

Onderzoek geluideisen buitenopgestelde warmtepompen en airco's in bouwregelgeving

Opdrachtgever
Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties
Contactpersoon
de heer M. Balk
Kenmerk
R061336ab.18E9WSP.wb
Versie
03_001
Datum
25 oktober 2018
Auteurs
ir. W.G.M. (Wim) Beentjes
ir. Th.B.J. (Theo) Campmans

Inhoudsopgave

1	Inleiding.....	3
2	Bestaande kaders voor buitengeluid	4
2.1	Bestaand eisenniveau voor buitengeluid van installaties	4
2.2	Bepalingsmethoden buitengeluid	5
3	Invloedfactoren op het geluidniveau veroorzaakt door een buitenunit	6
3.1	Het geluidvermogen van de buitenunit	6
3.2	Afstand tot de bron	7
3.3	Richtfactor	7
3.4	Reflecties	8
3.5	Omkastingen	10
3.6	Rekenresultaten buitengeluid	11
4	Mogelijke posities van buitenunits, van eisen en voor wie	13
4.1	Wie moet worden beschermd?	13
4.2	De posities waar buitenunits kunnen worden geplaatst:	13
4.3	Mogelijke plaatsen voor het stellen van eisen aan geluidniveaus van buitenunits	15
5	Voorstel voor eisen	17
5.1	Grondgebonden woningen	17
5.1.1	Bescherming buitenruimte	17
5.1.2	Geluid in buurwoning	19
5.2	Appartementengebouwen	19
5.2.1	Bescherming buitenruimte/balkon	19
5.2.2	Geluid in het appartement	21
5.2.3	Ander perceel	21
5.3	Vergelijking met andere voorstellen voor eisen	21
6	Accumulatie van geluid van buitenunits	23
7	Meetprotocol Geluid installaties buiten, t.b.v. Bouwbesluit	26
8	Kostenstudie en buitenunits	28
9	Conclusies	29

Bijlagen

- Bijlage I Berekeningen buitenunits van warmtepompen
 Bijlage II

1 Inleiding

Op 1 januari 2020 zullen voor nieuwbouw de nieuwe energieprestatie-eisen gaan gelden (BENG). Vaak zal dan worden gekozen voor het toepassen van warmtepompen die buiten zijn opgesteld. Ook bij bestaande gebouwen zullen deze warmtepompen in het kader van de energietransitie vaker worden toegepast. De buitengeplaatste warmtepompen maar ook airco's kunnen tot geluidoverlast leiden. Vanuit consumentenorganisaties (zie bijvoorbeeld Kassa (tv-programma van 12 mei 2018) en de Nederlandse Stichting Geluidshinder(NSG)) is al aandacht voor dit probleem gevraagd. Het voornemen is nu om in het Bouwbesluit 2012 specifieke geluideisen op te nemen voor warmtepompen en airco's die buiten een bouwwerk zijn opgesteld. Het ministerie van BZK heeft daartoe aan LBP|SIGHT gevraagd een advies uit te brengen over mogelijke geluideisen (inclusief bepalingsmethode) die passen binnen de systematiek van het Bouwbesluit.

In dit rapport is dit advies uitgewerkt. De volgende stappen worden daarbij gezet:

- In hoofdstuk 2 bespreken we eerst de bestaande regelgeving voor buitengeluid.
- In hoofdstuk 3 komen factoren aan de orde die van invloed zijn op de geluidoverdracht buiten.
- In hoofdstuk 4 wordt een overzicht gegeven van wie beschermd moet worden tegen geluid van buitenunits, de mogelijke posities van buitenunits en de mogelijke posities waar een eis aan het installatiegeluid kan worden gesteld. Ook wordt ingegaan op de onderlinge beïnvloeding van deze factoren.
- In hoofdstuk 5 wordt een voorstel uitgewerkt voor het stellen van eisen in het Bouwbesluit aan het geluid van buitenunits buiten. Deze eisen worden vergeleken met eisen die door anderen zijn geformuleerd
- In hoofdstuk 6 gaan we in op de accumulatie van geluid van in de directe omgeving opgestelde buitenunits.
- In hoofdstuk 7 worden nadere bepalingen gegeven voor het meten van het geluidniveau buiten van buitenunits, vanwege het feit dat de Handleiding Meten en Rekenen Industrielawaai niet helemaal geschikt is voor deze situatie met buitenunits.
- Hoofdstuk 8 bevat een kostenstudie van warmtepompen en omkastingen
- Hoofdstuk 9 bevat de conclusies.

2 Bestaande kaders voor buitengeluid

Voor de nieuwe eisen in het Bouwbesluit 2012 is het van belang welke kaders er nu al in Nederland zijn ter bescherming van buitengeluid zowel met betrekking tot het eisenniveau als de bepalingmethode. Op beide aspecten wordt in de volgende paragrafen ingegaan.

2.1 Bestaand eisenniveau voor buitengeluid van installaties

Op geluid dat optreedt op de gevels van geluidgevoelige gebouwen veroorzaakt door inrichtingen is het Activiteitenbesluit Milieubeheer van toepassing. Hierin wordt een algemeen kader gegeven voor geluid van inrichtingen. Hieronder valt ook het geluid dat wordt veroorzaakt door geluid van installaties die buiten zijn opgesteld, zoals bij winkels en kantoren. Met het Activiteitenbesluit is de bescherming tegen het buitengeluid van alle installaties bij inrichtingen voldoende geregeld. Het kader geeft bovendien belangrijke aanknopingspunten voor de Bouwbesluiteisen voor geluid van warmtepompen en airco's (buitenunits) bij woningen. De eisen in het activiteitenbesluit (artikel 2.17a) zijn:

Artikel 2.17

1. Voor het langtijdgemiddelde beoordelingsniveau ($L_{A,r,LT}$) en het maximaal geluidsniveau ($L_{A,max}$), veroorzaakt door de in de inrichting aanwezige installaties en toestellen, alsmede door de in de inrichting verrichte werkzaamheden en activiteiten en laad- en losactiviteiten ten behoeve van en in de onmiddellijke nabijheid van de inrichting, geldt dat:
 - a. de niveaus op de in tabel 2.17a genoemde plaatsen en tijdstippen niet meer bedragen dan de in die tabel aangegeven waarden;

Tabel 2.17a

	07:00–19:00 uur	19:00–23:00 uur	23:00–07:00 uur
$L_{A,r,LT}$ op de gevel van gevoelige gebouwen	50 dB(A)	45 dB(A)	40 dB(A)
$L_{A,r,LT}$ in in- en aanpandige gevoelige gebouwen	35 dB(A)	30 dB(A)	25 dB(A)
$L_{A,max}$ op de gevel van gevoelige gebouwen	70 dB(A)	65 dB(A)	60 dB(A)
$L_{A,max}$ in in- en aanpandige gevoelige gebouwen	55 dB(A)	50 dB(A)	45 dB(A)

- b. de in de periode tussen 07.00 en 19.00 uur in tabel 2.17a opgenomen maximale geluidsniveaus ($L_{A,max}$) niet van toepassing zijn op laad- en losactiviteiten;

In het kader van 'Goede Ruimtelijke Ordening' zoals genoemd in de publicatie 'Bedrijven en Milieuzonering' van de VNG, worden verder voor een rustige woonomgeving 5 dB strengere eisen gehanteerd. Dus 45, 40 respectievelijk 35 dB voor het L_{Aeq} op de gevel

Daarnaast speelt het aspect dat er sprake kan zijn van cumulatie: het geluid van meerdere omliggende inrichtingen dan wel meerdere nabijgelegen woningen met installaties. In het kader van het Activiteitenbesluit wordt daar geen rekening mee gehouden.

2.2 Bepalingsmethoden buitengeluid

De reken- en meetmethode die in het Activiteitenbesluit is aangewezen, is de 'Handleiding Meten en Rekenen Industrielawaai – 1999' (HMRI). Omdat het hier een geluidbron betreft die buiten is opgesteld, ligt het voor de hand om aan te sluiten bij deze methode voor de Bouwbesluiteisen. De Bouwbesluitnorm NEN 5077 is in principe niet geschikt voor deze situatie omdat deze primair van toepassing is op het geluid in ruimten van woningen. Naast de wijze van meten van gemiddelde waarden, worden in de HMRI vier correctiefactoren genoemd:

1. Voor impuls geluid: Is voor buitenunits niet van toepassing.
2. Voor muziekgeluid: Is voor buitenunits niet van toepassing.
3. Voor tonaal karakter: Er wordt een toeslag van 5 dB opgeteld bij het gemeten (of berekende) niveau, wat erop neer komt dat de eis 5 dB strenger wordt.
4. Tijdsduurcorrectie: Alleen de tijd telt mee waarin het apparaat aanstaat (door energetische middeling over de gehele dagperiode (07.00 – 19.00 uur), avondperiode (19.00 – 23.00 uur) en nachtperiode (23.00 – 07.00 uur)).

Voor wat betreft de tijdsduurcorrectie stellen wij voor om deze niet mee te nemen bij het Bouwbesluit. Dit omdat in de Bouwbesluitnorm NEN 5077 ook geen rekening wordt gehouden met hoe vaak bepaalde geluiden voorkomen, omdat een enkel optreden van geluid vooral 's nachts over het algemeen al storend zal zijn. Het geluid van warmtepompen is niet impulsvormig en bevat geen muziekgeluiden. Hierdoor blijft alleen de correctie voor het tonale karakter over. Aangezien de meeste buitenunits een sterk periodiek karakter hebben en daarmee tonaal zijn door de frequentie van het lichtnet en boventonen (met name 50 en 100 Hz) en de schoepen van de ventilatoren, zal de correctie voor tonaliteit nagenoeg altijd van toepassing zijn. Tonaliteit staat in HMRI als volgt omschreven: "*Als criterium geldt dat het tonale karakter van het geluid duidelijk hoorbaar is op het beoordelingspunt.*" Dit is een subjectief criterium. Tonaliteit kan worden aangetoond via de methodiek van NEN EN ISO 1996-2 en ISO PAS 20065 die laatstelijk ook via een uitspraak van de bestuursrechter van de Raad van State erkend is als methode voor het vaststellen van tonaliteit. De ISO-norm 1996-2 (Annex C) resulteert in een correctie K_t die varieert van 0 tot 6 dB. In de Nederlandse situatie wordt geen tonaalcorrectie toegepast als $K_t = 0$ dB, en 5 dB als $K_t = 1$ dB of meer.

3 Invloedfactoren op het geluidniveau veroorzaakt door een buitenunit

In dit hoofdstuk bespreken we de invloedfactoren, die van belang zijn bij de geluidoverdracht van een buitenunit naar de tuin of het balkon van een woning.

Er wordt hier steeds gesproken van een buitenunit. Daarmee wordt iedere installaties voor warmte- of koudeopwekking bedoeld. Het kan niet alleen gaan om een warmtepomp maar ook om een airco. In het algemeen geven warmtepompen een grotere geluidbelasting dan airco's.

