

Handleiding rekentool

‘WPAC-geluid V2020_0’

**t.b.v. geluid van buiten opgestelde installaties
voor warmte- of koudeopwekking**

Opdrachtgever

Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties

Kenmerk

R061336ad.20DGNNU.tc

Versie

03_001

Datum

12 november 2020

Auteur

ir. Th.B.J. (Theo) Campmans

ir. W.G.M. (Wim) Beentjes

Dit rapport is opgesteld in overleg met:

- Vereniging Warmtepompen
- Techniek Nederland
- NVKL
- VNO-NCW
- Nederlandse Verwarmingsindustrie
- FME

Het ministerie van Binnenlandse zaken en Koninkrijkrelaties, LBPSIGHT en degenen die aan de samenstelling van deze publicatie en bijbehorend rekentool hebben meegewerkt, hebben een zo groot mogelijke zorgvuldigheid betracht bij zowel het verzamelen als bij het verwerken van de in deze publicatie vervatte gegevens. Echter kan niet worden uitgesloten, dat deze publicatie onvolledig is of dat zij onjuistheden of onvolkomenheden bevat. Tevens sluiten zij iedere aansprakelijkheid uit voor zowel schade die mocht voortvloeien uit het gebruik als schade die zou kunnen ontstaan als gevolg van eventuele (druk)fouten, onvolledigheden en onvolkomenheden van deze publicatie.

Degene die van deze publicatie en de daarin vermelde gegevens gebruik maakt, aanvaardt dan ook zelf daarvoor het risico.

Inhoudsopgave

1	Inleiding.....	5
2	Keuze uit situaties.....	6
2.1	Gg_1 - grondgebonden woning, buitenunit op maaiveld	7
2.2	Gg_2 - grondgebonden woning, buitenunit op aanbouw tegen de woning	8
2.3	Gg_2A - grondgebonden woning, buitenunit op bouwwerk achter op het perceel.....	8
2.4	Gg_3 - grondgebonden woning, buitenunit op dak van woning	8
2.5	Ap - appartementenbouw, buitenunit tegen gevel of op dak	9
3	Uitgangspunten rekentool.....	11
3.1	Wettelijke eisen	11
3.2	Algemene opzet rekentool	11
3.3	Voor welke situaties is de rekentool geschikt?	13
3.4	Afscherming	14
3.5	Richtfactor Q	14
3.6	Soorten invoervelden in tool	17
4	Invoer bij situaties met grondgebonden woningen.....	18
4.1	Situatie Gg_1 - Buitenunit in een tuin op maaiveld.....	18
4.1.1	Plattegrond in situatie Gg_1.....	19
4.1.2	Invoervelden rekentool in situatie Gg_1.....	20
4.1.3	Toelichting invoergegevens in situatie Gg_1	20
4.1.4	Toelichting output in situatie Gg_1.....	22
4.1.5	Resultaten bij berekeningen in situatie Gg_1	23
4.1.6	Voorbeeldsituatie Gg_1 met buitenunit achter op perceel tegen schuurtje	23
4.1.7	Voorbeeldsituatie Gg_1 met handmatige invoer $Q_{geluidbron}$	27
4.2	Situatie Gg_2 - Buitenunit op een aanbouw tegen woning.....	30
4.2.1	Plattegrond in situatie Gg_2.....	30
4.2.2	Invoervelden rekentool in situatie Gg_2.....	31
4.2.3	Toelichting invoergegevens in situatie Gg_2	31
4.2.4	Toelichting output in situatie Gg_2.....	34
4.2.5	Resultaten bij berekeningen in situatie Gg_2	35
4.3	Situatie Gg_2A - Buitenunit op een bouwwerk achter op perceel	36
4.3.1	Plattegrond in situatie Gg_2A.	36
4.3.2	Invoervelden rekentool in situatie Gg_2A	37
4.3.3	Toelichting invoergegevens in situatie Gg_2A.....	37
4.3.4	Toelichting Output in situatie Gg_2A	38
4.3.5	Resultaten bij berekeningen in situatie Gg_2A.....	38
4.4	Situatie Gg_3: Buitenunit op een woning.....	40
4.4.1	Plattegrond in Gg_3:	40
4.4.2	Invoervelden in situatie Gg_3:	41
4.4.3	Toelichting invoergegevens in situatie Gg_3	41
4.4.4	Toelichting Output in situatie Gg_3.....	42
4.4.5	Resultaten bij berekeningen in situatie Gg_3	43

5	Invoer bij situaties bij appartementen.....	44
5.1	Opzet rekentool appartementen	44
5.2	Invoervelden bij appartementen.....	44
5.2.1	Voorbeeldappartement 1: richtfactoren $Q_{\text{geluidbron}}$ en $Q_{\text{ontvanger}}$ bij appartementen	47
5.2.2	Voorbeeldappartement 2: een situatie met een galerij en inpandige balkons ...	52
6	Nawoord	55

Bijlagen

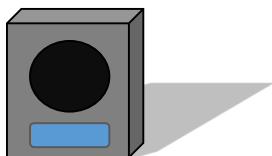
Bijlage I	Korte uitleg geluid en geluidvoortplanting
Bijlage II	Verantwoording rekenmethode
Bijlage III	Rekentool als Open Office rekensheet

1 Inleiding

In het Bouwbesluit 2012 (Staatsblad 2020, nr. 189 ¹) worden geluideisen gesteld aan (nieuw te plaatsen) buiten opgestelde installaties voor warmte- of koudeopwekking. Het gaat hierbij om buitenunits van Lucht-Water warmtepompen en Lucht-Lucht warmtepompen (meestal aangeduid als airco's).

In artikel 3.8.2 en 3.9.3 van het Bouwbesluit 2012 is het geluidniveau vastgelegd waarvan sprake mag zijn op de perceelgrens met een ander (bouwwerk)perceel of op de te openen deuren of ramen op hetzelfde perceel. De eisen gelden alleen voor woningen en woongebouwen. In de Regeling Bouwbesluit 2012² is opgenomen hoe het geluidniveau van de installaties bepaald moet worden. De wettelijke bepalingsmethode is een meting op locatie, zoals gebruikelijk is bij geluid-eisen in de bouw- en milieuregelgeving. Dat de wettelijke bepalingsmethode een meetmethode op locatie is, betekent echter niet dat bij buiten opgestelde installaties daadwerkelijk moet worden gemeten. In de praktijk kan namelijk op basis van akoestische berekeningen vaak aannemelijk worden gemaakt dat voldaan zal worden aan de geluideis. Voor deze berekeningen is de deze rekentool gemaakt.

Deze handleiding beschrijft hoe de rekentool voor het geluid van buiten opgestelde warmtepompen en airco's gebruikt moet worden. Ter vereenvoudiging van de tekst wordt daarbij in het vervolg steeds gesproken over 'de buitenunit'.



Het doel is om op basis van de positie van de buitenunit ten opzichte van de perceelgrens en/of andere nabijgelegen controleposities bij woningen het maximaal toelaatbare geluidvermogen-niveau van een buitenunit te bepalen, voor een aantal veel voorkomende situaties. In situaties waar de rekentool niet geschikt is, moet extra deskundigheid worden ingeschakeld, bijvoorbeeld van een akoestisch adviesbureau.

Deze handleiding beoogt niet om een 'mini-cursus geluid' te zijn, maar enkele relevante begrippen ten aanzien van geluid en de overdracht van geluid worden in bijlage I uitgelegd.

¹ <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stb-2020-189.html>

² <https://www.rijksoverheid.nl/ministeries/ministerie-van-binnenlandse-zaken-en-koninkrijksrelaties/documenten/besluiten/2020/10/01/concept-regeling-bouwbesluit-2012>

2 Keuze uit situaties

De rekentool berekent in een gegeven situatie het maximaal geluidvermoggenniveau dat voor een buitenunit toelaatbaar is. Daarbij is onderscheid gemaakt in drie verschillende grondgebonden situaties en een vijftal situaties van een buitenunit bij appartementenbouw.

Op de startpagina van de rekentool moet een keuze gemaakt worden uit de situaties, die in tabel 2.1 worden beschreven:

Tabel 2.1

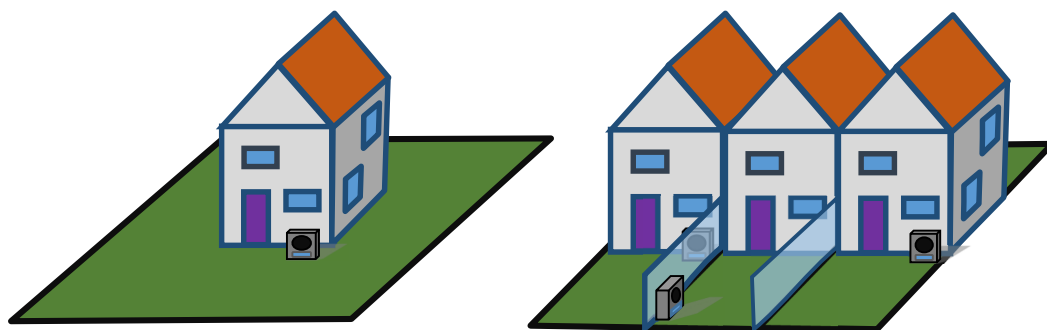
Situaties in rekentool: Gg: Grondgebonden ; Ap (appartementen)

Situatie	Bron	Ontvanger
Gg_1	Op het maaiveld	op perceelgrens op maaiveldhoogte dan wel boven scherm + op extra posities
Gg_2	op aanbouw tegen woning	op perceelgrens op maaiveldhoogte dan wel boven scherm + op extra posities
Gg_2A	op bouwwerk achter in tuin	op perceelgrens op maaiveldhoogte dan wel boven scherm + op extra posities
Gg_3	op dak	op perceelgrens op maaiveldhoogte dan wel boven scherm + op extra posities
Ap	op vlakke gevel	op vlakke gevel, diverse situaties
	Op galerij	op vlakke gevel / er naast / er boven
	Op balkon	In balkon / op vlakke gevel
	In inwendig balkon	Op / in balkon
	Op dak	Tegen gevel

Op de volgende pagina's worden deze basissituaties met enkele figuren weergegeven.

2.1 Gg_1 - grondgebonden woning, buitenunit op maaiveld

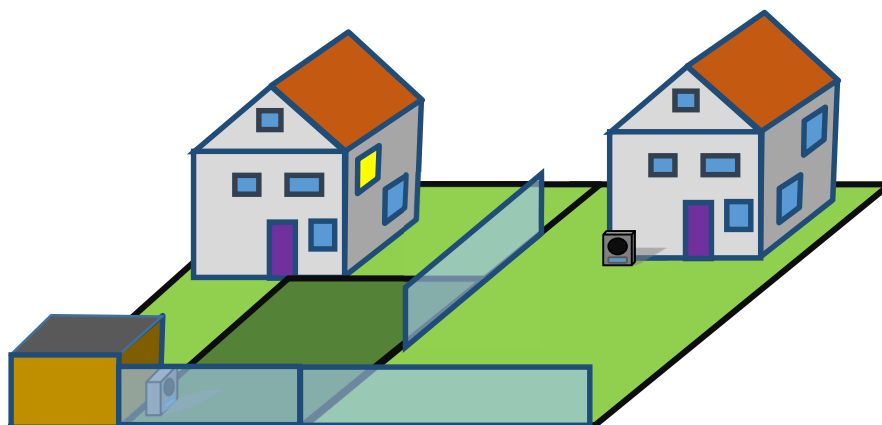
Dit zijn bijvoorbeeld vrijstaande woningen, 2-onder-1-kapwoningen of rijtjeswoningen, met de buitenunit op het maaiveld. Daarbij wordt het effect van schermen (tuinmuren) op de perceelgrens meegenomen.



Figuur 2.1

Voorbeelden met buitenunit geplaatst op maaiveld (schermen zijn transparant weergegeven)

Een andere situatie kan zich voordoen als de buitenunit achter op het perceel staat, vlak bij een schuurtje, bijvoorbeeld in een hoek met een tuinscherm. Dit wordt getoond in figuur 2.2.



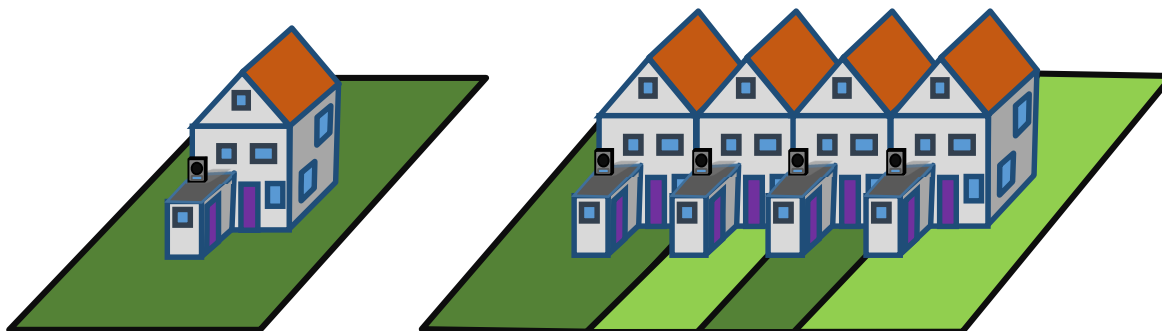
Figuur 2.2

Buitenunit geplaatst voor schuurtje achter in tuin (scherm transparant weergegeven)

Bovenstaand voorbeeld van de linker woning is nader uitgewerkt in paragraaf 4.1.6. De buitenunit van de rechterwoning staat het dichtst bij de perceelgrens van de linker woning, waar een scherm staat. Het geluid moet dan boven het scherm worden beoordeeld, waarbij de schermcorrectie K_{sch} mag worden toegepast onder de voorwaarde dat bij het achterliggende te openen raam (geel) van een verblijfsgebied van de linker woning aan de grenswaarde wordt voldaan.³ Een berekening en toetsing van het resultaat achter het scherm is dan dus nodig.

³ Volgens de (concept) regeling Bouwbesluit, Bijlage VIII, e 1 geldt dit als voorwaarde op te openen ramen/deuren van verblijfsgebieden, om de schermcorrectie K_{sch} te mogen toepassen. Als er een woning mag komen volgens het bestemmingsplan, maar nog niet waar de ramen/deuren komen, dan geldt deze voorwaarde op de hele gevel.

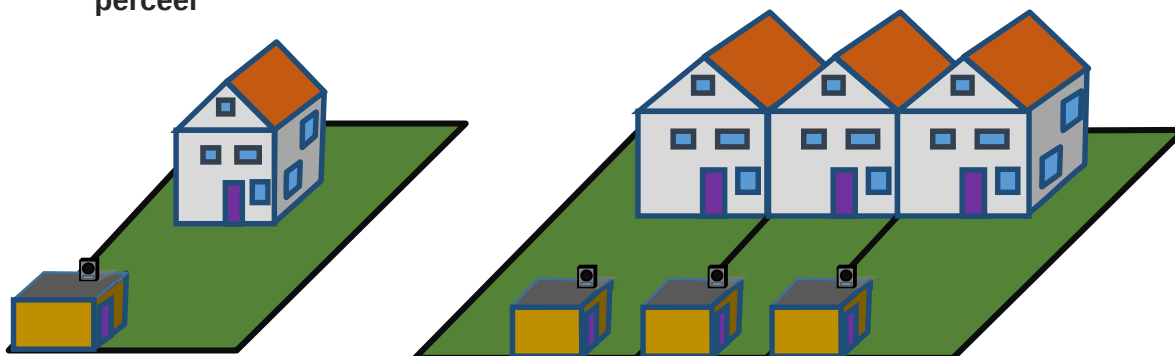
2.2 Gg_2 - grondgebonden woning, buitenunit op aanbouw tegen de woning



Figuur 2.3

Voorbeelden grondgebonden woningen met aanbouw

2.3 Gg_2A - grondgebonden woning, buitenunit op bouwwerk achter op het perceel

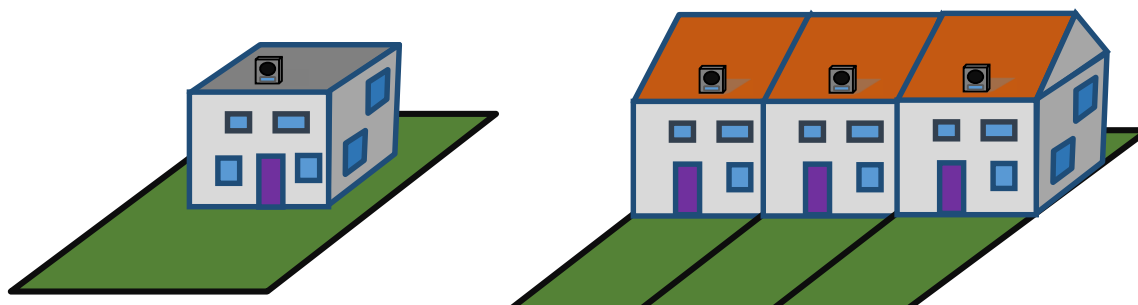


Figuur 2.4

Voorbeelden van grondgebonden woningen met bron op berging/schuurtje

2.4 Gg_3 - grondgebonden woning, buitenunit op dak van woning

Deze situatie rekt zowel voor vrijstaande, 2-onder-1-kapwoningen of rijtjeswoningen, en zowel met een plat dak als een schuin dak.



Figuur 2.5

Geluidbron op het dak van een woning

Bij elk rekenblad wordt op de perceelgrens het geluid berekend, maar daarnaast kunnen drie controleposities worden toegevoegd.

Bij situaties met afscherming, bij voorbeeld door een tuinmuur of bij plaatsing van de buitenunit op een dak/schoorsteen, kan het voorkomen dat er te openen ramen en deuren zijn bij buurwoningen, waar de afscherming niet of in mindere mate optreedt. In dat geval moet ook gerekend worden op posities bij ramen en deuren van buurwoningen. In de meetmethode wordt omschreven dat dan ook bij deze ramen/deuren moet worden gecontroleerd. Zo ook dus in deze rekentool. Bij elk rekenblad is er de mogelijkheid om drie posities in te voeren waar vervolgens het geluidniveau wordt gecontroleerd.

Als de woningen in een rij staan, zoals getoond in figuur 2.6 aan de rechterzijde, dan zijn de ramen bij de burens, één verdieping lager, afgeschermd voor de buitenunits van de naastliggende woningen. Als woningen niet precies op een rechte lijn staan, dan kan er tussen de warmtepomp op het dak en de ramen een ononderbroken rechte lijn worden getrokken, zoals bijvoorbeeld in de situatie in figuur 2.6.



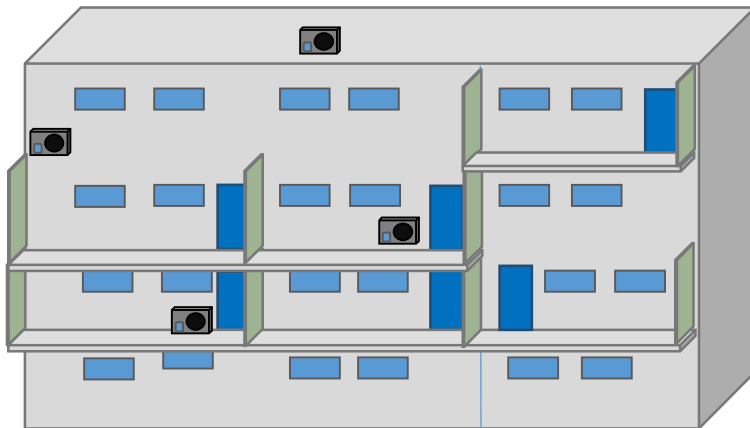
Figuur 2.6

Situaties met buitenunit op het dak van een woning met een niet afgeschermd raam bij de naastgelegen woning.

De niet afgeschermden ramen bij de buurwoning, gezien vanuit de buitenunit, zijn in figuur 2.6 geel gemaakt. Bij de plaatsing van de buitenunit op het dak moet ook worden gecontroleerd bij een te openen zolderraam van een verblijfsgebied bij naastliggende woningen.

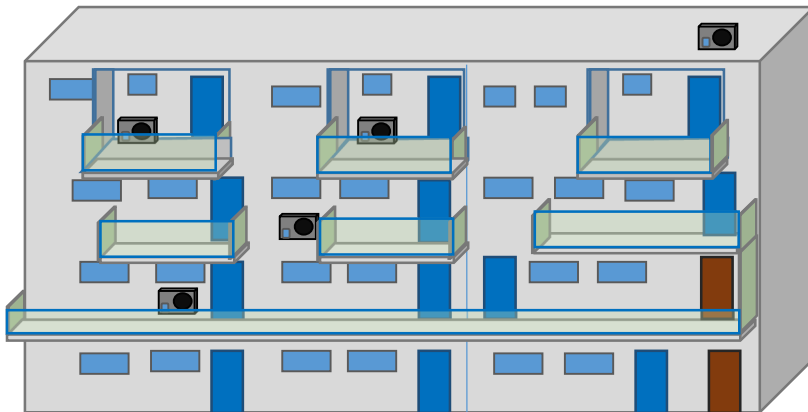
2.5 Ap - appartementenbouw, buitenunit tegen gevel of op dak

Bij appartementengebouwen kunnen allerlei situaties worden doorgerekend worden, die zoal in de praktijk kunnen voorkomen. Aangezien hier geen sprake is van een perceelgrens, wordt berekend wat het geluid is bij de deuren en te openen ramen van aangrenzende woningen. Dit kunnen er vanuit een woning met een buitenunit meerdere zijn, zoals vereenvoudigd weergegeven in figuur 2.7.



Figuur 2.7

Appartementengebouw met uitwendige balkons



Figuur 2.8

Appartementengebouw met een galerij (eerste verdieping), uitwendige balkons (tweede verdieping) en deels inpandige balkons (derde verdieping).

3 Uitgangspunten rekentool

3.1 Wettelijke eisen

Het Bouwbesluit 2012 stelt in artikel 3.8.2 en 3.9.3 eisen aan het geluidniveau van de buitenunit op de perceelgrens bij grondgebonden woningen en bij posities op deuren en te openen ramen bij aangrenzende appartementen. De maximaal optredende geluidniveaus mogen maximaal 40 dB zijn. Conform de meetmethode uit de regeling Bouwbesluit is er voor buitenunits met een afzonderlijke instelling voor de avond+nacht (silent mode) een correctie van - 5 dB toegestaan op de gemeten waarde overdag tussen 07.00 uur en 19.00. Voor die buitenunits geldt dus voor de dagperiode een maximum van 45 dB.

Opgemerkt wordt dat het hier gaat om het geluidvermoggenniveau bij het maximale vermogen (dag of avond+nacht) en niet om het geluidvermoggenniveau dat vermeld staat op het CE-label en dat bepaald is op een lager (nominaal) vermogen

3.2 Algemene opzet rekentool

De rekentool berekent het toelaatbare maximale geluidvermoggenniveau van de buitenunit opdat het geluidniveau op de plaatsen waar een grenswaarde geldt, voldoet aan de eisen van het Bouwbesluit 2012. Dit is op de perceelgrens, op 1,5 m hoogte boven het niveau waar de geluid-bron staat of soms op 0,5 m boven een scherm. Ook kan op een aantal extra posities het geluid-drukniveau worden berekend als ook daar een grenswaarde geldt volgens het Bouwbesluit.

De rekentool werkt volgens de volgende principes :

- 1 Het maximale geluidniveau op de perceelgrens mag volgens de regelgeving maximaal 40 dB zijn tussen 19.00 en 07.00 uur en tussen 07.00 en 19.00 uur 45 dB. Daarbij moet rekening worden gehouden met een eventuele toeslag voor tonaal geluid K_1 , schermwerking K_{sch} en gevelreflectie C_g^* .
- 2 Het rekenmodel berekent de overdrachtsverzwakking $D_{overdracht}$ (= geluidvermoggenniveau L_{WA} - geluid-drukniveau L_{pA}) van de positie van de buitenunit naar de ontvangposities op de perceelgrens.
- 3 Ook kan op ontvangposities in het midden van te openen ramen en deuren de overdrachtsverzwakking worden berekend bij appartementen en grondgebonden woningen, zoals wordt voorgeschreven in het meetvoorschrift uit de Regeling Bouwbesluit. Daarbij wordt het invallende geluidniveau berekend, tenzij er een buitenruimte zoals een balkon is op die positie.
- 4 Bij de berekening wordt een marge aangehouden vanwege alle onzekerheden in de ontwerp-fase, en de maak-en meetnauwkeurigheid, zie de toelichting hieronder.
- 5 Uit deze gegevens kan het maximale geluidvermoggenniveau van de buitenunit voor de avond+nachtperiode en de dagperiode worden bepaald volgens de formule:

$$L_{WA-max,avond+nacht} = 40 + D_{overdracht} - marge \quad [dB]$$

$$L_{WA-max,dag} = 45 + D_{overdracht} - marge \quad [dB]$$

Als het een machine betreft die geen stille instelling heeft voor de avond+nachtperiode (Silent Mode), dan moet deze zowel overdag als in de avond+nachtperiode voldoen aan de geluideisen voor avond+nacht.

