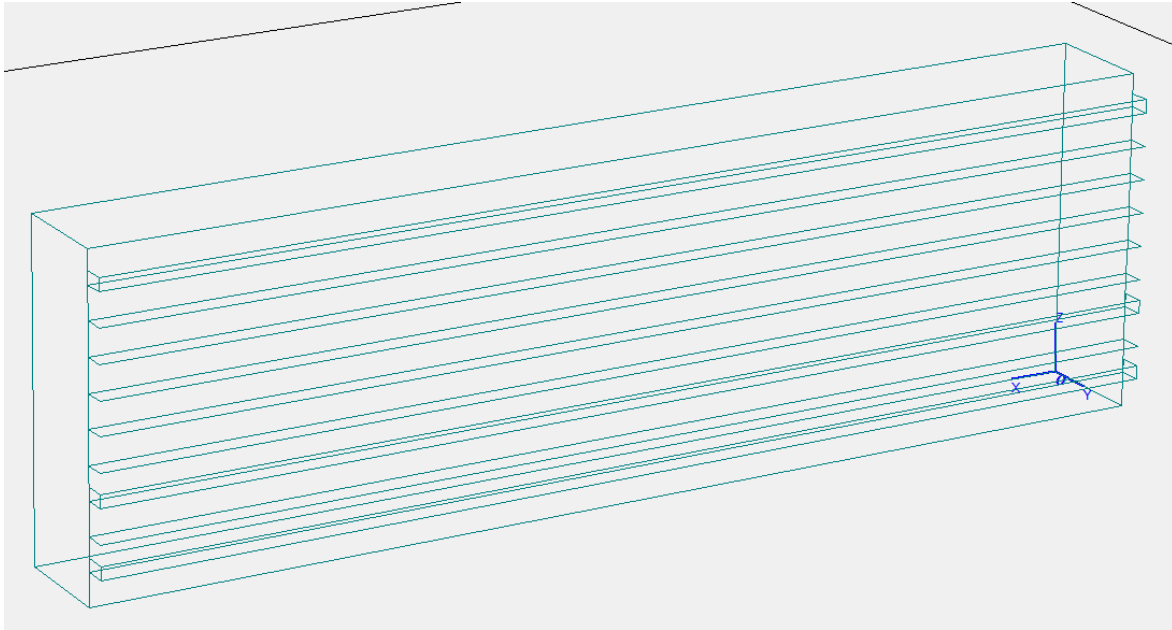
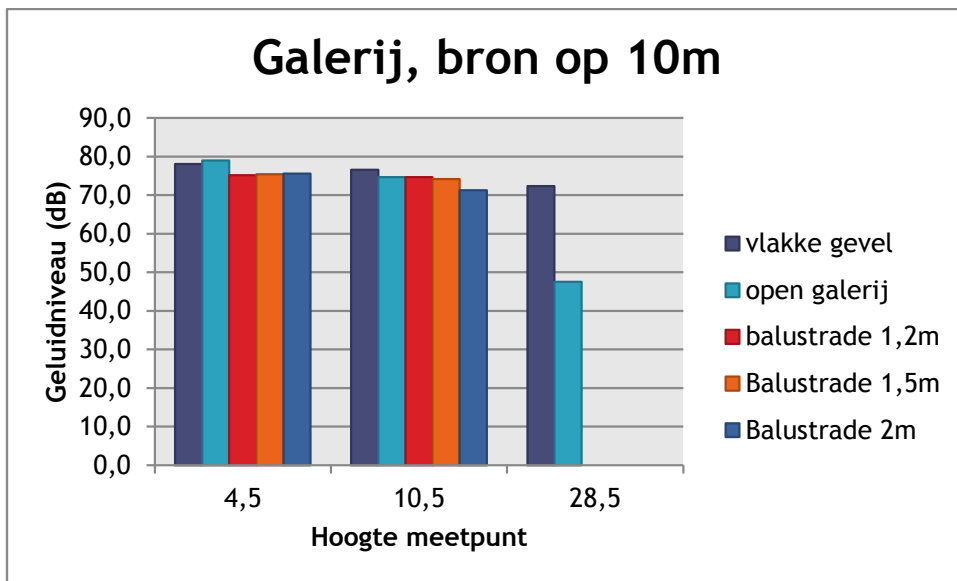


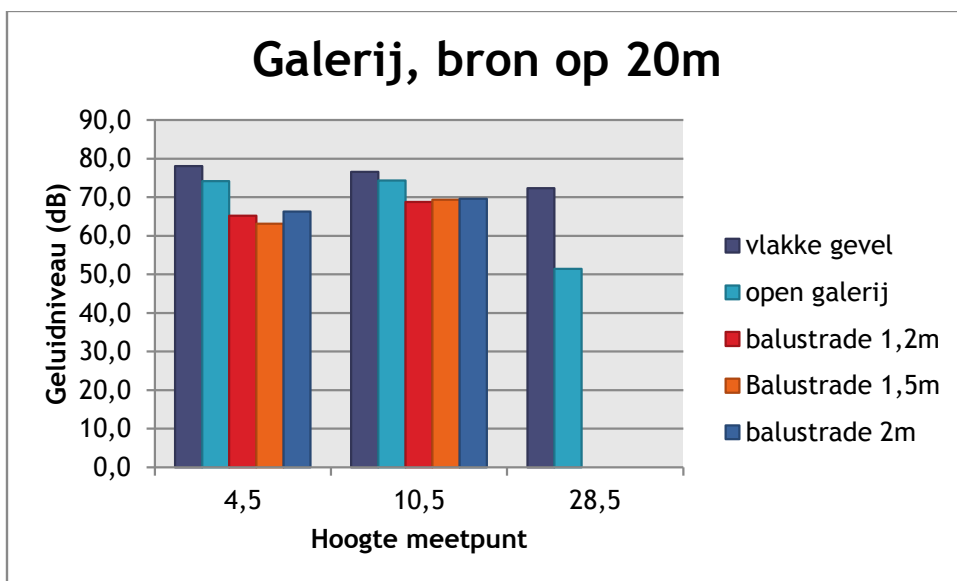
Fig. 25: 3D-weergave van het model met galerijen

Voor alle rekenwaardes, zie bijlage 4.

Alle uitkomsten zijn in onderstaande grafieken weergegeven.



Grafiek 18: Berekende geluidniveau op de galerijen bij een lijnbron op 10 meter afstand



Grafiek 19: Berekende geluidniveau op de galerijen bij een lijnbron op 20 meter afstand

De uitkomsten zijn lager dan bij de balkons doordat galerijen een grotere afschermende werking hebben. Door de grotere afscherming bereikt in deze situatie onvoldoende informatie de ontvangers op de bovenste galerij waardoor er geen uitkomsten weergegeven kunnen worden.

De test van de naar buiten liggende balkons en van de galerij tonen aan dat Odeon alleen bruikbaar is wanneer de ontvanger in verbinding staat met de bron. Hetzij rechtstreeks, hetzij via reflecties. Wanneer dit niet het geval is vallen de berekende waarden te laag uit en in sommige gevallen kunnen deze zelfs helemaal niet bepaald worden.

