

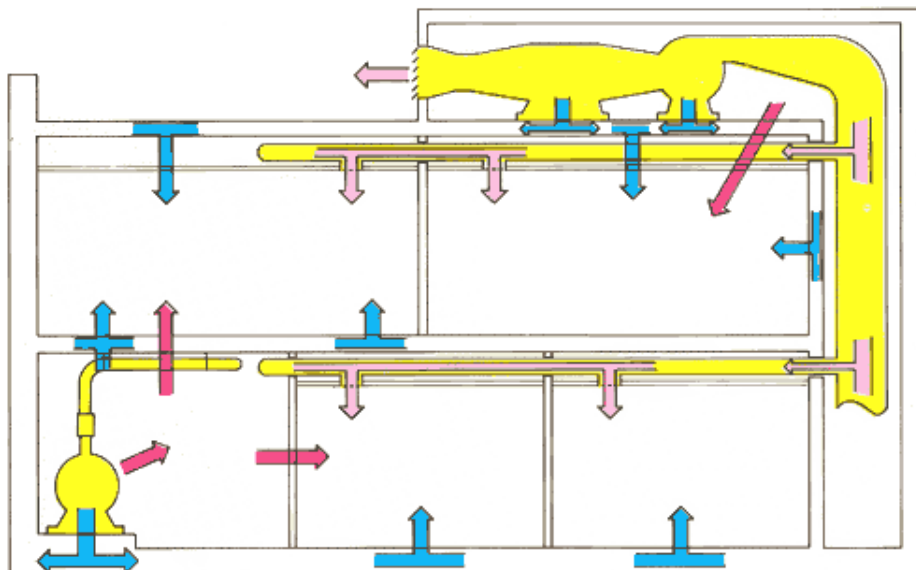
Europese normen voor geluid van installaties in gebouwen: meten en voorspellen

Na een korte inleiding op het thema geluid van installaties in gebouwen, wordt nader toegelicht hoe het geluidniveau ten gevolge van installaties in bestaande gebouwen kan worden gemeten en in het ontwerpstadium van gebouwen en/of installaties zou kunnen worden voorspeld. Goede voorspellingsmodellen en bijbehorende akoestische gegevens over installaties en installatieonderdelen bieden de mogelijkheden om installaties in gebouwen te optimaliseren en adequate maatregelen ter verbetering van bestaande situaties te ontwikkelen. De nadruk ligt in dit artikel op de Europese normen die zijn en worden ontwikkeld op dit gebied. Europese normen worden in de verschillende Europese landen automatisch overgenomen als nationale norm, ook in Nederland. Bij het voorspellen van geluid is vooralsnog de aandacht gericht op hetgeen nog nodig is om tot praktisch hanteerbare voorspellingsmodellen te komen.

-door prof.ir. Eddy Gerretsen

Geluid dat we ondervinden in woon- en werkruimten kent vele bronnen. De muziek van de burens, het lopen en springen van spelende kinderen, het verkeersgeluid van buiten, het geruis van een stromende waterkraan, het doortrekken van een WC, het gezoem van een ventilator enzovoort enzovoort. Deels komt dit geluid tot ons vrijwel direct door de lucht, maar meestal zijn de constructietrillingen in de bouwconstructie bij de geluidoverdracht betrokken. Die trillingen worden door de geluidbron opgewekt via luchttrillingen (de luidspreker van de geluidinstallaties) of via direct contact met de bouwconstructies (het lopen). Bij het geluid van installaties spelen beide mechanismen een rol, maar de opwekking van constructiegeluid door direct mechanisch contact speelt meestal de hoofdrol.

Als we spreken over installaties in gebouwen dan hebben we het over een grote variatie aan systemen, machines, en werktuigen: ventilatiesystemen, airconditioning, verwarmingssystemen, water aan- en water afvoersystemen, sanitaire installaties, liften, roltrappen, elektrische garagedeuren, wasmachines etc. Elk van deze installaties is te beschouwen als een grote verzameling van geluidbronnen: de verschillende te onderscheiden onderdelen, maar ook alle leidingen en kanalen die er een onderdeel van vormen.



FIGUUR 1 Illustratie van een installatie in een gebouw met de diverse overdrachtswegen.

Voor het ontwerpen en optimaliseren of voor het treffen van adequate maatregelen is inzicht in al deze onderdelen en hun interactie van belang. Voor de mensen in verblijfsruimten is echter alleen het daar optredende geluidniveau relevant, hoe dat ook tot stand is gekomen.