Het bedoelde geluidvermoggenniveau bestaat uit de volgende componenten:

- a) Het maximum geluidvermoggenniveau van de buitenunit zelf $L_{w,max}$ [dB]
- b) De tonaaltoeslag K_1 [dB]
- c) Indien aanwezig, het geluiddempende effect van een omkasting, $D_{omkasting}$ [dB]

$$L_{WA,max,dag} = (L_{WA,max} + K_1 - D_{omkasting})_{dag} \text{ [dB]}.$$

Ook geldt eenzelfde formule voor de $L_{WA,max}$ avond+nacht

$$L_{WA,max, avond+nacht} = (L_{WA,max} + K_1 - D_{omkasting})_{avond+nacht} \text{ [dB]}.$$

De tonaaltoeslag K_1 en de $D_{omkasting}$ kunnen verschillend zijn voor de dag- en avond-nachtperiode.

Aangezien het aantal beschikbare buitenunits (merken, types) heel groot is en dit aantal de komende tijd mogelijk nog verder zal toenemen, zijn gegevens over geluidvermoggenniveaus niet in deze rekentool opgenomen, evenals de tonaaltoeslag. Deze gegevens moeten worden opgevraagd bij de leverancier van de buitenunit. Dat geldt ook voor het effect van de omkasting. Deze informatie moet ook worden verkregen via de leveranciers van de buitenunit en die van de omkasting. Het effect van een omkasting is, naast de eigenschappen van de omkasting, ook afhankelijk van het spectrum van de buitenunit.

Marge

De marge houdt rekening met onzekerheden in het gehele proces van ontwerp tot en met realisatie. In de bouwakoestiek wordt standaard uitgegaan van een marge van 2 dB (zie NPR 5070:2005, NPR 5086:2006 en NTR 5076:2015). Zo bevat het geluidvermoggenniveau L_{WA} , als ééngetalswaarde, geen informatie over verschillende sterktes van geluid van de bron in verschillende richtingen. En bij de standaard laboratoriummetingen volgens de Europese normen wordt geen rekening wordt gehouden met het geluid in de 63 Hz octaafband. Ook is er onzekerheid in de bepaling van de tonaaltoeslag. Daarom wordt aanbevolen uit te gaan van een marge van 3 dB. Men kan hier echter van afwijken. Als de gebruiker dit doet, moet dat door de gebruiker van deze rekentool deskundig worden beargumenteerd.

Leveranciersgegevens

Het toelaatbare geluidvermoggenniveau, de tonaaltoeslag K_1 en de eventuele geluidreductie door de omkasting $D_{omkasting}$ voor een specifieke berekende situatie, voor zowel de dag- als de avond+nachtperiode moet nadrukkelijk gecommuniceerd worden met de leverancier. Het geluid in de gerealiseerde situatie kan dan ook overeenkomen met het geluid volgens de berekende situatie. Het is daarbij uiteraard ook van belang dat de installatievoorschriften van de leverancier/fabrikant goed worden opgevolgd.

3.3 Voor welke situaties is de rekentool geschikt?

De rekentool is toepasbaar in de in hoofdstuk 2 beschreven situaties. Het gaat hierbij steeds om rechthoekige percelen en gebouwen. Bij andere vormen van percelen en gebouwen is de rekentool niet zonder meer bruikbaar. Bij grondgebonden situaties is de bronpositie altijd op het maaiveld, op een dak, of tegen een gevel. Ook kan gerekend worden voor de situatie met de warmtepomp hoger tegen een gevel, door situatie Gg_2 te gebruiken, en onder de buitenunit een smalle aanbouw in te voeren en daar de warmtepomp in het model 'boven te hangen'.

Bij appartementen is de positie van de buitenunit in de rekentool altijd tegen de gevel of op het dak of op de vloer van een balkon. Appartementen met grote balkons (terrasflats) waarbij de buitenunits niet tegen de gevel staan, kunnen niet worden berekend met de rekentool.

Verder kan de rekentool alleen worden gebruikt bij de bepaling van het geluid van één buitenunit. Dit is in overeenstemming met het Bouwbesluit 2012 dat alleen eisen stelt aan een afzonderlijke buitenunit en geen rekening houdt met meerdere units en cumulatie. Voor situaties met meerdere buitenunits op één perceel moet advies gevraagd worden van een geluiddeskundige.

Zoals gesteld in de vorige paragraaf moet informatie over de geluidvermoggenniveaus en tonaaltoeslag en geluidreducerende omkastingen worden opgevraagd bij de leveranciers.

Er wordt in de rekentool geen rekening gehouden met de richtingsafhankelijke geluidafstraling van de buitenunit. Elke buitenunit zal richtingen hebben waar meer geluid naartoe gaat dan gemiddeld en waar minder geluid naartoe gaat. Vaak zal er recht voor de ventilator-uitlaat wat meer geluid zijn, maar dat kan ook anders zijn. Het is te beschouwen als een producteigenschap. Hoe groot die verschillen in de te onderscheiden richtingen zijn is niet bekend: de ééngetalswaarde van het L_{wA} bevat hier immers geen informatie over. De leveranciers hebben hier - zover ons bekend - geen informatie over, mede omdat de gehanteerde laboratoriummeetmethode (EN 12102-1-2017) is opgezet om het totale L_{wA} te bepalen. Ook in de Europese regelgeving worden hierover geen meetprocedures voorgeschreven. De rekentool is gebaseerd op geluid van buitenunits dat in alle richtingen evenveel afstraalt. Aangezien buitenunits altijd wel enig verschil hebben in het geluid in verschillende richtingen, is deze richtwerking van buitenunits dan ook één van de redenen om een marge te moeten hanteren bij de vaststelling van het toelaatbare geluidvermoggenniveau volgens deze rekentool.

De rekentool gaat uit van het maximale geluidvermoggenniveau dat de buitenunit kan produceren in de dagperiode en in de avond+nachtperiode. De leverancier moet dus het maximum geluidvermoggenniveau opgeven voor de instellingen overdag en in de avond+nachtperiode. Zie daarover de meetprocedure in de regeling Bouwbesluit 2012.

3.4 Afscherming

In de rekentool kan rekening worden gehouden met afscherming van het geluid door constructies. Deze afscherming kan alleen in rekening worden gebracht als een constructie is toegepast met de volgende eigenschappen:

- de massa van de afscherming is ten minste 10 kg/m², bijvoorbeeld:
 - o 4 mm glas;
 - o een halfsteens muur, en
- de afscherming is geheel gesloten, dus geen open naden tussen de gevel en afscherming.

De rekentool berekent de afscherming van het geluid van een buitenunit op een aanbouw, door de dakrand van die aanbouw (situaties Gg_2 en Gg_2A), naar de toetsposities op de perceelgrens op 1,5 m boven maaiveld. Als de buitenunit op het dak van een woning is geplaatst, dan berekent de rekentool de afscherming vanwege de dakrand (situatie Gg_3), naar de toetsposities op 1,5 m boven maaiveld. De mate van afscherming wordt dan op basis van de ingevoerde geometrie berekend.

De afscherming vanaf de buitenunit naar de extra toetsposities moet handmatig ingevoerd door per toetspositie aan te geven of er afscherming is ('J' of 'N').

3.5 Richtfactor Q

Bij de berekeningen wordt gebruik gemaakt van de richtfactor Q. De richtfactor Q geeft aan onder welk deel van een hele bol het geluid vanaf de buitenunit (de geluidbron) naar de omgeving straalt. Dit is van belang bij de ontvangst van geluid op een toetspositie. Dit wordt bepaald door de reflecterende vlakken van gevels en schermen nabij de bron en/of ontvanger en kan leiden tot andere waarden van $Q_{\text{geluidbron}}$ resp. $Q_{\text{ontvanger}}$. In de tekst van de uitleg hierna wordt uitgegaan van de uitstraling vanaf een bron, maar het geldt precies zo voor de ontvangst op een toetspositie. In de figuren is dit wel steeds allebei aangegeven.

Voor de berekening van het geluid op de perceelgrens in situaties Gg_1 t/m Gg_3 kan de Q-factor niet ingevoerd worden, deze wordt bepaald op basis van de invoergegevens. Voor de berekening van de extra ontvangposities in situaties Gg_1 t/m Gg_3 moeten de Q-factoren wel worden ingevoerd, evenals voor alle ontvangposities in situatie Ap.

Als het geluid van een geluidbron in alle richtingen vrij zou kunnen uitstralen, dus zonder een wand of bodem in de nabijheid, dan straalt de bron het geluid bolvormig af. Het geluid verspreidt zich met de afstand r vanaf het middelpunt van de bron over een oppervlak van een hele bol: $4 \cdot \pi \cdot r^2$. Dan is de afstraling als functie van de afstand (r) tot die bron:

$$S = 4 \cdot \pi \cdot r^2$$

De richtfactor Q is dan gelijk aan 4, de waarde voor de term $\pi \cdot r^2$. Deze situatie komt bij buitenunits niet voor, omdat zij niet vrij in de lucht kunnen hangen. In het algemeen geldt dus voor het oppervlak van de geluiduitbreiding:

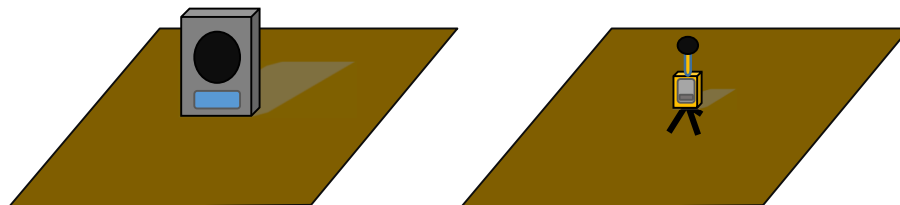
$$S = Q \cdot \pi \cdot r^2$$

De richtfactoren Q worden bij de berekeningen van geluid voor de individuele posities steeds gebruikt, evenals bij de berekeningen van het geluid bij de appartementen. Dit wordt hierna kort toegelicht.

Buitenunit op de bodem of op een dak: $Q = 2$.

Geluid kan - op grotere afstand r van de buitenunit - uitbreiden over een halve bol: $S = 2 \cdot \pi \cdot r^2$.

Zie figuur 3.1



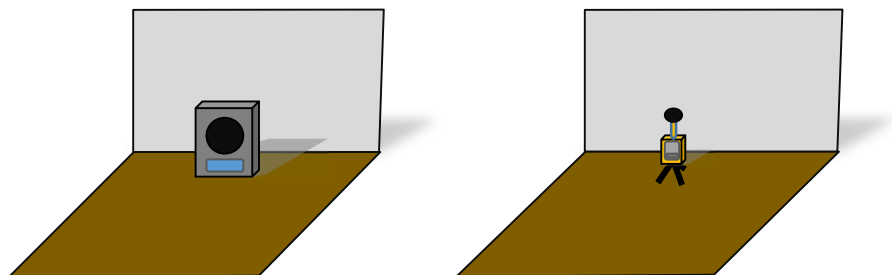
Figuur 3.1

Geluidafstraling over een halve bol / ontvangst over een halve bol

Buitenunit op een bodem of op een dak, met een reflecterende wand nabij: $Q = 1$.

Geluid kan uitbreiden over een kwart bol, of vanuit een kwart bol ontvangen worden: $S = 1 \cdot \pi \cdot r^2$.

Zie figuur 3.2.



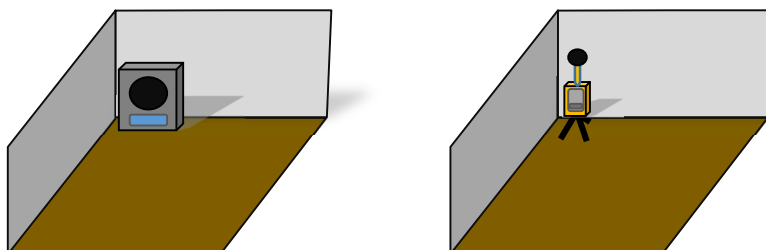
Figuur 3.2

Geluidafstraling via een kwart bol / ontvangst via een kwart bol.

Buitenunit op een bodem of dak nabij twee reflecterende vlakken: $Q = 0,5$.

Geluid kan uitbreiden over $1/8^e$ bol, of vanuit $1/8^e$ bol ontvangen worden: $S = 0,5 \cdot \pi \cdot r^2$.

Zie figuur 3.3.



Figuur 3.3

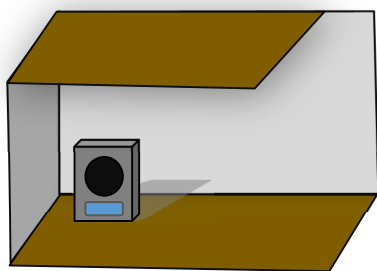
Geluidafstraling via een $1/8^e$ bol / ontvangst via een $1/8^e$ bol.

Meer dan drie reflecterend vlakken nabij bron of ontvanger

Als er meer dan drie reflectievlakken zijn, ofwel meer dan twee extra reflectievlakken, dan wordt gerekend met de waarde voor drie reflectievlakken:

$$Q = 0,5.$$

Dit kan zich bijvoorbeeld voordoen op een balkon (inwendig of met privacy-schermb), waar sprake kan zijn van de achterliggende gevel, zijdelings de gevel of het privacy-schermb, de vloer van het balkon zelf en het plafond van een bovenliggend balkon, zoals in figuur 3.4 is aangegeven.



Figuur 3.4

Geluidafstraling met meer dan drie vlakken nabij de buitenunit: rekenen als bij 1/8^e bol.

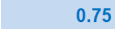
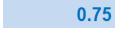
De Q-factor wordt in de rekentool op de volgende wijze ingevoerd.

- Bij de **grondgebonden situaties** wordt voor de berekening **op de perceelgrens** de Q-factor automatisch berekend, op basis van de reflecties via schermen op de perceelgrens en/of de gevel of aanbouw en bouwwerken op het perceel van de woning. Dat kan omdat bij die situaties de gegevens daarvoor bekend zijn. De Q-factor hoeft dus niet te worden ingevoerd.
- Bij de berekening van de **extra posities bij grondgebonden woningen** moeten de Q-factoren voor de bron handmatig worden ingevoerd. Dit moet op basis van tekeningen, of een opname van de situatie ter plaatse, zie de figuren 3.1 t/m 3.3. Als een reflecterend vlak zich binnen 2,5 m van de buitenunit bevindt, moet dit vlak meegenomen worden bij de bepaling van $Q_{\text{geluidbron}}$.
- Bij de berekening van **alle posities bij appartementen** moeten de Q-factoren voor de bron en voor de ontvanger handmatig worden ingevoerd. Dit moet op basis van tekeningen, of een opname van de situatie ter plaatse, zie figuur 3.1 t/m 3.3. Als een reflecterend vlak zich binnen 2,5 m van de buitenunit of van de ontvangpositie bevindt, moet dit vlak meegenomen worden bij de bepaling van $Q_{\text{geluidbron}}$ resp. $Q_{\text{ontvanger}}$.

Bij de invoer van de richtfactor $Q_{\text{geluidbron}}$ en bij de bepaling of er afscherming optreedt, moet steeds geredeneerd worden vanuit de specifieke ontvangpositie, dus kijkend in de richting van de geluid-bron. Omgekeerd geldt hetzelfde voor $Q_{\text{ontvanger}}$.

3.6 Soorten invoervelden in tool

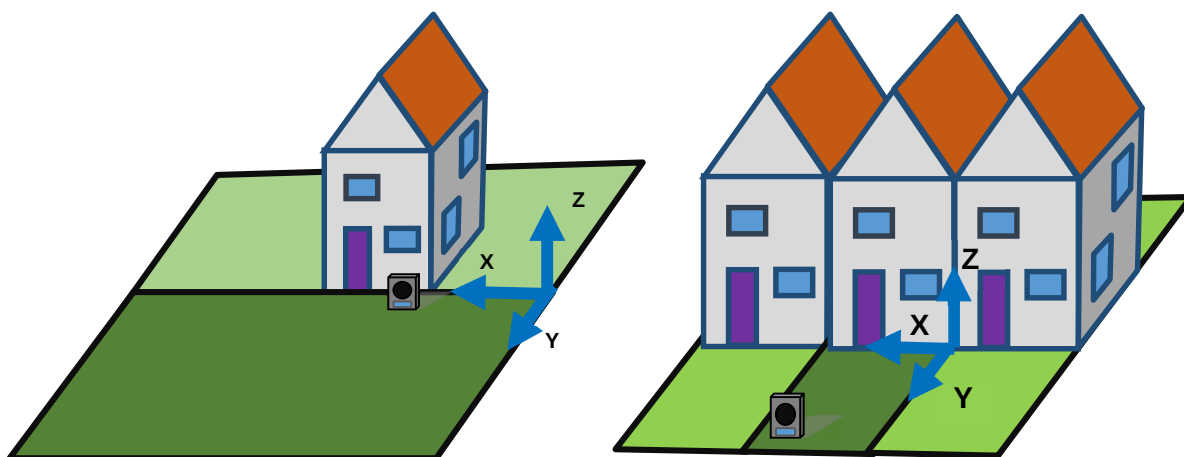
In de rekentool worden een aantal kleuren gebruikt voor de invoervelden. Dit geldt zowel voor de grondgebonden situaties als voor de appartementenberekeningen.

- Alle blauwe cijfers zijn in te voeren (bijv.  of [Installatiebedrijf X](#)).
- De velden met een blauwe achtergrond (bijv. ) hebben invloed op het resultaat.
- De velden met geen (of witte) achtergrond zijn toelichtende informatievelden (bijv. [Installatiebedrijf X](#)).
- De lichtpaarse velden (bijv. ) zijn vaste waarden voor bepaalde situaties. Zo zijn bijvoorbeeld bij grondgebonden situaties de hoekpunten van de perceelgrens Xp1 en Yp1 al op 0 gezet, wat betekent dat het nulpunt van de x-y-assen precies op een hoek van het perceelvlak is.
- Het geluidvermogeniveau LwA in het groene veld (bijv. ) mag worden aangepast. Die waarde wordt dan gebruikt voor de berekende geluidsniveaus op de perceelgrens en op de extra posities. Dit geeft een beeld waar de hoogste geluiddruk optreedt.
- De marge, aangegeven in het oranje veld (bijv. ) , kan worden aangepast. Geadviseerd wordt om met 3 dB marge te rekenen. De minimaal te hanteren waarde voor de marge is in ieder geval 2 dB, conform andere akoestische praktijkrichtlijnen.

4 Invoer bij situaties met grondgebonden woningen

4.1 Situatie Gg_1 - Buitenunit in een tuin op maaiveld

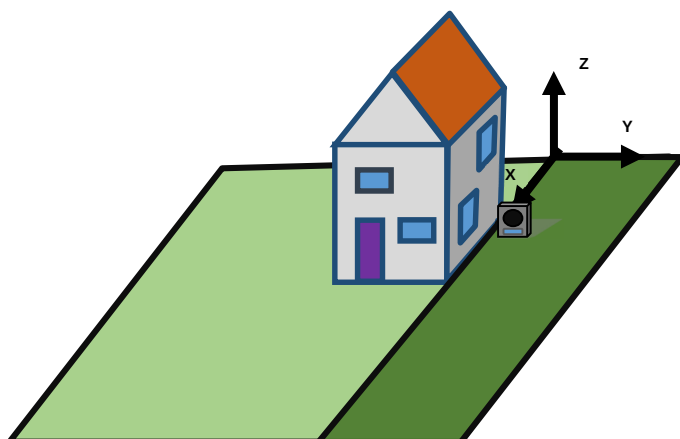
De invoergegevens van Gg_1 worden in een x,y,z coördinatenstelsel ingevoerd. Daarbij wordt de x-as steeds gelegd op de gevellijn van de woning, en de y-as op een perceelgrens, zoals weergegeven in de volgende figuren voor een vrijstaande woning en voor een rijtjeswoning. De Z-as is de hoogte boven maaiveld.



Figuur 4.1

Buitenunit op maaiveld bij een vrijstaande woning (links) en rijtjeswoningen (rechts)

De berekening in de rekentool vindt plaats op het donkergroen weergegeven deel van het perceel, dat raakt aan de gevel van de woning. Dat is dus niet altijd het hele perceel van de woning. Als bij de hierboven getoonde vrijstaande woning de buitenunit rechts van de woning zou staan, dan is het nodig om - rekening houdend met de reflectie tegen de woning - het rekenvlak anders te kiezen, volgens figuur 4.2, met de daarbij horende coördinaten.



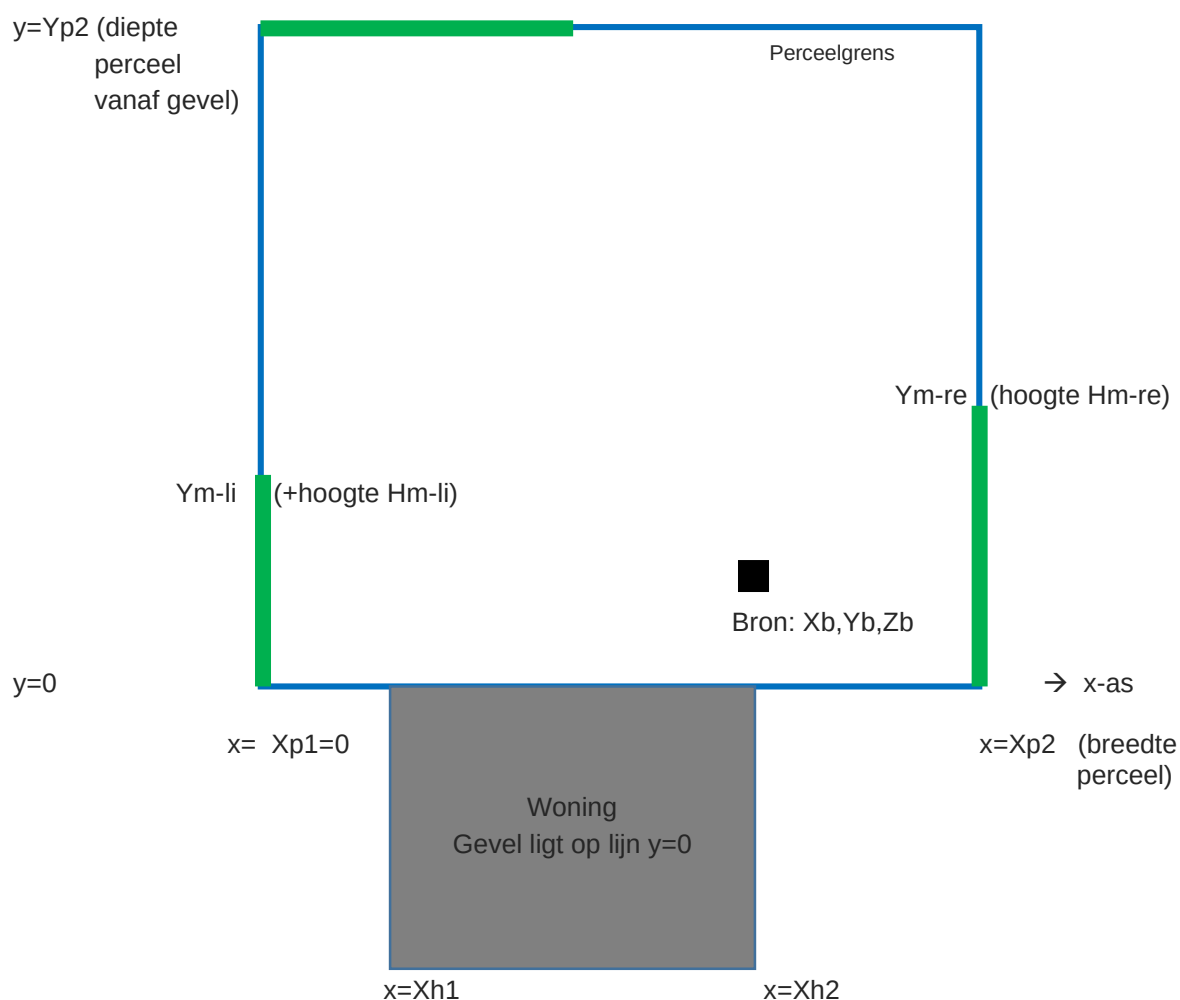
Figuur 4.2

Buitenunit naast de woning

Hieronder staat de geometrie als plattegrond weergegeven van het rekenvlak, met de definities van de verschillende coördinaten van het perceel, van de bron, en van eventuele schermen (tuinmuren) op de perceelgrens.