4. Vergelijking met een werkelijke meting

Als laatste test wordt Odeon vergeleken met een werkelijke meting. Uiteraard kan aan de hand van 1 meting geen doorslaggevende conclusie getrokken worden, maar het kan wel inzicht geven of Odeon waarden geeft die in de buurt liggen van de werkelijkheid.

Voor de meetlocatie is een ruimte gekozen met een Frans balkon, gelegen op de eerste verdieping. Daarnaast zijn er nog enkele metingen gedaan op en voor de gevel.

In de ruimte, die fungeert als een soort van naar binnen liggend balkon, is op verschillende plaatsen gemeten. Verder is er op 1 en op 2 meter voor de geopende deuren gemeten. Op de begane grond is er gemeten op 3 hoogtes vlak voor de gevel en op een punt 3 meter voor de gevel.

In Odeon is hetzelfde gebouw gemodelleerd en zijn de ontvangers en de bron op dezelfde plek geplaatst als in de meting. De uitkomsten tussen de meting en de berekening zijn naast elkaar gezet en vergeleken. Zie bijlage 5 voor alle rekenwaardes.

De locatie

Voor de locatie is het kantoorgebouw op de hoofdweg 71 gebruikt. Aan 1 zijde bevindt zich op de verdiepingen een ruimte met hieraan een Frans balkon met dubbele deur.

Vereenvoudigd zijn de afmetingen van de gemeten ruimte 14,3m bij 5,4m met een hoogte van 2,7m.

Meetgegevens

In de ruimte is er op de volgende plaatsen gemeten.

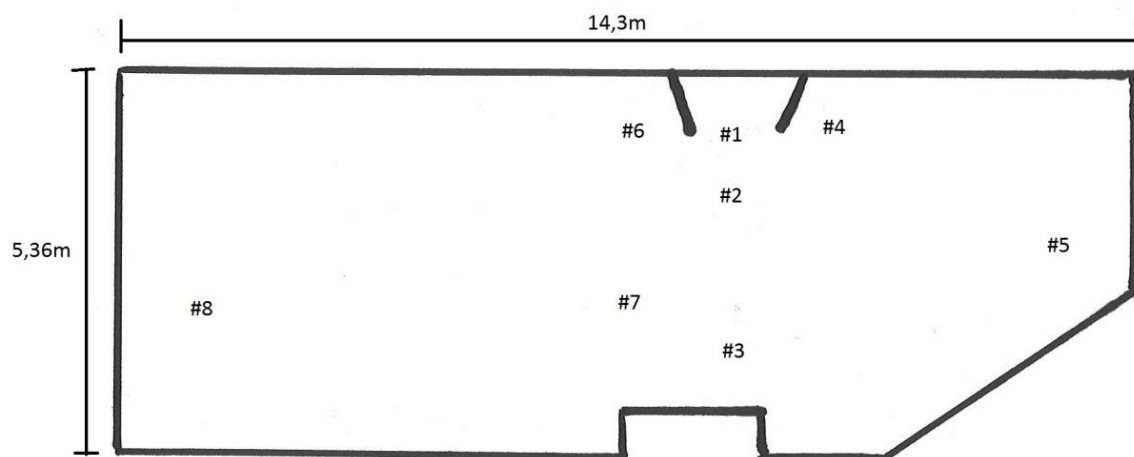


Fig. 26: plaats van de meetpunten in de ruimte

De meetpunten bevinden zich op een hoogte van 1,35m. Bij verkeerlawaaai wordt er altijd gemeten in het midden van de ruimte.

De bron is buiten geplaatst op een afstand van 12,4 meter van de gevel. Op de begane grond voor de gevel zijn metingen verricht op een hoogte van 20cm boven de grond, op het midden van de verdieping en op 20cm onder het overstek.

Als ijkpunt zijn er 3 metingen van de gevel af gedaan die voornamelijk direct aangestraald worden door de bron.

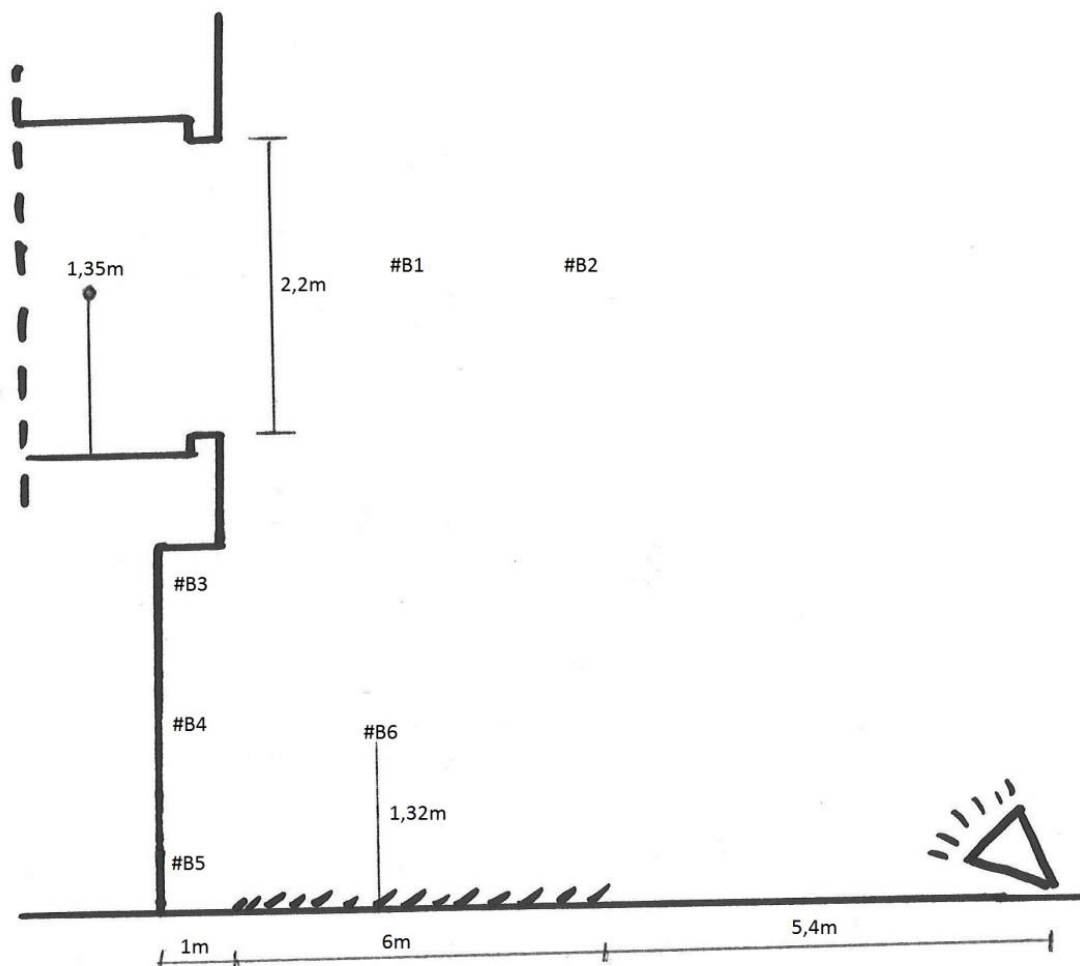


Fig. 27: Doorsnede met de meetpunten en bron buiten

Modelleren van de situatie

Nadat er gemeten is wordt het kantoorgebouw gemodelleerd en geïmporteerd in Odeon. Hier wordt de bron en de ontvangers op dezelfde plek geplaatst en worden er materialen toegewezen aan de vlakken. Doordat niet precies bekend is welke materialen er gebruikt zijn in de ruimte, kan de werkelijke absorptie afwijken van de ingevoerde materialen.