Eisen aan geluidniveaus

Eisen aan het geluid van installaties worden doorgaans niet gesteld aan elk van die bronnen afzonderlijk of aan de overdracht van het geluid door het gebouw - hoe wenselijk misschien ook, zoals we nog zullen zien - maar aan het maximaal toelaatbare geluidniveau in verblijfsruimten. Die eisen worden meestal gesteld aan het (maximale) geluidniveau in dB(A), maar soms ook in andere maten zoals het geluidniveau dB(C). Dat laatste is vooral het geval als met name de zeer lage frequenties een rol kunnen spelen.

Wettelijke eisen (Bouwbesluit [1]) worden uitsluitend gesteld aan de installaties die een vast onderdeel van het gebouw vormen: wel de verwarmingsinstallaties in een woongebouw, maar niet de wasmachine van de burens. Privaatrechtelijk kunnen eisen worden gesteld aan alle relevante bronnen van geluid, waarbij aanknopingspunten voor de te stellen eisen kunnen worden gevonden in de norm NEN 1070 [2], op grond van een gegeven situatie en een gewenst kwaliteitsniveau. In tabel 1 wordt een voorbeeld gegeven van de eisen voor verblijfsruimten in woningen voor twee kwaliteitsniveaus, vergelijkbaar met het wettelijke minimum ($k=3$) en een klasse beter ($k=2$) (zie kader). Bij de eisen wordt op grond van het geluidkarakter en de momenten van optreden onderscheid gemaakt in twee groepen installaties. In andere ruimten mogen de niveaus tot 5 dB(A) hoger zijn. Voor ruimten in utiliteitsgebouwen kunnen op grond van NEN 1070 gelijksoortige eisen worden gesteld, waarbij naar gelang de situaties meer differentiatie in het toelaatbare niveau kan worden aangebracht.

Tabel 1: Eisen aan het maximale geluidniveau $L_{T,A}$ in dB(A) ten gevolge van installaties in woningen.

Verblijfsruimte, plaats en type installatie	kwaliteitsniveau $k=3$	kwaliteitsniveau $k=2$
Installaties buiten de eigen woning toilet, bad/douche, verwarming, ventilatie overige, b.v. lift, pomp, kraan	30 35	25 30
Installaties binnen de eigen woning toilet, bad/douche, verwarming, ventilatie overige, b.v. lift, pomp, kraan	30 40	25 35

Toelichting op de betekenis van de kwaliteitsklassen uit NEN 1070

kwaliteitsklasse $k = 3$ (10%-25% gehinderden)

Bescherming tegen ontoelaatbare storing, uitgaande van een gedrags- en leefpatroon waarbij men rekening houdt met elkaar.

Spraak soms waarneembaar, maar niet verstaanbaar. Zeer luide spraak verstaanbaar, harde muziek goed hoorbaar. Loopgeluiden e.d. soms storend. Ontoelaatbare storing door installatiegeluid wordt in het algemeen voorkomen.

kwaliteitsklasse $k = 2$ (5%-10% gehinderden)

Onder normale omstandigheden een goede bescherming zonder al te veel beperkingen aan bewonersgedrag.

Gewone spraak niet hoorbaar, hardere spraak en muziek soms hoorbaar maar niet verstaanbaar. Zeer luide spraak en muziek, feestjes duidelijk hoorbaar, maar spraak niet verstaanbaar. Loopgeluiden in het algemeen niet storend hoorbaar. Installatiegeluid soms storend.

Het geluidniveau waarin de eisen zijn geformuleerd betreft het maximale geluidniveau in dB(A) met een integratietijd van 1 seconde of het equivalente geluidniveau gedurende een relevante werkingscyclus. Het optredende geluidniveau wordt hierbij genormeerd op een nagalmtijd van een halve seconde, een gebruikelijke waarde in gestoffeerde en gemeubileerde kamers in woningen. Dit is omschreven in de meetnorm NEN 5077 [3].