3.1 Het geluidvermogen van de buitenunit

Het geluidvermogen van een installatie wordt over het algemeen bepaald in een nagalmkamer of echovrije ruimte van een akoestisch laboratorium volgens NEN EN 12102:2017 of 2013. De meeste fabrikanten geven alleen de dB(A)-waarde en geven geen spectra op, alhoewel die volgens NEN EN 12102:2017 of 2013 wel moeten worden bepaald. Het is niet altijd duidelijk welke waarde exact wordt opgegeven. Soms gaat het om het geluidvermogen, soms wordt de vrije veld waarde genoemd op 1 meter afstand, maar ook andere afstanden komen voor. Ons voorstel is hierbij om én het geluidvermogen L_{WA} te vermelden en de verplichte octaafband- of tertsbandwaarden zoals vermeld in NEN EN 12102:2017/2013.

Daarnaast is er Europese productregelgeving voor warmtepompen en airco's. Dit betreft de Europese richtlijn Ecodesign (2009/125/EG) en de hierop gebaseerde rechtstreeks geldende verordeningen, waarin eisen zijn gesteld aan het maximale geluidvermogensniveau van warmtepompen en airco's die op de markt worden gebracht. Voor warmtepompen zijn dit de verordeningen 813/2013 (ruimteverwarmingstoestellen en combinatieverwarmingstoestellen) en 814/2013 (waterverwarmingstoestellen en warmwatertanks). Voor airco's is dit verordening 206/2012 (airconditioners en ventilatoren). In de praktijk blijkt overigens dat warmtepompen voor geluid veel beter kunnen presteren dan deze maximale niveaus.

Deze verordeningen gaan uit van een maximum geluidvermogen L_{WA} afhankelijk van de nominale warmteafgifte. Voor airco's en comfortventilatoren worden voor de nominale warmteafgifte ≤ 6 respectievelijk 6 - 12 kW het geluidvermogen L_{WA} van maximaal 65 respectievelijk 70 dB geëist. Voor warmtepompen worden bij dezelfde nominale warmteafgifte dezelfde geluidvermogen L_{WA} gegeven. Daarnaast tot 30 kW een maximaal geluidvermogen L_{WA} van 78 dB en tot 70 kW een van maximaal 88 dB. Voor in de directe nabijheid van woningen opgestelde warmtepompen zal de warmteafgifte tot 12 kW beperkt zijn. Voor warmtepompen voor appartementencomplexen zal dit in de regel hoger zijn.

De door fabrikanten opgegeven geluidvermogen L_{WA} van hun buitenunits liggen tussen 53 en 70 dB. Een verstorende factor daarbij is, dat niet alle fabrikanten van buitenunits opgeven bij welke instelling van de warmtepomp het geluidvermogen is bepaald. Sommige geven geen enkele indicatie van de instelling, anderen geven het vermogen bij een bepaalde buitentemperatuur en de temperatuur van het water bijvoorbeeld 35 of 55°C. De verschillende instellingen maken dat de buitenunits onderling niet goed vergelijkbaar zijn.

Afgezien daarvan wordt, zoals hierboven al is aangegeven, alleen de dB(A)-gewogen L_{WA} vermeld, dus zonder spectrum in octaaf- c.q. tertsbanden. Dit laatste maakt het onmogelijk om het

binnenniveau te berekenen ten gevolge van een buitenunit. Dit geldt echter ook voor binnen opgestelde warmtepompen.

Het Activiteitenbesluit en het Bouwbesluit gaan bij de geluideisen uit van metingen ter plaatse. Bij het meten is informatie over het spectrum niet nodig. In de praktijk is er behoefte om vooraf berekeningen te maken bij het ontwerp van een gebouw of installatie. Deze berekeningen moeten dan voldoende robuust zijn zodat aannemelijk is dat de berekende waarden ook daadwerkelijk in de praktijk met metingen kunnen worden geverifieerd. Bij deze berekeningen moet dan wel informatie beschikbaar zijn van het spectrum. Ook zal bij het ontwerp dan helder moeten zijn, onder welke gebruikscondities dit spectrum is bepaald. Voor het maken van een ontwerp is meer informatie nodig dan nu veelal beschikbaar is. Producenten zouden daarom betere informatie moeten geven. Het ligt in de verwachting dat producenten meer informatie zullen gaan geven als in het Bouwbesluit geluideisen worden opgenomen. Er zal dan namelijk steeds vaker op hen een beroep worden gedaan door akoestische adviesbureaus voor het maken van ontwerpberoeeningen. Dit is eerder gebeurd bij de ventilatie-units. De Nederlandse overheid zou daarnaast kunnen proberen om de geluideisen voor Ecodesign op Europees niveau meer specifiek te maken, zodat meer informatie door een producent moet worden gegeven en deze informatie onderling beter vergelijkbaar is. De Nederlandse overheid kan hier zelf geen aanvullende eisen aan stellen, omdat dit handelbelemmerend is.

3.2 Afstand tot de bron

De invloed van de afstand tot de bron is gelijk aan 6 dB afname per afstandsverdubbeling, in formulevorm:

$$L_{pA} \approx L_{WA} - 10 \log(D^2) \quad [1]$$

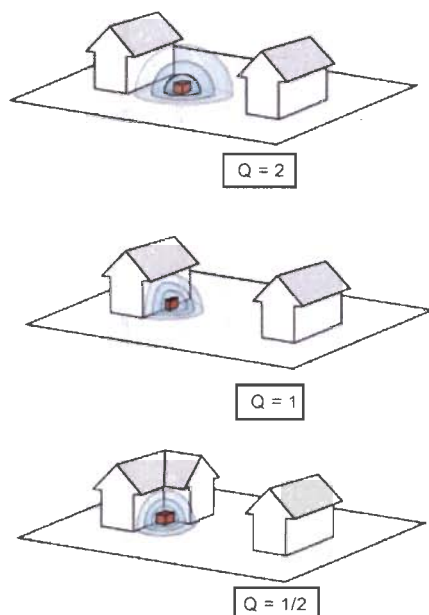
Hierin is:

L_{pA} het geluidniveau op de plaats van waarneming
 D de afstand tot de bron

3.3 Richtfactor

Het geluidniveau wordt mede bepaald door de plaats van de bron ten opzichte van vlakken in de buurt van de geluidbron. Dit wordt aangegeven door de richtfactor Q . Op dit punt worden praktisch gezien drie situaties onderscheiden: Zie ook figuur 3.1.

Halve bol: $Q = 2$ (bijvoorbeeld bron kort boven bodem, plat dak of hoog aan een gevel)
Kwart bol: $Q = 1$ (bijvoorbeeld bron kort boven bodem tegen een gevel)
Achtste bol: $Q = \frac{1}{2}$ (bij een inspringende hoek bij een gevel)



Figuur 3.1
Richtfactor Q voor drie veel voorkomende situaties

De formule [1] wordt dan:

$$L_{pA} = L_{WA} - 10 \cdot \lg (Q \cdot \pi \cdot D^2). \quad [2]$$

Voor de meeste opstelposities tegen de gevel of tegen een schuurtje geldt $Q = 2$. Dit geldt in principe ook voor een op een plat dak opgestelde buitenunit van een schuurtje of op een plat dak van een grondgebonden woning. Over het algemeen worden buitenunits niet geplaatst op hellende daken. Zij kunnen tegenwoordig wel in de omgeving van schoorstenen worden geplaatst.

N.B.

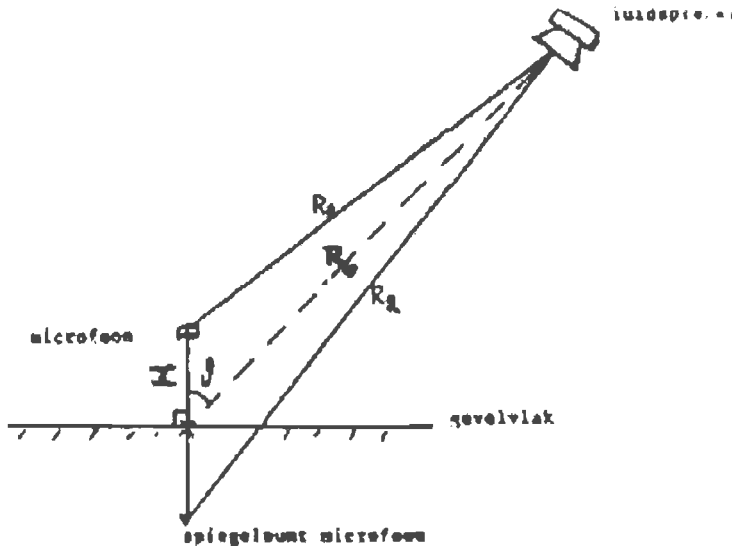
In de meeste documentatie van warmtepompen waarbij geluidniveaus op een afstand worden gegeven, wordt echter uitgegaan van een geheel vrijstralende geluidbron. Hiervoor geldt echter een $Q=4$. Deze situatie is niet reëel, omdat de buitenunit niet vrij in de lucht kan worden opgesteld.

3.4 Reflecties

Reflecties treden op tegen vlakken die het geluid onderweg tegenkomt. De mate van reflectie hangt af van de absorptie van het reflectievlak en de afstand van de geluidbron ten opzichte van het reflecterende vlak en het meetpunt. In de HMRI komen de volgende twee situaties als uitersten voor: totale reflectie en totale absorptie van het geluid. In het eerste geval treedt dan een verhoging op van 3 dB, in het laatste geval geen verhoging. Deze situatie treedt echter op bij grote afstanden van de bron tot het meetpunt. Uitgegaan wordt dan van afstanden groter dan 10 meter. Bij metingen aan de buitenunit is deze afstand veel kleiner. In de situatie van 5 meter afstand tot de bron, die 2 meter voor de gevel is geplaatst, is de bijdrage van het reflecterend geluidbron circa 9 meter verwijderd van de bron. Dit levert slechts 1,2 dB verhoging van het geluidniveau en niet de standaard 3 dB ten opzichte van het invallend geluid.

Dit kan worden afgeleid uit de formule die de verhoging van het geluid op de microfoon aangeeft ten gevolge van reflectie. Deze formule is afgeleid in de publicatie NAG-publicatie 85-3 van W.G.M. Beentjes en F. de Roo 'Het meten van geluidwering van gevels'. Zie voor de situatie en definitie van de grootheden figuur 3.2.

$$\text{Toename door reflectie} = 10 \cdot \lg(1 + (rR_1/R_2)^2 + 2r(R_1/R_2) \cos(k(R_1 - R_2))) \quad [3]$$



Figuur 3.2

Situatieschets voor de berekening van de toename van het geluidsniveau op het op de microfoon invallende geluid door het gereflecteerde geluid.