4.1.1 Plattegrond in situatie Gg_1

- **Groen:** afschermende tuinmuur. Als er zo'n muur is, wordt het geluidniveau op 0,5 m boven die muur berekend en beoordeeld, waarbij het geluidniveau 5 dB hoger mag zijn wegens schermwerking. Dan moet wel getoetst worden of bij woningen achter die schermen aan de grenswaarde wordt voldaan (hierover hieronder meer).
- **Blauw:** waar het geluid wordt berekend op de perceelgrenzen links, rechts en voor ($y=Y_p$). Waar tuinmuur is, op 0,5 m boven de muur.
- **Grijs:** waar de woning ligt met gevel tegen de x-as aan ($y=0$)
- **Bron B** met coördinaten X_b, Y_b, Z_b , met Z_b op $2/3^e$ hoogte van de buitenunit (dus hoogte van bodemplaat + $2/3^e$ hoogte van de buitenunit)



Figuur 4.3

Positie van de bronnen bij buitenunit op maaiveld in situatie Gg_1

4.1.2 Invoervelden rekentool in situatie Gg_1

Bronpositie				
Xb	1.00	m	X-coördinaat bron	
Yb	0.25	m	Y-coördinaat bron	
Zb	1.15	m	dit is 2/3e van de bronhoogte (H-onderkant + 2/3e H-machine)	
Bronsterkte				
Geluidvermogeniveau LwA	51	dB(A)	Vrij in te vullen; heeft geen invloed op toegestaan LwA.	
Marge:	3	dB(A)		
Perceelgrens			Grenst aan woonbestemming?	
Xp1	0.0	m	X-coördinaat linkerhoek perceel = 0	
Xp2	8.0	m	X-coördinaat rechterhoek perceel	
Yp1	0.0	m	Y-coördinaat linkerhoek perceel = 0	
Yp2	8.0	m	Y-coördinaat rechterhoek perceel	
ze	1.5	m	Beoordelingshoogte	
Gevel van huis				
Xh1	-2.0	m	kleinste X-coördinaat waar het huis grenst	
Xh2	5.0	m	grootste X-coördinaat waar het huis grenst	
Afschermende tuilmuren				
Ym-li	2.0	m	Lengte tuinmuur links, vanaf x-as (= vanaf gevellijn woning)	
Hm-li	1.8	m	Hoogte tuinmuur links	
Ym-re	3.0	m	Lengte tuinmuur rechts, vanaf x-as (= vanaf gevellijn woning)	
Hm-re	1.8	m	Hoogte tuinmuur rechts	
Xm-v1	-1.0	m	Start X-coördinaat scherm achtergrens; geen scherm: dan Xm-va=Xm1 = <0 invoeren	
Xm-v2	-1.0	m	Eind X-coördinaat scherm achtergrens; geen scherm: dan Xm+va=Xm1 = <0 invoeren	
Hm-v	1.8	m	Hoogte tuinmuur achter	
Invoer extra ontvangposities		positie 1	positie 2	positie 3
Xontv ("nvt" invullen om positie niet mee te nemen)	m	-3.0	nvt	nvt
Yontv	m	4.0		
Zontv	m	4.5		
Buitenunit volledig afgeschermd op ontvangpositie?	J / N	J		
Q-geluidbron	-	2.0		
controleren op hoger gelegen ramen/deuren van buurwoningen!				
Q = 2: op bodem of dak, rondom vrij				
Q = 1: op bodem of dak, tegen 1 wand				
Q = 0.5: op bodem of dak, tussen 2 of meer wanden				

4.1.3 Toelichting invoergegevens in situatie Gg_1

De **bronpositie** wordt ingevoerd met de coördinaten Xb, Yb en Zb. De waarde Zb moet 2/3^e van de werkelijke hoogte zijn van de buitenunit, rekenend vanaf de bodemplaat van de buitenunit. Als de buitenunit bijvoorbeeld 1,5 m hoog is, en op voetjes van 15 cm hoog staat, dan wordt:

$$Zb = 2/3 \cdot 1,5 + 0,15 = 1,15 \text{ m}$$

Gevel van huis geeft aan over welk deel van de x-as, van Xh1 t/m Xh2, de gevel zich bevindt. Het rekenmodel houdt rekening met reflectie van geluid via dit geveldeel.

Perceelgrens wordt ingevoerd door de breedte en diepte aan te geven als getalswaarden in meters in de x- en y-richting in de velden Xp2 en Yp2.

Met de velden in het vak **Grenst aan woonbestemming?** kan worden aangegeven of een perceelgrens grenst aan een ander perceel met woonbestemming. Immers: als er geen woonbestemming grenst, dan geldt op die perceelgrens geen geluideis. Hierover moet mogelijk informatie worden ingewonnen bij de gemeente, het kadaster of via www.ruimtelijkeplannen.nl. Daar wordt dan rekening mee gehouden bij de bepaling van de toelaatbare geluidvermogen-niveaus.

Met de velden bij **Afschermende tuilmuren** wordt aangegeven waar zich op de perceelgrenzen tuilmuren bevinden die als geluidscherm werken.

Met de velden bij **Invoer extra ontvangposities** is er de mogelijkheid voor het invoeren van extra ontvangposities 1, 2 en 3 op de naastgelegen percelen. Als er minder dan drie posities nodig zijn, dan moet voor de niet gebruikte posities op invoerveld 'Xontv' de waarde 'nvt' worden ingevuld, opdat daar niet gerekend wordt.

Toetsing van extra ontvangposities op naastgelegen percelen achter schermen is nodig als op de perceelgrens een afschermdende tuinmuur of ander goed werkend scherm staat, en boven dat scherm ergens een hoger geluidniveau wordt berekend dan op alle andere posities op de perceelsgrens waar geen scherm staat. Immers: als ergens op een positie zonder scherm het hoogste geluidniveau wordt berekend, dan is die positie bepalend voor het toelaatbare geluidvermogen-niveau van de buitenunit.

In zo'n situatie moet de voorwaarde om de schermcorrectie te mogen toepassen het invallende geluidniveau op de gevel bij ramen en/of deuren gecontroleerd worden. De rekentool geeft in een veld een waarschuwing als dit het geval is, met de melding:

controleren op hoger gelegen ramen/deuren van buurwoningen!

Bij het invoervoorbeeld in deze paragraaf is die melding ook weergegeven.

De extra ontvangposities moeten worden gekozen ter plaatse van het midden van te openen ramen en/of deuren op hoger gelegen verdiepingen van naastgelegen woningen. Op die plaatsen moet worden gecontroleerd of er geen hogere geluidniveaus optreden dan de grenswaarde. Dit is namelijk de voorwaarde om de schermcorrectie van -5 dB op de perceelgrens te mogen toepassen. Die punten kunnen in zo'n situatie bepalend worden voor het toelaatbare geluidvermogen-niveau van de buitenunit. In de rekentool moet men die controlepunten dan meenemen.

Men kan hierbij uitgaan van de reeds aanwezige buurwoning(en) of te bouwen woning(en) volgens het bestemmingsplan of omgevingsvergunning. Men moet daarbij zelf beoordelen welke posities het meest kritisch zijn. Er is ruimte om dit voor drie posities op te geven. Het gaat in het algemeen dan om het midden van deuren en te openen ramen van een naastgelegen woonfunctie die het dichtstbij de buitenunit zijn gelegen.

Buitenunit afgeschermd op ontvangpositie?

Per ontvangpositie moet met J of N (ja of nee) aangegeven worden of de buitenunit vanuit de ontvangpositie volledig afgeschermd is. Dit is zo als er geen ononderbroken rechte lijn getrokken kan worden tussen de ontvangpositie en de buitenunit. Dan is dit 'J', anders is het 'N'. In een afscherming mogen geen gaten of openingen zitten, er mag geen spleet zijn tussen het scherm en de gevel of een scherm en de bodem, en het scherm moet ten minste 10 kg/m² wegen.

Richtfactoren $Q_{\text{geluidbron}}$

Bij deze positie moet gewerkt worden met een eigen $Q_{\text{geluidbron}}$ die handmatig moet worden opgegeven, kijkend van de buitenunit naar elke ontvangpositie en handmatige afscherming.

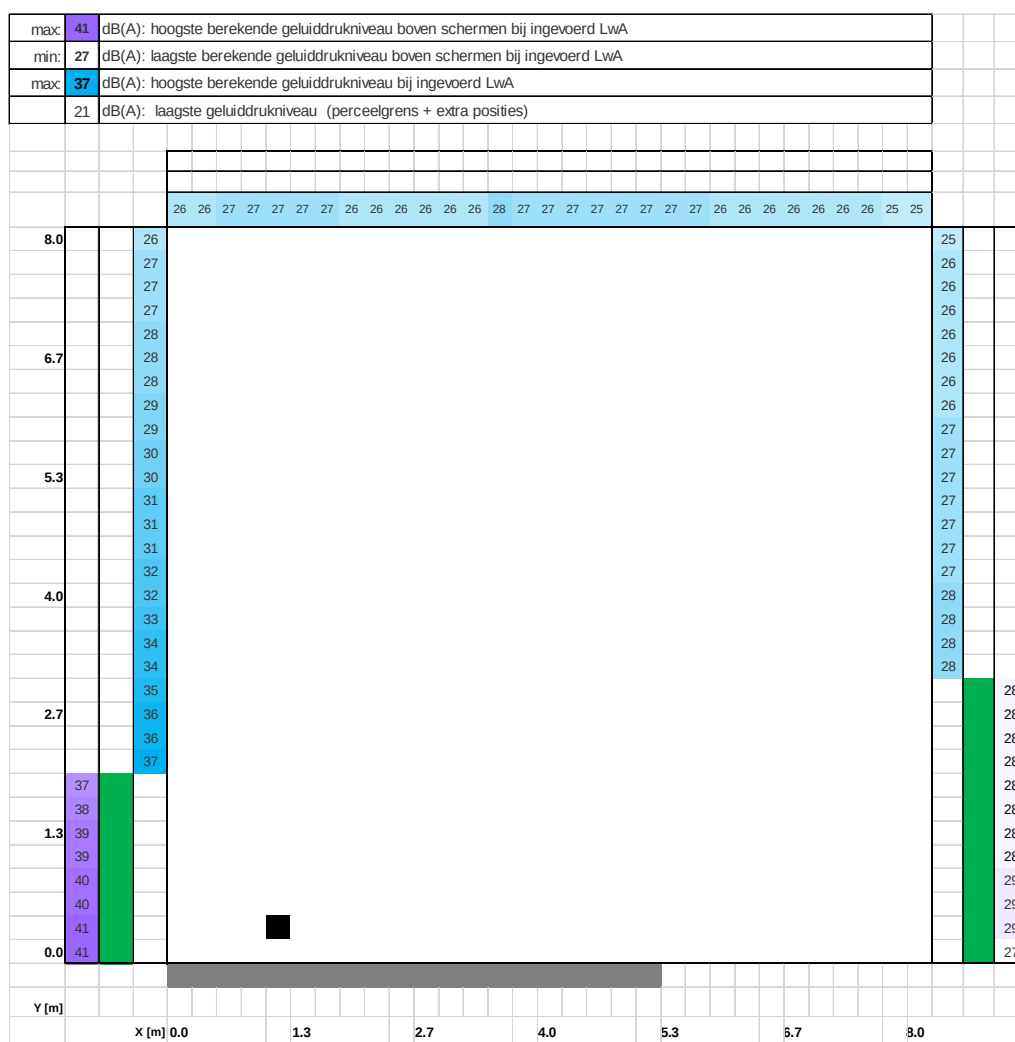
De volgende regels gelden dan, zoals geïllustreerd met de 3.1 t/m 3.3 in paragraaf 3.5.

- Q = 2: als de buitenunit op het maaiveld, tegen de gevel of op een dak staat.
- Q = 1: als een extra reflecterende wand binnen 2,5 m van buitenunit aanwezig is.
- Q = 0,5: als twee of meer extra reflecterende wanden binnen 2,5 m van de buitenunit staan.

Dit wordt toegelicht met voorbeelden in paragraaf 4.1.7.

4.1.4 Toelichting output in situatie Gg_1

De rekentool geeft een eenvoudige grafische weergave van de situatie, als een plattegrond met daarin de berekende geluidniveaus op de perceelsgrens, met een van wit naar blauw lopende kleurschaal voor de berekende geluidniveaus op de perceelsgrens op 1,5 m hoogte, en met een van wit naar paars lopende schaal voor de posities op 0,5 m boven een tuinscherm. Om de juiste breedte-diepte verhouding te verkrijgen, moet op de knop **Schalen** gedrukt worden. Bij de waarden in de hiervoor getoonde invoervelden is dat de volgende figuur, die een presentatie is van de plattegrond van het rechthoekige perceel, met de berekende geluidniveaus op die perceelsgrens. Er is daarbij gerekend op een raster van 30 posities op elke perceelsgrens.



De legenda maakt duidelijk wat de betekenis is van de gehanteerde kleuren:

Legenda figuur:	
Buitenunit:	
Scherm:	
Gevel woning:	

4.1.5 Resultaten bij berekeningen in situatie Gg_1

De resultaten worden weergegeven op de hierna beschreven velden. Ten eerste worden de resultaten weergegeven op de extra posities. Omdat in het invoerveld X_{ontv} van posities 2 en 3 'nvt' is ingevoerd, wordt niet gerekend op die posities, en verschijnt er dus ook geen resultaat voor die posities.

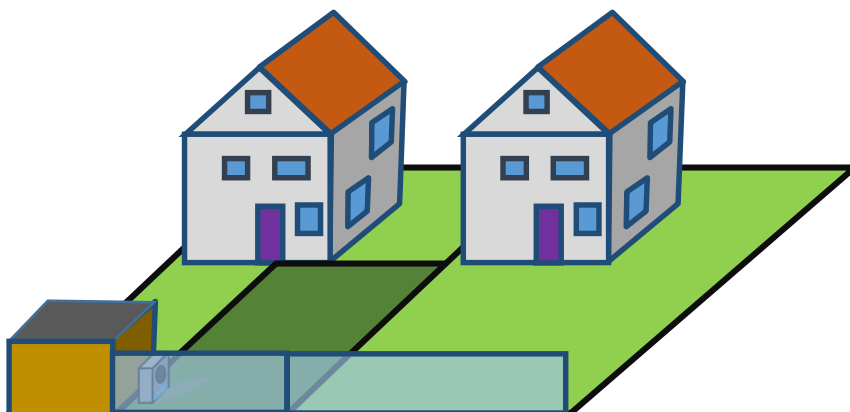
Op basis van de berekening wordt aangegeven wat het toelaatbare geluidvermogeniveau (zonder marge) is bij respectievelijk het geluid op de erfgrens op maaiveldniveau, op de erfgrens boven een scherm (gecorrigeerd met -5 dB) en vanwege de extra posities. De gele velden geven dan de maximale geluidvermogeniveaus weer voor de dagperiode en voor de avond+nachtperiode, die de buitenunit, inclusief de opgegeven marge, mag produceren.

Daaronder zijn een aantal extra velden weergegeven, waarin de mogelijkheid wordt gegeven om project-specifieke gegevens van de gekozen buitenunit te vermelden, evenals de waarden voor de dagperiode en voor de avond+nachtperiode van het maximale geluidvermogen L_{wA} , de bijbehorende tonaaltoeslag K_1 en de eventuele geluidreductie door een omkasting $D_{omkasting}$. Ook geeft de sheet aan of op basis van deze gegevens naar verwachting wordt voldaan aan de grenswaarde uit het Bouwbesluit.

Resultaten op extra posities en perc.grens:		positie 1	positie 2	positie 3	maaiveld	scherm	
Lp boven scherm: (zonder marge):						41	dB(A) (bij het ingevoerde LwA)
Lp berekend op deze positie: (zonder marge, met Kscherm):		21			37	36	dB(A) (bij het ingevoerde LwA)
toelaatbare geluidvermogens (zonder marge)		vrije posities			perceel grens		
		positie 1	positie 2	positie 3	maaiveld + 0.5m	scherm + 0.5m	
(LwA + K1 - D_omkastng) max, dag =		dB(A)	75		59	60	
(LwA + K1 - D_omkastng) max, avond+nacht =		dB(A)	70		54	55	
Berekend toelaatbaar maximaal geluidvermogeniveau:		Dag (7 - 19 u)			Av.+Nacht (19 - 7 u)		
berekend (LwA + K1 - D_omkastng) max =		56			51		dB (A-gewogen)
Beschrijving installatie:							
Toestel:		Warmtepomp					(Warmtepomp of airco)
Maximaal vermogen		6	kW				
Maximaal begrensd vermogen		4	kW				
Merk		Heatpump					
Type		Example type					

4.1.6 Voorbeeldsituatie Gg_1 met buitenunit achter op perceel tegen schuurtje

In deze paragraaf wordt een voorbeeld behandeld van een situatie met een buitenunit achter op het perceel tegen een schuurtje. Daarmee wordt aangegeven hoe met de rekentool kan worden omgegaan in situaties waar de rekentool op het eerste gezicht niet toepasbaar voor lijkt. Zie de situatie in de figuur 4.4.



Figuur 4.4

Buitenunit geplaatst voor schuurtje achter in tuin (scherm transparant weergegeven)

In dit voorbeeld staat de buitenunit achter in de tuin geplaatst, met het midden 6 m achter de woning. Op de achtergrens, 8 m achter de woning staat een gesloten geluidscherm. Het donker + lichtgroene vlak is het hele perceel. Hoewel extra afschermende gebouwen in de basis niet in de tool zijn opgenomen, kan de rekentool zo'n situatie toch doorrekenen. Daartoe wordt de berekening toegepast op het donkergroene vlak. Dan wordt in deze situatie net gedaan of het tuinhuisje de gevel van de woning is ('Gevel van huis' in de invoervelden). Geluidschermen op de perceelgrens zijn wel mogelijk. Het rechthoekige donkergroene vlak kan met de rekentool worden doorgerekend, door:

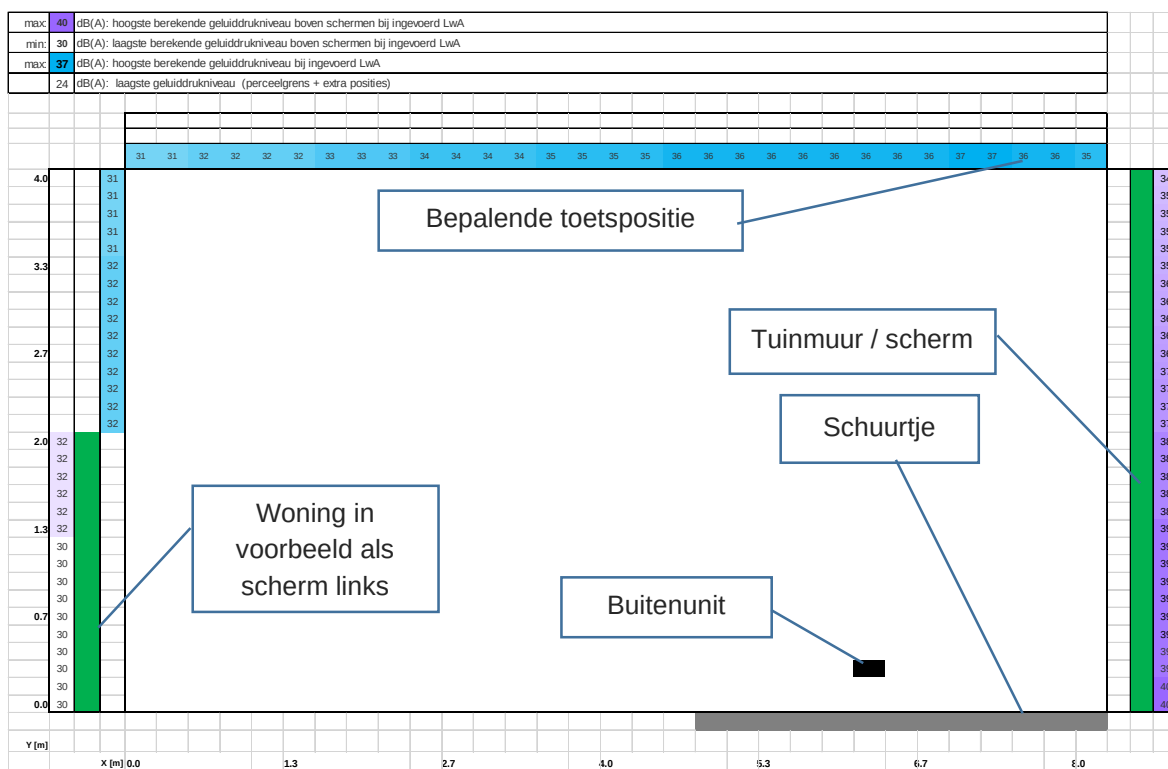
- in Gg_1 het schuurtje als 'woning' in het model op te nemen;
- het scherm op de perceelgrens rechts te plaatsen;
- bij de 'perceelgrens' links aan te geven dat deze niet grenst aan andere perceelgrens met woonbestemming. Dan wordt die waarde bij de berekening buiten beschouwing gelaten.
 - Overigens zou het geluid op de perceelgrens links, vanwege de grotere afstand, toch niet bepalend zijn. Ook dit soort informatie is nuttig bij het gebruik van de rekentool. Het is bijvoorbeeld praktisch om te weten dat het geluid van een bron op een twee keer zo grote afstand vanaf het centrum van die bron 6 dB lager is. Als het geluid op 1,5 m van het centrum bijv. 48 dB(A) bedraagt, dan is dat op 3 m afstand 42 dB(A). Met die kennis kan worden bekeken welk deel van een echt perceel nauwkeurig moet worden bekeken.

De invoergegevens van dit voorbeeld staan hieronder weergegeven.

Bronpositie				
Xb	6.00	m	X-coördinaat bron	
Yb	0.25	m	Y-coördinaat bron	
Zb	0.75	m	dit is 2/3e van de bronhoogte (H-onderkant + 2/3e H-machine)	
Bronsterkte				
Geluidvermogeniveau LwA	54	dB(A)	Vrij in te vullen; heeft geen invloed op toegestaan LwA.	
Marge:	3	dB(A)		
Perceelgrens			Grenst aan woonbestemming?	
Xp1	0.0	m	X-coördinaat linkerhoek perceel = 0	Linkerzijde (y-as; x=0) J
Xp2	8.0	m	X-coördinaat rechterhoek perceel	Rechterzijde (X=Xp2) J
Yp1	0.0	m	Y-coördinaat linkerhoek perceel = 0	Onderzijde (x-as; Y=0) N
Yp2	4.0	m	Y-coördinaat rechterhoek perceel	Bovenzijde (Y=Yp2) J
ze	1.5	m	Beoordelingshoogte	
Gevel van huis				
Xh1	5.0	m	kleinste X-coördinaat waar het huis grenst	
Xh2	9.0	m	grootste X-coördinaat waar het huis grenst	
Afschermende tuinmuren				
Ym-li	2.0	m	Lengte tuinmuur links, vanaf x-as (= vanaf gevellijn woning)	
Hm-li	1.8	m	Hoogte tuinmuur links	
Ym-re	4.0	m	Lengte tuinmuur rechts, vanaf x-as (= vanaf gevellijn woning)	
Hm-re	1.8	m	Hoogte tuinmuur rechts	
Xm-v1	-1.0	m	Start X-coördinaat scherm achtergrens; geen scherm: dan Xm-v1=Xm-v2 = <0 invoeren	
Xm-v2	-1.0	m	Eind X-coördinaat scherm achtergrens; geen scherm: dan Xm-v1=Xm-v2 = <0 invoeren	
Hm-v	1.8	m	Hoogte tuinmuur achter	
Invoer extra ontvangposities				
Xontv ("nvt" invullen om positie niet mee te nemen)	m	14.0	positie 1 nvt	positie 2 nvt
Yontv	m	1.0	positie 3 nvt	positie 4 nvt
Zontv	m	4.5	controlleren op hoger gelegen ramen/deuren van buurwoningen!	
Buitenunit volledig afgeschermd op ontvangpositie?	J / N	J	Q = 2: op bodem of dak, rondom vrij	
Q-geluidbron	-	1.0	Q = 1: op bodem of dak, tegen 1 wand	
			Q = 0.5: op bodem of dak, tussen 2 of meer wanden	

De grafische weergave van de plattegrond, nadat het berekende toelaatbare geluidvermogen-niveau ($L_{WA} + K_1 - D_{omkasting}$)_{max,avond+nacht} is ingevuld in het invoerveld voor L_{WA} , is als volgt:

Omdat het scherm op de achtergrens van het perceel dicht bij de buitenunit staat, wordt boven dat scherm het hoogste geluidniveau op de perceelgrens berekend. Daarom is het nodig om achter dat scherm het invallende geluid op eventueel aanwezige woningen te toetsen. In de rekentool wordt dan ook met rood een waarschuwing getoond dat bij woningen achter dat scherm het geluid berekend en getoetst moet worden. Voor de getalswaarden bij de invoer op de extra ontvangposities in het voorbeeld hierboven is ervan uitgegaan dat achter het scherm op de perceelgrens zich een gespiegelde situatie bevindt. Dat zal in het algemeen uiteraard niet zo hoeven te zijn.



De hoogste berekende geluidsniveaus treden op boven het scherm op de achtergrens van het perceel. Omdat boven een scherm de schermcorrectie van 5 dB van toepassing is, is nu dus het geluid op de andere perceelgrens, waar geen tuinscherm staat bepalend, iets tegenover de buitenunit van de warmtepomp bepalend.

De rekentool houdt bij de bepaling van het toegelaten geluidvermoggenniveau rekening met het geluid op alle posities:

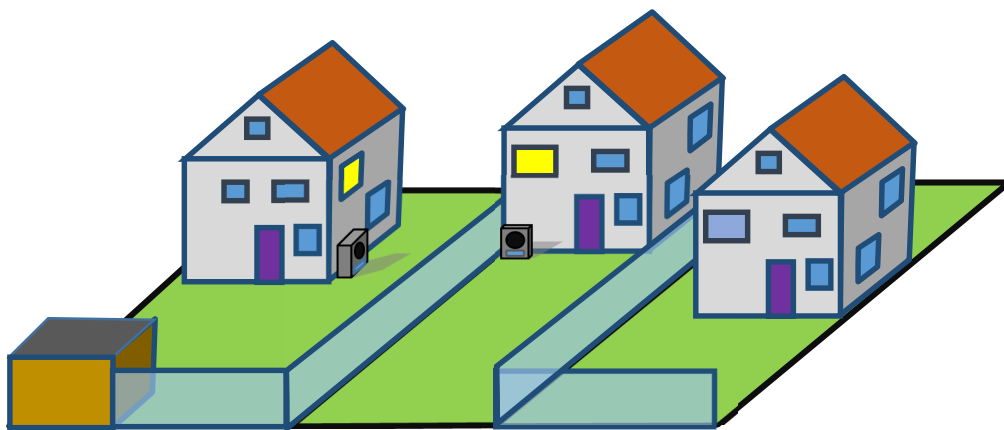
- op de kortste afstand op een positie boven het scherm en
- op de zijgrens van het perceel, recht voor de buitenunit (in figuur 4.4 aan de rechterzijde van het perceel waar de buitenunit op staat), die in de rekentool bij Gg_1 de perceelgrens op de achterzijde is.