Geluidniveaus meten

Om te kunnen bepalen of in een gegeven situatie aan de eisen wordt voldaan moet volgens het Bouwbesluit het optredende geluidniveau door metingen worden bepaald. Daarvoor is de norm NEN 5077 [3] aangewezen. Het geluidniveau in een ontvangruimte wordt volgens die norm gemeten bij een nauwkeurig omschreven werkingscyclus van de beschouwde installatie. Het maximum geluiddrukkniveau wordt als gemiddelde over de ruimte gemeten in octaafbanden met middenfrequenties van 125 t/m. 2000 Hz op grond waarvan het genormeerde geluidniveau in dB(A) wordt bepaald. Het meten in octaafbanden maakt dit tot een redelijk omslachtige meetmethode, maar dat werd noodzakelijk geacht om de normering op een vaste nagalmtijd goed te kunnen uitvoeren. De beperking tot het omschreven frequentiegebied betekent enerzijds een redelijk betrouwbare en goed vastliggende meetmethode, maar anderzijds worden de lagere frequenties buiten beschouwing gelaten hoewel die bij sommige installaties wel degelijk van belang kunnen zijn.

In internationaal verband waren er tot enkele jaren geleden nog geen meetmethoden omschreven voor het geluid van installaties. Inmiddels is dat anders en zijn er twee relevante normen opgesteld en nu vrijwel definitief vastgesteld. Dit betreft een globale ('survey') en een praktijk ('engineering') meetmethode. In EN ISO 10052 [4] worden globale methoden omschreven voor alle akoestische aspecten die in gebouwen relevant zijn. Voor het geluid van installaties wordt daarbij direct in dB(A) of dB(C) gemeten waarbij de normering op de nagalmtijd op een globale manier kan worden uitgevoerd. Ook hier wordt afhankelijk van het type installatie het maximum niveau (1 s of 125 ms) of het equivalente niveau bepaald. Elk land in Europa heeft in de regelgeving zo zijn eigen opvattingen, vandaar dat in deze normen een grote variatie wordt toegestaan in tijndintegratie, normering en weegcurven. Daaruit zal een land dan nationaal een keuze moeten maken. Voor de meetposities wordt – in tegenstelling tot de huidige Nederlandse meetmethode – naast een positie in het middendeel van de kamer ook een hoekpositie voorgeschreven. Dit heeft vooral tot doel bij duidelijk laag frequent geluid toch een relevant en reproduceerbaar meetresultaat te krijgen. In EN ISO 16032 wordt de praktijkmeetmethode omschreven. Er wordt daarbij uitgegaan van metingen in octaafbanden, waarbij in dit geval ook de 63 Hz of zelfs de 31,5 Hz octaafband moet worden meegenomen.

In de nabije toekomst zal voor de Nederlandse regelgeving een keuze moeten worden gemaakt over het toepassen van één van deze beide meetnormen. Voor de mogelijkheid van een snelle en goede controle op de optredende niveaus heeft toepassing van de directe A-meting de voorkeur (EN ISO 10052). De methode volgens EN ISO 16032 met metingen in octaafbanden sluit het meest bij de huidige Nederlandse methode aan. Voor beide methoden geldt overigens dat ook naar lagere frequenties wordt gekeken dan nu gebruikelijk en dat door het beschouwen van een hoekpositie het meetresultaat waarschijnlijk relevanter, maar wel wat hoger kan zijn dan nu gebruikelijk.

Geluidniveaus voorspellen

De eisen zijn gesteld aan het ontvangniveau zoals de gebruiker van de ruimte dat ervaart. Vanuit die gebruiker gezien ook wenselijk. Dat geluidniveau is echter van veel factoren afhankelijk, die

deels te maken hebben met de installaties en de uitvoering van die installaties, maar ook met de indeling van het gebouw en de constructie en uitvoering van het gebouw. Het resulterende geluidniveau in een ruimte is een gedeelde verantwoordelijkheid van ontwerper, bouwer en installateur. Een gunstig ontworpen en geconstrueerd gebouw zal veelal geen installatie-technische problemen opwerpen, maar een ongunstig ingedeeld en matig geconstrueerd gebouw kan tot grote installatietechnische problemen aanleiding geven. In een goed ontworpen gebouw kan een slecht ontworpen of uitgevoerde installatie toch voor veel problemen zorgen. Alleen al om dit soort reden zou het wenselijk zijn als reeds in het ontwerpstadium van gebouw en installaties met deze onderlinge verweving rekening zou kunnen worden gehouden. Zeker nu veelvuldiger nieuwe materialen, bouwsystemen en installatievoorzieningen worden toegepast, kan vertrouwen op ervaring en een gekende uitvoeringspraktijk vervelende gevolgen hebben.