Waarin:

k = cirkelgolfgetal [m^{-1}] = $2\pi f/c$

f = frequentie [Hz]

c = voortplantingssnelheid van geluid in lucht [m/s] = 340 m/s

R_1 = afstand tussen de geluidbron en de microfoon

R_2 = afstand van de geluidbron tot het spiegelpunt van de microfoon t.o.v. het reflectievlak [m]

r = reflectiefactor [-]

De reflectie via de bodem speelt echter wel altijd mee bij industrielawaai. Alleen is niet a priori bekend of er sprake is van een harde bodem (betegeld of vijver: reflectiefactor 0,8) levert dan 2 dB extra op, terwijl bij een begroeide bodem de reflectie niet meespeelt. Als algemene waarde wordt geadviseerd om voor deze reflectie dan het midden aan te houden, dus een correctie van 1,0 dB. De combinatie van beide reflecties levert dan een gemiddelde verhoging van circa 1,5 dB op. De formule voor de te meten $L_{pA,m}$ wordt dan:

$$L_{pA,m} = L_{WA} - 10 \cdot \lg(Q \cdot \pi \cdot D^2) + 1,5 \text{ dB} \quad [4]$$

Reflectie en interferentie

(Het uitgangspunt is: beoordeling van het optredende geluid, inclusief reflectie tegen gevel, maar met uitmiddelen van interferentiepieken en dippen).

Als het geluid van de bron zuivere tonen bevat en er is sprake van reflectie, dan kan dat lokaal grote verschillen tot gevolg hebben in het resultaat. In HMRI staat beschreven dat bij de aanwezigheid van tonaal geluid met de microfoon een zwaaiende beweging gemaakt moet worden, om zo meting in een interferentiedip te vermijden. Bij een bron met een zuivere toon van 50 Hz treedt op 1,7 meter ($1/4 \lambda$ -afstand) loodrecht voor een harde gevel de interferentiedip op. In zo'n situatie heeft het de voorkeur om juist op de gevel te meten en daar een gevelcorrectie toe te passen van 6 dB (omdat de reflectie direct op de gevel geheel in fase is). Tonaliteit

Zoals in paragraaf 2.2 is aangegeven, wordt ervan uit gegaan dat buitenunits van warmtepompen een tonaal karakter bezitten. Hiervoor moet worden aangesloten bij de al genoemde normen, waarbij ISO PAS 20065 gebaseerd is op FFT-analyse. Er zijn ook al geluidniveaumeters waarvoor modules beschikbaar zijn om volgens deze norm tonaliteit vast te stellen. De tonaliteit is extra van belang vanwege de lange tijd dat buitenunits in werking zijn. Een alternatieve vereenvoudigde methode voor het vaststellen van tonaliteit wordt uitgewerkt door de Normcommissie 351-03 'Geluidwering in gebouwen'. Mogelijk dat daarbij kan worden aangesloten.

De kans dat buitenunits tonaliteit bezitten, is zeer groot. De volgende werkwijze wordt dan voorgesteld:

Bij het bepalen van het geluidniveau van een buitenunit van een warmtepomp zou standaard kunnen worden uitgegaan van tonaliteit, tenzij is aangetoond dat er sprake is van geen tonaliteit. De tonaliteit kan bijvoorbeeld worden vastgesteld als onderdeel van de bepalingmethode van het vermogenspectrum in het laboratorium volgens NEN EN 12102:2017.

De basisbeoordeling wordt dan:

$$L_{pA,m} = L_{WA} - 10 \cdot \lg(Q \cdot \pi \cdot D^2) + 1,5 \text{ dB} \quad [5]$$

$$L_{pA,b} = L_{pA,m} + C_{ton}$$

Waarin:

L_{pAm} = Het gemeten geluidniveau [dB]

L_{pAb} = Het beoordeelniveau volgens HRMI

Met $C_{ton} = 5 \text{ dB}$ bij tonaliteit en $C_{ton} = 0 \text{ dB}$ als kan worden aangetoond dat er geen tonaliteit is.

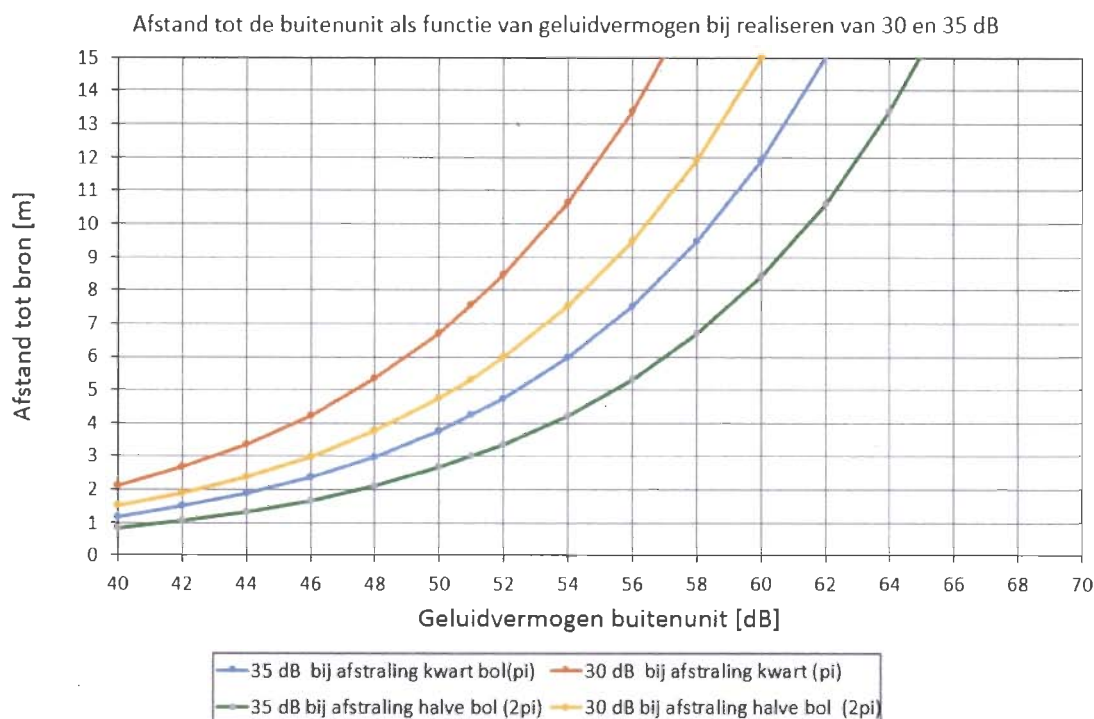
3.5 Omkastingen

Het is mogelijk buitenunits te voorzien van geluiddempende omkastingen. Hierdoor wordt het naar de omgeving uitgestraalde vermogen verminderd. In de beschikbare productinformatie van deze omkastingen worden dempingswaarden gegeven van 7 tot wel 15 dB. Ook hier wordt de demping niet consequent als functie van de frequentie gegeven. De geluiddemping van deze omkastingen als functie van de frequentie moet wel bekend zijn voor het kunnen maken van ontwerpberekeningen. Als geluidvermogen van de buitenunit kan ook uitgegaan worden van het geluidvermogen van de buitenunit verminderd met de demping van een omkasting. Dus bij een vermogen van 60 dB en een demping van 8 dB kan worden uitgegaan van 52 dB mits deze demping gebaseerd is op het spectrum van de buitenunit in de omkasting.

3.6 Rekenresultaten buitengeluid

In bijlage I zijn berekeningsresultaten opgenomen voor $Q = 2$ afstraling halve bol zie figuur 3.1 en $Q = 1$ (afstraling van een kwart bol) In deze berekeningen is de tonaliteit niet meegerekend. Bij de resultaten zijn de waarden die voldoen aan 35 dB in geel aangegeven. Voor tonaliteit is dan de beoordelingswaarde 30 dB. Deze waarden zijn groen gemarkeerd in de bijlage I.

Uit deze resultaten komt naar voren: bij welke combinatie van geluidvermogen en afstand de 30 dB en de 35 dB worden bereikt. Deze resultaten zijn samengevat in figuur 3.3



Figuur 3.3

De afstand tot de bron als functie van het geluidvermogen van de bron en het realiseren van een geluidsniveau van 30 respectievelijk 35 dB. Met respectievelijk zonder tonaliteitscorrectie van van 5 dB.

Uit figuur 3.3 kan het volgende worden afgeleid:

1. Bij een afstraling van een halve bol voor 30 dB bij een afstand van 5 meter zonder aanvullende maatregelen moet het geluidvermogen L_{WA} van een buitenunit met tonaal karakter kleiner of gelijk zijn dan 50 dB. Een afstand van 5 meter is een praktische afstand in verband met de grootte van achtertuinen in Nederland en het kunnen zitten in een gedeelte van de tuin. Bij andere afstanden kan het vermogen zonder verdere maatregelen worden bepaald bijvoorbeeld bij 6 meter 52 dB, etc.
2. Bij geluidbronnen die net aan de Europese richtlijn voldoen van 65 respectievelijk 70 dB zijn altijd extra maatregelen noodzakelijk. De afstanden waarmee wordt voldaan aan 30 respectievelijk 35 dB zijn groter dan de meeste achtertuinen in woningen.
3. Bovendien zijn voor bronnen met $Q=1$ de grotere afstanden af te lezen voor het realiseren van 35 respectievelijk 30 dB.

4 Mogelijke posities van buitenunits, van eisen en voor wie

In dit hoofdstuk komt aan de orde waar buitenunits kunnen worden geplaatst, welk type eis er aan het geluid kan worden gesteld en wie beschermd moet worden. Keuzes van deze uitgangspunten hebben invloed op elkaar. Daar waar van toepassing, worden voor- en nadelen opgesomd. Er wordt hier steeds gesproken van een buitenunit. Bedoeld wordt daarmee iedere installatie voor warmte- of koudeopwekking. Het kan gaan om een warmtepomp maar ook om een airco. In het algemeen geven warmtepompen een grotere geluidbelasting dan airco's, omdat airco's meestal maar een ruimte verwarmen/koelen, terwijl warmtepompen de gehele woning moeten koelen/verwarmen. Zie ook paragraaf 3.1.

4.1 Wie moet worden beschermd?

- a) De bewoner in zijn eigen tuin/buitenruimte.
Een buitenunit geeft geluid in de eigen tuin/buitenruimte. Omdat een bewoner zijn eigen buitenunit kan uitzetten, wanneer hij gebruikmaakt van tuin/buitenruimte, ligt het niet in de rede een eis te stellen aan de geluidbelasting in de eigen tuin/buitenruimte. In de zomer zal vooral gebruik worden gemaakt van de tuin en zal de buitenunit gebruikt worden voor koeling. Men kan dan besluiten de koeling binnen uit te zetten als men in de tuin/buitenruimte wil zitten. Het gebruik van de buitenunit voor warmtapwater (douchen) zal veelal ook niet plaatsvinden als men in de tuin/buitenruimte zit.
- b) De bewoner in zijn eigen woning
Een buitenunit kan geluid geven in de eigen woning. De bescherming tegen dit geluid is al geregeld in het tweede lid van artikel 3.9 van het Bouwbesluit. In de woning geldt voor de eigen buitenunit een geluidniveau van ten hoogste 30 dB bepaald volgens NEN 5077. Wel is in de NEN 5077 nog aandacht nodig voor de bij buitenunits typerend tonaliteit. De normcommissie NEN 5077 is voornemens daarvoor een bepalingsmethode in het normblad op te nemen.
N.B. Door de maatregelen nodig voor de tuin van de buren, zal in het algemeen ook het geluid in de eigen tuin beperkt worden.
- c) De buren in hun eigen tuin/buitenruimte
Een buitenunit kan geluid geven in de tuin/buitenruimte van de buren. In tegenstelling tot wat bij sub a staat, kunnen de buren deze buitenunit niet uitzetten. Met een eis in het Bouwbesluit kunnen buren beschermd worden voor dit geluid.
- d) De buren in hun eigen woning
Een buitenunit kan geluid geven in de woning van de buren. In tegenstelling tot wat in sub b staat, is dit nog niet geregeld in het Bouwbesluit. Met een eis in het Bouwbesluit kunnen buren beschermd worden voor dit geluid.