De resultaten van deze berekening staan op het volgende deel van het rekenblad.

Resultaten op extra posities en perc.grens:		positie 1	positie 2	positie 3	maaienveld	scherm	
Lp boven scherm: (zonder marge):						40	dB(A) (bij het ingevoerde LwA)
Lp berekend op deze positie: (zonder marge, met Kscherm):		24			37	35	dB(A) (bij het ingevoerde LwA)
toelaatbare geluidvermogens (zonder marge)		vrije posities			perceel grens		
		positie 1	positie 2	positie 3	maaienveld + 0.5m	scherm + 0.5m	
(L _{WA} + K ₁ - D _{omkasting}) max, dag =		dB(A)	75		62	64	
(L _{WA} + K ₁ - D _{omkasting}) max, avond+nacht =		dB(A)	70		57	59	
Berekend toelaatbaar maximaal geluidvermoggenniveau:		Dag (7 - 19 u)			Av. + Nacht (19 - 7 u)		
berekend (L _{WA} + K ₁ - D _{omkasting}) max =		59			54		dB (A-gewogen)

4.1.7 Voorbeeldsituatie Gg_1 met handmatige invoer $Q_{\text{geluidbron}}$

In dit voorbeeld met een aantal situaties die zich voordoen in de figuur 4.5. Daarbij is sprake van geluidschermen op de perceelgrens, zodat het noodzakelijk is om daarachter het geluid bij ramen/deuren bij buurwoningen te toetsen.



Figuur 4.5

Voorbeeldsituatie ter toelichting $Q_{\text{geluidbron}}$

1^e voorbeeld: buitenunit van linker woning naar middelste woning uit figuur 4.5

De buitenunit bij het linker huis staat op de bodem en tegen een gevel: twee reflecterende vlakken binnen 2,5 m, die bijdragen aan meer geluid op de middelste woning. Er staat een scherm op de perceelgrens richting het middelste huis. Als boven dit scherm gerekend wordt, mag de schermcorrectie K_{sch} alleen toegepast worden als bij het gele raam van het middelste huis voldaan wordt aan de grenswaarde voor het invallende geluid. In de richting van het gele raam is:

$Q_{\text{geluidbron}} = 1$. (2 reflecterende vlakken).

2^e voorbeeld: buitenunit middelste woning naar rechter woning uit figuur 4.5

De buitenunit bij het middelste huis staat op de bodem, tegen een gevel en tegen het geluidscherm: drie vlakken die een reflectie naar het rechter huis kunnen opleveren. Er staat een scherm op de perceelgrens richting het rechter huis. Bij berekening mag de schermcorrectie K_{sch} alleen toegepast worden als bij eventuele ramen van het rechter huis (niet zichtbaar in de figuur), voldaan wordt aan de grenswaarde voor het invallende geluid. In de richting van het rechter huis is:

$Q_{\text{geluidbron}} = 0,5$. (3 reflecterende vlakken).

3^e voorbeeld: buitenunit middelste woning naar linker woning uit figuur 4.5

De buitenunit bij het middelste huis staat op de bodem, tegen een gevel en tegen het geluidscherm: drie vlakken. Daarvan tellen er in de richting van de linker woning maar twee, want reflectie via het scherm op de perceelgrens gaat niet in de richting van de linker woning. Daarom tellen hier maar twee vlakken. Er staat een scherm op de perceelgrens richting het linker huis. Als boven dit scherm gerekend wordt, mag de schermcorrectie K_{sch} alleen toegepast worden als bij eventuele ramen van het linker huis (geel) voldaan wordt aan de grenswaarde voor het invallende geluid. In de richting van het rechtse huis is:

$Q_{\text{geluidbron}} = 1$. (2 reflecterende vlakken).

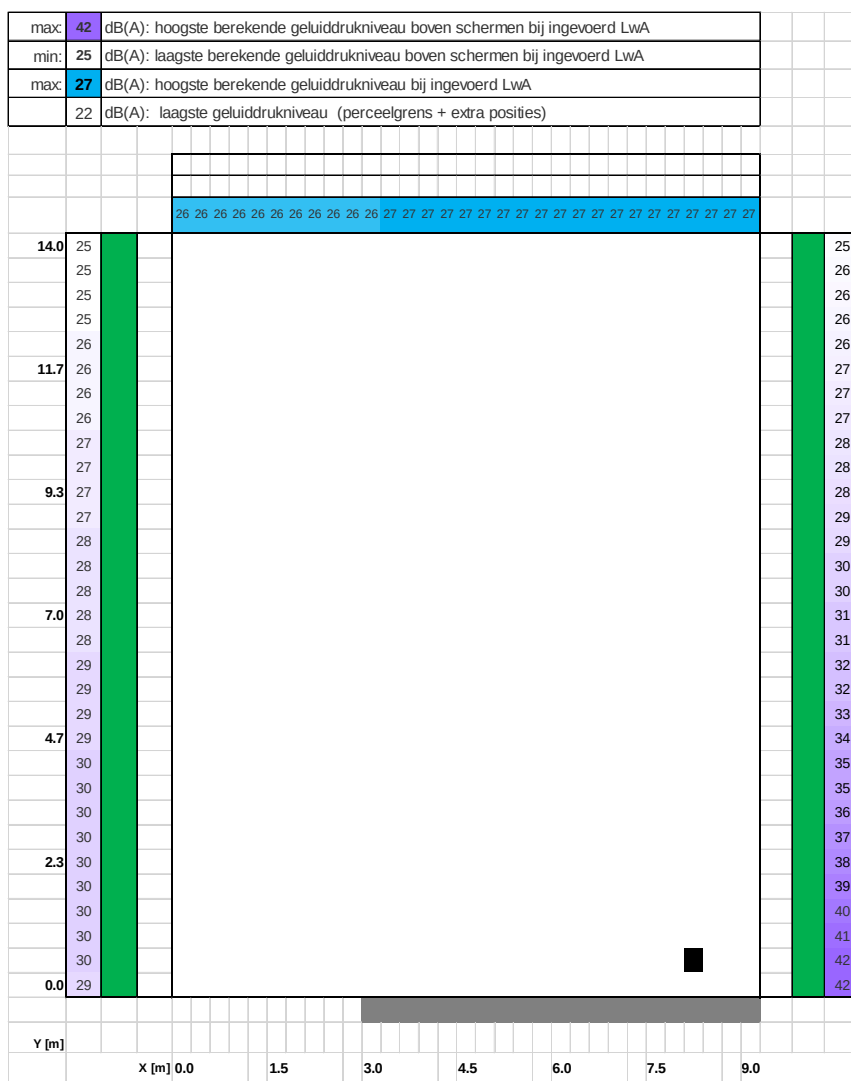
Bij de berekening uit dit voorbeeld, van de buitenunit bij middelste woning naar de linker woning, zal het raam op de eerste verdieping niet zichtbaar zijn vanaf deze buitenunit. Hier moet de schermwerking handmatig worden ingevoerd.

Het toelaatbare geluidvermogeniveau van de buitenunit van het middelste huis kan berekend worden met situatie Gg_1, met de volgende invoergegevens (de getalswaarden zijn ongeveer in lijn met figuur 4.5):

Bronpositie		
Xb	8.00 m	X-coördinaat bron
Yb	0.25 m	Y-coördinaat bron
Zb	0.75 m	dit is 2/3e van de bronhoogte (H-onderkant + 2/3e H-machine)
Bronsterkte		
Geluidvermogeniveau LwA	54 dB(A)	Vrij in te vullen; heeft geen invloed op toegestaan LwA.
Marge:	3 dB(A)	
Perceelgrens		Grenst aan woonbestemming?
Xp1	0.0 m	X-coördinaat linkerhoek perceel = 0
Xp2	9.0 m	X-coördinaat rechterhoek perceel
Yp1	0.0 m	Y-coördinaat linkerhoek perceel = 0
Yp2	14.0 m	Y-coördinaat rechterhoek perceel
ze	1.5 m	Beoordelingshoogte
Gevel van huis		
Xh1	3.0 m	kleinste X-coördinaat waar het huis grenst
Xh2	9.0 m	grootste X-coördinaat waar het huis grenst
Afschermende tuilmuren		
Ym-li	14.0 m	Lengte tuinmuur links, vanaf x-as (= vanaf gevellijn woning)
Hm-li	1.8 m	Hoogte tuinmuur links
Ym-re	14.0 m	Lengte tuinmuur rechts, vanaf x-as (= vanaf gevellijn woning)
Hm-re	1.8 m	Hoogte tuinmuur rechts
Xm-v1	-1.0 m	Start X-coördinaat scherm achtergrens; geen scherm: dan Xm-va=Xmv1 = <0 invoeren
Xm-v2	-1.0 m	Eind X-coördinaat scherm achtergrens; geen scherm: dan Xm-va=Xmv1 = <0 invoeren
Hm-v	1.8 m	Hoogte tuinmuur achter
Invoer extra ontvangposities		
Xontv ("nmv" invullen om positie niet mee te nemen)	m	positie 1 positie 2 positie 3
Yontv	m	-3.0 14.0 nvt
Zontv	m	2.0 1.3
Buitenunit volledig afgeschermd op ontvangpositie?	J / N	4.5 14.5
Q-geluidbron	-	N J
		1.0 0.5
controleren op hoger gelegen ramen/deuren van buurwoningen!		
Q = 2: op bodem of dak, rondom vrij		
Q = 1: op bodem of dak, tegen 1 wand		
Q = 0.5: op bodem of dak, tussen 2 of meer wanden		

Positie 1 is het (niet zichtbare) raam bij de rechter woning uit het tweede voorbeeld; positie 2 is het gele raam bij de linker woning uit het derde voorbeeld. Let op dat de waarde voor Q_{geluidbron} voor de verschillende ontvangposities niet hetzelfde is!

De plattegrond met het resultaat is daarmee als volgt:



De resultaten zijn als volgt.

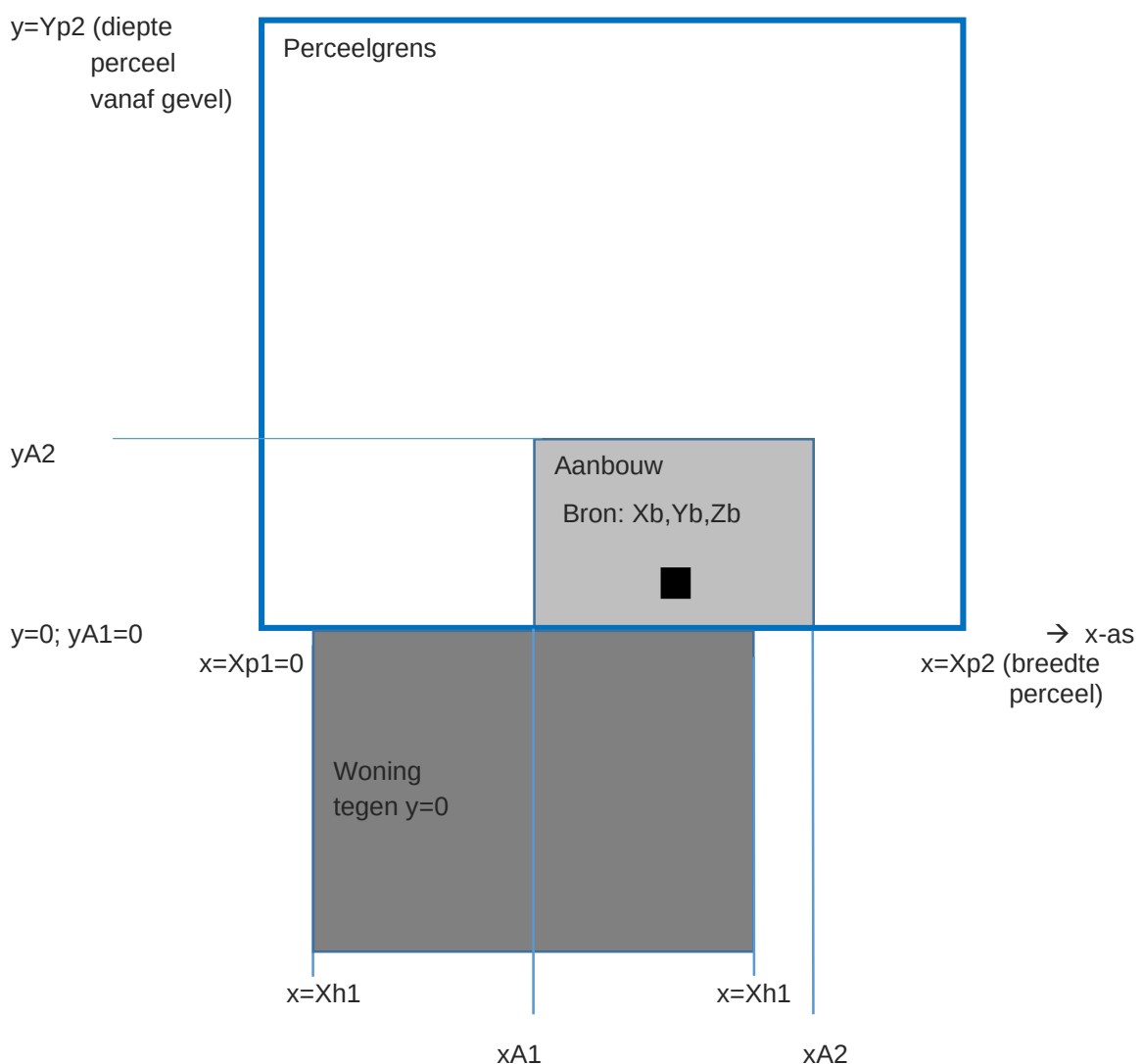
Resultaten op extra posities en perc.grens:		positie 1	positie 2	positie 3	maaveld	scherm	
Lp boven scherm: (zonder marge):						42	dB(A) (bij het ingevoerde LwA)
Lp berekend op deze positie: (zonder marge, met Kscherm):		27	22		27	37	dB(A) (bij het ingevoerde LwA)
toelaatbare geluidvermogens (zonder marge)		vrije posities			perceel grens		
		positie 1	positie 2	positie 3	maaveld + 0.5m	scherm + 0.5m	
(L _{WA} + K ₁ - D _{omkasting}) max, dag =	dB(A)	72	77		72	62	
(L _{WA} + K ₁ - D _{omkasting}) max, avond+nacht =	dB(A)	67	72		67	57	
Berekend toelaatbaar maximaal geluidvermogen niveau:		Dag (7 - 19 u)			Av.+Nacht (19 - 7 u)		
berekend (L _{WA} + K ₁ - D _{omkasting}) max =		59			54		dB (A-gewogen)

De waarde boven het scherm is hierbij bepalend geworden. Omdat de waarden op posities 1 en 2 voldoen aan de grenswaarde (voor avond+nacht), is op de perceelgrens boven het scherm 45 dB(A) toelaatbaar, omdat daar de correctie met K_{sch} moet worden toegepast. De berekende waarde ligt daar 3 dB onder vanwege de gehanteerde marge.

4.2 Situatie Gg_2 - Buitenunit op een aanbouw tegen woning

4.2.1 Plattegrond in situatie Gg_2.

- **Lichtgrijs:** de aanbouw waar de buitenunit op staat.
- **Blauw:** de perceelgrenzen waar gerekend wordt (er wordt niet boven de tuinmuur beoordeeld, want de bron staat hoger dan het scherm, en de muur schermt dan dus niet af).
- **Zwart: bron B** met X_b, Y_b, Z_b , met Z_b op $2/3^e$ hoogte van de buitenunit (dus hoogte van bodemplaat + $2/3^e$ hoogte van de buitenunit). Deze hoogte moet hoger zijn dan de hoogte van de aanbouw.
- **Donkergrijs:** waar de woning tegen de x-as aan ligt.



Figuur 4.6

Positie van de bron bij buitenunit op aanbouw tegen woning in Gg_2

4.2.2 Invoervelden rekentool in situatie Gg_2

Bronpositie						
Xb	5.00	m	X-coördinaat bron (meer dan .25 m binnen rand bouwwerk)			
Yb	2.70	m	Y-coördinaat bron (meer dan .25 m binnen rand bouwwerk)			
Zb	3.75	m	dit is 2/3e van de bronhoogte (H-onderkant + 2/3e H-machine)			
Bronsterkte						
Geluidvermogeniveau LwA	56	dB(A)	Vrij in te vullen; heeft geen invloed op toegestaan LwA.			
marge:	3	dB(A)				
Gevel waar aanbouw tegen staat						
Xh1	-1.00	m				
Xh2	10.00	m				
Perceelgrens						
Xp1	0.00	m	X-coördinaat linkerhoek perceel = 0		Grenst aan woonbestemming?	J/N
Xp2	6.00	m	X-coördinaat rechterhoek perceel		Linkerzijde (y-as; x=0)	J
Yp1	0.00	m	Y-coördinaat linkerhoek perceel = 0		Rechterzijde: (X=Xp2)	J
Yp2	8.00	m	Y-coördinaat rechterhoek perceel		Onderzijde (x-as; Y=o)	N
ze	1.50	m	Beoordelingshoogte		Bovenzijde (Y=Yp2)	J
Aanbouw waar buitenunit op staat						
xA1	4.00	m	kleinste X-coördinaat van de aanbouw			
xA2	8.00	m	grootste X-coördinaat van de aanbouw			
yA1	0.00		kleinste Y-coördinaat van de aanbouw (moet 0 zijn)			
yA2	3.00	m	grootste Y-coördinaat van het aanbouw			
zAs	3.00	m	Hoogte aanbouw buitenunit op staat			
Invoer extra ontvangposities						
Xontv ("nvt" invullen om positie niet mee te nemen)	m	positie1	positie2	positie3		
Yontv	m	8.00	nvt	nvt	Q	
Zontv	m	0.00			2 = op bodem of dak, rondom vrij	
Buitenunit volledig afgeschermd op ontvangpositie?	J/N	4.50			1 = op bodem of dak, tegen 1 wand	
Q-geluidbron	-	2.00			0.5 = op bodem of dak, tussen 2 of meer wanden	

4.2.3 Toelichting invoergegevens in situatie Gg_2

De **bronpositie** wordt ingevoerd met de coördinaten Xb, Yb en Zb. De waarde Zb moet 2/3^e van de werkelijke hoogte zijn van de buitenunit, rekenend vanaf de bodemplaat van de buitenunit. Als de buitenunit bijvoorbeeld op een bouwwerk van 3 m hoog staat, 1,5 m hoog is, en op voetjes van 15 cm hoog staat, dan wordt:

$$Zb = 2,6 + 2/3 \cdot 1,5 + 0,15 = 3,75 \text{ m}$$

De **gevel waar aanbouw tegenaan staat** geeft aan over welk deel van de x-as, van Xh1 t/m Xh2, de gevel zich bevindt. Het rekenmodel houdt rekening met reflectie van geluid via de gevel van de eigen woning.

De **Perceelgrens** wordt ingevoerd door de breedte en diepte aan te geven als waarden in meters in de x- en y-richting in de velden Xp2 en Yp2.

Met de velden in het vak **Grenst aan woonbestemming?** kan worden aangegeven of een perceelgrens grenst aan een ander perceel met woonbestemming. Immers: als er geen woonbestemming aan de andere kant van de perceelgrens is, dan geldt op die perceelgrens geen geluideis. Daar wordt dan rekening mee gehouden bij de bepaling van de toelaatbare geluidvermogeniveaus.

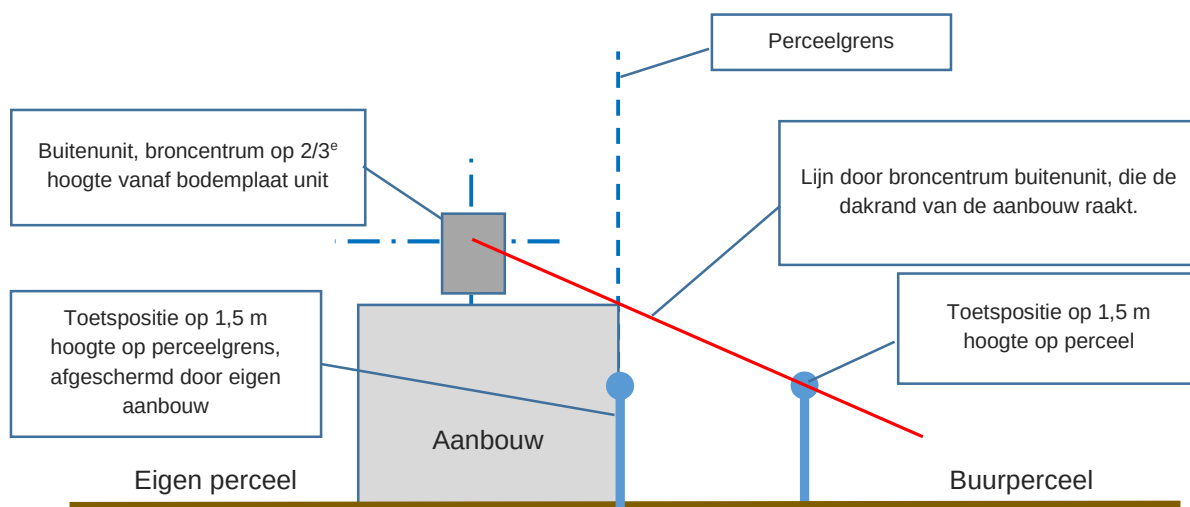
De **Aanbouw waar buitenunit op staat** geeft aan over welk deel van de x-as, van xA1 t/m xA2, en vanaf de gevel (y=0) tot aan yA2 de aanbouw zich bevindt. Het rekenmodel houdt bij deze rekening met afscherming vanwege de rand van de aanbouw. Als de aanbouw doorloopt over de grens van het perceel, dan moet de waarde gelijk of groter zijn dan de breedte van het perceel (xA1 < 0 en/of xA2 > Xp1).

Als de aanbouw niet doorloopt over de perceelgrens, dan moet de aanbouw 10 cm (0,1 m) binnen de perceelgrens gehouden worden, dus $x_{A1} = 0,1$ m als de aanbouw doorloopt over de linker perceelgrens en $x_{A2} = x_{p2} - 0,1$ m, als de aanbouw doorloopt over de rechter perceelgrens. Dit kan zich voordoen als bij de buurwoning ook een aanbouw is (bv. gespiegeld). Dan hoeft er geen geluidniveau ter plaatse van de perceelgrens te worden berekend.

Met de velden bij **Invoer extra posities** is er de mogelijkheid voor het invoeren van extra ontvangposities 1, 2, 3 op de naastgelegen percelen. Toetsing van posities op naastgelegen percelen is altijd nodig als een buitenunit op een dak staat. In dat geval moet op ontvangposities ter plaatse van te openen ramen en/of deuren op hoger gelegen verdiepingen van naastgelegen woningen achter die schermen worden gecontroleerd of geen hogere geluidniveaus optreden dan de grenswaarde.

4.2.3.1 Voorwaardelijke toets op extra ontvangposities bij buitenunit boven maaiveld.

Het rekenmodel controleert de geluidniveaus op de perceelgrens. Er moet bij een buitenunit op een dak (of boven maaiveld tegen een gevel) in het algemeen een extra controlepositie opgenomen worden op de kortste afstand op een naastgelegen woonperceel, op 1,5 m hoogte, waar het geluid net niet wordt afgeschermd.⁴ Dit kan met behulp van de volgende verticale doorsnede in figuur 4.7 worden als op het buurperceel geen aangrenzend bouwwerk staat, en volgens figuur 4.8 als er op het buurperceel wel een aangrenzend bouwwerk staat.