Het zou dus handig zijn als we van elke bron en elk onderdeel weten hoeveel lucht- en constructiegeluid er wordt geproduceerd, we bij elk gebouwontwerp weten hoe de geluidoverdracht verloopt en zo dus voor elke combinatie van gebouwen en installaties kunnen aangegeven wat het resulterende geluidniveau zal zijn. Dan kunnen we ook optimaliseren (kosten e.d.) en de effecten van eventuele maatregelen en systeemveranderingen nagaan. Dat zou handig zijn, maar dat behoort bij de meeste typen installaties nog lang niet tot de mogelijkheden, ook al worden er geleidelijk wel stappen in die richting gezet. Zo bestaan er al geruime tijd goede berekeningsmodellen voor de luchtgeluidoverdracht door ventilatiesystemen [6,7] en zijn er meer recentelijk ook modellen opgesteld voor de lucht- en contactgeluidoverdracht in gebouwen (EN 12354 [8]). Maar voor veel installaties – en met name installaties en installatie-onderdelen die gebouwtrillingen opwekken via direct mechanisch contact, constructiegeluid – ontbreken dergelijke modellen nog vrijwel volledig. Een belangrijke oorzaak is de grotere moeilijkheidsgraad van constructiegeluid ten opzichte van luchtgeluid. Bron en bouwconstructies zijn veel moeilijker te scheiden en een constructie kan op veel meer manieren trillen dan lucht. Daarmee is het bepalen van de bronsterkte voor constructiegeluid in principe veel complexer dan die voor luchtgeluid en ook de geluidopwekking in de bouwconstructie is veel lastiger. Dit betekent dat tot nu toe de toepassing van installaties in gebouwen met betrekking tot de geluidaspecten vooral op grond van ervaring gebeurt. Voor een deel heeft die ervaring ook zijn weerslag gekregen in praktijkrichtlijnen voor de woningbouw [9]. Maar de toename van installaties in gebouwen en de veranderingen in de wijze van bouwen, met name ook het lichter bouwen, maken het noodzakelijker het geluid van installaties op een meer systematische wijze te beschouwen. En al zal dat niet meteen volledig lukken en langzaam gaan, het is zeker wenselijk een begin te maken en zo stap voor stap verder te komen in de goede richting.

Europese ontwikkelingen

Een stimulans daartoe komt voort uit de Richtlijn Bouwproducten [10]. Op grond van deze richtlijn moeten voor producten uniforme Europese bepalingsmethoden worden opgesteld voor o.a. de akoestische prestatie - dus voor de luchtgeluidisolatie van wanden, maar ook de geluidproductie van apparaten en installaties – ten behoeve van eisen die kunnen worden gesteld aan de akoestische prestatie in gebouwen. Dit maakt het tevens wenselijk een verband te leggen tussen de prestaties van producten en de prestaties van de gebouwen waarin die producten zijn toegepast. Er is dus enerzijds behoefte aan bepalingsmethoden, meetmethoden, voor de geluidproductie van installaties en de geluidoverdracht via installatie-onderdelen, anderzijds is er behoefte aan voorspellingsmodellen voor gebouwen die gebruik kunnen maken van die gegevens. Op basis van onderzoek dat op een beperkt aantal plekken in Europa op dit gebied plaatsvindt wordt hieraan in het kader van de Europese normalisatie (CEN) gewerkt.

De voorspellingsmodellen vormen een serie normen onder het nummer EN 12354, waarvan het deel betreffende installaties [11] nog volop in ontwikkeling is. Deels gaat dat gelijk op met activiteiten in andere CEN-werkgroepen waar vooral wordt gewerkt aan bepalingsmethoden voor de bronsterkte van installaties; de resultaten daarvan zullen mede als ingangsgegevens moeten dienen voor de voorspellingsmodellen. Verder zal voor de geluidoverdracht van installatiegeluid door gebouwen in belangrijke mate gebruik kunnen worden gemaakt van de modellen en bijbehorende productgegevens voor de lucht- en contactgeluidoverdracht in gebouwen [8].