4.2 De posities waar buitenunits kunnen worden geplaatst:

- 1. In de tuin, tegen de gevel van een buitenberging:
 - a. Dit is alleen mogelijk bij grondgebonden woningen.
- 2. In een open setting in de tuin:
 - a. Ook dit is alleen mogelijk bij grondgebonden woningen.

3. Tegen de gevel van de woning:
 - a. In bijvoorbeeld Publicatie ISSO 98 'Lucht-waterwarmtepompen in woningen' wordt plaatsing bij gevels van verblijfsruimten ontraden.
 - b. Dit zou dan echter alleen kunnen als de buitenunit, eventueel met extra omkasting, een voldoende laag vermogen afgeeft.
4. Op het platte dak van een buitenberging.:
 - a. De afstand tot de woning kan daarmee iets groter worden gemaakt dan bij plaatsing op de grond of tegen de buitenberging.
 - b. Bij plaatsing op deze wijze kan rekening worden gehouden met afscherming van het geluid door de rand van de buitenberging.
5. Op het platte dak van een woning/flatgebouw:
 - a. Bij appartementencomplexen kunnen de buitenunits van alle appartementen op het dak worden geplaatst, wat extra geluidbelasting voor de hoogste verdiepingen kan meebrengen. Dit wordt meestal echter gecompenseerd door de hoge geluidisolatie van het dak en trillingdempende maatregelen. Bij houten daken is een plaatselijke verzwaring nodig van een betonnen plaat (zie ISSO rapport 111 'Geluid voor individuele woninginstallaties').
 - b. In dat geval kan ook voor een grote buitenunit voor het gehele gebouw worden gekozen, waarbij afscherming en isolatie gemakkelijker te regelen valt dan bij buitenunits voor elke woning apart. Daar staat tegenover dat het geluidvermogen van dergelijke buitenunits veel hoger is. Hiervoor zal altijd een op de situatiegerichte oplossing moeten worden ontwikkeld door een akoestisch adviseur in overleg met de installateur.
 - c. Plaatsing op het dak kan ook resulteren in grotere afstanden tot de woning en extra afscherming van de randen van het dak. Ook is er voldoende ruimte voor omkastingen. Een voorbeeldberekening van dit principe met het programma GeoMilieu volgens HMRI:
 - i. Dak is 8 meter diep en bevindt zich 6 meter boven het maaiveld/peil.
 - ii. De buitenunit staat 4 meter van de rand.
 - iii. Het geluidvermogen is $L_{WA} = 70$ dB.
 - iv. Het geluidniveau op 4,5 meter hoogte op het gevelvlak = 31 dB.
 - v. Het geluidniveau op 1,5 meter hoogte op het geveloppervlak = 26 dB.
 - d. Het geluidniveau op 1,5 meter boven het maaiveld op 2 m van de gevel = 26 dB. Dit voorbeeld geeft aan dat deze opstelling meer mogelijkheden geeft om aan de eisen te voldoen dan bij plaatsing in de tuin.
6. In een schoorsteenachtige setting op het dak:
 - a. Door gedeeltelijke binnenplaatsing moet rekening worden gehouden met een verhoging van het geluidniveau in de verblijfsruimten c.q. extra maatregelen binnen.
 - b. De buitenunit komt op een gemakkelijke wijze ver van de buitenruimte van grondgebonden woningen te staan, waardoor gemakkelijker aan buiteneisen kan worden voldaan. Dit geldt niet als er een eis wordt gesteld op de perceelgrens.
7. Op een balkon:
 - a. Direct op de gevel plaatsen wordt in diverse publicaties afgeraden vanwege de directe aanstoting van de gevelconstructie en omdat bij appartementen de verblijfsruimten altijd aan de gevel liggen. Zie ook punt 3 hierboven.
 - b. Op een afstand van de woning plaatsen op het balkon, is waarschijnlijk alleen mogelijk met een omkasting en trillingisolerende maatregelen.

- c. Bij balkons kan sprake zijn van afscherming in de richting van het balkon van het buurappartement door plaatsing van privacy-schermen en/of het maken van een inpandig balkon. Op deze wijze wordt de eigen buitenruimte duidelijk minder beschermd.

4.3 Mogelijke plaatsen voor het stellen van eisen aan geluidniveaus van buitenunits

- A. Op de perceelgrens:
 - a. Met een eis op de perceelgrens kan een naastgelegen perceel en het daarop aanwezige gebouw worden beschermd. Zo'n eis is niet bruikbaar voor appartementen omdat alle appartementen van een appartementengebouw binnen hetzelfde perceel vallen. Er kan dus niet worden volstaan met alleen een eis op de perceelgrens.
 - b. De perceelgrens is meestal groot. Aangezien de bron binnen de perceelgrens zelf staat, varieert het geluidniveau op de perceelgrenzen sterk. Dit betekent dat bij een eis op de perceelgrens het hoogste niveau op die perceelgrens bepalend is. Als de opstelplaats van de buitenunit echter bekend is, is relatief eenvoudig aannemelijk te maken op welke plaats van de perceelsgrens het hoogste geluidniveau te verwachten is. In een nader voorschrift bij de meetmethode kunnen aanwijzingen worden gegeven hoe moet worden gemeten.
 - c. De perceelgrens ligt vast, de vormgeving niet. De ene buur maakt een metselwerkschutting, de ander een pergola met bruidsluier etc. Hierdoor kan bij handhaving een heel andere situatie ontstaan dan bij het algemene uitgangspunt van het Bouwbesluit dat er geen erfscheiding is. In een nader voorschrift bij de meetmethode kunnen aanwijzingen worden gegeven hoe in dit soort gevallen gemeten moet worden.
- B. Op een afstand van de bron bijvoorbeeld 5 meter:
 - a. Bij dit type eis wordt ervan uitgegaan dat de buitenunit met een voldoende laag niveau altijd op een bepaalde afstand geplaatst moet kunnen worden.
 - b. Zo'n eis geeft onvoldoende waarborg dat in iedere situatie voldoende bescherming is van de woning/buitenruimte van de buren. Als de buitenunit dichtbij de perceelsgrens wordt geplaatst, zal op het naastgelegen perceel namelijk altijd een gebied tot (bijvoorbeeld) 5 meter een zwaardere geluidbelasting krijgen. Dit is dan vooral een probleem bij een kleine buitenruimte of een woning dichtbij de perceelsgrens.
 - c. Aan de andere kant wordt met deze eis ook een voor de buren gunstiger plaatsing van een buitenunit niet gewaardeerd. Dit maakt deze eis minder goed uit te leggen.
 - d. Een eis op een vaste afstand van een buitenunit kan verder worden beschouwd als een verkapte nationale producteis aanvullend op de Europese producteisen, wat mogelijk kan worden gezien als een ontoelaatbare handelsbelemmering.
- C. Op de gevel van een verblijfsgebied:
 - a. Deze situatie is over het algemeen het uitgangspunt van het Activiteitenbesluit, zie hoofdstuk 2.
 - b. Bij buitenunits kan de bron bijzonder dicht op de gevel worden geplaatst, wat nooit het geval is bij geluidbronnen die onder het Activiteitenbesluit vallen. In een nader voorschrift bij de meetmethode kunnen echter aanwijzingen worden gegeven, hoe in dit soort gevallen gemeten moet worden.

- c. De eis op de gevel is vooral bruikbaar voor de bescherming van een op een naastgelegen perceel aanwezig verblijfsgebied. Maar de eis is ook bruikbaar voor de bescherming van de buitenruimte die voor de gevel is gesitueerd. Maar de eis zal dan relatief zwaarder moeten worden gemaakt dan strikt nodig is voor op het gevelvlak.
- d. Met een eis op de gevel kan voor grondgebonden woningen en appartementen worden uitgegaan van eenzelfde soort eis.
- e. Deze meetpositie is verder gunstig bij buitenunits op een plat dak. Zie ad 5 in paragraaf 4.2.

5 Voorstel voor eisen

De nieuwe eisen moeten binnen de systematiek van het Bouwbesluit passen. En daarnaast recht doen aan de wetten van de akoestiek. Om binnen de systematiek van het Bouwbesluit te blijven is het noodzakelijk om een onderscheid te maken tussen eisen voor een 'aangrenzend perceel' en eisen voor een 'eenzelfde perceel'. Het voorstel voor de eisen wordt uitgewerkt aan de hand van de volgende twee situaties.

1. Grondgebonden woningen.
2. Appartementengebouw.

Bij grondgebonden woningen is sprake van woningen op aangrenzende percelen. Bij een appartementengebouw gaat het om woningen op eenzelfde perceel. Voor beide situaties wordt een voorstel voor een eis in de volgende twee paragrafen nader uitgewerkt.

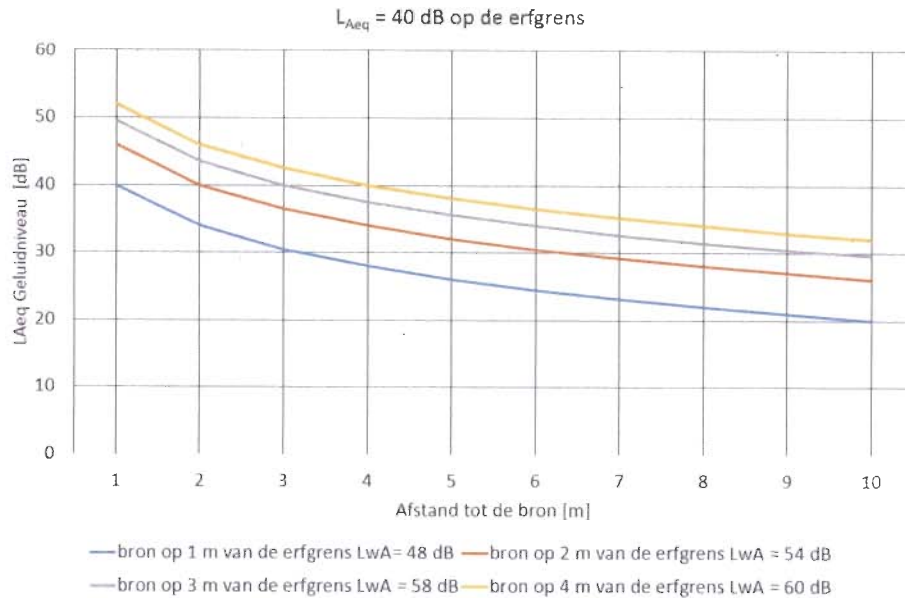
5.1 Grondgebonden woningen

Hierbij wordt eerst gekeken naar de bescherming van de buitenruimte (5.1.1) en daarna naar het niveau binnen van het naastgelegen perceel (5.1.2.)