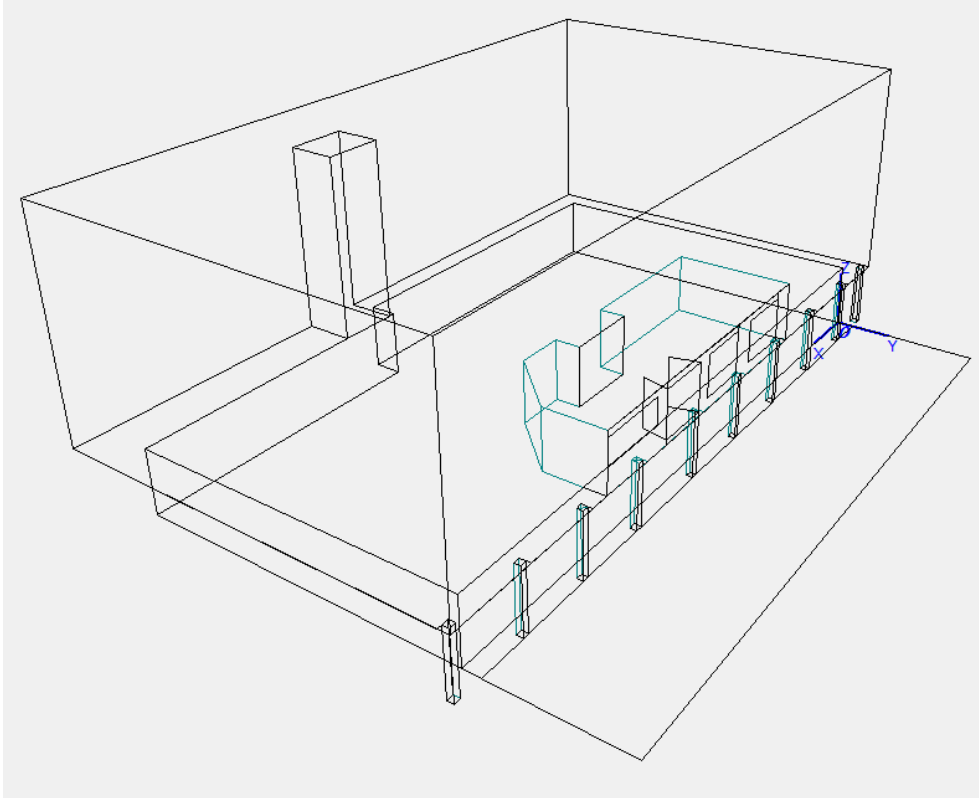


Fig. 27: Model van de ruimte en het kantoor in Odeon

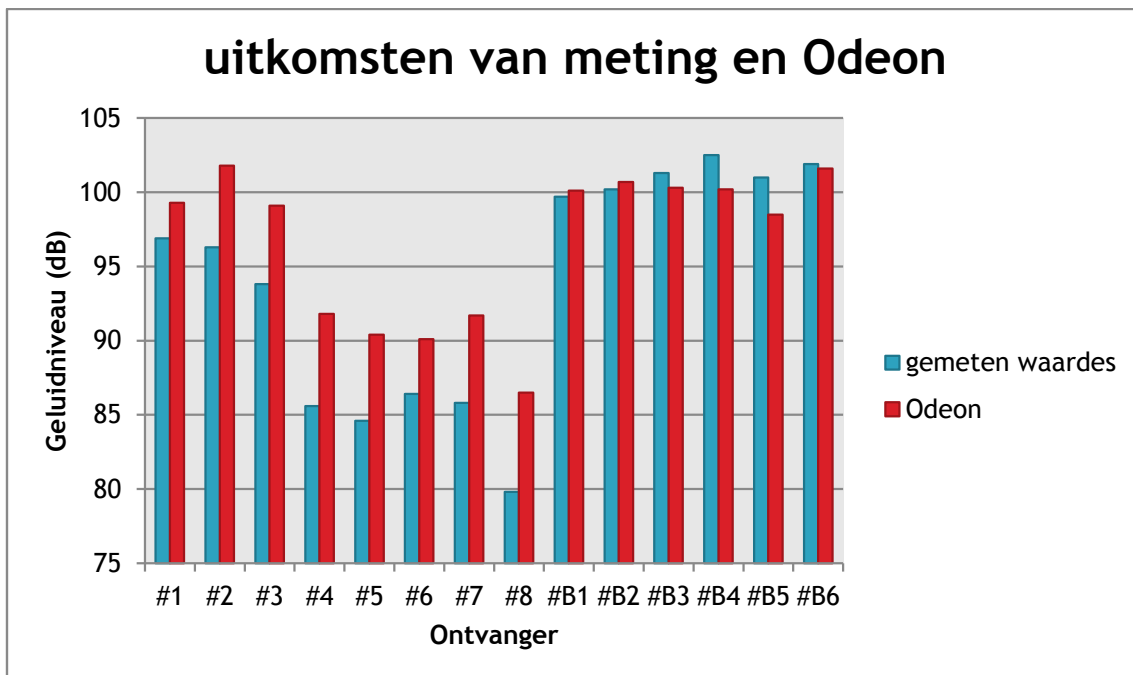
In Odeon zijn de volgende materialen aan de vlakken toegekend:

- Vloer: 6mm geknoopt tapijt met harde ondergrond.
- Plafond: Vrij hangende mineraalvezelplaten.
- Wanden: reflecterende (glazen) wanden.
- De wand aan de gevelzijde: stenen wand met grove afwerking.

De waardes worden berekend en vergeleken met de uitkomsten van de meting.

Vergelijking

De gegevens van de meting en van de berekening zijn naast elkaar in een grafiek gezet.



Grafiek 20: Vergelijking van de gemeten en berekende geluidniveaus

Uit de resultaten blijkt dat Odeon bij de ontvangers in de ruimte een hogere waarde geeft dan wat er gemeten is. Het verschil ligt bij de meeste ontvangers rond de 5 à 6 dB, met een paar punten waarbij het verschil iets kleiner is.

Het is mogelijk dat de absorptiewaardes niet helemaal overeen komen of dat er in Odeon wellicht een veiligheidsmarge wordt toegepast, omdat het verschil bij de meeste punten ongeveer gelijk is.

De metingen die buiten en van de gevel af gedaan zijn verschillen slechts een half dB met de waardes die berekend zijn. Dit is voor een vergelijking tussen een berekening en meting best klein waardoor gezegd kan worden dat de invoerwaardes kloppen.

De berekende waardes op de gevel liggen 1-3dB lager dan de gemeten waardes. Dit is echter een aanvaardbaar verschil. In Geomilieu zal er namelijk eenzelfde verschil gevonden worden.