Opzet voorspellingsmodellen installatiegeluid

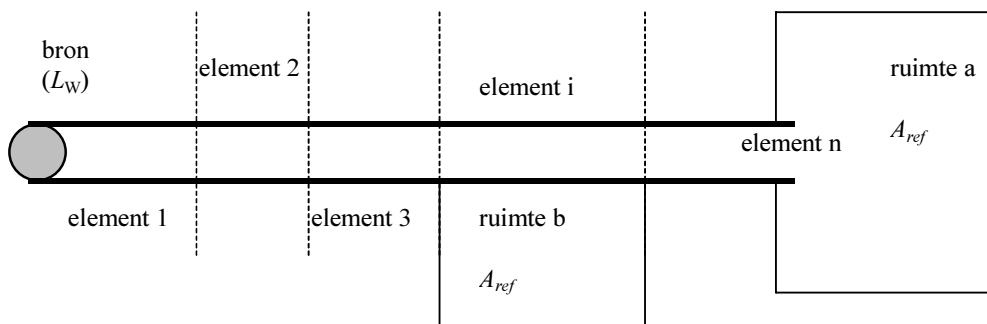
Ten einde een indruk te geven van lopende ontwikkelingen en de mogelijkheid te geven hierop in te haken en te reageren, wordt nu kort een overzicht gegeven van de opzet van EN 12354-5, het deel betreffende geluid van installaties. Dit deel zal in eerste instantie voor drie typen geluidoverdracht heel algemeen beschrijven hoe dat kan worden voorspeld en welke grootheden hierbij een rol spelen, om daarna voor diverse soorten installaties meer specifiek aan te geven hoe die informatie kan worden toegepast. De drie typen overdracht die worden onderscheiden zijn:

- luchtgeluidoverdracht door leidingen en kanalen;
- luchtgeluidoverdracht door gebouwen;
- constructiegeluidoverdracht door gebouwen.

Zo is voor een ventilatiesysteem met name luchtgeluidoverdracht via het kanaal relevant, maar de ventilator zelf kan ook verantwoordelijk zijn voor constructiegeluidaanstoting van de bouwconstructie en ook het luchtgeluid dat door het ventilatorhuis wordt afgestraald kan relevant zijn. Voor een liftinstallaties zijn daarentegen weer alleen de twee laatste twee aspecten van belang.

Luchtgeluid via kanalen

De geluidproductie van ventilatoren en andere bronnen van geluid in kanalen wordt al uitgedrukt in het geluidvermogeniveau L_w . Die andere bronnen kunnen bijvoorbeeld kleppen of bochten zijn waar stromingsgeluid wordt opgewekt, maar ook geluid vanuit ruimten dat door de kanaalwand binnendringt. De geluidoverdracht door het kanaalsysteem wordt hierop aansluitend beschreven als een geluidvermogenreductie ΔL_w ten gevolge van elk te onderscheiden element. Het resulterende geluidniveau in een ruimte wordt of uitgestraald door kanaalopeningen (ruimte a) of door het kanaal zelf (ruimte b).



FIGUUR 2 Kanalsysteem met een geluidbron, overdrachtselementen en ontvangruimten (a en b).

Het genormeerde geluiddrukkniveau $L_{p,n}$ op een positie in de ruimte met één bron in het kanaal wordt gegeven door:

$$L_{p,n} = L_W - \sum_{i=1}^e \Delta L_{W,i} + 10 \lg \left[\frac{Q}{4\pi d^2} + \frac{4}{A_{ref}} \right] \quad (1)$$

Hierin zijn

- L_W het geluidvermogeniveau van de bron, in octaafbanden [dB re 1 pW};
- $\Delta L_{W,i}$ de geluidvermogenreductie door element i , in octaafbanden [dB];
- e het aantal elementen tussen bron en ontvangruimte;
- d de afstand tussen de ontvangpositie en het geluidafstralende element, in meters;
- Q de richtingsindex van het geluidafstralende element;
- A_{ref} de referentiewaarde voor het equivalent geluidabsorptie-oppervlakte, in vierkante meters.

Voor het genormeerde geluiddrukkniveau wordt $A_{ref} = 10 \text{ m}^2$ genomen, maar willen we in aansluiting op de Nederlandse grootheden het geluiddrukkniveau bij een halve seconde nagalmtijd weten, dan hanteren we eenvoudig $A_{ref} = V/3$ met V het volume van de ontvangruimte.

Uitgangspunt bij deze relatie is een diffuus geluidveld in de ontvangruimte; dit is niet altijd het geval, zeker niet bij de lagere octaafbanden. Indicaties zullen worden uitgewerkt om de mogelijke afwijkingen die hiervan het gevolg kunnen zijn aan te geven.