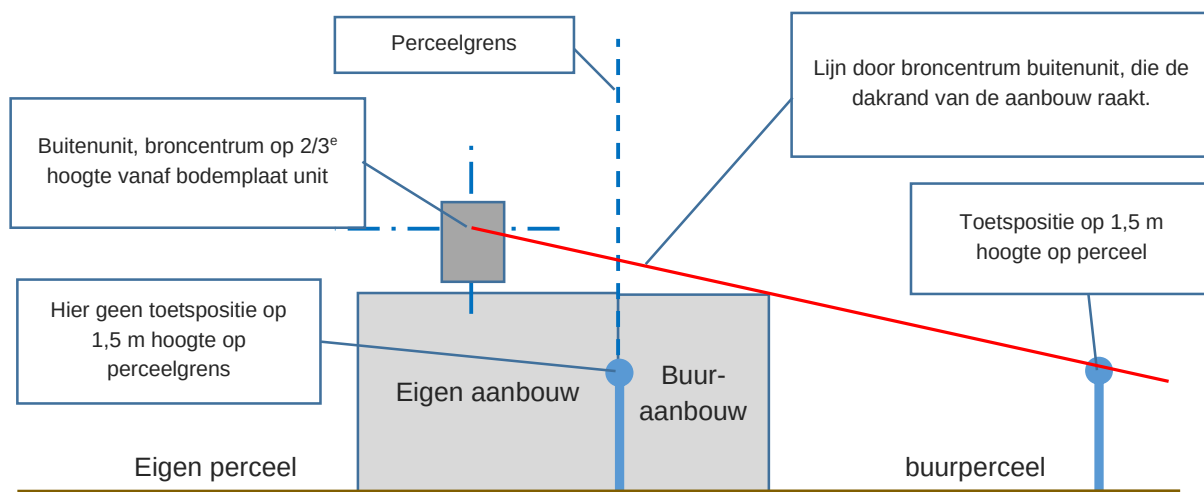


Figuur 4.7

Verticale doorsnede (vooraanzicht) ter bepaling van toetspositie op 1,5 m hoogte maaiveld op buurperceel, als er geen aangrenzende aanbouw staat op het buurperceel.

In de hierboven geschetste situatie moeten de afmetingen van de aanbouw 0,1 m binnen de perceelgrens gehouden worden. Dan rekent de rekentool het geluidniveau uit op de perceelgrens, waarbij de afscherming vanwege de aanbouw zelf wordt berekend. Het niet afgeschermd geluid op wat grotere afstand op het buurperceel op 1,5 m boven maaiveld moet met de berekening door middel van extra ontvangposities worden uitgevoerd.

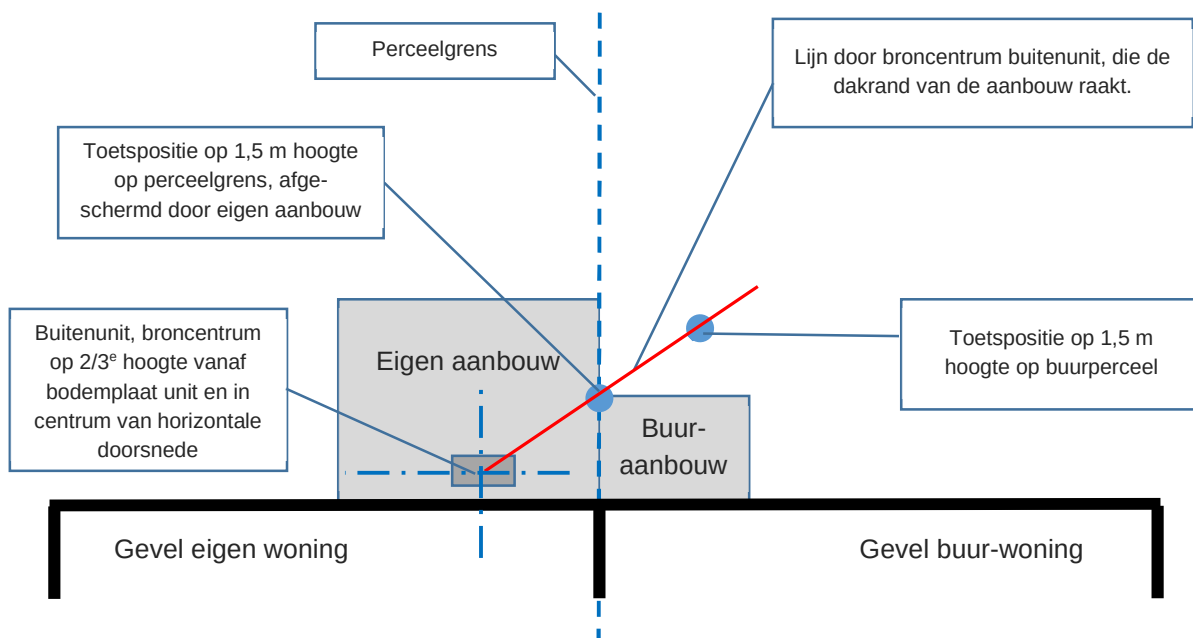
⁴ De controle op het maaiveld is noodzakelijk vanwege voorwaarde sub e 2 in , Bijlage IV van de Regeling Bouwbesluit 2012.



Figuur 4.8

Verticale doorsnede (vooraanzicht) met positie van toetspositie op 1,5 m hoogte maaiveld op buurperceel, als er een aangrenzende aanbouw op het buurperceel staat.

Deze positie op 1,5 m boven het maaiveld moet handmatig ingevoerd worden. Op basis van de gegevens van het eigen perceel is immers niet bekend op welke positie op het buurperceel dit punt ligt. In een situatie waarbij de afmetingen van de eigen aanbouw en de buur-aanbouw verschillend zijn, kan dit ook een schuine lijn zijn ten opzichte van de aanbouwen, zoals getoond in de volgende horizontale doorsnede in figuur 4.9.



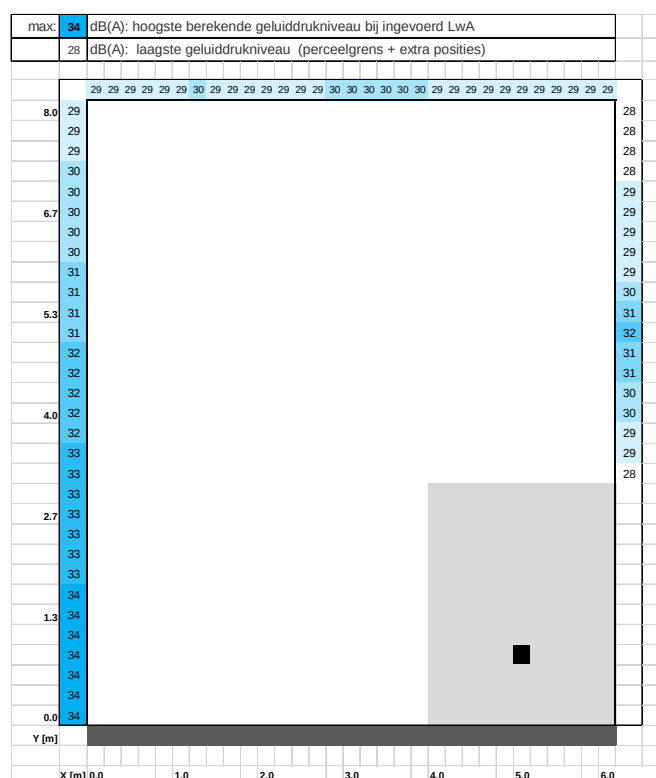
Figuur 4.9

Voorbeeld plattegrond (bovenaanzicht) ter bepaling van toetspositie op 1,5 m hoogte maaiveld op buurperceel, als de buur-aanbouw een kleinere diepte heeft dan de eigen aanbouw.

Men moet hierbij uitgaan van de al aanwezige woning of een te bouwen woning volgens het bestemmingsplan of omgevingsvergunning. Men moet daarbij zelf beoordelen welke positie op het buurperceel het meest kritisch is: het meest dichtbijgelegen punt wat niet wordt afgeschermd. Er is ruimte om dit voor drie ontvangposities op te geven. In het algemeen gaat het om één beoordelingspunt op maaiveldniveau, en daarnaast de ramen/deuren van een naastgelegen woonfunctie die het dichtstbij de buitenunit liggen. Bij deze extra ontvangposities moet gewerkt worden met een eigen waarde van $Q_{\text{geluidbron}}$ die handmatig moet worden opgegeven (kijkend van de buitenunit naar elke ontvangpositie) en indien van toepassing, moet wel of geen afscherming handmatig worden ingevoerd.

4.2.4 Toelichting output in situatie Gg_2

De rekentool geeft een eenvoudige grafische weergave van de situatie, als een plattegrond met de berekende geluidniveaus op de perceelsgrens, met een kleurenschaal met rood de hoogste waarde en groen de laagste waarde. Om de juiste breedte-diepte verhouding te verkrijgen, moet op de knop **Schalen** gedrukt worden. Bij de waarden in de hiervoor getoonde invoervelden is dat de volgende figuur, die een presentatie is van de plattegrond van het rechthoekige perceel, met de berekende geluidniveaus op die perceelsgrens. Er is daarbij gerekend op een raster van 30 posities op elke perceelsgrens.



De legenda maakt duidelijk wat de betekenis is van de gehanteerde kleuren.

Legenda figuur:	
Buitenunit:	
Aanbouw: (berging, bijkeuken,)	
Aangrenzende woning	

4.2.5 Resultaten bij berekeningen in situatie Gg_2

De resultaten worden weergegeven op de hierna beschreven velden. Ten eerste worden de resultaten weergegeven op de extra posities.

Op basis van de resultaten wordt aangegeven wat het toelaatbare geluidvermogensniveau mag zijn vanwege het geluid op de erfgrens op maaiveldniveau en vanwege de extra posities. De gele velden geven dan de maximale geluidvermogensniveaus weer, die de buitenunit inclusief de opgegeven marge mag produceren.

Daaronder zijn een aantal extra velden weergegeven, waarin de mogelijkheid wordt gegeven om project-specifieke gegevens van de gekozen buitenunit te vermelden, evenals de waarden voor het maximale geluidvermogen L_{WA} en bijbehorende K_1 voor de dagperiode en voor de avond+nachtperiode. Ook geeft de sheet aan of er op basis van deze gegevens naar verwachting kan worden voldaan aan de grenswaarde uit het Bouwbesluit.

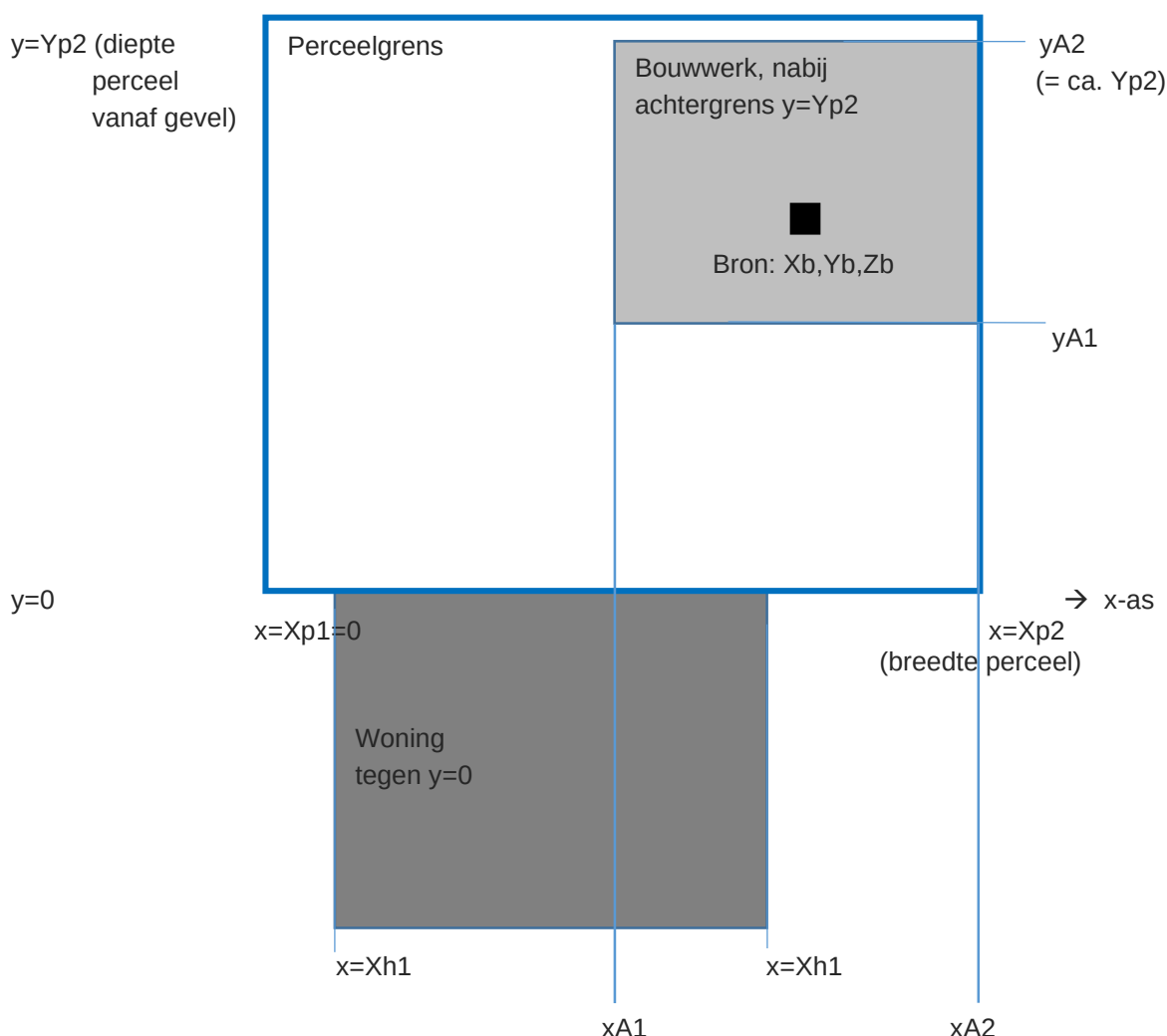
Resultaten op extra posities:		positie 1	positie 2	positie 3	perc.grens		
Lp berekend op deze positie::		37			34	dB(A)	bij het ingevoerde LwA
toelaatbaar geluid (zonder marge)		positie1	positie2	positie3	perc.grens		
$(L_{WA} + K_1 - D_{omkasting})_{dag} \leq$	dB(A)	64.1			67.0		
$(L_{WA} + K_1 - D_{omkasting})_{avond/nacht} \leq$	dB(A)	59.1			62.0		
Berekend toelaatbaar maximaal geluidvermogensniveau:		Dag (7 - 19 u)		Av.+Nacht (19 - 7 u)			
berekend $(L_{WA} + K_1 - D_{omkasting})_{max} =$		61		56		dB (A-gewogen)	

4.3 Situatie Gg_2A - Buitenunit op een bouwwerk achter op perceel

4.3.1 Plattegrond in situatie Gg_2A.

- **Lichtgrijs:** de aanbouw waar de buitenunit op staat.
- **Blauw:** de perceelgrenzen waar de invallende geluidniveaus berekend worden. (er wordt niet boven de tuinmuur beoordeeld, want de bron staat hoger dan het scherm, en de muur schermt dan dus niet af.)
- **Zwart: bron B** met X_b, Y_b, Z_b , met Z_b op $2/3^e$ hoogte van de machine (dus hoogte van bodemplaat + $2/3^e$ hoogte van de machine) Deze hoogte moet hoger zijn dan de hoogte van de aanbouw.
- **Donkergrijs:** de gevel van de woning tegen de x-as aan.

De drie extra ontvangposities X,Y,Z staan niet in de figuur. Deze hebben per positie een eigen Q-factor en handmatige invoer wel/geen afscherming.



Figuur 4.10

Positie van de bron bij buitenunit op aanbouw tegen woning in Gg_2A

4.3.2 Invoervelden rekentool in situatie Gg_2A

Bronpositie					
Xb	1.00 m	X-coördinaat bron (meer dan .25 m binnen rand bouwwerk)			
Yb	7.00 m	Y-coördinaat bron (meer dan .25 m binnen rand bouwwerk)			
Zb	3.80 m	dit is 2/3e van de bronhoogte (H-onderkant + 2/3e H-machine)			
Bronsterkte					
Geluidvermogeniveau LwA	57 dB(A)	Vrij in te vullen; heeft geen invloed op toegestaan LwA.			
marge:	3 dB(A)				
Perceelgrens					Grenst aan woonbestemming?
Xp1	0 m	X-coördinaat linkerhoek perceel = 0	Linkerzijde (y-as; x=0)	J/N	
Xp2	6 m	X-coördinaat rechterhoek perceel	Rechterzijde: (X=Xp2)	J	
Yp1	0 m	Y-coördinaat linkerhoek perceel = 0	Onderzijde (x-as; Y=0)	N	
Yp2	8 m	Y-coördinaat rechterhoek perceel	Bovenzijde (Y=Yp2)	J	
ze	1.5 m	Beoordelingshoogte			
Gevel van woning					
Xh1	-5 m				
Xh2	10 m				
Bouwwerk waar buitenunit op staat					
xA1	0.1 m	kleinste X-coördinaat van de aanbouw			
xA2	2 m	grootste X-coördinaat van de aanbouw			
yA1	5.5 m	kleinste Y-coördinaat van de aanbouw			
yA2	7.5 m	grootste Y-coördinaat v. aanbouw (max 1 m kleiner dan Yp2)			
zAs	3 m	Hoogte aanbouw buitenunit op staat			
Invoer extra ontvangposities		positie1	positie2	positie3	
Xontv ("nvt" invullen om positie niet mee te nemen)	m	-2	8	nvt	
Yontv	m	0	0		Q
Zontv	m	4.5	4.5		2 = op bodem of dak, rondom vrij
Buitenunit volledig afgeschermd op ontvangpositie?	J / N	N	N		1 = op bodem of dak, tegen 1 wand
Q-geluidbron	-	2	2		0.5 = op bodem of dak, tussen 2 of meer wanden

4.3.3 Toelichting invoergegevens in situatie Gg_2A

De **bronpositie** wordt ingevoerd met de coördinaten Xb, Yb en Zb. De waarde Zb moet 2/3^e van de werkelijke hoogte zijn van de buitenunit, rekenend vanaf de bodemplaat van de buitenunit. Als de buitenunit bijvoorbeeld op een bouwwerk van 3 m hoog staat, 1,5 m hoog is, en op voetjes van 20 cm hoog staat, dan wordt:

$$Zb = 2,6 + 2/3 \cdot 1,5 + 0,20 = 3,80 \text{ m}$$

De **Gevel van woning** geeft aan over welk deel van de x-as, van Xh1 t/m Xh2, de gevel van de eigen woning zich bevindt. Het rekenmodel houdt rekening met reflectie van geluid via deze gevel.

De **Perceelgrens** wordt ingevoerd door de breedte en diepte aan te geven als waarden in meters in de x- en y-richting in de velden Xp2 en Yp2.

Met de velden in het vak **Grenst aan woonbestemming?** kan worden aangegeven of een perceelgrens grenst aan een ander perceel met woonbestemming. Immers: als er geen woonbestemming grenst, dan geldt op die perceelgrens geen geluideis. Daar wordt rekening mee gehouden bij de bepaling van de toelaatbare geluidvermogeniveau's.

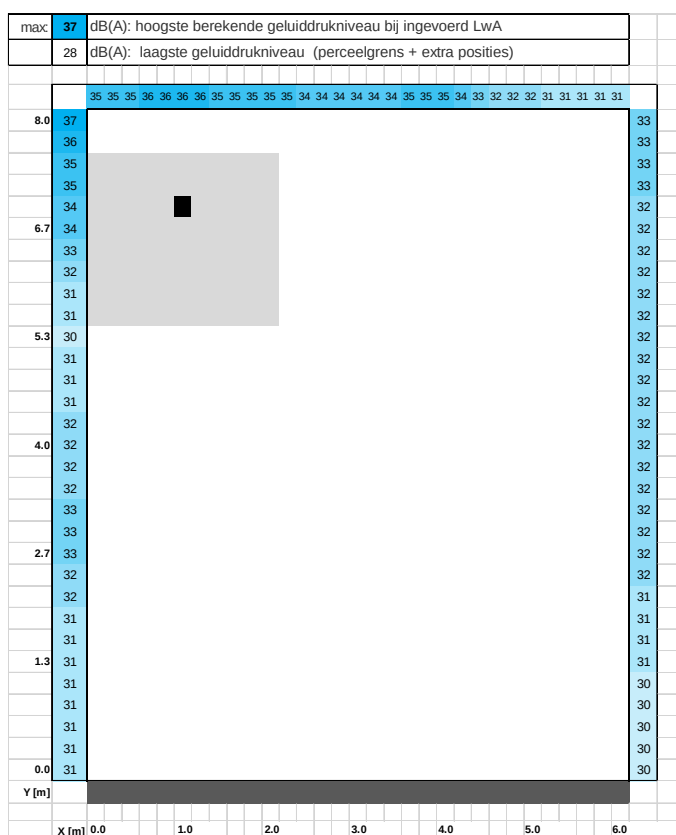
Het vak **Bouwwerk waar buitenunit op staat** bevat de invoervelden die bepalen door middel van xA1, xA2, yA1 en yA2 waar de aanbouw zich bevindt. Het rekenmodel houdt bij deze situatie rekening met afscherming vanwege de rand van de aanbouw.

Voor deze situatie met een buitenunit op een bouwwerk achter op het perceel geldt op dezelfde wijze als in situatie Gg_2 dat op maaiveldniveau op naastgelegen percelen moet worden getoetst. Daarom wordt hier verwezen naar subparagraaf 4.2.3.1.

Ook hier geldt dat een bouwwerk dat doorsteekt over de perceelgrens moet worden gemodelleerd met de coördinaten precies op of buiten de perceelgrens. Als het bouwwerk niet over de perceelgrens heen gaat, moet het minimaal 0,1 m binnen de perceelgrens worden gemodelleerd.

4.3.4 Toelichting Output in situatie Gg_2A

De rekentool geeft een eenvoudige grafische weergave van de situatie, als een plattegrond met de berekende geluidniveaus op de perceelsgrens, met een kleurenschaal met rood de hoogste waarde en groen de laagste waarde. Om de juiste breedte-diepte verhouding te verkrijgen, moet op de knop **Schalen** gedrukt worden. Bij de waarden in de hiervoor getoonde invoervelden is dat de volgende figuur, die een presentatie is van de plattegrond van het rechthoekige perceel, met de berekende geluidniveaus op die perceelgrens. Er is daarbij gerekend op een raster van 30 posities op elke perceelgrens.



De legenda geeft de betekenis van de gehanteerde kleuren aan:

Legenda figuur:	
Warmtepomp:	
Bouwwerk (schuurtje, berging)	
Aangrenzende woning	

4.3.5 Resultaten bij berekeningen in situatie Gg_2A

De resultaten worden weergegeven op de hierna beschreven velden. Ten eerste worden de resultaten weergegeven op de extra posities. In dit voorbeeld wordt getoetst op de woning links van de woning en op een raam van de woning rechts van de woning waarbij de buitenunit op het schuurtje staat.

Op basis van de resultaten wordt aangegeven wat het toelaatbare geluidvermogensniveau is vanwege het geluid op de erfgrans op maaiveldniveau en vanwege de extra posities. De gele velden geven dan de maximale geluidvermogensniveaus weer, die de buitenunit inclusief de opgegeven marge mag produceren.

Daaronder zijn een aantal extra velden weergegeven, waarin de mogelijkheid wordt gegeven om project-specifieke gegevens van de buitenunit te vermelden, evenals de waarden voor het maximale geluidvermogen L_{WA} en bijbehorende K_1 voor de dagperiode en voor de avond+nachtperiode. Ook geeft de sheet aan of er op basis van deze gegevens naar verwachting wordt voldaan aan de grenswaarde uit het Bouwbesluit.