Om meer inzicht te krijgen naar hoe Odeon zich verhoudt ten opzichte van werkelijke situaties zijn er meer metingen nodig op verschillende locaties met verschillende gevelvormen. Aan de hand van 1 meting is namelijk niet te zeggen of de verschillen en overeenkomsten die hier gevonden zijn in alle gevallen hetzelfde zijn.

5. Conclusie en discussie

De vraag die aan het begin van het onderzoek gesteld werd was of Odeon geschikt is voor het berekenen van de geluidbelasting op gevelvormen die niet met Geomilieu berekend kunnen worden.

Na het onderzoek blijkt Odeon geschikt te zijn voor het berekenen van de geluidbelasting mits er aan enkele randvoorwaarden voldaan wordt:

De randvoorwaarden:

- Om het model moet een box geplaatst worden waarvan alle vlakken, met uitzondering van het bodemvlak, volledig absorberend gemaakt moeten worden. Deze box moet voldoende groot zijn: de vlakken van de box moeten minimaal 100m van het gebouw af liggen.
- De afstand tussen het gebouw en de bron mag niet veel groter zijn dan 20 meter.
- Na berekening van de geluidbelasting op de gevel moet de waarde met 3dB verlaagd worden om te compenseren voor de reflectie van de gevel.
- Het aantal "late rays" moet verhoogd worden tot rond de 100.000 om er zeker van te zijn dat de ontvangers voldoende informatie ontvangen voor de berekeningen.
- Er moet altijd een pad zijn tussen bron en ontvanger voor het geluid om af te leggen. Wanneer deze ontbreekt, bijvoorbeeld bij een hoog balkon zonder plafond, rekent Odeon te positief.

De voor- en nadelen van Odeon

Odeon heeft verschillende voor- en nadelen voor het berekenen van de geluidbelasting op gevels.

Voordelen:

- Vlakken in alle richtingen worden meegenomen in de berekening.
- Mogelijkheid tot het maken van (kleine) aanpassingen aan het model in het programma zelf.
- Materialen aan vlakken koppelen voor een reëlere absorptie/reflectie.
- Meerdere opdrachten tegelijk te berekenen.
- De mogelijkheid om ook de nagalmtijd en de transmissie te berekenen.
- Inzichtelijk maken van de weg dat het geluid aflegt door de functies "3D investigative rays" en "3D Billiard".
- Kan inzicht geven in welke opties het meeste effect hebben op het verlagen van de geluidbelasting.
- Odeon geeft geloofwaardige rekenresultaten.

Nadelen:

- Niet elke situatie is geschikt om met Odeon berekend te worden.
- Door de ray-tracing methode kan er een paar tienden onnauwkeurigheid ontstaan zoals beschreven in hoofdstuk 7.e.
- Het modelleren van de omgeving is ingewikkelder dan in Geomilieu.
- Geen speciale functies voor het modelleren van omgevingsgeluid zoals dit in Geomilieu gebeurt.
- Er zijn meer vergelijkingen met echte metingen nodig om er zeker van te zijn of de uitkomsten uit Odeon helemaal betrouwbaar zijn.

Is Odeon geschikt?

Na alle tests is gebleken dat Odeon in verschillende varianten een uitkomst kan bieden voor het preciezer bepalen van de geluidbelasting op de gevel.

Geomilieu zal nog het meest geschikte programma blijven voor situaties met een vlakke gevel of bij een grote afstand tussen bron en ontvanger.

Odeon is vooral geschikt wanneer er plaatselijk een preciezere berekening nodig is.

Door de voordelen die Odeon met zich mee brengt kan dit programma een goed inzicht geven in wat de invloed van verschillende gevelvormen is op het geluidniveau op de gevel. Daarnaast biedt het de mogelijkheid om verder te onderzoeken wat de meest effectieve manieren zijn om het geluidniveau te verlagen.

Aanbeveling

Odeon is niet bedoeld om Geomilieu te vervangen.

In alle modellen zal Geomilieu aan de basis van de berekeningen liggen. Zodra er een gevelvorm berekend moet worden die niet in Geomilieu gemodelleerd kan worden zal Odeon gebruikt worden. Odeon dient dan alleen om de invloed van dat specifieke gevelonderdeel te onderzoeken.

Vervolgtesten:

Om optimaal gebruik te kunnen maken van Odeon zullen enkele vervolgtesten nodig zijn.

Meer metingen:

Door Odeon te vergelijken met meerdere metingen kan er meer gezegd worden over de verschillen en overeenkomsten tussen Odeon en de werkelijkheid.

Daarnaast kan er op deze manier getest worden hoe betrouwbaar de materialen uit de materialenbibliotheek zijn.

Meer gevelvormen:

Met behulp van het onderzoek is al een goed beeld gegeven in welke gevallen Odeon wel of niet geschikt is. Door het modelleren van meer gevelvormen zoals geluidschermen of loggia's kan inzicht gekregen worden hoe Odeon met deze gevelvormen omgaat.

Transmissie:

De mogelijkheid om Odeon ook te gebruiken voor het berekenen van de transmissie is een functie die Odeon een grote meerwaarde kan geven. Omdat transmissie geen onderdeel van het onderzoek was is hier verder niet diep op ingegaan.

Het is voor toekomstige berekeningen echter wel interessant of de waardes die voor de transmissie berekend worden ook kloppen en hoe dit geïntegreerd kan worden in de huidige berekeningen.

6. Bronnen:

- (1) Sonus; cursus akoestiek, grondbeginselen akoestiek; 2006.
- (2) Odeon Room Acoustics software; User Manual; versie 12.
- (3) Geomilieu; help-functie; v2.40.
- (4) Ministerie van volkshuisvesting, ruimtelijke ordening en milieubeheer, dictoraat-generaal van de volkshuisvesting; Herziening rekenmethode geluidwering gevels; jaargang '89.
- (5) TNO Technisch Fysische Dienst TU Delft, M+P Raadgevende Ingenieurs B.V., Adviesbureau Peutz & Associés B.V.; Handleiding meten en rekenen Industrielawaai
- (6) D.C. Giancoli; Natuurkunde deel III, moderne natuurkunde 1994; <http://www.geestkunde.net/uittreksels/giancoli-natuurkunde.html>; 21-05-2015.
- (7) Wikipedia; <http://nl.wikipedia.org/wiki/Geluidsniveau>; 21-05-2015
- (8) Wikipedia; [http://nl.wikipedia.org/wiki/Decibel_\(eenheid\)](http://nl.wikipedia.org/wiki/Decibel_(eenheid)); 21-05-2015
- (9) Sonus; Geluidabsorptie, geluidisolatie en reflectie van geluid; <http://www.sonus.nl/dutch/begrippen/toelichtingen/absorptie.html>; 21-05-2015
- (10) Van Echtelt Metaal; Project Groot Horloo; http://www.vanechteltmetaal.nl/online/images/projecten/2011/2010-groot-balkon_1.jpg; 21-05-2015
- (11) Ide Desain Balkon Rumah Minimalis Modern; <http://www.rumahtipemimalis.com/ide-desain-balkon-rumah-minimalis-modern/>; 21-05-2015
- (12) victorien koningsberger; DE STAD VAN DE ANDERE KANT BEKEKEN; Locatie sf van Ossstraat; <http://www.victorienkoningsberger.nl/blog/excursies-langs-en-in-hoogbouw/s-f-van-ossstraat-galerij/>
- (13) Architect Marcus dipietro; <http://www.marcusdipietro.com/index.php#mi=2&pt=1&pi=10000&s=0&p=13&a=0&at=0>; 21-05-2015
- (14) Oskomera; tweede huid gevel; Vitens in Utrecht; <http://www.oskomera.nl/prd53-tweede-huid-gevel.html>
- (15) Wikipedia; gehoordrempel; <http://nl.wikipedia.org/wiki/Gehoordrempel>; 27-05-2015
- (16) DGMR; Brochure Geomilieu; 01-6-2015

7. Bijlagen

Bijlage 1: Berekening op het naar binnen liggend balkon

Bijlage 1 bevat alle achterliggende informatie en berekeningen van het naar binnen liggend balkon.