5.1.1 Bescherming buitenruimte

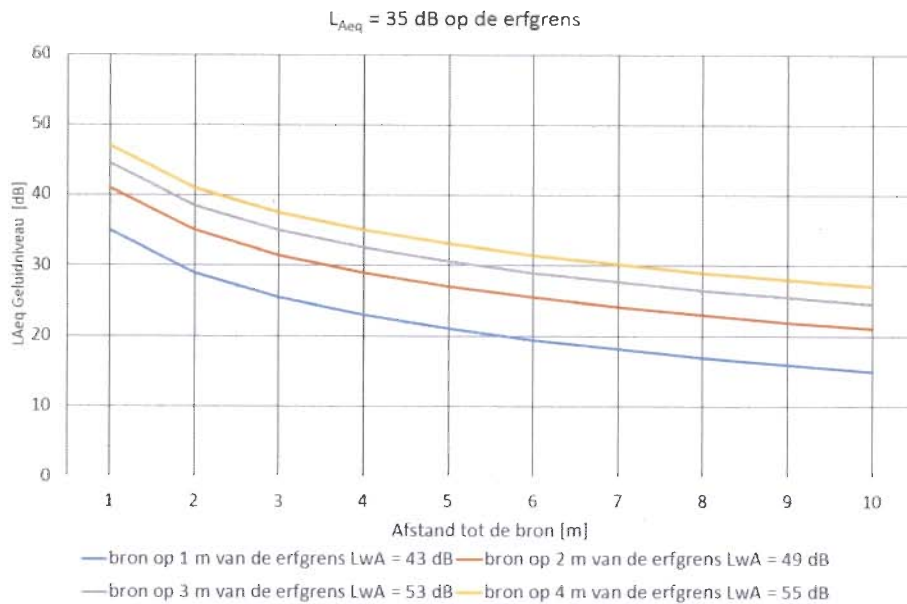
Uitgaande van de systematiek van het Bouwbesluit is het niet mogelijk een eis te stellen op de gevel van een woning op een ander perceel. Dit vanwege het uitgangspunt van gelijke monniken gelijke kappen, waardoor een eis in beginsel niet afhankelijk mag zijn van het bouwvoornemen van of de aanwezige situatie bij de burens. De eis stellen op een fictieve gevel (spiegelsymmetrisch ten opzichte van de perceelgevel) zoals gedaan wordt in het Bouwbesluit bij de eis voor brandcompartimentering, is hier niet zinvol. Daarbij komt dat de nieuwe eis ook bescherming moet geven aan personen in de tuin op het naastgelegen perceel. Door een eis te stellen op de perceelgrens kan men zowel de tuin beschermen als de woning (bij ieder mogelijke positie) op het andere perceel. Voor de grenswaarde van deze eis op de perceelgrens is de bescherming van personen in de tuin bepalend. De grenswaarde kan worden gebaseerd op wat nu geldt vanuit het Activiteitenbesluit en de VNG-publicatie 'Goede ruimtelijke ordening' (zie 2.1). Omdat men 's avonds na 11.00 gewoonlijk niet in de tuin zit, wordt de grenswaarde dan 40 dB (35 dB met tonaliteittoeslag).

Het voorstel is voor een situatie met een afstraling van een halve bol nader onderzocht waarbij de bron zich op 0,5 meter boven het maaiveld bevindt. Hierbij wordt gekeken naar het geluidvermogen, dat als functie van de afstand tot de perceelgrens nodig is, om op de perceelgrens aan de bovengenoemde eis te voldoen. We kijken daarbij in stappen van (1 meter tot 4 meter (stap 1 meter)), omdat de h.o.h.-afstand tussen grondgebonden woningen in de meeste gevallen kleiner is dan 8 meter. Hierbij is uitgegaan van een meethoogte van 1,5 meter boven maaiveld.



Figuur 5.1a

Geluidvermogen(L_{WA}) en geluidniveaus L_{Aeq} als functie van de afstand tot de bron bij 40 dB op de erfgrens. De bron staat op x meter van de erfgrens.



Figuur 5.1b

Geluidvermogen(L_{WA}) en geluidniveaus L_{Aeq} als functie van de afstand tot de bron bij 35 dB op de erfgrens. De bron staat op x meter van de erfgrens. bij $Q=2$

De volgende conclusies kunnen uit de figuur 5.1a en b worden getrokken:

1. Voor 40 dB op 1 meter van de bron mag het geluidvermoggenniveau maximaal 48 dB bedragen en voor 35 dB na tonaliteitscorrectie maximaal 43 dB. De op dit moment beschikbare buitenunits hebben een geluidvermogen tussen de 53 en 74 dB. Dit betekent dat bij een

dergelijke eis de huidige buitenunits altijd van een omkasting zal moeten worden voorzien als zij dicht (1 meter) op de perceelsgrens worden geplaatst.

2. Wordt de buitenunit verder van de perceelsgrens gezet dan zijn hogere geluidvermogens (L_{WA}) toegestaan, bijvoorbeeld op drie meter afstand $L_{WA} = 53$ dB inclusief tonaliteitscorrectie en 58 dB als geen tonaliteitscorrectie hoeft te worden toegepast. Dit betekent dat geluidarme buitenunits ook zonder omkasting kunnen worden toegepast. Bij situaties met $Q = 1$ moeten de genoemde geluidvermogens 3 dB lager zijn.
3. Een omkasting kan een geluidreductie bereiken van 7 tot 15 dB. Een alternatief voor een omkasting is het plaatsen van een scherm (gedeeltelijk) om de buitenunit. Hiermee kunnen verbeteringen worden gehaald van circa 10 dB. Het nadeel van een scherm ten opzichte van een omkasting is, dat de omkasting de algehele afstraling vermindert, terwijl een scherm op afgeschermd punten het niveau verlaagt maar op niet afgeschermd posities het geluidniveau zal verhogen. Dit zal dan leiden tot meer geluid in de eigen ruimte en minder naar de burens.

Posities van de buitenunit op een plat dak en bij een schoorsteen leiden tot lagere niveaus in de tuin dan hierboven genoemd. In het Bouwbesluit kan hier geen rekening worden gehouden omdat uitgegaan wordt van het niet bekend zijn hoe de andere kant van de perceelsgrens wordt ingericht. Als echter bij de vergunningverlening wel bekend is hoe het naastgelegen perceel is ingericht, dan kan men op basis van gelijkwaardigheid de gunstige effecten meenemen.

5.1.2 Geluid in buurwoning

De eis van 40 dB op de perceelsgrens zal er toe leiden dat ook wordt voldaan aan de binnenwaarde van 30 dB uit het Bouwbesluit. Zelfs als op het naastgelegen perceel een oude woning staat met een gevel dicht op perceelsgrens. In de praktijk gaat men er vanuit dat de slechtste gevel nog een geluidwering $G_{A,k}$ heeft van 15 dB. Dit betekent dat met de eis van 40 dB op de erfgrens altijd de binnenwaarde van 30 dB zal worden gehaald. Bij de 15 dB is rekeninggehouden met geopende (oude) ventilatieroosters of een deels geopend klepraampje. Wordt voor extra ventilatie het gehele klepraampje opengezet dan nog is een geluidwerendheid van 10 dB aannemelijk. Dit geldt ook voor het deels openzetten van een draai- of draaikiepraam. Ook uitgaande van deze 10 dB wordt met de eis van 40 dB op de erfgrens altijd nog een binnenwaarde bereikt van 30 dB. Immers de afstandsdemping leidt dan tot lagere waarden. (N.B. 35 respectievelijk 25 dB inclusief tonaliteitstoeslag).

Zoals vermeld in paragraaf 4.1 geldt in de woning waarbij de buitenunit is opgesteld al een eis voor de binnenwaarde in het Bouwbesluit. Dit rapport is niet bedoeld om aanwijzingen te geven hoe hieraan kan worden voldaan. Wel wordt gemeld dat bij het plaatsen van de buitenunit direct tegen de gevel het voldoen aan deze eis aandacht behoeft.

5.2 Appartementengebouwen

In deze paragraaf wordt eerst de eis op de buitenruimte behandeld (paragraaf 5.2.1) en daarna de eis in de het appartement (paragraaf 5.2.2). Ten slotte wordt de situatie bekeken van een appartementengebouw op een aangrenzend perceel (paragraaf 5.2.3)

5.2.1 Bescherming buitenruimte/balkon

Bij een appartementengebouw zal een afzonderlijke woning (appartement) en de buitenruimte (balkon) hiervan beschermd moeten zijn tegen het geluid van een buitenunit van een ander

appartement. Bij een appartementengebouw is de opbouw van de gevel, de plaats van gevelopeningen en de plaats van de buitenruimte (balkon) bekend. Hierdoor is het niet nodig om een (conservatieve) eis te stellen op de grens tussen twee appartementen vergelijkbaar met een eis op de perceelgrens. Uitgaande van de bescherming van personen op het balkon ligt een geluideis op het balkon (van de burens) in de rede. Voorgesteld wordt echter de eis te stellen aan het dichtstbijzijnde te openen raam of (balkon)deur van de burens. Hierdoor wordt bewerkstelligd dat de burens worden beschermd ook bij het deels openstaan van een raam. Net als in paragraaf 5.1.1 wordt ook hier uitgegaan van een eis van 40 dB. (zonder tonaliteitstoeslag)

Het voorstel is nader onderzocht uitgaande dat de buitenunit is opgesteld op een balkon. In principe kunnen dezelfde uitgangspunten worden gehanteerd als bij grondgebonden woningen, met dien verstande dat er gerekend moet worden met een uitstraling van geluid met $Q = 1$ vanwege de hoek van de balkonvloer met de gevel waardoor een openingshoek van 90° ontstaat. Dit betekent dat met 3 dB lagere vermogens moet worden gerekend dan bij de grondgebonden woningen, zoals in figuur 5.1.a en b.

Bij plaatsing van buitenunits op balkons doen zich globaal drie situaties voor:

1. Het balkon ligt geheel buiten de gevel.
2. Het balkon ligt ca voor de helft binnen c.q. buiten de gevel.
3. Het balkon is geheel inpandig.

Naar mate het balkon inpandiger ligt, zal het geluid meer worden afgeschermd. Bij situatie 3 zal dit dus het meest afgeschermd zijn. Daarnaast speelt de afstandsverzwakking zoals ook is gegeven in figuur 5.1.a en b.

Het programma GeoMilieu rekent voor deze situaties waarbij bron en ontvanger dichtbij elkaar liggen, veel te gunstige waarden voor de afscherming (15 tot 20 dB). Praktisch gezien en volgens ervaring zal de verzwakking door afscherming circa 10 dB zijn. Daarnaast kan in voorkomende gevallen ook nog een omkasting worden toegepast.