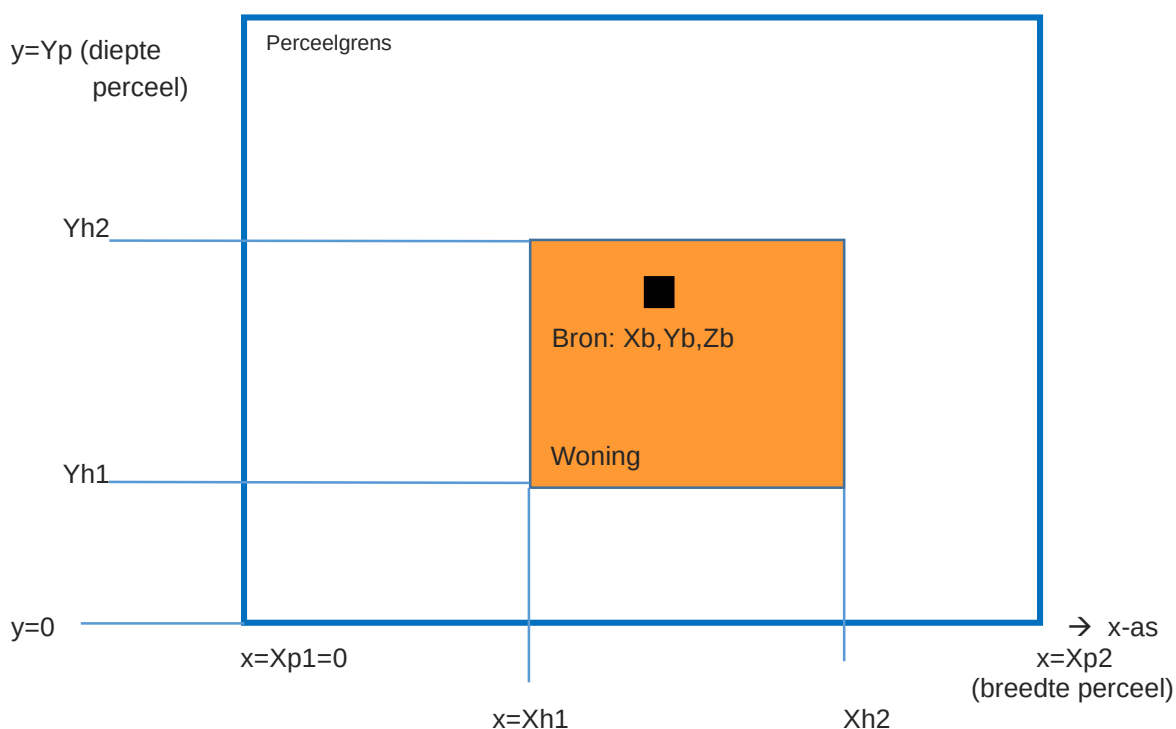
Resultaten op extra posities en perc.grens:		positie 1	positie 2	positie 3	perc.grens		
Lp berekend op deze positie::		30	28		37	dB(A)	bij het ingevoerde LwA
toelaatbaar geluid (zonder marge)		positie1	positie2	positie3	perc.grens		
$(L_{WA} + K_1 - D_{omkasting})_{dag} \leq$	dB(A)	71.7	73.9		65.0		
$(L_{WA} + K_1 - D_{omkasting})_{avond/nacht} \leq$	dB(A)	66.7	68.9		60.0		
Op basis perceelgrens:							
$(L_W + K_1)_{dag} \leq$	62	dB(A)	(inclusief tonaalcorrectie)				
$(L_W + K_1)_{avond/nacht} \leq$	57	dB(A)	(inclusief tonaalcorrectie)				
Bereken toelaatbaar maximaal geluidvermogensniveau:		Dag (7 - 19 u)		Av.+Nacht (19 - 7 u)			
bereken $(L_{WA} + K_1 - D_{omkasting})_{max} =$		62		57		dB (A-gewogen)	

4.4 Situatie Gg_3: Buitenunit op een woning

4.4.1 Plattegrond in Gg_3:

- **Oranje:** de woning waar de buitenunit op staat. Dit kan een vrijstaande woning zijn, een 2-onder-1-kapwoning of een rijtjeswoning.^{5 6}
- **Blauw:** de perceelgrenzen waar gerekend wordt. Er wordt geen rekening gehouden met een eventuele tuinmuur, want de bron staat hoger dan het scherm en de muur schermt dus niet af. Het plaatsen van tuilmuren heeft daarom geen invloed op het resultaat.
- **Zwart:** de buitenunit (Bron B) met X_b, Y_b, Z_b , met Z_b op $2/3^e$ hoogte van de machine (dus hoogte van bodemplaat + $2/3^e$ hoogte van de machine) Deze hoogte moet hoger zijn dan de hoogte van de aanbouw.

De invallende geluidniveaus worden berekend.



Figuur 4.11

Positie van de bron bij buitenunit op aanbouw tegen woning in Gg_3

⁵ Bij de berekeningen in situatie Gg_3 wordt ten behoeve van de geluidafscherming een blok verondersteld, met de buitenunit daarboven, waarbij de rand op goothoogte moet worden gemodelleerd. Dit is de rand waar het geluid in elk geval omheen moet. Een schuin dak heeft in een aantal richtingen een hogere rand, wat zou leiden tot meer geluidafscherming. Voor de – qua geluid – belangrijkste rand, aan de kant waar de buitenunit op het schuine dak staat, zal de gehanteerde methode een goede berekening die aan de voorzichtige kant is, wat een doelstelling is van de rekentool.

⁶ Opstaande dakranden rond een dak, die hoger zijn dan de warmtepomp zelf, kunnen met de vereenvoudigde rekenmethode niet betrouwbaar worden berekend. Binnen de rekentool is de beste benadering als volgt: de dakranden op de werkelijke hoogte modelleren en de geluidbron op de echte positie, en dan 0,1 m boven die dakranden, zelfs als die hoogte in werkelijkheid lager is. Het resultaat daarmee is aan de veilige kant.

4.4.2 Invoervelden in situatie Gg_3:

Bronpositie					
Xb	3.00 m	X-coördinaat bron (meer dan .25 m binnen rand woning)			
Yb	9.00 m	Y-coördinaat bron (meer dan .25 m binnen rand woning)			
Zb	7.30 m	dit is 2/3e van de bronhoogte (H-onderkant + 2/3e H-machine)			
Bronsterkte					
Geluidvermogeniveau LwA	67 dB(A)	Vrij in te vullen; heeft geen invloed op toegestaan LwA.			
marge:	3 dB(A)				
Perceelgrens					
Xp1	0.0 m	X-coördinaat linkerhoek	Grenst aan woonbestemming?		J/N
Xp2	12.0 m	X-coördinaat rechterhoek perceel	Linkerzijde (y-as; x=0)		J
Yp1	0.0 m	Y-coördinaat linkerhoek	Rechterzijde: (X=Xp2)		J
Yp2	20.0 m	Y-coördinaat rechterhoek perceel	Onderzijde (x-as; Y=0)		J
Ze	1.5 m	Beoordelingshoogte	Bovenzijde (Y=Yp2)		J
Woning waar buitenunit op staat					
x1	-1.00 m	kleinste X-coördinaat van het huis			
x2	6.00 m	grootste X-coördinaat van het huis			
y1	3.00 m	kleinste Y-coördinaat van het huis			
y2	11.00 m	grootste Y-coördinaat van het huis			
zs	6.00 m	Hoogte goten van woning waar buitenunit op staat			
Invoer extra ontvangposities					
Xontv ("nvt" invullen om positie niet mee te nemen)	m	positie1	positie2	positie3	
Yontv	m	-2.0	16.0	nvt	
Zontv	m	11.0	10.0		
Buitenunit volledig afgeschermd op ontvangpositie?	J / N	4.5	7.5		
Q-geluidbron	-	J	N		
					2 = op bodem of dak, rondom vrij
					1 = op bodem of dak, tegen 1 wand
					0.5 = op bodem of dak, tussen 2 of meer wanden

4.4.3 Toelichting invoergegevens in situatie Gg_3

De **bronpositie** wordt ingevoerd met de coördinaten Xb, Yb en Zb. De waarde Zb moet 2/3^e van de werkelijke hoogte zijn van de buitenunit, rekenend vanaf de bodemplaat van de buitenunit. Als de buitenunit bijvoorbeeld op een bouwwerk met goothoogte van 6 m hoog staat, 1,5 m hoog is, en op voetjes van 30 cm hoog staat, dan wordt:

$$Zb = 6 + 2/3 \cdot 1,5 + 0,3 = 7,3 \text{ m}$$

De **Perceelgrens** wordt ingevoerd door de breedte en diepte aan te geven als waarden in meters in de x- en y-richting in de velden Xp1, Xp2, Yp1 en Yp2.

In de deze situatie kan het handig zijn om Yp1 en Xp1 ongelijk aan 0 te nemen, bijvoorbeeld om de lijn y-0 (de x-as) gelijk te maken aan de gevellijn van de woning.

Met de velden in het vak **Grenst aan woonbestemming?** kan worden aangegeven of een perceelgrens grenst aan een ander perceel met woonbestemming. Immers: als er geen woonbestemming grenst, dan geldt op die perceelgrens geen geluideis. Daar wordt rekening mee gehouden bij de bepaling van de toelaatbare geluidvermogeniveau's.

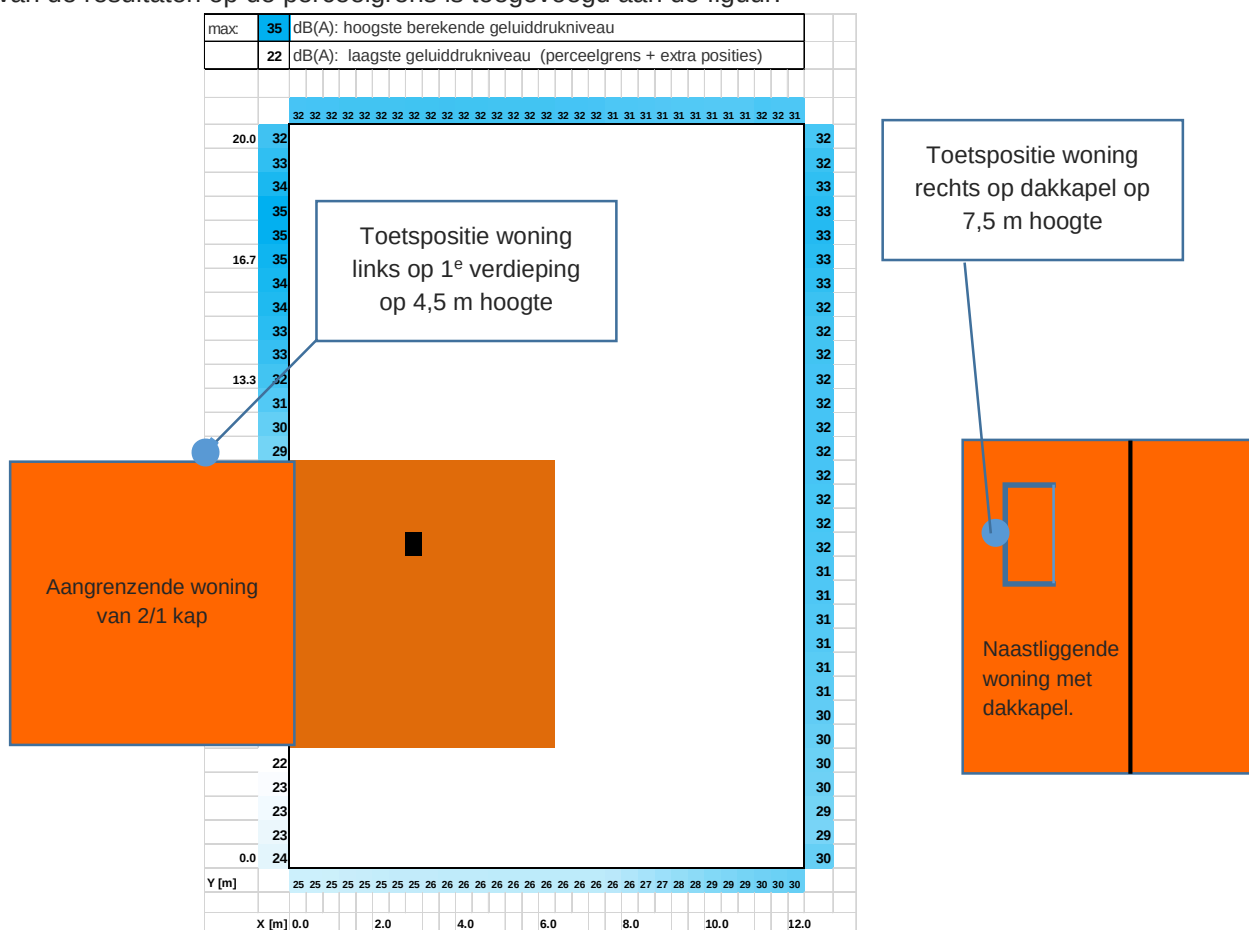
De **Woning waar buitenunit op staat** geeft aan over welk deel van de x-as, van x1 t/m x2, en de y-as van y1 t/m y2 de woning zich bevindt. Het rekenmodel houdt in deze situatie rekening met afscherming van het geluid vanwege de rand van de woning.

Als de woning vast zit aan buurwoningen links, rechts, boven of onder, bijvoorbeeld bij 2-onder-1-kapwoningen of rijtjeswoningen, en dus doorsteekt over de perceelgrens, dan moeten de afmetingen zo worden ingevoerd dat deze over de perceelgrens heen doorlopen. (bv. Xh1 < Xp1 en/of Xh2 > Xp2). Als het bouwwerk precies tot op de perceelgrens loopt, dan moet de woning 0,1 m binnen de perceelgrens worden gemodelleerd.

Bij deze positie van de buitenunit moet altijd getoetst worden op te openen ramen en deuren van de buurwoningen. Opgemerkt wordt dat in figuur 2.6 een voorbeeld staat van een warmtepomp op een dak, waarbij getoetst moet worden bij de naastgelegen woning. Op de tweede en eerste verdieping.

4.4.4 Toelichting Output in situatie Gg_3

De rekentool geeft een eenvoudige grafische weergave van de situatie, als een plattegrond met de berekende geluidniveaus op de perceelsgrens, met een kleurenschaal met blauw de hoogste waarde aflopend naar wit voor de laagste waarde. In onderstaande figuur zijn de breedtes van een aantal kolumnen aangepast om de juiste breedte-diepte verhouding van de grafische presentatie te verkrijgen. Bij de waarden in de hiervoor getoonde invoervelden is dat de volgende figuur, die een presentatie is van de plattegrond van het rechthoekige perceel, met de berekende geluidniveaus op die perceelgrens. Er is daarbij gerekend op een raster van dertig posities op elke perceelgrens. Onderstaande figuur is aangevuld met de toetsposities bij nabijgelegen woningen, zoals in de invoer van dit voorbeeld zijn vermeld. Daarbij is in dit voorbeeld uitgegaan van een ontvangpositie op een woning links bij een raam op de tweede verdieping en van een ontvangpositie bij een woning rechts bij een dakkapel, zoals hiervoor bij de grafische presentatie van de resultaten op de perceelgrens is toegevoegd aan de figuur.



De legenda maakt duidelijk wat de betekenis is van de gehanteerde kleuren:

Legenda figuur:	
Buitenunit:	
Woning:	

4.4.5 Resultaten bij berekeningen in situatie Gg_3

De resultaten worden weergegeven op de hierna beschreven velden. Ten eerste worden de resultaten weergegeven op de extra posities. Daarnaast staat de hoogste waarde vermeld die op de perceelgrens optreedt.

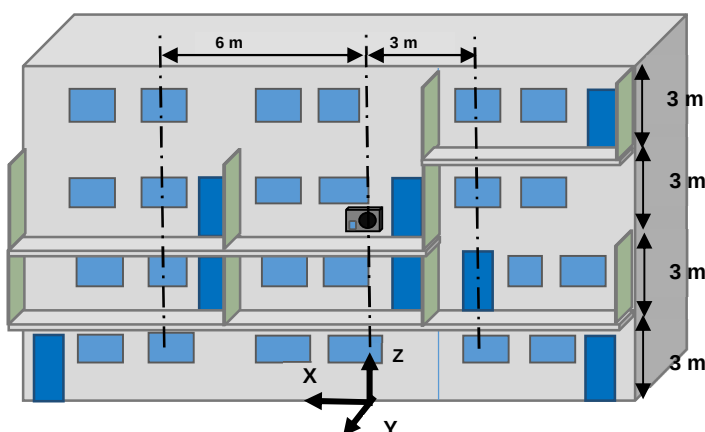
Op basis van de resultaten wordt aangegeven wat het toelaatbare geluidvermogensniveau zou zijn vanwege het geluid op de erfgrens op maaiveldniveau en vanwege de extra posities. De gele velden geven dan de maximale geluidvermogensniveaus weer, die de buitenunit, inclusief de opgegeven marge, mag produceren.

Resultaten op extra posities:		positie 1	positie 2	positie 3	perc.grens		
Lp berekend op deze positie (nacht):		37	36		35	dB(A)	bij het ingevoerde LwA
toelaatbare geluidvermogensniveaus, zonder marge							
		positie 1	positie 2	positie 3	perc.grens		
$(L_{wA} + K_1 - D_{omkasting})_{dag} \leq$	dB(A)	74.7	76.3		77.0		
$(L_{wA} + K_1 - D_{omkasting})_{avond/nacht} \leq$	dB(A)	69.7	71.3		72.0		
Berekend toelaatbaar maximaal geluidvermogensniveau:		Dag (7 - 19 u)		Av.+Nacht (19 - 7 u)			
berekend $(L_{wA} + K_1 - D_{omkasting})_{max} =$		72		67		dB	(A-gewogen)

5 Invoer bij situaties bij appartementen

5.1 Opzet rekentool appartementen

Bij appartementen worden de berekeningen op de volgende manier opgezet. Het uitgangspunt is een buitenunit tegen een gevel van een woning in een appartementengebouw, met andere woningen die daar boven, naast en/of onder liggen. Het doel is om het geluid van een buitenunit bij aangrenzende appartementen te bepalen en te beoordelen. Daarom wordt aanbevolen om het nulpunt van het coördinatenstelsel te kiezen op het maaiveldniveau, onder de buitenunit, direct onder de gevel van het appartement waar de buitenunit bij hoort. In de rekentool kan op maximaal acht posities bij aangrenzende woningen het geluidniveau worden berekend. Dit wordt met een voorbeeld getoond in figuur 5.1.



Figuur 5.1

Situatie bij een appartement en acht omringende appartementen

Bij de berekening wordt onderscheid gemaakt tussen woningen met en zonder een buitenruimte. Bij woningen met een buitenruimte wordt het geluidniveau op 2 cm voor de gevel niet gecorrigeerd voor reflecties tegen de gevel. Bij situaties zonder buitenruimte wordt alleen het invallende geluid berekend door het berekende geluidniveau op de gevel met 5 dB te corrigeren.

5.2 Invoervelden bij appartementen

De invoervelden in de rekentool staan hieronder weergegeven, waarbij de invoergegevens in overeenstemming zijn met figuur 5.1.

Bronpositie									
Xb (bij voorkeur 0!)	0.0 m	X-coördinaat bron, afstand langs gevel / of op dak van gebouw							
Yb (afstand tot gevel)	0.50 m	Y-coördinaat bron							
Zb = hoogte bron v.a. maaiveld	6.75 m	Z-coördinaat van de bronhoogte (bodemvlak + 1/2e hoogte buitenunit)							
Bronsterkte									
Geluidvermogeniveau LwA	51.0 dB(A)	Vrij in te vullen; heeft geen invloed op toegestaan LwA.							
marge:	3.0 dB(A)								
Invoer ontvangposities		positie 1	positie 2	positie 3	positie 4	positie 5	positie 6	positie 7	positie 8
Omschrijving	(bv:)	Links	Rechts	Boven	Onder	LB	RB	LO	RO
Xontv ("nvt" invullen om positie niet mee te nemen)	m	4.5	-3.0	1.0	1.0	6.0	-3.0	6.0	-3.0
Yontv (afstand uit gevel t.o.v. brongevel)	m	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Zontv	m	7.5	7.5	10.5	4.5	10.5	10.5	4.5	4.5
Buitenunit afgeschermd op ontvangpositie?	J / N	N	N	N	N	N	N	N	N
Ontvangpositie bij raam/deur met balkon?	J / N	N	N	N	N	N	N	N	N
Q-ontvanger	-	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	2.0	1.0	1.0
Q - ontvanger: 2 = op raam of deur in vlakke gevel, rondom vrij binnen 2,5 m van bron.									
1 = op raam of gevel, met in richting van bron 1 extra reflector-vlak binnen 2,5 m van ontvanger									
0.5 = op raam of gevel, in richting van bron 2 of meer extra reflector-vlakken binnen 2,5 m van bron									

De **bronpositie** wordt ingevoerd met de coördinaten Xb, Yb en Zb. Bij appartementen moet Xb bij voorkeur op 0 m gezet worden. De waarde Zb is het middelpunt (1/2^e hoogte⁷) van de buitenunit zijn, rekenend vanaf de bodemplaat van de buitenunit. Als de buitenunit zelf bijvoorbeeld 1 m hoog is en de onderkant 25 cm boven de vloer (in de figuur is z-vloer 6 m) staat, dan wordt:

$$Zb = 6 + 0,25 + 1/2 \cdot 1 = 6,75 \text{ m}$$

De **ontvangposities** worden ingevoerd met de coördinaten Xontv, Yontv, Zontv. Zij moeten gekozen worden op het midden van het meest nabijgelegen te openen deur of raam.

Opgemerkt wordt dat in de meetmethode sprake is van twee controleposities op een raam of deur, waar over gemiddeld moet worden. Die middeling vind plaats om meettechnische redenen, om zo een betrouwbaarder waarde te vinden voor wat gemiddeld op het midden plaats vindt. In de rekenmethode is het beoordelen op twee posities met verschillende hoogte niet nodig.

Buitenunit afgeschermd op ontvangpositie

Vervolgens moet met J of N (ja of nee) aangegeven worden of de buitenunit vanuit de ontvangpositie volledig afgeschermd is. Dit is zo als er geen ononderbroken rechte lijn getrokken kan worden tussen de ontvangpositie en de buitenunit. Dan is dit "J", anders is het "N". In een afscherming mogen geen gaten of openingen zitten, er mag geen spleet zijn tussen het scherm en de gevel of een scherm en de bodem, en het scherm moet ten minste 10 kg/m² wegen.

Ontvangpositie bij raam/deur met balkon?

Vervolgens moet met "J" of "N" (ja of nee) aangegeven worden of op de ontvangpositie een buitenruimte is. Als er geen buitenruimte is, dan wordt het invallende geluidniveau beoordeeld⁸. Als er bij appartementen wel een buitenruimte is, dan wordt het geluidniveau inclusief reflectie tegen de gevel beoordeeld, waardoor het beoordelingsniveau 5 dB hoger is. Op deze wijze worden bewoners in de buitenruimte beter beschermd. Door in de rekentool de aanwezigheid van de buitenruimte aan te geven, wordt automatisch het juiste geluidniveau, berekend (wel/niet invallend).

⁷ Bij de appartementensituaties moet het centrum van de bron als bronpositie worden ingevuld, op 1/2^e hoogte. Dit in tegenstelling tot de grondgebonden situaties, waar de centrumpositie op 2/3^e hoogte moet worden ingevuld. Die 2/3^e hoogte is vanwege de berekening van afscherming, die dan op basis van die hoogte wordt gemaakt.

⁸ Zie onderdeel van de Regeling Bouwbesluit 2012, Bijlage VIII bij artikel 3.11, Onderdeel f: "Plaats waar gemeten wordt bij een te openen raam of deur (artikel 3.9, derde lid van het Besluit.)"

$Q_{\text{geluidbron}}$ (bij buitenunit)

De betekenis van de richtfactor Q is toegelicht in paragraaf 3.5. Om de richtfactor $Q_{\text{geluidbron}}$ te bepalen, is het van belang wat er in de richting van de ontvanger gebeurt. Dit is dus in verschillende richtingen anders, wat ook duidelijk is bij het ingevulde voorbeeld hierboven. Dit wordt na het behandelen van $Q_{\text{ontvanger}}$ met een aantal voorbeelden uitgelegd.

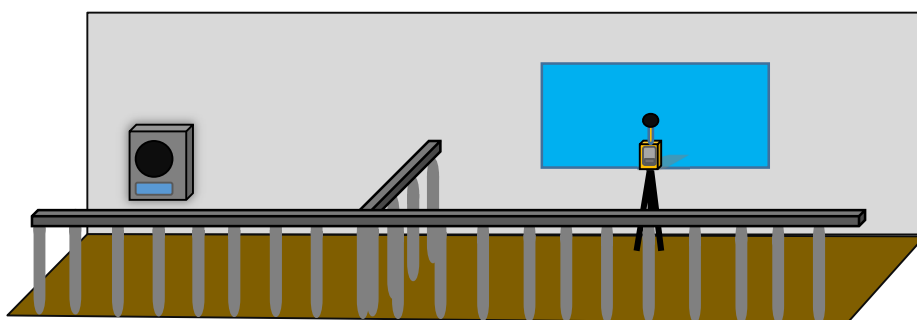
Opgemerkt wordt dat zowel open als gesloten balustrades aan de voorzijde van balkons en galerijen niet worden meegenomen. Open balustrades hebben een verwaarloosbaar effect. Gesloten balustrades houden geluid deels tegen, maar anderzijds reflecteert het geluid extra achter zo'n balustrade tussen vloer, achtergevel en balustrade, waardoor er netto een zeer beperkte invloed is. Daarom wordt ook een gesloten balustrade in deze rekentool niet meegenomen, niet aan de bronzijde en niet aan de ontvangzijde.

$Q_{\text{ontvanger}}$

Zoals is toegelicht in paragraaf 3.5 kunnen geluidreflecties die nabij de ontvanger optreden voor geluid uit een bepaalde richting⁹ zorgen voor een hoger geluidniveau op de ontvangpositie. Als het invallende geluidniveau bepaald moet worden (geen buitenruimte), dan moet de reflectie op de ontvangpositie tegen de achterliggende gevel, waar het raam of de deur in zit, niet worden meegenomen.

In de situatie bij appartementen met een buitenruimte en er nabij de ontvanger extra reflectievlakken zijn, zoals een privacy scherm of een balkonvloer, dan kan daardoor het geluid daar hoger zijn.

Daarbij moet men rekening houden dat hetzelfde vlak niet bij de $Q_{\text{geluidbron}}$ en bij $Q_{\text{ontvanger}}$ mag worden meegenomen. Als bijvoorbeeld een bron op een doorlopend balkon staat waarboven ook de ramen van een ontvanger liggen, dan reflecteert dit geluid maar 1 x via dit balkonvlak. Een reflectievlak dat bij de bepaling van $Q_{\text{geluidbron}}$ al is meegenomen, mag daarom bij $Q_{\text{ontvanger}}$ niet worden meegenomen. Dit wordt in figuur 5.2 met een voorbeeld toegelicht.



Figuur 5.2

Voorbeeld $Q_{\text{geluidbron}}$ en $Q_{\text{ontvanger}}$ met gezamenlijk reflecterend vlak.

⁹ Als in een verder identieke situatie een rondom uitstralende geluidbron en de ontvanger van positie worden omgewisseld, dan treedt bij de ontvanger hetzelfde geluidniveau op. Geluidoverdracht is omkeerbaar, ofwel reciproom.