Opzet in Geomilieu

Door het verhogen van het geluidscherm kon de hoogte van het balkon en van de balustrade aangepast worden.

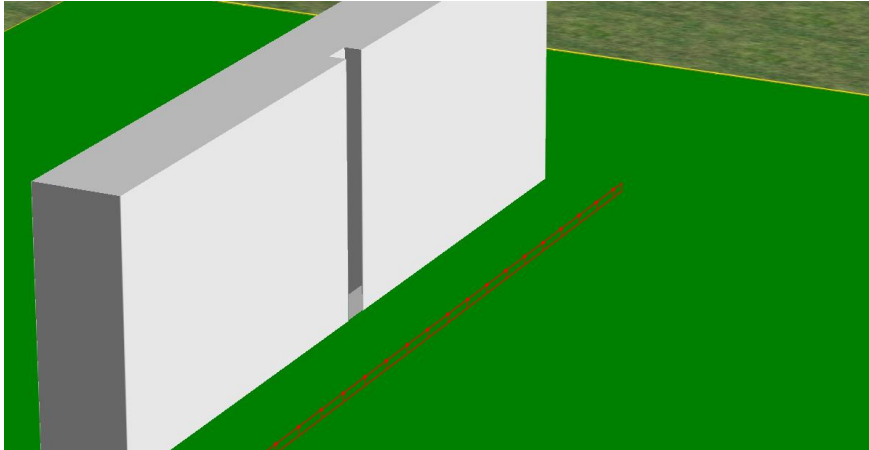


Fig. B1: Model Geomilieu. Scherm op 3 meter hoog

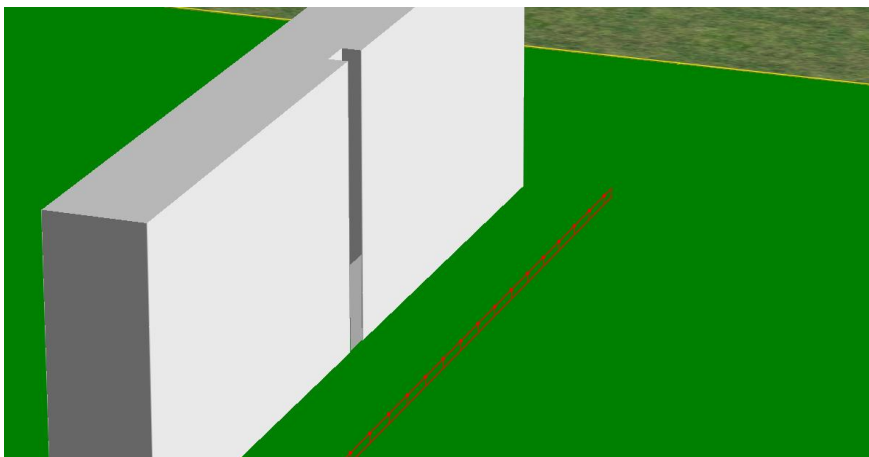


Fig. B2: Model Geomilieu. Scherm op 9 meter hoog

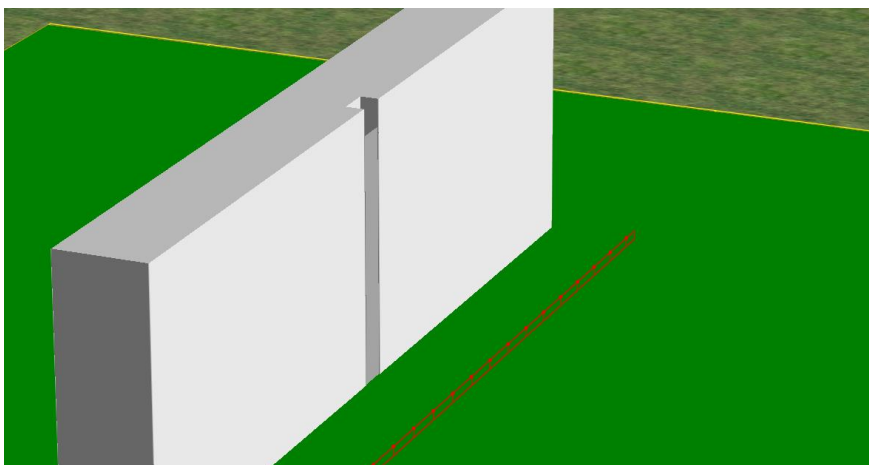


Fig. B3: Model Geomilieu. Scherm op 27 meter hoog

Het model kan ook in doorsnede getoond worden. Aanzichten worden in deze weergave niet weergegeven. De blok staat voor het gebouw. De lijn voor het gebouw is het geluidsschermbord. De cirkels aan de gevel zijn de meetpunten. De meetpunten bevinden zich op een hoogte van 4,5m, 10,5m, en 27,5m.