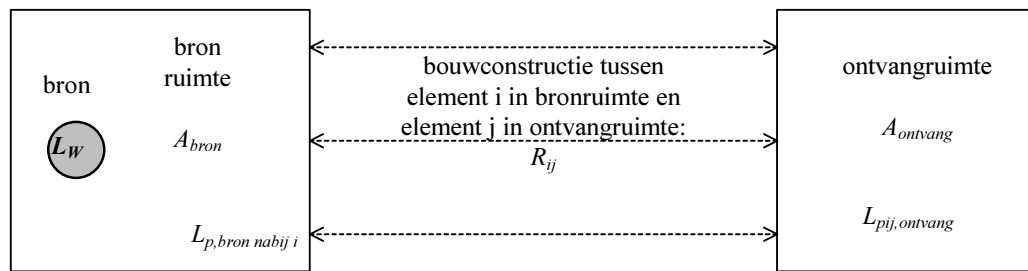
Als de beschouwde bron overigens het geluid in een ruimte is kan deze geluidoverdracht van een ruimte naar een andere ruimte via het kanalsysteem ook worden uitgedrukt in het genormeerde geluiddrukkniveauverschil $D_{n,s}$ voor het systeem en worden meegenomen in de voorspellingen van de luchtgeluidoverdracht volgens EN 12354-1:

$$D_{n,s} = \sum_{i=1}^e \Delta L_{W,i} + 10 \lg \frac{A_{ref}}{S_1} \quad (2)$$

Hierin is S_1 de oppervlakte van het eerste element in de zendruimte, zoals een opening, een rooster of een deel van het kanalsysteem, en ΔL_W dezelfde geluidvermogenreductie als in verg. (1) voor de elementen in het beschouwde kanalsysteem.

Luchtgeluidoverdracht door de bouwconstructie

Ook hier is de basisgrootte om de geluidproductie te beschrijven het luchtgeluidvermogeniveau L_W van de bron. Het geluiddrukkniveau in de bronruimte wordt verder vooral bepaald door de hoeveelheid absorptie in die ruimte, A_{bron} . Daarnaast wordt de feitelijke aanstoting van de verschillende begrenzingsvlakken van die ruimte ook bepaald door de vorm van de ruimte, de nabijheid van de bron en de geluidafstralingseigenschappen van die bron. De geluidoverdracht van de bronruimte naar een ontvangruimte verloopt via verschillende overdrachtspaden van elk begrenzingsvlak i in de bronruimte naar elk begrenzingsvlak j in de ontvangruimte. Deze overdracht kan worden beschreven met de flankerende geluidisolatie voor elk overdrachtspad ij : R_{ij} .



FIGUUR 3 Luchtgeluidoverdracht van een bron door een bouwconstructie via een overdrachtspad ij.

Het totale geluidrukniveau volgt dan uit de optelling van alle bijdragen via de verschillende relevante overdrachtspaden. En voor elk pad ij volgt deze bijdrage uit de volgende relatie op grond van het bronvermogen (L_W), de overdracht in de bronruimte ($D_{s,i}$) naar element i met oppervlakte S_i en de flankerende geluidisolatie (R_{ij}) bij een referentie-oppervlakte van $S_{ref} = 10 \text{ m}^2$:

$$L_{p,n,ij} = L_W + D_{s,i} - R_{ij,ref} - 10 \lg \frac{S_i}{S_{ref}} - 10 \lg A_{ref} / 4 \quad (3)$$

De overdracht in de bronruimte, D_s , volgt in eerste instantie direct uit de hoeveelheid absorptie, maar zal waar nodig ook de effecten van de andere genoemde factoren moeten bevatten. De flankerende geluidisolatie R_{ij} kan in principe worden bepaald uit de gegevens over de bouwconstructies, zoals in EN 12354-1 beschreven.

Constructiegeluidoverdracht door de bouwconstructie

Voor constructiegeluid zijn er feitelijk diverse mogelijkheden om de bronsterkte aan te geven, variërend van een volledige krachten- en impedantie-matrix tot een eenvoudige equivalente bronkracht [12, 13]. Een discussie over de voor- en nadelen van de verschillende mogelijkheden voert hier te ver. Vooralsnog is er voor gekozen de bronsterkte aan te geven met het zogenaamde karakteristieke constructiegeluidvermogeniveau, L_{Wsc} , met bijbehorende koppelingsterm, $D_{C,c}$, voor het bevestigingsvlak c [14]. Dit is het geluidvermogen dat de bron aan z'n eigen spiegelbeeld zou afgeven en de koppelingsterm vertaalt dit vermogen in het vermogen dat aan het feitelijke opstellingsvlak wordt afgegeven. L_{Wsc} is dus alleen afhankelijk van broneigenschappen, terwijl $D_{C,c}$ zowel door eigenschappen van de bron als van de bouwconstructie wordt bepaald. Het hangt af van het type bron, de typerende bevestigingsconstructies en de nagestreefde nauwkeurigheid of de bepalingmethoden voor deze grootheden complex (moeten) zijn of vrij eenvoudig kunnen blijven. Geleidelijk aan zullen door de betreffende werkgroep voor diverse typen bronnen meetmethoden worden ontwikkeld en beschreven, ook gebruik makend van hetgeen al beschikbaar is [15].