Het resultaat is dan als volgt:

1. Bij balkons die geheel uitpandig liggen, is de situatie bij figuur 5.1.a en b. van toepassing met dien verstande dat de geluidvermogensniveaus vanwege de geringere afstralingshoek circa 3 dB lager moeten zijn als in die figuren is aangegeven.
2. Bij (gedeeltelijk) inpandige balkons en plaatsing van de buitenunit binnen het inpandige deel mag met 10 dB gunstiger waarden worden gerekend, dus met 7 dB hogere waarden dan in figuur 5.1a en b is aangegeven.

Voor 40 dB op 1 meter van de buitenunit mag het maximaal bronvermogen 44 dB bedragen en bij de 35 dB na tonaliteitscorrectie maximaal 39 dB. Bij inpandige balkons is dit gunstiger omdat dan rekening kan worden gehouden met een afscherming van 10 dB. Hier zou men dan een maximale bron van 54 dB resp 49 dB kunnen toepassen.

De afstand tussen de buitenunit en het dichtstbijzijnde te openen raam zal veelal groter zijn dan 1 meter, waardoor er een hoger bronvermogen is toegestaan, zoals is aangegeven in figuur 5.1a en b). In het algemeen zullen buitenunits op een balkon moeten worden toegepast met een omkasting om aan de eis te voldoen.

Voor appartementsgebouwen is er bovendien de mogelijkheid om de buitenunits op het dak te plaatsen. De keuze is dan om te werken met één of enkele grote warmtepompen voor het gehele

complex of met individuele units. De uitwerking hiervan zal per appartementengebouw moeten worden gedimensioneerd, rekening houdend met de genoemde eis.

5.2.2 Geluid in het appartement

De eis van 40 dB ter plaatse van het dichtstbijzijnde te openen raam/deur zal ertoe leiden dat ook wordt voldaan aan de binnenwaarde van 30 dB uit het Bouwbesluit zelfs als op het naastgelegen perceel een oude woning staat met een gevel dicht op perceelgrens. In de praktijk gaat men ervan uit dat de slechtste gevel nog een geluidwering heeft van 15 dB. Dit betekent dat met de eis van 40 dB op de dichtstbijgelegen te openen raam c.q. deur altijd de binnenwaarde van 30 dB zal worden gehaald.

Zoals gemeld in paragraaf 5.1 geldt er in het Bouwbesluit al een eis voor de binnenwaarde in de woning waarbij de buitenunit is opgesteld. Dit rapport is niet bedoeld om aanwijzingen te geven hoe hiaraan kan worden voldaan. Wel wordt gemeld dat bij het plaatsen van de buitenunit direct tegen de gevel of op het balkon het voldoen aan deze eis aandacht behoeft.

5.2.3 Ander perceel

Paragraaf 5.2.2 betrof de geluidwering op hetzelfde perceel. Een appartementengebouw en alle appartementen daarin staan op één perceel. Maar ook dat perceel kan grenzen aan percelen met daarop andere appartementengebouwen of grondgebonden woningen. Hiervoor geldt dan weer de voorgestelde eis van 40 dB op de perceelgrens gesteld. Aandachtspunt is vervolgens op welke hoogte de eis geldt op de perceelsgrens. In de rede ligt om deze hoogte vast te leggen op 1,5 meter boven de hoogte van de opstelplaats van de buitenunit. Hierdoor wordt een mogelijke gevel/balkon op het buurperceel op dezelfde hoogte beschermd. Deze generieke hoogte-eis kan wel leiden tot situaties waarbij soms te zware eisen worden gesteld. Niet altijd zal namelijk op dezelfde hoogte als de buitenunit op een ander perceel een te beschermen gevel (van een verblijfsgebied) of balkon aanwezig zijn of kunnen worden gerealiseerd op grond van het omgevingsplan. In dit soort gevallen zou men dan een beroep kunnen doen op het gelijkwaardigheidsprincipe. Ook kan dan rekening worden gehouden met de maximale hoogte zoals gegeven in het bestemmingsplan.

5.3 Vergelijking met andere voorstellen voor eisen

De Nederlandse Stichting Geluidhinder (NSG) heeft eisen gepubliceerd in de publicatie 'Geluidaspecten van warmtepompen'. Voor zover ons bekend zijn er geen andere voorstellen gedaan.

De kern van het voorstel van de NSG is: *"Bij buitenopstellingen van warmtepompen in de woonomgeving een geluidsgrenswaarde na te streven van 30 dB(A) op 5 m. ter voorkoming van geluidoverlast naar de omgeving"*.

De NSG gaat uit van een eis op 5 meter van de bron van 30 dB inclusief correctie van 5 dB voor het tonale karakter van de bron. De voorgestelde eis in dit rapport (zie paragraaf 5.1.1) is 35 dB bij een bron met een tonaal karakter, maar dan op de perceelsgrens. Als de buitenunit dicht op de perceelsgrens staat, is onze eis zwaarder dan die van de NSG. Kijken wij naar de figuur 5.1.b dan is de eis volgens ons voorstel strenger voor situaties waarbij de bron binnen 2,5 meter vanaf de erfsgrens staat. Bij 1 meter van de erfsgrens is het geluidniveau dan 21 dB op 5 meter en bij 2 meter

is dit 27 dB. Bij een afstand van 3 meter tot de erfgrans is dit op een afstand van 5 meter van de bron 30 dB en dan komen wij dus uit bij het voorstel van de NSG.

Verder zijn in 4.3 van dit rapport argumenten gegeven tegen een standaard eis op 5 m van de bron.

De eis van NSG is tweeledig:

Het gemiddelde geluidniveau $L_{A,LT}$, op de gevel van een naastgelegen geluidgevoelig gebouw (zoals een woning) of op 5 meter van het apparaat als het geluidgevoelige gebouw verder weg staat, mag niet meer bedragen dan 30 dB(A);

De eis in dit rapport is ook tweeledig namelijk: Een eis in de buitenruimte die gebaseerd is op de dag- en de avondperiode met een eis van 40 dB op de erfgrans en een eis in de woning uitgaande van 30 dB in de woning/appartement volgens de reeds bestaande eis volgens paragraaf 3.8 en 3.9 gedurende de hele dag.

Over het algemeen zal de eis op de erfgrans van 35 dB (inclusief tonaliteitscorrectie) strenger zijn dan de NSG-eis naarmate de buitenunit dichter op de erfgrans staat.

De NSG-eis is bedoeld ter bescherming van de buitenruimte. Door 30 dB als uitgangspunt te nemen gaat de NSG er vanuit dat als men 's nachts buiten zit en men extra beschermd moet worden. Dit is in zijn algemeenheid niet het geval, omdat men na 11 uur 's avonds niet in de buitenruimte verblijft.

De nu voor gestelde eis met name op de gevel is er enerzijds op gericht om in de dag- en avondperiode voldoende rustig in de buitenruimte te kunnen zijn en anderzijds te samen met de geluidwering van de gevel te kunnen voldoen aan de eisen die het Bouwbesluit volgens 3.8 en 3.9 in de woning stelt, zodat daardoor een aanvaardbaar binnenklimaat ontstaat. Een eis van 30 dB op de gevel en een geluidwering van de gevel van ten minste 15 dB leidt tot een te strenge geluideis. Door de eis van 35 dB op de perceelgrans te stellen, zal in het algemeen met de geluidwering van de gevel van 15 dB al aan de binnenniveau-eis worden voldaan.

Conclusie

Uit het bovengenoemde kan geconcludeerd worden dat het wettelijke voorstel strenger is bij plaatsing van korte afstanden tot de erfgrans dan het NSG-voorstel en gelijk bij 3 meter uit de erfgrans.

Verder houdt de wettelijke eis beter rekening met afscherming die inherent is bij bepaalde opstellingen van de buitenunit. Bovendien gaat de nu voorgestelde eis uit dat 's nachts geen extra bescherming van de buitenruimte nodig is omdat men dan binnen verblijft.

6 Accumulatie van geluid van buitenunits

De in hoofdstuk 5 voorgestelde eis gaat niet uit van accumulatie van geluid van buitenunits op meerdere percelen. Dit is in lijn met de huidige regelgeving in het Bouwbesluit en in het Activiteitenbesluit. Het stellen van een eis die hier wel rekening mee houdt is in de systematiek van het Bouwbesluit ook niet mogelijk, omdat het al dan niet kunnen plaatsen van een buitenunit dan afhankelijk kan zijn van de al aanwezige buitenunits op andere percelen. Dit is in strijd met het principe van gelijke monniken gelijke kappen. Dat in de praktijk door accumulatie van geluid de ervaren geluidoverlast in een tuin groter kan zijn dan zou volgen uit de voorgesteld eis, wordt aan de hand van een voorbeeld inzichtelijk gemaakt.

Hiervoor zijn wij uitgegaan van tien rijtjeswoningen die elk op dezelfde afstand van de gevel een buitenunit hebben staan.

In bijlage II is deze situatie nader uitgewerkt voor een afstand van 4 tot 7 meter van de buitenunit bij een h.o.h.-afstand van de woningen van 5,1 meter.

Hierbij wordt uitgegaan van het volgende:

- Alle units staan op dezelfde positie ten opzichte van de eigen woning op de middellijn van het eigen perceel.
- Alle units produceren hetzelfde geluidvermogen van 70 dB.
- De ontvanger van de middelste woning staat op de middellijn van het perceel op de aangegeven afstand van zijn eigen buitenunit
- Op de perceelgrenzen zijn geen geluidbelemmerende constructies aangebracht

De resultaten van dit voorbeeld staan gegeven in tabel 6.1. Hierbij wordt onderscheid gemaakt voor de volgende situaties:

Kolom 2 : als alleen de eigen buitenunit aanstaat

Kolom 3 : als alleen de buitenunit van één van zijn naaste burens aanstaat.

Kolom 4 : als alleen de buitenunits van de naaste burens aanstaan

Kolom 5 : als alle buitenunit van de tien burens aanstaan.

Bij de resultaten gaat het hier alleen om het effect van het aan- en uitzetten van een vergelijk tussen de verschillende situaties. Want de onderlinge verschillen zijn niet afhankelijk van het vermogen van de unit. De resultaten zijn weergegeven in tabel 6.1.

Tabel 6.1

Geluidniveaus voor de middelste woning van een rijtje van elf woningen als functie van de afstand tussen de ontvanger en de eigen buitenunit. Alle buitenunits met 70 dB geluidvermogen (L_{WA})

Afstand ontvanger tot de eigen buitenunit	Geluidniveau middelste woning bij de aangegeven buitenunits in werking dB				
	Alleen unit van de eigen woning	Één naaste buur	Beide naaste burens	Alle 10 burens	Alle burens + eigen unit
4 m	50,0	45,8	48,8	51,0	53,5
5 m	48,0	44,9	47,9	50,4	52,4
6 m	46,5	44,1	47,1	49,8	51,4
7 m	45	43	46	49	50,6

Uit tabel 6.1 volgt dat bij 4 meter afstand van de bron door accumulatie het geluidniveau van de tien burens 1 dB hoger is dan wanneer alleen zijn eigen buitenunit aanstaat, bij 6 meter is dit 2,3 dB hoger. Als alle bronnen, ook zijn eigen buitenunit aan staan, dan geeft kolom 6 een verhoging aan van 3,5 respectievelijk 4,9 dB. Kolom 4 geeft aan dat het geluid van de buitenunits van zijn twee naaste burens bijna gelijk is aan het geluid van zijn eigen buitenunit alleen.