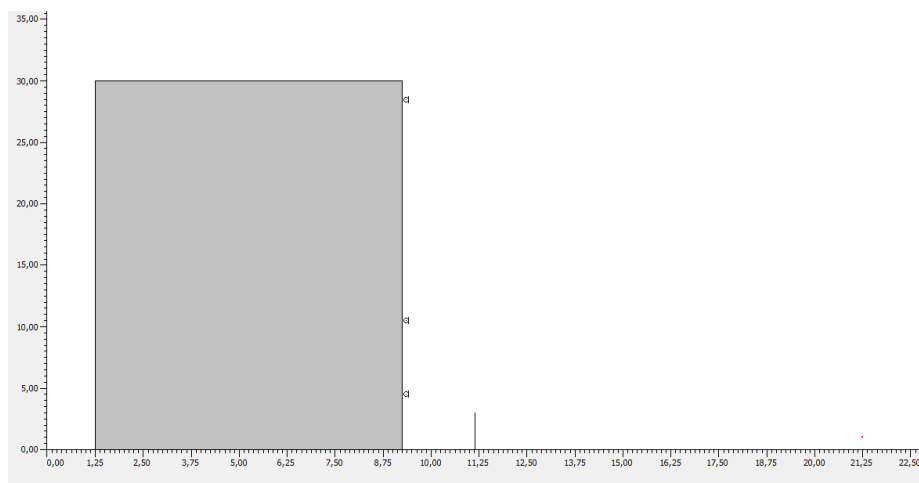


Fig. B4: Doorsnede van het model in Geomilieu. Scherm op 3 meter hoogte

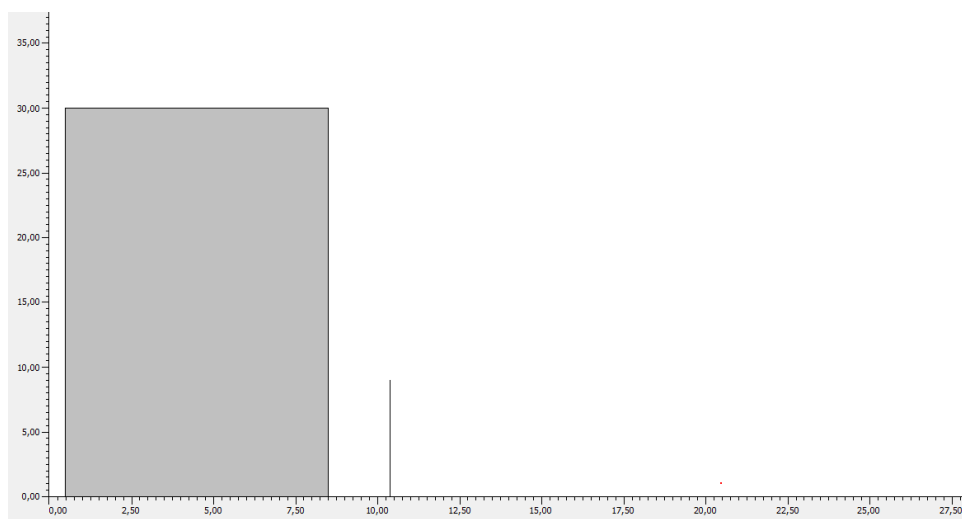


Fig. B5: Doorsnede van het model in Geomilieu. Scherm op 9 meter hoogte

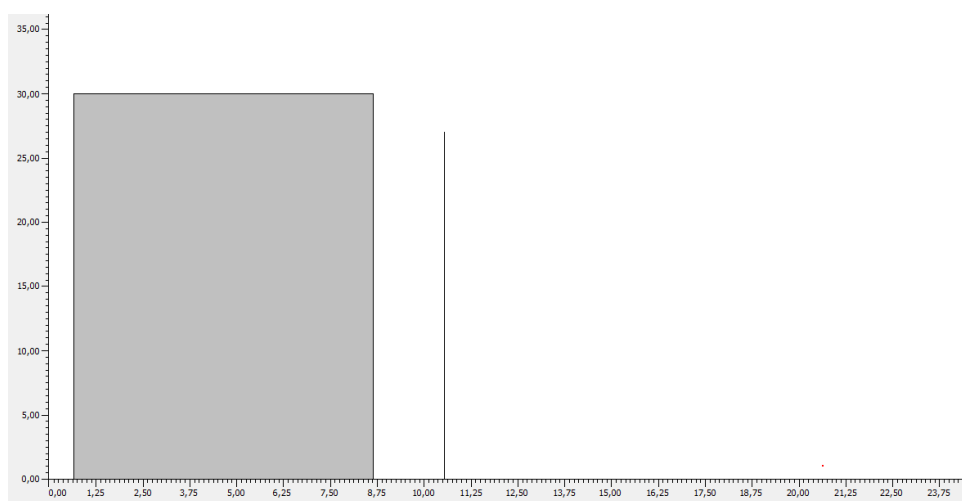


Fig. B6: Doorsnede van het model in Geomilieu. Scherm op 27 meter hoogte

Alle waarden die op het naar binnen liggende balkon berekend zijn, zijn naast elkaar in het onderstaande tabel gezet:

	Odeon			Geomilieu			rekenmethode		
bron 10m	4,5m	10,5m	28,5m	4,5m	10,5m	28,5m	4,5m	10,5m	28,5m
open balkon	77,1	73,8	66,2	75,9	70,8	57	77,1	75,7	71,5
balustrade 1,2m	70,8	74,3	65	70,1	62,3	55	77,1	75,7	71,5
balustrade 1,5m	71,2	74,3	63,7	66,9	60,9	54,8	77,1	75,7	71,5
balustrade 2m	71,1	71,9	61	63,2	59,2	54,5	77,1	75,7	71,5
bron 20m									
open balkon	73,4	72,7	68,1	73,8	73,3	62,1	73,4	72,9	71,5
balustrade 1,2m	65,4	66,6	67,3	70,1	65	56,1	73,4	72,9	71,5
balustrade 1,5m	63,9	67,4	66,2	67,4	62,4	55,2	73,4	72,9	71,5
balustrade 2m	64	67,6	60,4	62,5	59,3	54,2	73,4	72,9	71,5

Tabel B1: Alle berekende waarden

Hieronder staat het effect van het balkon weergegeven ten opzichte van een vlakke gevel.

open balkon			(afname)
bron 10m	vlakke gevel	balkon	verschil
4,5m	78,1	76,7	1,4
10,5m	76,7	73,4	3,3
28,5m	72,5	65,8	6,7
bron 20m			
4,5m	74,4	72,8	1,6
10,5m	73,9	72,1	1,8
28,5m	71,2	67,5	3,7

Tabel B2: berekende waarden bij het open balkon uit Odeon

open balkon			(afname)
bron 10m	vlakke gevel	balkon	verschil
4,5m	78,1	75,9	2,2
10,5m	76,7	70,8	5,9
28,5m	72,5	57	15,5
bron 20m			
4,5m	74,5	73,8	0,7
10,5m	74	73,3	0,7
28,5m	71,4	62,1	9,3

Tabel B3: berekende waarden bij het open balkon uit Geomilieu

balustrade 1,2m			(afname)
bron 10m	vlakke gevel	balkon	verschil
4,5m	78,1	70,4	7,7
10,5m	76,7	73,9	2,8
28,5m	72,5	64,6	7,9
bron 20m			
4,5m	74,4	64,8	9,6
10,5m	73,9	66	7,9
28,5m	71,2	66,7	4,5

Tabel B4: berekende waarden bij een balustrade van 1,2m uit Odeon

balustrade 1,2m			(afname)
bron 10m	vlakke gevel	balkon	verschil
4,5m	78,1	70,1	8
10,5m	76,7	62,3	14,4
28,5m	72,5	55	17,5
bron 20m			
4,5m	74,5	70,1	4,4
10,5m	74	65	9
28,5m	71,4	56,1	15,3

Tabel B5: berekende waarden bij een balustrade van 1,2m uit Geomilieu

balustrade 1,5m			(afname)
bron 10m	vlakke gevel	balkon	verschil
4,5m	78,1	70,8	7,3
10,5m	76,7	73,5	3,2
28,5m	72,5	63,3	9,2
bron 20m			
4,5m	74,4	63,3	11,1
10,5m	73,9	66,8	7,1
28,5m	71,2	65,6	5,6