Uitgaande van het constructiegeluidvermogen dat door de bron in het opstellingsvlak wordt geïnjecteerd, zijn er diverse overdrachtspaden naar de begrenzingsvlakken van de beschouwde ontvangruimte. De beschrijving van deze overdracht bevat feitelijk dezelfde elementen als bij de overdracht van luchtgeluid.

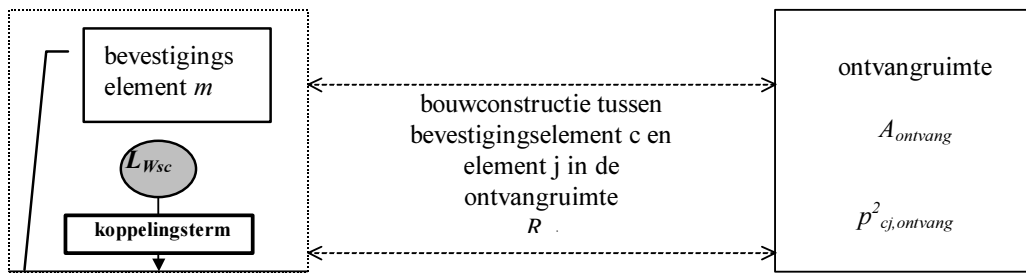


FIGURE 4 Constructiegeluidoverdracht van een bron door een bouwconstructie.

Het totale geluidrukniveau volgt dan uit de optelling van alle bijdragen via de verschillende relevante overdrachtspaden vanaf het bevestigingsvlak c . En voor elk pad cj volgt deze bijdrage uit de volgende relatie op grond van het karakteristieke constructiegeluidvermogen (L_{Wsc}), de koppelingsterm voor het bevestigingsvlak ($D_{C,c}$), de aanpassingsterm ($D_{sa,c}$) voor dat vlak en de oppervlakte van dat vlak (S_c) en de flankerende geluidisolatie (R_{cj}) bij een referentie-oppervlakte van $S_{ref} = 10 \text{ m}^2$:

$$L_{p,n,cj} = L_{Wsc} + D_{C,c} - D_{sa,c} - R_{cj,ref} - 10 \lg \frac{S_c}{S_{ref}} - 10 \lg A_{ref} / 4 \quad (4)$$

De aanpassingsterm D_{sa} brengt het verschil in rekening tussen de aanstoting van het vlak door luchtgeluid en door constructiegeluid, een eigenschap van het betreffende vlak.

In het eenvoudige geval van een verticale krahctaanstoting, relevant voor diverse soorten bronnen bij zwaardere bouwconstructies, kunnen de beide eerste termen samen ook worden geschreven als $L_{Wsc} + D_{C,c} = L_F + 10 \lg \text{Re}(Y_c)$, de som van het krachtniveau en het admittantieniveau van het opstellingsvlak. Bij andere bevestigingswijzen dan een starre koppeling, bijvoorbeeld bij een verende opstelling of bij de toepassing van specieke beugels, zal ook de invloed van die bevestigingswijze in de koppelingsterm $D_{C,c}$ moeten worden meegenomen.

In geval van een zwaar homogeen vlak, bijvoorbeeld een betonvloer met een oppervlaktemassa van $m \text{ kg/m}^2$, is de admittantie eenvoudig aan te geven ($10 \lg \text{Re}(Y_c) \div -10 \lg \text{m}^2$) en kan ook de aanpassingsterm eenvoudig worden geschreven als $D_{sa} \div -10 \lg \text{m}^2 f^2$. De berekening van dit overdrachtspad is dan vrij eenvoudig en goed vergelijkbaar met dat voor luchtgeluidoverdracht.