In het voorbeeld in figuur 5.3 staat de bron boven een doorlopend balkon met hekken op de grens tussen de woningen. In de richting van de ontvanger is de gevel al meegenomen, maar de onderliggende balkonvloer niet. Er is dus één extra reflecterend vlak nabij de bron, dus:

$$Q_{\text{geluidbron}} = 1.$$

Bij de ontvanger wordt ook al rekening gehouden met de reflectie tegen de achterliggende gevel. De balkonvloer er onder ligt binnen 2,5 m en is dus een extra reflecterend vlak. Maar dit is hetzelfde vlak als het extra reflecterende vlak van de bron, en daarom geldt hier niet $Q_{\text{ontvanger}} = 1$, maar:

$$Q_{\text{ontvanger}} = 2.$$

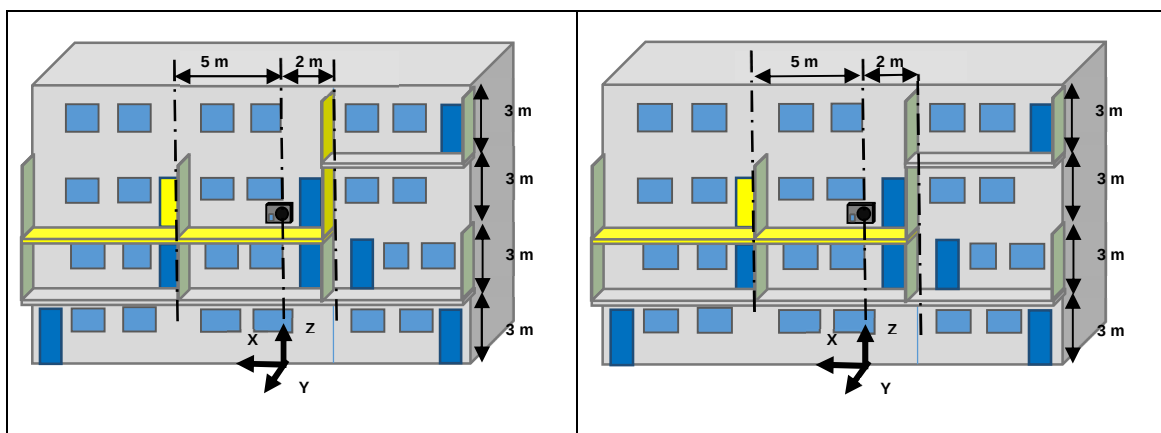
Ontvangpositie bij raam/deur met balkon?

Hier moet met “J” of “N” (ja of nee) worden aangegeven of er een balkon (buitenruimte) is op de ontvangpositie. Als er een balkon is, dan wordt bij de berekening de reflectie tegen de gevel met het raam of de deur wel meegenomen, als er geen balkon is, wordt die reflectie niet meegenomen (= invallend geluidniveau).

5.2.1 Voorbeeldappartement 1: richtfactoren $Q_{\text{geluidbron}}$ en $Q_{\text{ontvanger}}$ bij appartementen

Voorbeeld 1: Overdracht van de buitenunit naar de woning links er van

Dit betreft ontvangpositie 1 volgens de invoergegevens uit paragraaf 5.1 en de bijbehorende invoergegevens zoals getoond in paragraaf 5.2. De ontvangpositie op de deur is nu geel gemaakt.



Figuur 5.4

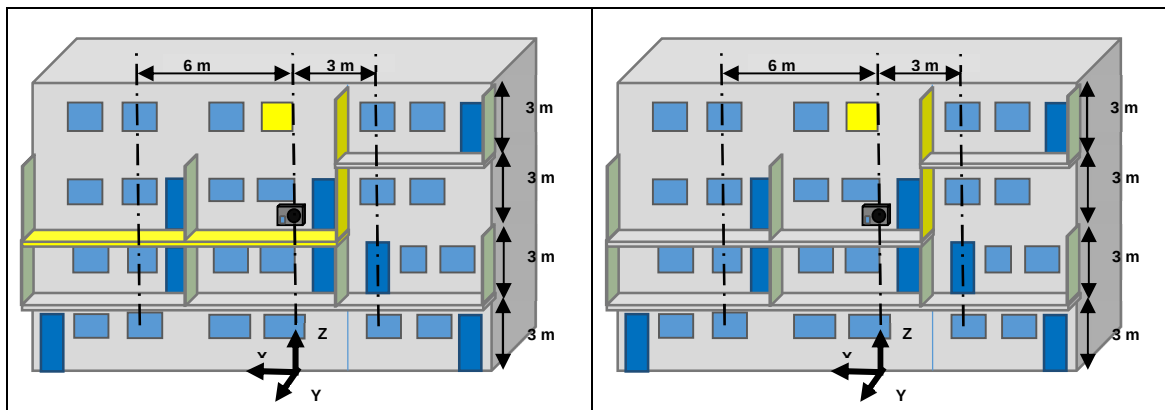
Situatie voorbeeld 1, Links extra reflectievlakken vanuit bron. / Rechts: extra reflectievlakken vanuit ontvanger.

Vanuit de bron gezien liggen de balkonvloer en het ernaast liggende privacy scherm binnen 2,5 m afstand (geel gemaakt). Met twee reflectievlakken wordt $Q_{\text{geluidbron}} = 0,5$. Opgemerkt wordt dat het niet noodzakelijk is voor een reflecterende constructie om minimaal 10 kg/m² gewicht te hebben of om vrij van kieren te zijn.

Vanuit de ontvanger gezien ligt de balkonvloer er onder binnen 2,5 m, maar omdat dit in het verlengde ligt van de balkonvloer onder de bron moet die niet extra meegenomen worden. Het privacy scherm links ligt op meer dan 2,5 m van de ontvanger en moet daarom niet meegenomen worden. Er is dus geen extra reflectievlak; daarmee blijft $Q_{\text{ontvanger}}$ op de waarde 2.

Voorbeeld 2: Overdracht van de buitenunit naar de woning er boven

Dit betreft ontvangpositie 3 volgens de invoergegevens uit paragraaf 5.1 en de bijbehorende invoergegevens zoals getoond in paragraaf 5.2. Het raam bij de ontvangpositie is geel gemaakt.



Figuur 5.5

Situatie voorbeeld 2: Links extra reflectievlakken vanuit bron. / Rechts: extra reflectievlakken vanuit ontvanger.

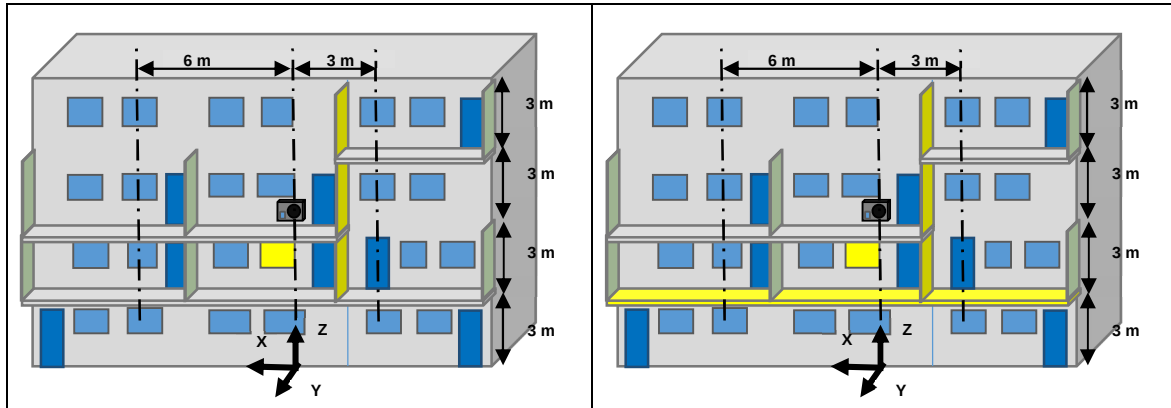
Voorbeeld 2 $Q_{\text{geluidbron}}$ en $Q_{\text{ontvanger}}$ met gezamenlijk reflecterend vlak.

Vanuit de bron gezien, liggen de onderliggende balkonvloer en het ernaast liggende privacy scherm binnen 2,5 m afstand (geel gemaakt) van de bron. Met twee reflectievlakken wordt $Q_{\text{geluidbron}} = 0,5$.

Vanuit de ontvanger gezien ligt het privacy scherm rechts van het raam binnen 2,5 m, maar omdat dit in het verlengde ligt van het privacy scherm er onder, is dat vlak al meegenomen bij de bepaling van de waarde van $Q_{\text{geluidbron}}$. Dat moet niet dubbel gebeuren. Er is dus geen extra reflectievlak; daarmee blijft $Q_{\text{ontvanger}}$ op de waarde 2.

Voorbeeld 3: Overdracht van de buitenunit naar de woning er onder

Dit betreft ontvangpositie 4 volgens de invoergegevens uit paragraaf 5.1 en de bijbehorende invoergegevens zoals getoond in paragraaf 5.2. De ontvangpositie bij dat raam is geel gemaakt.



Figuur 5.6

Situatie voorbeeld 3: Links extra reflectievlakken vanuit bron. / Rechts: extra reflectievlakken vanuit ontvanger.

Vanuit de bron gezien, ligt het privacy scherm rechts binnen 2,5 m afstand (geel gemaakt).

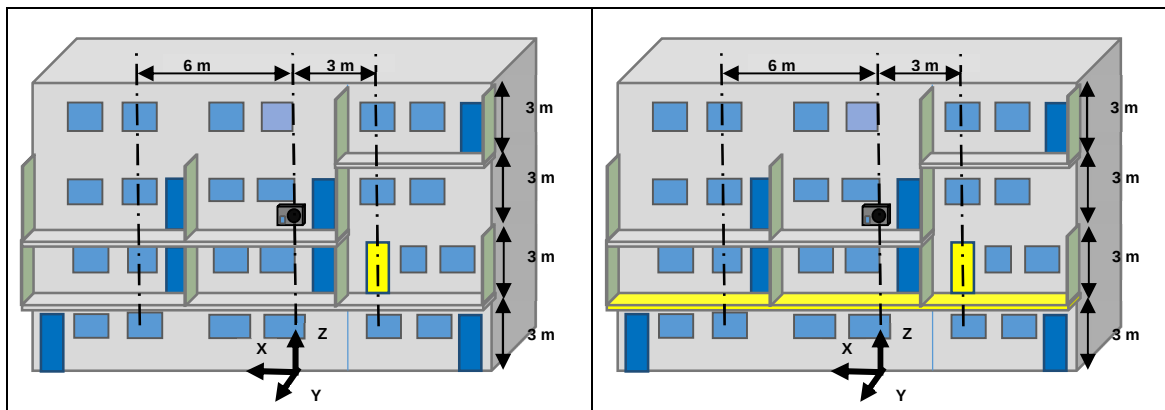
Met 1 reflectievlak wordt $Q_{\text{geluidbron}} = 1$.

Vanuit de ontvanger gezien ligt de balkonvloer er onder binnen 2,5 m en is een reflecterend vlak.

Het privacy scherm rechts ligt binnen 2,5 m, maar is al bij de $Q_{\text{geluidbron}}$ meegenomen. Het privacy scherm links ligt op meer dan 2,5 m en moet daarom niet meegenomen worden. Met 1 extra reflectievlak wordt $Q_{\text{ontvanger}} = 1$.

Voorbeeld 4: Overdracht van de buitenunit naar de woning er rechts onder.

Dit betreft ontvangpositie 8 volgens de invoergegevens uit paragraaf 5.1 en de bijbehorende invoergegevens zoals getoond in paragraaf 5.2. Het raam bij de ontvangpositie is nu geel gemaakt.



Figuur 5.7

Situatie voorbeeld 4: Links extra reflectievlakken vanuit bron. / Rechts: extra reflectievlakken vanuit ontvanger.

Vanuit de bron gezien, ligt het privacy scherm links verder dan 2,5 m afstand. Er zijn dus in de richting van de ontvanger geen extra reflectievlakken.

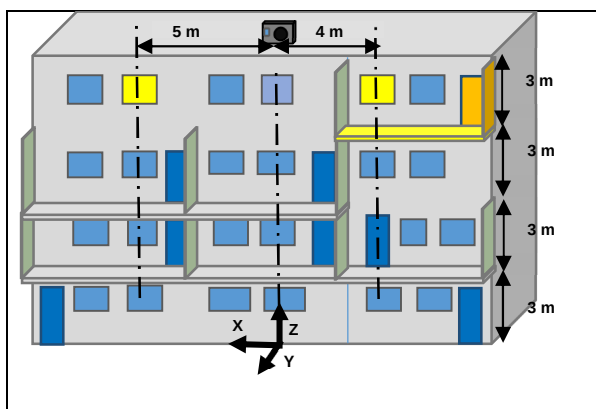
Zonder extra reflectievlak wordt $Q_{\text{geluidbron}} = 2$.

Vanuit de ontvanger gezien ligt de balkonvloer er onder binnen 2,5 m. Het privacy scherm rechts verder dan 2,5 m.

Met 1 extra reflectievlak wordt $Q_{\text{ontvanger}} = 1$.

Voorbeeld 5: Overdracht van de buitenunit op het dak van een appartement

Dit betreft een situatie waarbij de buitenunit op het dak van het middelste appartement staat. De buitenunit staat 3 m achter de dakrand. Berekend wordt het geluidniveau voor de woningen naast de woning waar de buitenunit bij hoort. De ramen bij de ontvangpositie links en rechts van de woning waarbij de buitenunit hoort, zijn geel gemaakt. OOK wordt de situatie berekend bij de oranje deur, omdat daar mogelijk meer geluid kan zijn vanwege de reflectie van het nabij de deur gelegen privacy scherm.



Figuur 5.8

Situatie voorbeeld 5: Extra reflectievlakken vanuit ontvanger.

Hierbij horen de volgende ingevulde waarden in de rekentool

Bronpositie									
Xb (bij voorkeur 0!)	0.0 m	X-coördinaat bron, afstand langs gevel / of op dak van gebouw							
Yb (afstand tot gevel)	-3.00 m	Y-coördinaat bron							
Zb = hoogte bron v.a. maaiveld	12.75 m	Z-coördinaat van de bronhoogte (bodemvlak + 1/2e hoogte buitenunit)							
Bronsterkte									
Geluidvermogeniveau LwA	58.0 dB(A)	Vrij in te vullen; heeft geen invloed op toegestaan LwA.							
marge:	3.0 dB(A)								
Invoer ontvangposities		positie 1	positie 2	positie 3	positie 4	positie 5	positie 6	positie 7	positie 8
Omschrijving	(bv:)	Links	R: raam	R: deur					
Xontv ("nvt" invullen om positie niet mee te nemen)	m	5.0	-4.0	-8.0	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt
Yontv (afstand uit gevel t.o.v. brongevel)	m	0.0	0.0	0.0					
Zontv	m	10.5	10.5	10.5					
Buitenunit afgeschermd op ontvangpositie?	J / N	J	J	J					
Ontvangpositie bij raam/deur met balkon?	J / N	N	J	J					
Q-bron (bij buitenunit)	-	2.0	2.0	2.0					
Q-ontvanger	-	2.0	1.0	0.5					
Q - bron:		2 = voor gevel, (of op dak) rondom vrij binnen 2,5 m van bron.							
		1 = voor gevel, in richting van ontvanger 1 extra reflector-vlak binnen 2,5 m van bron							
		0.5 = voor gevel, in richting van ontvanger 2 extra reflector-vlakken binnen 2,5 m van bron							
Q - ontvanger:		2 = op raam of deur in vlakke gevel, rondom vrij binnen 2,5 m van bron.							
		1 = op raam of gevel, met in richting van bron 1 extra reflector-vlak binnen 2,5 m van ontvanger							
		0.5 = op raam of gevel, in richting van bron 2 of meer extra reflector-vlakken binnen 2,5 m van bron							

Vanuit de bron gezien, zijn er geen extra reflecterende vlakken.

Zonder extra reflectievlak wordt $Q_{\text{geluidbron}} = 2$.

Vanuit de ontvanger

Links – raam: er zijn vanuit dit raam geen extra reflectievlakken. Daarmee wordt $Q_{\text{ontvanger}} = 2$.

Rechts - raam: vanuit dit punt ligt de balkon er onder binnen 2,5 m. Het privacy scherm rechts ligt verder dan 2,5 m. Met één extra reflectievlak wordt $Q_{\text{ontvanger}} = 1$.

Rechts - deur: vanuit dit punt ligt de balkon er onder binnen 2,5 m, en het privacy scherm rechts ligt binnen 2,5 m. Met twee extra reflectievlakken wordt $Q_{\text{ontvanger}} = 0,5$.

In de sheet kan, na het afronden van de invoer, het maximaal toelaatbare ($L_{\text{wA}} + K_1 - D_{\text{omkasting}}$)_{max,avond+nacht} worden ingevuld in het veld voor het “geluidvermogeniveau LwA”, en dan demonstreren de berekende waarden dat die precies de marge lager zijn dan de toelaatbare waarde van 40 dB(A).

Zie de hierna getoonde berekende resultaten voor dit voorbeeld.

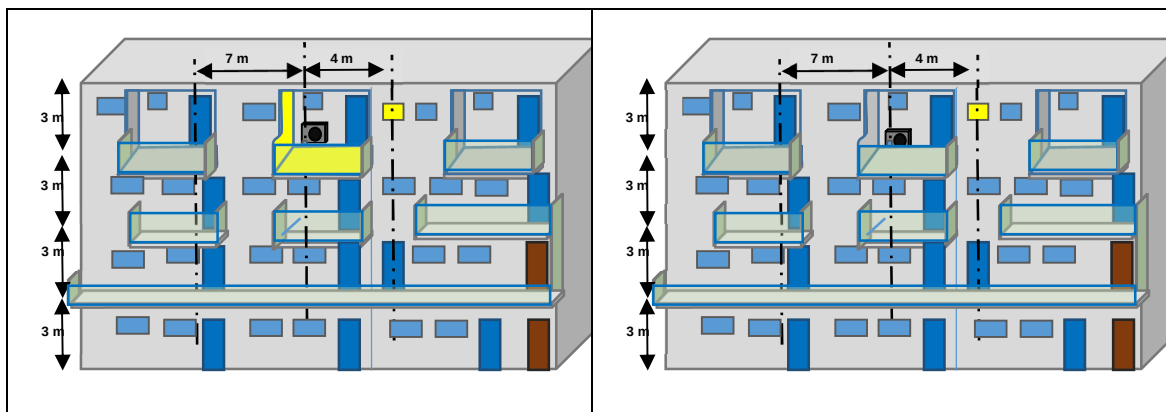
Berekend zonder marge:		positie 1	positie 2	positie 3	positie 4	positie 5	positie 6	positie 7	positie 8
Lp (berekend)	dB(A)	28	37	35					
		invalend	incl.refl	incl.refl					
toelaatbaar geluid (zonder marge)		positie 1	positie 2	positie 3	positie 4	positie 5	positie 6	positie 7	positie 8
($L_{\text{wA}} + K_1 - D_{\text{omkasting}}$) max, dag =	dB(A)	75	66	68					
($L_{\text{wA}} + K_1 - D_{\text{omkasting}}$) max, avond+nacht =	dB(A)	70	61	63					
Berekend toelaatbaar maximaal geluidvermogeniveau:		Dag (7 - 19 u)		Av.+Nacht (19 - 7 u)					
berekend ($L_{\text{wA}} + K_1 - D_{\text{omkasting}}$) _{max} =		63		58		dB (A-gewogen)			

Het geluidniveau op de gevel bij het appartement rechts op het raam (R-raam) is wat hoger dan op de deur (R-deur) ondanks dat op het raam er minder reflectie nabij de ontvanger meetelt. Dit komt omdat de afstand naar het raam kleiner is.

5.2.2 Voorbeeldappartement 2: een situatie met een galerij en inpandige balkons

Bij de hierna volgende voorbeelden is er sprake van een appartementengebouw waarbij de hogere balkons niet over de hele breedte van de appartementen van het gebouw doorlopen en waar er inpandige balkons zijn. Op de eerste verdieping is er een galerij.

Voorbeeld 6 Bron op inwendig balkon, raam op vlakke gevel



Figuur 5.9

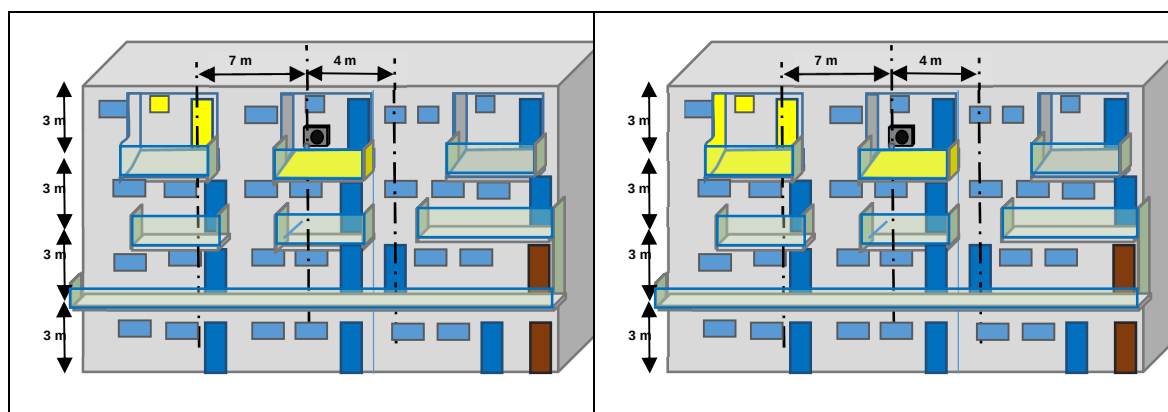
Situatie voorbeeld 6: Links extra reflectievlakken vanuit bron. / Rechts: (geen) extra reflectievlakken vanuit ontvanger.

Vanuit de bron gezien, liggen de onderliggende balkonvloer, het erboven liggende plafond (niet zichtbaar in de figuur) en de ernaast liggende gevel + balustrade binnen 2,5 m afstand (geel gemaakt) van de bron. Met drie reflectievlakken wordt $Q_{\text{geluidbron}} = 0,5$, hetzelfde als dit bij twee reflectievlakken zou zijn.

Vanuit de ontvanger gezien liggen er geen reflecterende vlakken binnen 2,5 m afstand. Er is dus geen extra reflectievlak; daarmee blijft $Q_{\text{ontvanger}}$ op de waarde 2.

Afscherming Het raam heeft geen ononderbroken rechtstreekse verbinding met het raam, dus hier is sprake van volledige afscherming van de geluidbron.

Voorbeeld 7: Buitenunit op inpandig balkon, ontvangpositie op inpandig balkon



Figuur 5.10

Situatie voorbeeld 7: Links extra reflectievlakken vanuit bron. / Rechts: (geen) extra reflectievlakken vanuit ontvanger.

Vanuit de bron gezien liggen de onderliggende balkonvloer, het erboven liggende plafond (niet zichtbaar in figuur 5.10) en de ernaast liggende gevel + gesloten balustrade (deels zichtbaar) binnen 2,5 m afstand (geel gemaakt) van de bron. Met drie reflectievlakken wordt $Q_{\text{geluidbron}} = 0,5$, hetzelfde als dit bij twee reflectievlakken zou zijn.

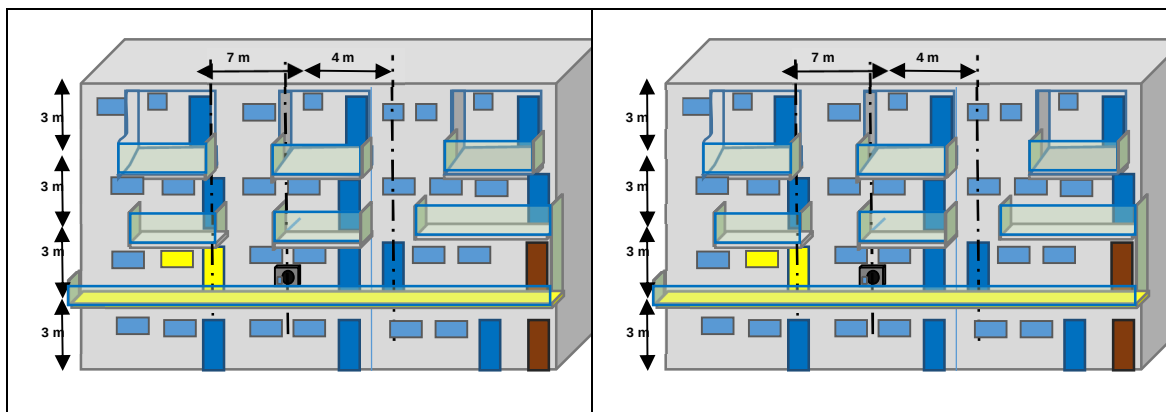
Vanuit de ontvanger gezien, liggen de onderliggende balkonvloer (geel), het erboven liggende plafond (niet zichtbaar in figuur 5.10) en de ernaast liggende gevel + gesloten balustrade (geel) binnen 2,5 m afstand van de bron. Met drie reflectievlakken wordt $Q_{\text{ontvanger}} = 0,5$, hetzelfde als dit bij twee reflectievlakken zou zijn.