Tabel B6: berekende waarden bij een balustrade van 1,5m uit Odeon

balustrade 1,5m			(afname)
bron 10m	vlakke gevel	balkon	verschil
4,5m	78,1	66,9	11,2
10,5m	76,7	60,9	15,8
28,5m	72,5	54,8	17,7
bron 20m			
4,5m	74,5	67,4	7,1
10,5m	74	62,4	11,6
28,5m	71,4	55,2	16,2

Tabel B7: berekende waarden bij een balustrade van 1,5m uit Geomilieu

balustrade 2m			(afname)
bron 10m	vlakke gevel	balkon	verschil
4,5m	78,1	71	7,1
10,5m	76,7	71,5	5,2
28,5m	72,5	60,6	11,9
bron 20m			
4,5m	74,4	63,4	11
10,5m	73,9	67	6,9
28,5m	71,2	59,8	11,4

Tabel B8: berekende waardes bij een balustrade van 2m uit Odeon

balustrade 2m			(afname)
bron 10m	vlakke gevel	balkon	verschil
4,5m	78,1	63,2	14,9
10,5m	76,7	59,2	17,5
28,5m	72,5	54,5	18
bron 20m			
4,5m	74,5	62,5	12
10,5m	74	59,3	14,7
28,5m	71,4	54,2	17,2

Tabel B9: berekende waardes bij een balustrade van 2m uit Geomilieu

Verschil tussen open balkon en met balustrades							
	Bronafstand 10m						
balkon	Open balkon	1,2m	Verschil	1,5m	Verschil	2m	verschil
3	77,1	70,8	6,3	71,2	5,9	71,1	6
9	73,8	74,3	-0,5	74,3	-0,5	71,9	1,9
27	66,2	65	1,2	63,7	2,5	61	5,2
	Bronafstand 20m						
balkon	Open balkon	1,2m	Verschil	1,5m	Verschil	2m	verschil
3	73,4	65,4	8	63,9	9,5	64	9,4
9	72,7	66,6	6,1	67,4	5,3	67,6	5,1
27	68,1	67,3	0,8	66,2	1,9	60,4	7,7

Tabel B10: Het effect van de balustrade op het geluïniveau op de gevel

Bijlage 2: Berekeningen op de zijgevels

Er waren verschillende tests nodig om te zorgen dat beide zijgevels van het naar binnen liggende balkon dezelfde uitkomsten kregen.

Wanneer er gerekend wordt met 1000 late rays (standaard hoeveelheid in Odeon) dan zorgt die voor een verschil tussen links en rechts. Hieronder staat de achtergevel weergegeven van het balkon op 9 meter hoogte met een balustrade van 1,2 meter. Zoals te zien is verschillen de waardes links en rechts op sommige plekken meerdere dBs van elkaar.

12m					
11,5m		80,3	78,4	74,9	
11m		75,6	78,4	74,4	
10,5m		77,1	76,9	75,6	
10m		77	75,8	75,8	
9,5m		70,8	70,9	71,2	
9m					
	48,2m	49,2m	50m	50,8m	51,8m

Fig. B7: weergave van de berekeningen op de achtergevel bij 1000 late rays

Wanneer dit aantal wordt verhoogd naar 100.000 komen deze waardes al veel dichter bij elkaar te liggen. Het verschil daalt dan tot maximaal 0,4dB. 100.000 late rays hoeft niet altijd de optimale instelling te zijn. In dit geval geeft deze instelling de beste waardes.

12m											
10,2m	77		77,3	77,4	77			77,1			
10,5m	74,4		77,6	77,3	77,2			74,5			
9,8m	74,5		76,3	76,2	75,9			74,6			
9m											
	10m	9m	8m	48,2m	49m	50m	51m	51,8m	8m	9m	10m

Fig. B8: weergave van de berekeningen op de achtergevel bij 100.000 late rays

Bijlage 3: berekeningen naar buiten liggend balkon

In bijlage 3 staan alle rekenwaardes, verkregen uit de modellen van het naar buiten liggende balkon.

In de onderstaande tabel staan alle berekende waardes voor beide balkons, beide bronafstanden en alle balustradehoogtes naast elkaar.

	balkon 3m breed			Balkon 5m breed		
bron 10m	4,5m	10,5m	28,5m	4,5m	10,5m	28,5m
open balkon	78,3	75,8	66,4	78,6	75,6	59,1
balustrade 1,2m	74,3	72,8	44	74,4	73,9	33,5
balustrade 1,5m	72,3	72,4	41,6	74	73,7	31,5
balustrade 2m	72,8	71	39	74,4	72	29,6
bron 20m						
open balkon	74,1	73,9	65,9	74,1	74,1	58,9
balustrade 1,2m	69,8	66	43,8	67,4	67,1	33,4
balustrade 1,5m	60,4	65,9	41,3	61,2	67,6	31,6
balustrade 2m	61,5	66,9	38,7	63,4	68,6	29,6

Tabel B11: Berekende waardes van het naar buiten liggende balkon

Om de invloed van het balkon inzichtelijk te maken is er gekeken wat het verschil is tussen de berekening op de vlakke gevel en met het balkon.

Balkon van 3 meter breed

open balkon			
bron 10m	vlakke gevel	balkon	verschil
4,5m	78,1	78,3	-0,25
10,5m	76,6	75,8	0,81
28,5m	72,3	66,4	5,93
bron 20m			
4,5m	74,7	74,1	0,57
10,5m	74,1	73,9	0,21
28,5m	71,4	65,9	5,5

Tabel B12: berekende waardes bij het balkon van 3m zonder balustrade

balustrade 1,2m			
bron 10m	vlakke gevel	balkon	verschil
4,5m	78,1	74,3	3,75
10,5m	76,6	72,8	3,81
28,5m	72,3	44	28,33
bron 20m			
4,5m	74,7	69,8	4,87
10,5m	74,1	66	8,11
28,5m	71,4	43,8	27,6

Tabel B13: berekende waardes bij het balkon van 3m met een balustrade van 1,2m

balustrade 1,5m			
bron 10m	vlakke gevel	balkon	verschil
4,5m	78,1	72,3	5,75
10,5m	76,6	72,4	4,21
28,5m	72,3	41,6	30,73
bron 20m			
4,5m	74,7	60,4	14,27
10,5m	74,1	65,9	8,21
28,5m	71,4	41,3	30,1

Tabel B14: berekende waarden bij het balkon van 3m met een balustrade van 1,5m

balustrade 2m			
bron 10m	vlakke gevel	balkon	verschil
4,5m	78,1	72,8	5,25
10,5m	76,6	71	5,61
28,5m	72,3	39	33,33
bron 20m			
4,5m	74,7	61,5	13,17
10,5m	74,1	66,9	7,21
28,5m	71,4	38,7	32,7

Tabel B15: berekende waarden bij het balkon van 3m met een balustrade van 2m

Balkon van 5 meter breed.

open balkon			
bron 10m	vlakke gevel	balkon	verschil
4,5m	77,7	78,6	-0,9
10,5m	76,2	75,6	0,6
28,5m	71,9	59,1	12,8
bron 20m			
4,5m	74,1	74,1	0
10,5m	73,5	74,1	-0,6
28,5m	70,8	58,9	11,9