Een blik in de toekomst

De te stellen eisen aan het geluidniveau ten gevolge van installaties zijn duidelijk en zeker de norm NEN 1070 biedt voldoende aanknopingspunten voor het aangeven van een gewenst kwaliteitsniveau in deze. Ook meetmethoden voor het vaststellen van de gerealiseerde geluidniveaus zijn beschikbaar. Binnenkort zal ook een vereenvoudigde Europese methode beschikbaar zijn, waarmee sneller een goed beeld van de akoestische prestaties in gebouwen kan worden verkregen.

Zoals uit het voorgaande moge blijken is er echter nog een lange weg te gaan voordat we ook de geluidniveaus in gebouwen ten gevolge van de diverse installaties vooraf betrouwbaar kunnen voorspellen. Niet alleen de voorspellingsmodellen moeten nog in belangrijke mate worden ontwikkeld en geverifieerd, maar, wat misschien nog wel belangrijker is: ook de methoden om de akoestische eigenschappen van de diverse machines, installaties en installatie-technische

onderdelen aan te kunnen geven zijn nog volop in ontwikkeling. Dergelijke methoden zijn overigens niet alleen noodzakelijk om de benodigde gegevens te verkrijgen voor het doen van voorspellingen. Die gegevens zijn ook bruikbaar voor een directe onderlinge vergelijking van de akoestische prestaties van producten op een eerlijke en relevante manier. Die methoden zijn daarmee essentieel voor het ontwikkelen van stillere producten.

Dat wil niet zeggen dat er voorlopig niets kan gebeuren. Op veel gebieden zijn er ook al wel nodige methoden beschikbaar (ventilatiegeluid) en voor diverse specifieke situaties kunnen eenvoudige methoden zoals die door akoestische adviseurs gebruikt worden ook al goed dienst doen. In andere artikelen vindt u daar voorbeelden van.

Literatuur

- [1] Bouwbesluit, 2002
- [2] NEN 1070, *Geluidwering in gebouwen – Specificatie en beoordeling van de kwaliteit*, 1999
- [3] NEN 5077, *Geluidwering in gebouwen – Bepalingsmethoden voor de grootheden voor luchtgeluidisolatie, contactgeluidisolatie, geluidwering van scheidingsconstructies en geluidniveaus veroorzaakt door installaties*, 2001
- [4] EN-ISO 10052, *Acoustics – Field measurements of airborne and impact sound insulation and of service-equipment sound – Survey method*, 2002
- [5] EN-ISO 16032, *Acoustics- Measurement of sound pressure level from service equipment in buildings – engineering method*, 2002
- [6] 1999 ASHRAE Handbook - *Heating, Ventilating and Air-conditioning Applications, chapter 46, Sound and vibration control*, ASHRAE, 1999.
- [7] VDI 2081, *Sound production and reduction in ventilation systems (in German: Geräuscherzeugung und Lärmminderung in Raumluftechnischen Anlagen)*, VDI 2081, 2000.
- [8] NEN-EN 12354-1&2, *Building Acoustics – Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements – Part 1: Airborne sound insulation between rooms; Part 2: Impact sound insulation between rooms*, 2000.
- [9] NEN Praktijkrichtlijnen installatiegeluid, NPR 5072 *luchtafvoersystemen*, NPR 5073 *Lifstinstallaties*, NPR 5074 *centrale verwarmingsinstallaties*, NPR 5075 *sanitaire toestellen en installaties voor aan- en afvoer van water*, 1991.
- [10] Richtlijn Bouwproducten, Raad van de Europese gemeenschappen, (89/106/EEG), 1989.

- [11] prEN 12354-5, *Building Acoustics – Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements – Part 5: Sound levels due to service equipment* (first working draft), 2002.
- [12] Ten Wolde, T. & G.R. Gedefelt, *Development of standard measurement methods for structure-borne sound emission*, Noise Control Eng. Journal **28**, pp 5-14, 1987.
- [13] Gerretsen, E., *Estimation of air-borne and structure-borne sound transmission from machinery in buildings*, Applied Acoustics **40**, pp. 255-265, 1993.
- [14] Moorhouse, A.T. & B.M. Gibbs, *Relationship between the characteristic power of structure-borne sound sources and their emission when installed*, Proc.Euronoise '98, Munich, 1998.
- [15] ISO 9611, *Acoustics – Characterization of sources of structure-borne sound with respect to sound radiation from connected structures – Measurement of velocity at the contact points of machinery when resiliently mounted*, 1996.