Afscherming: Het buitenunit heeft geen ononderbroken rechtstreekse verbinding met het raam, dus hier is sprake van volledige afscherming van de geluidbron.

Buitenruimte: Het balkon bij de ontvanger geldt als buitenruimte, hierbij moet in de rekentool “J” worden ingevoerd. Dit resulteert er in dat geen gevelcorrectie wordt toegepast om het invallende geluid te bepalen ter beoordeling.

Voorbeeld 8: Buitenunit op galerij, ontvangpositie op galerij

Dit voorbeeld wordt bekeken voor twee ontvangposities van een woning: de deur en het raam, volgens figuur 5.11.



Figuur 5.11

Situatie voorbeeld 8: Links extra reflectievlakken vanuit bron. / Rechts: extra reflectievlakken vanuit ontvanger.

Vanuit de bron gezien ligt de onderliggende balkonvloer binnen 2,5 m afstand (geel gemaakt) van de bron. Met één extra reflectievlak wordt $Q_{\text{geluidbron}} = 1$.

Vanuit de ontvanger bij de deur gezien ligt de onderliggende balkonvloer (geel) binnen 2,5 m afstand van de bron. Een reflectie via het bovenliggende plafond zal het midden van de deur niet bereiken. Vervolgens telt de onderliggende balkonvloer niet mee, want deze was al meegenomen bij de bron. Zonder extra reflectievlak wordt $Q_{\text{ontvanger}} = 2$.

Vanuit de ontvanger bij het raam gezien ligt de onderliggende balkonvloer (geel) binnen 2,5 m afstand van de bron. Een reflectie via het bovenliggende plafond zal het midden van het raam wel bereiken. De onderliggende balkonvloer telt niet mee, want deze was al meegenomen bij de bron. Zonder één extra reflectievlak wordt $Q_{\text{ontvanger}} = 1$.

Afscherming: De deur en het raam hebben een ononderbroken rechtstreekse verbinding met de buitenunit, dus hier is geen sprake van afscherming van de geluidbron. Hier moet dus “N” worden ingevuld.

Buitenruimte: Een galerij zal in het algemeen niet als een buitenruimte worden beschouwd, het is immers een gemeenschappelijke verkeersruimte. In dit voorbeeld gaan we daar van uit, zodat hierbij in de rekentool “N” moet worden ingevoerd. Dit resulteert er in dat het invallende geluid wordt bepaald ter beoordeling.

6 Nawoord

Door de energie transitie zullen in de nabij toekomst steeds vaker Lucht-Water warmtepompen en Lucht-Lucht warmtepompen worden toegepast in buitenruimten van woningen. Om het geluid van de buitenunits van deze warmtepompen te beperken, worden er per 1 januari 2021 in het Bouwbesluit 2012 geluideisen gesteld.

Om in het ontwerpstadium van de nieuwbouwwoning c.q. renovatie of verbouwen te kunnen bepalen of aan deze geluideisen kan worden voldaan is een rekentool ontwikkeld. In deze handleiding wordt deze rekentool besproken en worden aanwijzingen gegeven voor het juiste gebruik.

In deze handleiding wordt aangegeven hoe de overdrachtsweg wordt berekend tussen de buitenunit en de in het Bouwbesluit 2012 en de Regeling Bouwbesluit aangegeven posities op de perceelgrens en ter plaatse van te openen ramen en deuren van buurwoningen. Hieruit kunnen de maximaal toelaatbare geluidvermogenenniveaus voor de dag- en avond+nachtperiode worden bepaald, rekening houdend met een opgegeven marge. De leveranciers van buitenunits kunnen dan de benodigde maximum geluidvermogenenniveaus en tonaaltoeslag aanleveren. Ook kan bij toepassing van omkastingen, door leveranciers van deze omkastingen de benodigde info worden gegeven.

LBP|SIGHT BV

ir. Th.B.J. (Theo) Campmans

ir. W.G.M. (Wim) Beentjes

Bijlage I

Korte uitleg geluid en geluidvoortplanting

I.1 Wat is geluid?

I.1.1 Geluid

Geluid betreft trillingen in de lucht, rond de gemiddelde atmosferische druk, die voor het menselijk gehoor waarneembaar zijn. De atmosferische druk bedraagt circa 10^5 Pa. De mens is in staat om een drukverschil van $2 \cdot 10^{-5}$ Pa = 20 μ Pa waar te nemen: de gehoordrempel.

I.1.2 Geluidniveau

Vanwege het grote bereik in de sterkte van hoorbare geluiden, hanteren we het geluiddrukkniveau L_p (Afgeleid van het Engelse “level” en “pressure”). Dit is gedefinieerd volgens de formule :

$$L_p = 10 \cdot \log(p_{\text{eff}}^2 / p_{\text{ref}}^2) \quad [\text{dB}]. \quad (1)$$

Met L_p = geluiddrukkniveau [dB]
 p_{eff} = de effectieve geluiddruk [Pa]
 p_{ref} = de referentie geluiddruk: 20 [μ Pa]

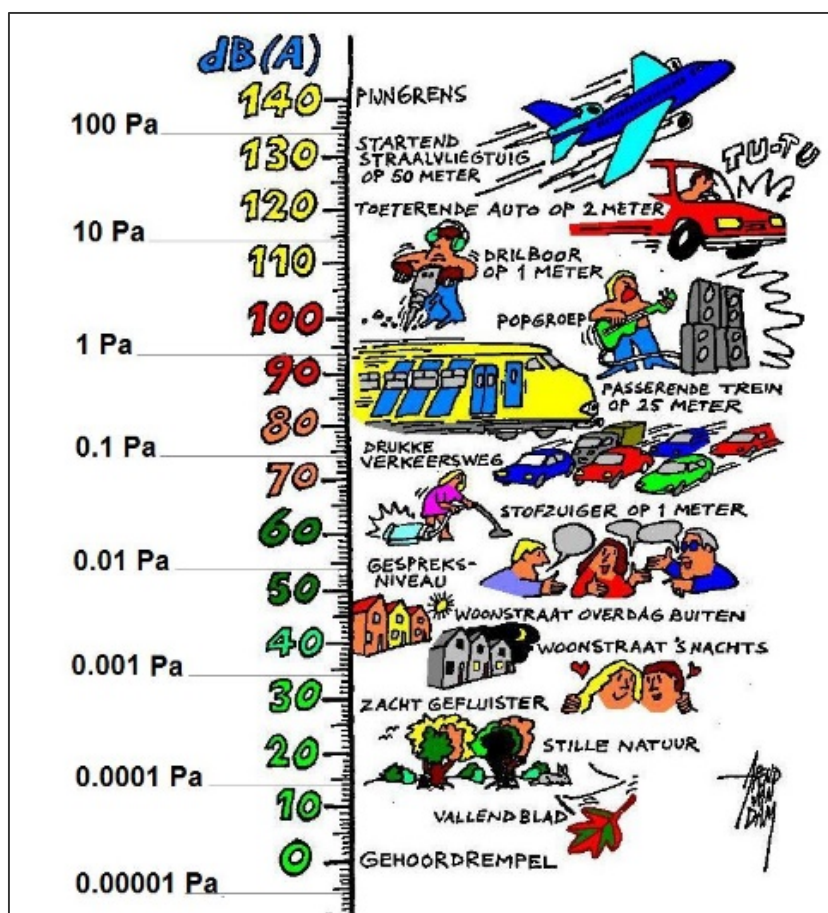
Er zijn twee redenen om dit te doen :

1. Men krijgt een hanteerbare schaal van 0 tot 140 dB, waarbij 0 dB overeenkomt met de gemiddelde gehoordrempel. Er zijn overigens mensen die -5 of -10 dB nog kunnen horen. Zie ook figuur I.1 op de volgende pagina. Daarin wordt de dB(A) gebruikt, wat in de volgende paragraaf kort wordt toegelicht.
2. Het menselijk gehoor blijkt ook “logaritmisch” gevoelig te zijn: 10 dB meer geluid komt qua waarneming overeen met twee x zo luid.

I.1.3 Geluid, frequenties en de A-weging

Geluid bestaat in de praktijk uit de samenstelling van luchttrillingen met verschillende frequenties. De frequentie is het aantal wisselingen van de luchtdruk per seconde, [1/s] ofwel Hertz [Hz]. Het menselijk gehoor neemt geluid waar tussen circa 25 Hz en 20.000 Hz. Daarbij heeft het oor bij verschillende frequenties een verschillende gevoeligheid. Daarvoor wordt dan ook frequentie-afhankelijk gecorrigeerd met de zogeheten A-weging. Als het geluid A-gewogen is, wordt dit (veelal) weergegeven als dB(A). De A-weging kan direct bij de meting op de geluidsniveaumeter worden toegepast, maar ook achteraf als de meting gedaan is in verschillende frequentiebanden, bijvoorbeeld octaafbanden of tertsbanden. Het is belangrijk om te weten of de A-weging is toegepast bij een meting, want er kan een groot verschil zijn tussen het ongewogen dB niveau en het gewogen dB(A) niveau.

Opmerking: sommige geluidmaten, bv. L_{den} , of L_{WA} zijn per definitie A-gewogen, en dan wordt dit volgens sommige definities als dB genoteerd. Het is van belang om bij metingen te weten of de A-weging is toegepast. Zeker moet worden vermeden om op meetresultaten de A-weging 2x toe te passen, dat geeft aanleiding tot aanmerkelijke fouten.



Figuur I.1

Geluidrukniveaus in dB(A) en corresponderende geluiddrukken in Pascal

I.1.4 Oorzaken van geluid

Geluid bij installaties kan veroorzaakt worden door mechanische oorzaken, bijvoorbeeld een gewicht wat tegen een onderdeel van een machine stoot, een oneffen loopvlak van een roterende machine of een roterende as die in onbalans is. Ook kan geluid worden veroorzaakt door stroming als daarbij wervels ontstaan die er toe leiden dat binnen het hoorbare frequentiebereik trillingen ontstaan. Dit kan bijvoorbeeld optreden in luchtkanalen of in en rond een ventilator, een hoofdbestanddeel van buitenunits.

I.2 Geluidvoortplanting door de lucht

I.2.1 Geometrische uitbreiding

Geluid plant zich voort door de lucht. Hoe groter de afstand tussen de geluidbron en de ontvanger (aangeduid met "r" in [m]) is, hoe lager het geluidrukniveau, omdat de geluidenergie zich over een groter oppervlak uitbreidt. Dit heet geometrische uitbreiding.

Voor de geluiduitbreiding van een bron in een oneindige vrije ruimte is dat:

$$L_p = L_w - 10 \cdot \log(4 \cdot \pi \cdot r^2) = L_w - 20 \cdot \log(r) - 11 \text{ dB} \quad \text{"hele bol-uitbreiding"}$$

Dit is een vrij theoretische situatie, die bij de onderhavige buitenunits niet voorkomt.

(overal waar $\log()$ staat wordt de $^{10}\log()$ bedoeld; met grondtal 10)

Als de geluidbron zich op enige afstand vlak boven een harde bodem staat:

$$L_p = \pm L_w - 10 \cdot \log(2 \cdot \pi \cdot r^2); \quad L_p = L_w - 20 \cdot \log(r) - 9 \text{ [dB]} \quad \text{"halve bol-uitbreiding"}^{10}$$

Als de geluidbron op enige afstand boven een harde bodem en tegen een harde wand:

$$L_p = \pm L_w - 10 \cdot \log(\pi \cdot r^2); \quad L_p = L_w - 20 \cdot \log(r) - 6 \text{ [dB]} \quad \text{"kwart bol-uitbreiding"}$$

I.2.2 Reflectie

Als ergens een harde wand staat, kan geluid daar tegen reflecteren. Daardoor kan het geluid via twee routes (overdrachtspaden) op een waarneempunt terechtkomen en neemt het geluidsniveau toe. Hoe groot die toename in geluid is, hangt af van de mate van reflectie van die wand en de extra weglengte die het geluid af moet leggen.

Verder hangt de toename door reflectie ook af van de fase-inhoud van beide signalen, ofwel of het geluid coherent of incoherent is. Bij coherent geluid is de samenstelling van de frequenties van beide signalen hetzelfde. Bij gereflecteerd geluid is er sprake van coherentie, er is immers sprake van dezelfde bron, en dus van dezelfde frequentiesamenstelling. Ook van één bron is het geluid in alle richtingen niet 100% hetzelfde. Als de omweg van het gereflecteerde geluidpad precies een halve golflengte langer is van het rechtstreekse pad (of $1\frac{1}{2}e$, $2\frac{1}{2}e$ golflengte, etc.), dan dooft de reflectie het rechtstreekse geluid gedeeltelijk uit, zoals bij antigeluid. Als de omweg een hele golflengte is, of een geheel aantal maal de hele golflengte, dan telt het geluid in fase op. Het geluid wordt twee x zo sterk en het geluidsdrukkniveau 6 dB hoger. Het verschijnsel met lokaal versterking en verzwakking heet interferentie. Ook spreekt men vaak van knopen (bij uitdoving) en buiken (versterking).

Als twee even sterke incoherente (niet samenhangende) geluiden tegelijk optreden, is het totale geluidsdrukkniveau 3 dB hoger.

I.2.3 Afscherming

Als tussen het meetpunt en de geluidbron een scherm staat, gaat een deel van het geluid om dat scherm heen en kan toch arriveren op dat meetpunt. Dat is een verschijnsel wat verstrooiing (diffractie) heet. De mate van geluidreductie door afscherming is afhankelijk van de afmetingen van het scherm, de afstanden en de frequentiesamenstelling van het geluid. Hoe lager de frequentie is, hoe makkelijker het geluid om een voorwerp heen buigt.

I.2.4 Overige factoren in de overdracht

Er spelen bij de geluidoverdracht ook andere factoren een rol zoals reflectie door de bodem en luchtabsorptie.

¹⁰ Een zuivere halve bol uitbreiding treedt alleen op als het geluid komt van een zeer kleine puntbron, op het bodemvlak van de half-oneindige ruimte ligt. Het geluid van een werkelijke geluidbron, met afmetingen, breidt zich uit over een oppervlak wat iets groter is dan die halve bol: de halve bol rondom het middelpunt, plus het oppervlak van die halve bol tot op de bodem. Daarom staat er in formule voor de halve bol "-9 [dB]", in plaats van "- 8 [dB]" ($10 \cdot \log(2 \pi) = 8$), en in de formule voor de kwart bol uitbreiding "- 6 dB" in plaats van "- 5 [dB]" ($10 \cdot \log(\pi) = 5$).

I.3 Tonaal geluid

Geluid wordt tonaal genoemd als in het geluid duidelijk hoorbare componenten aanwezig zijn van zuivere tonen. Het geluid klinkt dan bijvoorbeeld als fluiten, piepen, zoemen of brommen. Bekende installaties die zuivere tonen produceren zijn bijvoorbeeld transformatoren in transformatorhuisjes, sommige ventilatoren en ontploffingsmotoren. Ook veel muziekinstrumenten maken tonaal geluid. Als geluid tonaal is, ervaren mensen dat geluid als hinderlijker dan wanneer er geen zuivere tonen aanwezig zijn. Bij warmtepompen kunnen ook zuivere tonen voorkomen, zowel door de ventilator als door de compressor. Bij de meetmethode zijn er procedures voorgeschreven hoe de tonaaltoeslag is te bepalen. Voorlopig worden er twee methoden aangewezen. Hiervoor wordt verwezen naar de meetmethode in de Regeling Bouwbesluit 2012. Fabrikanten/leveranciers dienen te beschikken over deze gegevens: de tonaaltoeslag K_1 . De waarde daarvan moet bekend zijn, om deze in te kunnen invullen in de rekentool.

Bijlage II

Verantwoording rekenmethode

I.1 Inleiding verantwoording

Het rekenmodel is gebaseerd op de geluidoverdracht zoals deze staat beschreven in de Handleiding Meten en Rekenen Industrielawaai (HMRI), van het voormalig Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM), internetuitgave 2003. In hoofdstuk 5 daarvan wordt het overdrachtsmodel beschreven (methode II.8). Daarbij wordt de overdracht vereenvoudigd berekend. Deze bijlage beschrijft de aannames en vereenvoudigingen die gemaakt zijn voor het maken van de berekeningen.

I.2 Geometrische uitbreiding: D_{geo}

De bodem-effecten worden in rekening gebracht door uit te gaan van de halve-bol geluidoverdracht zoals in bijlage I is omschreven. Daardoor hoeft D_{bodem} niet te worden toegepast. Bij de gehanteerde formule wordt daarbij dus uitgegaan van een harde bodem.

I.3 Reflecties volgens HMRI 5.3.3: D_{refl}

Dit is van toepassing in situatie Gg_1, Gg_2 en Gg_2A, waarbij het geluid van de buitenunit kan reflecteren in de gevel van de woning, die ligt op de x-as, en bij situatie Gg_1 waarbij ook reflecties kunnen optreden in tuinschermen.

Bij reflecties wordt in de rekentool gewerkt met formule 5.6. Voor de reflectiecoëfficiënt van tuinschermen en gevels wordt uitgegaan van 80%. Er wordt een spiegelbron in rekening gebracht met een bronsterkte van:

$$LWR_{\text{spiegel}} = LWR + 10 \log(0,8) = LWR - 1 \text{ dB.}$$

Bij de berekening wordt voor de spiegelbron rekening gehouden met de weglengte van het reflectiepad. Er wordt een reflectie in rekening gebracht als de lijn van de spiegelbron naar de ontvangpositie door het aanwezige scherm loopt (tuinscherm of gevel).

I.4 Afscherming volgens HMRI 5.3.4: D_{scherm}

Bij de berekening van de waarde van de afscherming D_{scherm} wordt gebruikgemaakt van twee verschillende methoden,

- voor directe eenvoudige berekening op basis van wel of geen afscherming, en
- voor afscherming van dakranden middels de formules uit HMRI.

I.5 Eenvoudige berekening afscherming

Bij de directe berekeningen van bron naar ontvanger: als er geen ononderbroken rechte lijn is tussen de ontvangpositie op de buitenunit, dan wordt $D_{\text{scherm}} = 5 \text{ dB}$ toegepast.

I.6 Afscherming

Bij de berekeningen in situaties Gg_2, Gg_2A en Gg_3 staat de geluidbron, de buitenunit, op een bouwwerk. Daarbij is steeds een blokvormig bouwwerk verondersteld, met rechthoekige zijden en een rechthoekige plattegrond. Voor de uitbouw van een woning en tuinhuisjes komt die vorm in het merendeel van de gevallen overeen met de werkelijke bouwwijze.

Ook bij de berekeningen in situatie Gg_3 met de buitenunit op het dak van een huis wordt ten behoeve van de geluidafscherming de woning als een blok voorgesteld. Daarbij moet de (dak)rand op goothoogte worden gemodelleerd. Dit is de rand waar het geluid in elk geval omheen moet. Een schuin dak heeft in een aantal richtingen een hogere rand, wat zou leiden tot meer geluidafscherming. Voor de – qua geluid – belangrijkste rand, aan de kant waar de buitenunit op het schuine dak staat, zal de gehanteerde methode een goede berekening opleveren. De gehanteerde vereenvoudigde methode is daarmee aan de voorzichtige kant, wat een doelstelling is van de rekentool.

De afscherming van tuinschermen, de rand van de uitbouw of de dakrand wordt berekend met de formules 5.9 en verder uit de HMRI, met de aanpassing dat voor de verticale omweg geen rekening wordt gehouden met de straalkromming.

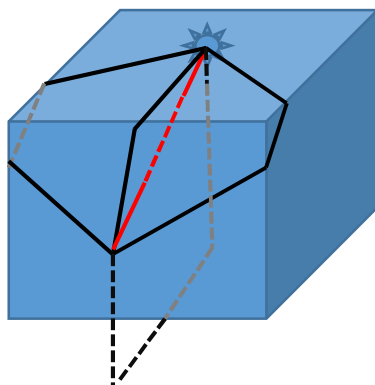
Dat leidt tot een aanpassing van formule 5.10:

$$\text{T boven K: } \varepsilon_v = t_1 + t_2 - k_1 - k_2$$

$$\text{T onder K: } \varepsilon_v = k_1 + k_2 - t_1 - t_2$$

Formule 5.11, linker en rechter omwegen.

Voor de linker- en rechter omwegen is een eigen interpretatie nodig, aangezien er geen sprake is van platte schermen, met echter linker- en rechter omwegen, maar een “doos” waar de geluidbron zich boven bevindt. Het geluid kan dus – afhankelijk van de geometrie, op meerdere wegen van de bron naar de ontvanger toe, zoals getoond wordt in volgende figuur. De rode lijn is de afgeschermd, onderbroken rechte weg van bron naar ontvanger. De zwarte lijnen zijn de mogelijke omwegen: verticaal en de horizontaal links en rechts.



Formule 5.12 en 5.13:

Deze wordt toegepast voor een geluidsfrequentie van octaafband 250 Hz. (feitelijk 200 Hz, wat conform HMRI de laagste tertsbandsmiddenfrequentie is in deze octaafband).

Bijlage III

Rekentool als Open Office rekensheet

I.1 Inleiding

De rekentool is origineel ontwikkeld als Microsoft Office Excel rekensheet met enkele macro's, waarmee de kolommen in breedte kon worden aangepast om zo in de plattegrond de breedte/diepte verhouding overeen te laten komen met de werkelijke verhouding van het perceel. Ook bevat Microsoft Excel op eenvoudige wijze de mogelijkheid voor glijdende kleurschalen. Deze opties zijn gebruikt in de figuren in het rapport.

Op grond van het beleid van de overheid, dienen rekenbladen als open source rekenbladen beschikbaar te worden gesteld: ".ods"-files ("open document sheet"). Daardoor zijn enkele opties enigszins eenvoudiger uitgevoerd.

I.2 Open Office sheets

De rekentool wordt derhalve aangeboden als een beschermde .ods-file. Daarmee is het mogelijk deze te gebruiken zonder een daarvoor benodigde licentie. ODS-files werken op meerdere systemen, zoals Windows, Mac OS en Linux computers.

Een versie van open office kan gedownload worden op de volgende webpagina:

<http://www.openoffice.org/download/index.html>

Opmerking: Sommige gebruikers hebben problemen bij het downloaden en installeren van de laatste versie van OpenOffice 4.1.8. Bij die gebruikers lukt het installeren van de vorige versie, 4.1.7 wel.

Bij het gebruik van de .ods file is overgegaan op een wat eenvoudige grafische presentatie van de resultaten op de perceelgrens met een beperkte kleuren-schaal. Daarbij is een blauwe schaal gebruikt voor de berekende geluidniveaus op de perceelgrens, en in situatie Gg_1 een paarse schaal voor de berekende geluidniveaus op de perceelgrens boven het scherm.

In de .ods-file zijn er dezelfde bladen gehanteerd, volgens onderstaand overzicht. Op het aanstuurblad wordt aangegeven welk blad gehanteerd moet worden:

rekentool	
WPAC-geluid V2020_0 ontwikkeld in opdracht van ministerie BZK door LBP SIGHT	
Berekening van het toelaatbare geluidvermogen-niveau van warmtepompen en airco's	
Uitgegeven dd. 2020.11.11	
Situatie/werkblad:	omschrijving:
Gg_1	Warmtepomp / Airco op maaiveld in tuin
Gg_2	Warmtepomp / Airco op aanbouw tegen woning
Gg_2A	Warmtepomp / Airco op tuinhuis achter in tuin
Gg_3	Warmtepomp / Airco op dak woning
AP	Warmtepomp / Airco bij/op appartementengebouw

Bij de keuze voor één van de situaties, moet onder in het scherm op de "tab" van het gewenste rekenblad worden geklikt.

Opmerking 1

In de grafische weergave zijn de gepresenteerde geluidniveaus op de perceelgrenzen gerelateerd aan de ingevoerde waarde van het veld "Geluidvermogen-niveau LwA". Het kan dus zijn dat deze geluidniveaus hoger of lager zijn dan die behoren bij de situatie waarin precies wordt voldaan, inclusief marge. Om de waarden in de grafische weergave te laten overeenkomen met de berekende waarden, die dus behoren bij het maximaal toelaatbare geluidvermogen van de buitenunit, dan moet handmatig het resultaat van $(L_{wA} + K_1 - D_{omkasting})_{max,avond+nacht}$ worden ingevoerd in het veld voor "Geluidvermogen-niveau LwA". Dan komen de berekende resultaten daarmee overeen. Het hoogst berekende resultaat is dan precies gelijk aan de grenswaarde voor de avond+nachtperiode, inclusief de opgegeven marge.

Opmerking 2

Het gebruik van de .ods rekensheet heeft als consequentie dat in situaties Gg_1 t/m Gg_3 de X- en Y-as van de grafische weergave niet dezelfde schaal hebben. De getalswaarden op de assen zijn uiteraard correct, maar de verhouding van breedte en de diepte is niet correct. Een macro hiervoor bleek in de ODS-versie niet te realiseren.

Vanuit Open Office kan het resultaat worden afgedrukt via:

- Bestand
- Afdrukken
- het resultaat kan ook in zijn geheel als een ods-file worden opgeslagen, zodat later ingekomen informatie verwerkt kan worden.
- Etc.

Als een pdf wordt afgedrukt, dan zijn daarmee de relevante invoerparameters vastgelegd en is bekend wat in de gemodelleerde situatie het toelaatbare geluidvermogen-niveau is.