Uit dit voorbeeld blijkt dat de geluidniveaus toenemen door accumulatie. de bijdrage van de tien andere units bij 5 meter afstand tot de bron van de buitenunit een verhoging geeft van 4,4 dB ten opzichte van die van de middelste woning alleen. Dit verschil neemt toe met toenemende afstand omdat dan de afstanden tot de middenwoning steeds minder van elkaar gaan verschillen. Uit het berekeningsvoorbeeld met een afstand van 5 meter tot de bron, is de verhoging van het geluidniveau 4,4 dB door de aangrenzende buitenunits. Dit komt bijna neer op het verschil tussen de nacht- en avondperiode (5 dB).

In het algemeen geldt voor de beleving van geluid bij het waarnemen van verschillen in geluidniveaus van geluid het volgende:

- 1 dB verschil : hoort niemand.
- 3 dB verschil : hoort 50% van de mensen.
- 5 dB verschil : wordt door iedereen waargenomen.
- 10 dB verschil : wordt door de mens ervaren als een factor 2 in de luidheid.

Bovengenoemde berekeningen laten zien dat in theorie extra geluid te verwachten is. Zoals gesteld kan in het Bouwbesluit geen eis worden gesteld die rekening houdt met deze accumulatie. Wat wel zou kunnen, is een generiek zwaardere eis stellen dan 40 dB om zodoende impliciet rekening te houden met deze accumulatie. Omdat dit dan ook zou gelden voor situaties waarbij helemaal geen accumulatie te verwachten is, zou dit in veel gevallen tot een onnodig zware eis leiden. Wij stellen daarom voor om vooralsnog uit te gaan van een eis van 40 dB. Dit is al een hele vooruitgang ten opzichte van de huidige situatie zonder eis. Na verloop van tijd zou dan uit evaluatie kunnen blijken of accumulatie daadwerkelijk een probleem is, waarna alsnog gekeken kan worden naar een zwaardere eis.

Een belangrijk hinderlijk neveneffect kan ontstaan als meerdere buitenunits geluid produceren waarbij frequenties optreden met een gering verschil, veroorzaakt door verschillende geluidbelastingen. Dit verschijnsel staat bekend als zwevingen. Deze zijn duidelijk hoorbaar en zelfs hinderlijker dan zuivere tonen. Met dit effect is bij deze berekeningen nog geen rekening gehouden. Dit effect zal echter gering zijn als allemaal dezelfde buitenunits worden toegepast en deze op deskundige wijze worden onderhouden.

Omdat de h.o.h.-afstanden van appartementen over het algemeen groter zijn dan bij grondgebonden woningen is bij appartementen het effect van niveauverhoging in horizontale richting minder groot. Daar staat tegenover dat de verticale afstand tussen de woningen weer kleiner is (circa 3 meter). Omdat de buitenunit zo dichtbij de ontvanger is, zal de bijdrage van de andere buitenunits van aangrenzende woningen in dit geval kleiner zijn vanwege afscherming door de balkonvloer, en grotendeels door de eigen buiten-unit bepaald worden.

7 Meetprotocol Geluid installaties buiten, t.b.v. Bouwbesluit

In hoofdstuk 5 is een voorstel gedaan voor eisen in het Bouwbesluit met als bepalingmethode de 'Handleiding Meten en Rekenen Industrielawaai – 1999' (HMRI). Deze handleiding geeft echter geen volledige informatie hoe de voorgestelde Bouwbesluit-eisen moeten worden gemeten. Hiertoe zal in de Regeling Bouwbesluit aanvullende meetinstructies moeten worden opgenomen aanvullend op de handleiding. In dit hoofdstuk 7 worden daartoe voorstellen gedaan.

Meetapparatuur:

- Meetapparatuur moet voldoen aan type 1 volgens norm NEN-EN-IEC 61672-1 "Geluidniveaumeters". Bij het vaststellen van niet-tonaliteit, dienen 1/3^e octaafbanden te worden gebruikt die voldoen aan NEN-EN-IEC 61260 "Octaaf-bandfilters en deel-octaafbandfilters.

Bedrijfstoestand, meetgrootte en meetduur:

- Gemeten moet worden in de bedrijfstoestand van de buitenunit waarbij de grootste geluidemissie optreedt.
- Gemeten wordt het equivalente geluidniveau L_{Aeq} over een meetperiode van minimaal 30 s.
- Indien sprake is van stoorgeluid, dan mag daarvoor gecorrigeerd worden zolang het stoorgeluidniveau minimaal 3,0 dB lager is dan het geluid van de warmtepomp inclusief stoorgeluid.
- Teneinde aansluiting te zoeken bij de NEN 5077 metingen volgens Bouwbesluit, voor binnen-metingen, moet het resultaat worden aangeduid met het $L_{Aeq} = xx$ dB.

Bepaling grenswaarde op de perceelgrens :

- De eis geldt op elke positie op de perceelgrens, op 1,5 m boven het oppervlak van de opstelruimte van de buitenruimte.
- De grenswaarde geldt in principe op elke positie op de perceelgrens. Bij metingen moet worden nagegaan op welke positie de hoogste meetwaarde is te verwachten Dit zal veelal op de kortste afstand van de buitenunit zijn.
- Als op die plaats op de perceelsgrens een object, zoals een tuinscherp, staat, die het geluid relevant reflecteert, dan wordt op zeer korte afstand van maximaal 5 cm gemeten aan de zijde van de buitenunit. In dat geval zal men een te hoge waarde meten in verband met reflectie. De meetwaarde kan dan op basis van akoestische deskundigheid worden gecorrigeerd.
- Tijdens de meting mag de operator zich niet binnen 1,5 m van het meetpunt en zich niet tussen de warmtepomp en het meetpunt bevinden.

Bepaling grenswaarde bij een te openen raam of deur

- Gemeten wordt ter bepaling van het geluidniveau in het midden van de deur of raam een deur of raam van een verblijfsruimte op maximaal 5 cm afstand van die deur of dat raam in gesloten toestand. In dat geval wordt de meetwaarde met 6 dB gecorrigeerd vanwege de harde reflectie tegen de achterliggende constructie. De metingen moeten worden gedaan bij de dichtstbijzijnde woning in horizontale en in verticale richting.

Handelwijze bij vaststellen van al dan niet tonaal geluid:

- Men moet bij de gemeten waarden met 5 dB verhogen, tenzij men kan aantonen dat er geen sprake is van tonaal geluid.
- Om aan te tonen dat het geluid niet tonaal is, dient gemeten te worden in 1/3^e octaafbanden. Het verschil tussen het meetresultaat in een band en elk van de twee naastgelegen banden mag dan niet meer bedragen dan 5 dB.
- Om de invloed van reflecties tegen andere objecten dan het meetvlak te verminderen dient het geluidniveau L_{Aeq} te worden bepaald volgens de bovengenoemde methode op twee posities gelegen op de verticale middellijn: een op een hoogte van een kwart en een op een hoogte van $\frac{3}{4}$ van het raam/de deur. De beide waarden moeten energetisch worden gemiddeld en dan gecorrigeerd worden met -6 dB vanwege de reflectie tegen de achterliggende constructie.

8 Kostenstudie en buitenunits

De voorgestelde geluideisen voor buitenunits kunnen leiden tot meerkosten ten opzichte van de huidige situatie zonder geluideisen. Aan de voorgestelde geluideisen voor buitenunits kan op de volgende manier worden voldaan:

- a) een bepaalde afstand tussen de buitenunit en de perceelsgrens of het te openen raam(of deur) van de bureu;
- b) het beperken van het geluidvermogen van de buitenunit;
- c) een geluiddempende omkasting;
- d) een combinatie van a, b of c.

Als voldaan kan worden met alleen a, dan is er geen sprake van meerkosten. Dit zal slechts beperkt het geval zijn bij grote tuinen en plaatsing van de buitenunit in het midden hiervan. In de meeste gevallen zal men aangewezen zijn op een combinatie van de a, b of c. Het samenspel van afstand en het geluidvermogen van de buitenunit bepaalt dan of een geluiddempende omkasting nodig is. In het voorbeeld van figuur 5.1.b mag bij plaatsing in het midden van een 6 m brede tuin het geluidvermogen maximaal 53 dB zijn om te voldoen aan de voorgestelde nieuwe eis van 40 dB. Het geluidvermogen van de buitenunits in de markt varieert tussen 53 en 70 dB. In dit voorbeeld zou men dan de meest geluidarme buitenunit kunnen toepassen zonder omkasting. In veel gevallen (kleinere afstand of meer geluidvermogen buitenunit) zal men echter ook een omkasting moeten toepassen. Voor omkastingen zijn er in de markt typen met een geluiddemping van 7 tot 15 dB.

De meerkosten zullen afhangen van de meerkosten van geluidarme buitenunits en die van de omkastingen. Door het diverse aanbod van buitenunits en omkastingen is het lastig om iets te zeggen over deze meerkosten. Over de meerkosten kan alleen het volgende generiek worden gezegd:

- Er zal sprake zijn van communicerende vaten tussen de meerkosten van een geluidarme buitenunit en die van een omkasting. Bij een buitenunit met een hoog geluidvermogen zal men een betere omkasting nodig hebben.
- De prijzen van omkastingen variëren van € 750,- tot € 4.000. De duurste omkastingen zullen echter niet worden toegepast bij individuele buitenunits. De kosten van een omkasting kan volledig worden toegerekend aan de nieuwe geluideisen.
- Buitenunits (lucht-waterwarmtepompen met volledige installatie) zijn er vanaf circa € 8.000. De kosten van een buitenunit zijn grotendeels echter niet toe te rekenen aan de nieuwe geluideisen. Alleen het deel van deze kosten dat een relatie heeft met een betere geluidprestatie zou relevant zijn voor de meerkosten. In dit onderzoek is hierover geen bruikbare informatie gevonden.

De kosten zijn inclusief btw.

9 Conclusies

Uit dit onderzoek volgen de volgende voorstellen voor eisen voor het geluid van buitengeplaatste installaties voor warmte- en koudeopwekking (buitenunits), zoals warmtepompen en airco's.

Voor woningen op verschillende percelen wordt een eis van 40 dB voorgesteld op de perceelgrens. Voor woningen op eenzelfde perceel (appartementengebouw) wordt een eis van 40 dB voorgesteld ter plaatse van een te openen raam of deur van een op hetzelfde perceel gelegen woonfunctie. Met deze eisen worden dan zowel naastgelegen buitenruimten als de woningen zelf beschermd. Deze eisen worden voorgesteld voor zowel nieuwbouw als verbouw. Voor buitenunits opgesteld bij niet-woningen gelden al voorschriften op grond van het Activiteitenbesluit en zijn in het Bouwbesluit geen nieuwe eisen noodzakelijk.