Tabel B16: berekende waarden bij het balkon van 5m zonder balustrade

balustrade 1,2m			
bron 10m	vlakke gevel	balkon	verschil
4,5m	77,7	74,4	3,3
10,5m	76,2	73,9	2,3
28,5m	71,9	33,5	38,4
bron 20m			
4,5m	74,1	67,4	6,7
10,5m	73,5	67,1	6,4
28,5m	70,8	33,4	37,4

Tabel B17: berekende waarden bij het balkon van 5m met een balustrade van 1,2m

balustrade 1,5m			
bron 10m	vlakke gevel	balkon	verschil
4,5m	77,7	74	3,7
10,5m	76,2	73,7	2,5
28,5m	71,9	31,5	40,4
bron 20m			
4,5m	74,1	61,2	12,9
10,5m	73,5	67,6	5,9
28,5m	70,8	31,6	39,2

Tabel B18: berekende waarden bij het balkon van 5m met een balustrade van 1,5m

balustrade 2m			
bron 10m	vlakke gevel	balkon	verschil
4,5m	77,7	74,4	3,3
10,5m	76,2	72	4,2
28,5m	71,9	29,6	42,3
bron 20m			
4,5m	74,1	63,4	10,7
10,5m	73,5	68,6	4,9
28,5m	70,8	29,6	41,2

Tabel B19: berekende waarden bij het balkon van 5m met een balustrade van 2m

Bijlage 4: Berekeningen galerij

In bijlage 4 staan alle rekengegevens weergegeven die horen bij het model van het gebouw met de galerijen.

In het onderstaande tabel staan alle berekende waarden die horen bij de ontvangers die zich bevinden in het midden van de gevel.

Alle middenpunten			
bron 10m	4,5m	10,5m	28,5m
open galerij	79	74,7	47,5
balustrade 1,2m	75,2	74,7	--
balustrade 1,5m	75,4	74,2	--
balustrade 2m	75,6	71,3	--
bron 20m			
open galerij	74,2	74,3	51,4
balustrade 1,2m	65,2	68,8	--
balustrade 1,5m	63,1	69,4	--
balustrade 2m	66,3	69,6	--

Tabel B20: Rekenwaardes van de ontvangers op het midden van de gevel

De uitkomsten zijn vergeleken met de vlakke gevel zodat zichtbaar wordt wat het effect van deze gevelvorm is.

open galerij			
bron 10m	vlakke gevel	balkon	verschil
4,5m midden	78,1	79	-0,95
links		78,7	
rechts		78,7	
10,5m midden	76,6	74,7	1,91
links		74,3	
rechts		74,4	
28,5m midden	72,3	47,5	24,83
links		47,1	
rechts		47,1	
bron 20m			
4,5m midden	74,7	74,2	0,47
links		73,7	
rechts		73,7	
10,5m midden	74,1	74,3	-0,19
links		73,8	
rechts		73,8	
28,5m midden	71,4	51,4	20
links		51	
rechts		51	

Tabel B21: berekende waardes open galerij

balustrade 1,2m			
bron 10m	vlakke gevel	balkon	verschil
4,5m midden	78,1	75,2	2,85
links		75	
rechts		74,9	
10,5m midden	76,6	74,7	1,91
links		74,3	
rechts		74,4	
28,5m midden	72,3		72,33
links			
rechts			
bron 20m			
4,5m midden	74,7	65,2	9,47
links		64,5	
rechts		64,5	
10,5m midden	74,1	68,8	5,31
links		68,3	
rechts		68,2	
28,5m midden	71,4		71,4
links			
rechts			

Tabel B22: berekende waardes galerij met balustrade van 1,2m

balustrade 1,5m			
bron 10m	vlakke gevel	balkon	verschil
4,5m midden	78,1	75,4	2,65
links		75,2	
rechts		75,2	
10,5m midden	76,6	74,2	2,41
links		73,8	
rechts		73,9	
28,5m midden	72,3		72,33
links			
rechts			
bron 20m			
4,5m midden	74,7	63,1	11,57
links		62	
rechts		62,3	
10,5m midden	74,1	69,4	4,71
links		68,7	
rechts		68,7	
28,5m midden	71,4		71,4
links			
rechts			

Tabel B21: berekende waardes galerij met balustrade van 1,5m

balustrade 2m			
bron 10m	vlakke gevel	balkon	verschil
4,5m midden	78,1	75,6	2,45
links		75,4	
rechts		75,2	
10,5m midden	76,6	71,3	5,31
links		70,9	
rechts		70,9	
28,5m midden	72,3		72,33
links			
rechts			
bron 20m			
4,5m midden	74,7	66,3	8,37
links		65,6	
rechts		65,3	
10,5m midden	74,1	69,6	4,51
links		69,5	
rechts		69,5	
28,5m midden	71,4		71,4
links			
rechts			

Tabel B22: berekende waardes galerij met balustrade van 2m

Bijlage 5: vergelijking van een werkelijke situatie

In deze bijlage staan de uitkomsten van de vergelijking tussen Odeon en de metingen van een bestaande situatie weergegeven.

De ruimte en de materialen:

Om zo dicht mogelijk bij de werkelijke situatie in de buurt te komen zijn er verschillende materialen toegewezen aan de vlakken van het model.

Aan de hand van de afwerking die zichtbaar was zijn er materialen uit de materialenbibliotheek in Odeon toegewezen aan de vlakken in de ruimte.

De gemodelleerde kamer met de zichtbare materialen:



Fig. B9: rechterdeel van de gemeten ruimte



Fig. B9: linkerdeel van de gemeten ruimte

De volgende materialen zijn gekozen voor de ruimte:

Onderdeel	Mat. Nr.	Beschrijving
binnenvloer	7001	6mm pile-carpet bonded to closed-cell foam underlay



63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
0,03000	0,03000	0,09000	0,25000	0,31000	0,33000	0,44000	0,44000

Fig. B10: absorptiewaardes vloer

binnenwanden	10001	single pane of glass
--------------	-------	----------------------



63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
0,18000	0,18000	0,06000	0,04000	0,03000	0,02000	0,02000	0,02000

Fig. B11: absorptiewaardes wanden

binnenwand gevel	1005	is een stenen wand met groffe afwerking. Materiaal bij benadering
------------------	------	---

plafond ruimte	12400	mineraalfibreplate
----------------	-------	--------------------



63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
0,45000	0,45000	0,60000	0,60000	0,80000	0,80000	0,65000	0,65000

Fig. B12: absorptiewaardes plafond

Alle gemeten en berekende waardes en het verschil tussen de 2:

SPL (Lin)			
	gemeten waarde	Odeon	Vershil
#1	96,9	99,3	2,4
#2	96,3	101,8	5,5
#3	93,8	99,1	5,3
#4	85,6	91,8	6,2
#5	84,6	90,4	5,8
#6	86,4	90,1	3,7
#7	85,8	91,7	5,9
#8	79,8	86,5	6,7
#B1	99,7	100,1	0,4
#B2	100,2	100,7	0,5
#B3	101,3	100,3	-1
#B4	102,5	100,2	-2,3
#B5	101	98,5	-2,5
#B6	101,9	101,6	-0,3

Tabel B23: Verschil tussen de gemeten waardes en de waardes uit Odeon.