Voor de bepalingsmethode van deze nieuwe eisen in het Bouwbesluit wordt voorgesteld gebruik te maken van de meetmethode die ook in het Activiteitenbesluit is aangewezen voor buitengeluid. Dit is de 'Handleiding Meten en Rekenen Industrielawaai – 1999' (HMRI). In de Regeling Bouwbesluit moeten daartoe wel aanvullende bepalingen worden opgenomen voor het gebruik van deze handleiding. De Bouwbesluitnorm NEN 5077 is in principe niet geschikt omdat deze primair van toepassing is op het geluid in ruimten van woningen. De HMRI houdt rekening met eventuele tonaliteit van een geluidbron. Bij buitenunits zal veelal sprake zijn van tonaliteit en dan vooral in het lage geluidsspectrum. Uit de HMRI volgt dan dat de gemeten waarden moet worden verhoogd met 5 dB. Aan de grenswaarde van 40 dB wordt dan pas voldaan als de gemeten waarde maximaal 35 dB is.

De nieuwe eisen zijn in de praktijk haalbaar. Wel zal vaak een geluidwerende omkasting moeten worden toegepast om de buitenunit. Dit is afhankelijk van de plaatsing en het geluidvermogen van de buitenunit. De verwachting is dat door het introduceren van de nieuwe eisen de markt zal komen met meer geluidarme buitenunits cq omkastingen en betere informatie over de geluidprestaties van hun buitenunits.

LBP|SIGHT BV

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

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

Bijlage I

Berekeningen buitenunits van warmtepompen

Lucht-water warmtepomp

		Richtfactor															
		Functie van de afstand								Q=1							
										bodem							
										1,5 dB							
L _{WA} [dB] →		40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70
afstand [m] ↓	0,5	42,5	44,5	46,5	48,5	50,5	52,5	54,5	56,5	58,5	60,5	62,5	64,5	66,5	68,5	70,5	72,5
	1	36,5	38,5	40,5	42,5	44,5	46,5	48,5	50,5	52,5	54,5	56,5	58,5	60,5	62,5	64,5	66,5
	1,5	33,0	35,0	37,0	39,0	41,0	43,0	45,0	47,0	49,0	51,0	53,0	55,0	57,0	59,0	61,0	63,0
	2	30,5	32,5	34,5	36,5	38,5	40,5	42,5	44,5	46,5	48,5	50,5	52,5	54,5	56,5	58,5	60,5
	2,5	28,6	30,6	32,6	34,6	36,6	38,6	40,6	42,6	44,6	46,6	48,6	50,6	52,6	54,6	56,6	58,6
	3	27,0	29,0	31,0	33,0	35,0	37,0	39,0	41,0	43,0	45,0	47,0	49,0	51,0	53,0	55,0	57,0
	3,5	25,6	27,6	29,6	31,6	33,6	35,6	37,6	39,6	41,6	43,6	45,6	47,6	49,6	51,6	53,6	55,6
	4	24,5	26,5	28,5	30,5	32,5	34,5	36,5	38,5	40,5	42,5	44,5	46,5	48,5	50,5	52,5	54,5
	4,5	23,5	25,5	27,5	29,5	31,5	33,5	35,5	37,5	39,5	41,5	43,5	45,5	47,5	49,5	51,5	53,5
	5	22,5	24,5	26,5	28,5	30,5	32,5	34,5	36,5	38,5	40,5	42,5	44,5	46,5	48,5	50,5	52,5
	5,5	21,7	23,7	25,7	27,7	29,7	31,7	33,7	35,7	37,7	39,7	41,7	43,7	45,7	47,7	49,7	51,7
	6	21,0	23,0	25,0	27,0	29,0	31,0	33,0	35,0	37,0	39,0	41,0	43,0	45,0	47,0	49,0	51,0
	6,5	20,3	22,3	24,3	26,3	28,3	30,3	32,3	34,3	36,3	38,3	40,3	42,3	44,3	46,3	48,3	50,3
	7	19,6	21,6	23,6	25,6	27,6	29,6	31,6	33,6	35,6	37,6	39,6	41,6	43,6	45,6	47,6	49,6
	7,5	19,0	21,0	23,0	25,0	27,0	29,0	31,0	33,0	35,0	37,0	39,0	41,0	43,0	45,0	47,0	49,0
	8	18,5	20,5	22,5	24,5	26,5	28,5	30,5	32,5	34,5	36,5	38,5	40,5	42,5	44,5	46,5	48,5
	8,5	17,9	19,9	21,9	23,9	25,9	27,9	29,9	31,9	33,9	35,9	37,9	39,9	41,9	43,9	45,9	47,9
	9	17,4	19,4	21,4	23,4	25,4	27,4	29,4	31,4	33,4	35,4	37,4	39,4	41,4	43,4	45,4	47,4
	9,5	17,0	19,0	21,0	23,0	25,0	27,0	29,0	31,0	33,0	35,0	37,0	39,0	41,0	43,0	45,0	47,0

Geel : grens voor het realiseren van 35 dB

Groen : grens voor het realiseren van 30 dB

		Richtfactor															
		Functie van de afstand								Q=2							
										bodem							
										1,5 dB							
L _{WA} [dB] →		40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70
afstand [m] ↓	1	33,5	35,5	37,5	39,5	41,5	43,5	45,5	47,5	49,5	51,5	53,5	55,5	57,5	59,5	61,5	63,5
	1,5	30,0	32,0	34,0	36,0	38,0	40,0	42,0	44,0	46,0	48,0	50,0	52,0	54,0	56,0	58,0	60,0
	2	27,5	29,5	31,5	33,5	35,5	37,5	39,5	41,5	43,5	45,5	47,5	49,5	51,5	53,5	55,5	57,5
	2,5	25,6	27,6	29,6	31,6	33,6	35,6	37,6	39,6	41,6	43,6	45,6	47,6	49,6	51,6	53,6	55,6
	3	24,0	26,0	28,0	30,0	32,0	34,0	36,0	38,0	40,0	42,0	44,0	46,0	48,0	50,0	52,0	54,0
	3,5	22,6	24,6	26,6	28,6	30,6	32,6	34,6	36,6	38,6	40,6	42,6	44,6	46,6	48,6	50,6	52,6
	4	21,5	23,5	25,5	27,5	29,5	31,5	33,5	35,5	37,5	39,5	41,5	43,5	45,5	47,5	49,5	51,5
	4,5	20,5	22,5	24,5	26,5	28,5	30,5	32,5	34,5	36,5	38,5	40,5	42,5	44,5	46,5	48,5	50,5
	5	19,5	21,5	23,5	25,5	27,5	29,5	31,5	33,5	35,5	37,5	39,5	41,5	43,5	45,5	47,5	49,5
	5,5	18,7	20,7	22,7	24,7	26,7	28,7	30,7	32,7	34,7	36,7	38,7	40,7	42,7	44,7	46,7	48,7
	6	18,0	20,0	22,0	24,0	26,0	28,0	30,0	32,0	34,0	36,0	38,0	40,0	42,0	44,0	46,0	48,0
	6,5	17,3	19,3	21,3	23,3	25,3	27,3	29,3	31,3	33,3	35,3	37,3	39,3	41,3	43,3	45,3	47,3
	7	16,6	18,6	20,6	22,6	24,6	26,6	28,6	30,6	32,6	34,6	36,6	38,6	40,6	42,6	44,6	46,6
	7,5	16,0	18,0	20,0	22,0	24,0	26,0	28,0	30,0	32,0	34,0	36,0	38,0	40,0	42,0	44,0	46,0
	8	15,5	17,5	19,5	21,5	23,5	25,5	27,5	29,5	31,5	33,5	35,5	37,5	39,5	41,5	43,5	45,5
	8,5	14,9	16,9	18,9	20,9	22,9	24,9	26,9	28,9	30,9	32,9	34,9	36,9	38,9	40,9	42,9	44,9
	9	14,4	16,4	18,4	20,4	22,4	24,4	26,4	28,4	30,4	32,4	34,4	36,4	38,4	40,4	42,4	44,4
	9,5	14,0	16,0	18,0	20,0	22,0	24,0	26,0	28,0	30,0	32,0	34,0	36,0	38,0	40,0	42,0	44,0
	10	13,5	15,5	17,5	19,5	21,5	23,5	25,5	27,5	29,5	31,5	33,5	35,5	37,5	39,5	41,5	43,5

Bijlage II

Berekeningen met buitenunits op aanliggende percelen

Berekening meerdere woningen met buitenunit, op een gegeven afstand van de buitenunit

Het resultaat staat vermeld voor 11 rijtjeswoningen met een ho in het midden van het perceel

		reflectie 0 dB											
huisnummer		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	hoh
X loc warmtepomp		2,55	7,65	12,75	17,85	22,95	28,05	33,15	38,25	43,35	48,45	53,55	5,1
Y loc warmtepomp		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
Ontvanger x		28,05											
Ontvanger Y		0											
afstand tot ontvanger		25,81	20,79	15,81	10,96	6,48	4,00	6,48	10,96	15,81	20,79	25,81	
Vermogen warmtepom		70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	
Q	2,000	33,8	35,7	38,0	41,2	45,8	50,0	45,8	41,2	38,0	35,7	33,8	
Percentage bijdrage			2	3	6	17	44	17	6	3	2	1	
			totaal				53,5						
			met 1 naaste bure				45,8						
			zonder eigen				51,0						
Y loc warmtepomp		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ontvanger x		28,05											
Ontvanger Y		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
afstand tot ontvanger		25,99	21,00	16,10	11,36	7,14	5,00	7,14	11,36	16,10	21,00	25,99	
Vermogen warmtepom		70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	
Q	2,000	33,7	35,6	37,9	40,9	44,9	48,0	44,9	40,9	37,9	35,6	33,7	
Percentage bijc		1	2	4	7	18	36	18	7	4	2	1	
			totaal				52,4						
			met 1 naaste bure				44,9						
			zonder eigen				50,4						
Y loc warmtepomp		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ontvanger x		28,05											
Ontvanger Y		6											
afstand tot ontvanger		26,20	21,26	16,43	11,83	7,87	6,00	7,87	11,83	16,43	21,26	26,20	
Vermogen warmtepom		70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	
Q	2,000	33,7	35,5	37,7	40,6	44,1	46,5	44,1	40,6	37,7	35,5	33,7	
Percentage bijc		2	2	4	8	18	31	18	8	4	2	2	
			totaal				51,4						
			met 1 naaste bure				44,1						
			zonder eigen				49,8						
Y loc warmtepomp			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ontvanger x		28,05											
Ontvanger Y		7											
afstand tot ontvanger		26,44	21,57	16,83	12,37	8,66	7,00	8,66	12,37	16,83	21,57	26,44	
Vermogen warmtepom		70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	
Q	2,000	33,6	35,3	37,5	40,2	43,3	45,1	43,3	40,2	37,5	35,3	33,6	
Percentage bijc		2	3	5	9	18	27	18	9	5	3	2	
			totaal				50,6						
			met 1 naaste bure				43,3						
			zonder eigen				49,2						