

Lessen Akoestiek

BBT-Bk kwartiel 8

Kom verder. Saxion.



Colofon

Datum mei 2015
Referentie bk-Ak
Versie 1.1
Status publiceerbaar
Auteur ir. M.M.F. Ammerlaan

Kom verder. Saxion.



Inhoudsopgave

Colofon.....	2
1 Inleiding.....	6
2 Wat is geluid.....	6
2.1 Mechanisme.....	6
2.2 Golfkarakter.....	7
2.3 Effectieve geluiddruk.....	9
2.4 Geluiddrukniveau.....	9
2.5 Rekenen met geluiddruk niveaus.....	11
2.6 Octaafbanden.....	12
2.7 Samengesteld geluid.....	12
2.8 Resultierend geluiddruk niveau.....	14
2.9 Correctiefactoren.....	14
2.10 Akoestisch vermogen en geluidintensiteit.....	17
2.11 Equivalent geluidsdruk niveau.....	18
2.12 Absorptiecoëfficiënt, nagalmtijd, galmstraal.....	19
2.13 Absorptie.....	22
3 Geluidoverdrachts mechanismen.....	23
3.1 Luchtgeluid.....	23
3.2 Contactgeluid.....	24
3.3 Overige begrippen.....	25
4 Geluidisolatie definities.....	26
4.1 Luchtgeluidisolatie.....	26
4.2 Massawetten.....	29
4.3 Contactgeluidisolatie.....	31
4.4 Installatiegeluid.....	32
5 Wettelijke eisen.....	33
5.1 Buitengevel geluidwerendheid $G_{a,k}$	34
5.2 Bescherming tegen installatiegeluid.....	35
5.3 Beperking van galm.....	36
5.4 Geluidwering tussen ruimten.....	36

Datum 28 mei 2015
Naam rapport Les Akoestiek
Pagina 5 van 63

6 Geluidwering buitengevels.....	38
6.1 Berekening van de gevelgeluidwering.....	38
6.2 Praktische toepassing.....	41
 7 Geluidwering tegen geluid van naastgelegen ruimten.....	 44
7.1 Direct geluid binnenwandconstructies.....	44
7.2 Typen van absorberende materialen (Mechanismen).....	53
 8 Bronnen:.....	 61

1 Inleiding

Geluid omringt ons in ons dagelijkse leven altijd en overal. De mate waarin wij dat ervaren kan plezier opleveren als we bijvoorbeeld luisteren naar muziek die wij mooi vinden, maar het kan ons ook grote ergernis opleveren, als de burens naast ons nog 's avonds laat gaan boren, en wij willen slapen.

Het menselijk oor is een orgaan dat zich vanaf het prille ontstaan van het leven heeft geëvolueerd. Geen enkel oor is echter hetzelfde. Of functioneert op dezelfde wijze: ieder mens ervaart geluid op zijn eigen wijze.

Om geluid te kunnen beoordelen zijn er daarom afspraken gemaakt over bijvoorbeeld gehoordrempels en octaven.

Verder is geluid een natuurkundig fenomeen waarop rekenregels kunnen worden losgelaten.

In de bouwakoestiek komen deze zaken samen.

Voor de bouwkundig ingenieur is het van belang dat hij/zij een oordeel kan geven over de akoestische kwaliteit in de gebouwde omgeving. Zowel op grond van een aantal basis principes als vanuit de wet- en regelgeving die ook voor dit onderdeel is ontwikkeld.

2 Wat is geluid

2.1 Mechanisme

Geluid is een vorm van energie die bestaat uit trillingen van deeltjes in een medium. Dit medium kan alle fasen van een materiaal zijn (gas, vloeistof of vaste stof).

In de bouwpraktijk hebben we vooral te maken met geluid in lucht en bouwconstructies als beton en staal.

De trillingen zijn meestal afkomstig van een identificeerbare bron, bijvoorbeeld een radio een hamer of een machine. Via het medium komt het bij een waarnemer terecht: dat is voor ons het menselijk oor, of bij een opname een microfoon.

Het mechanisme is :

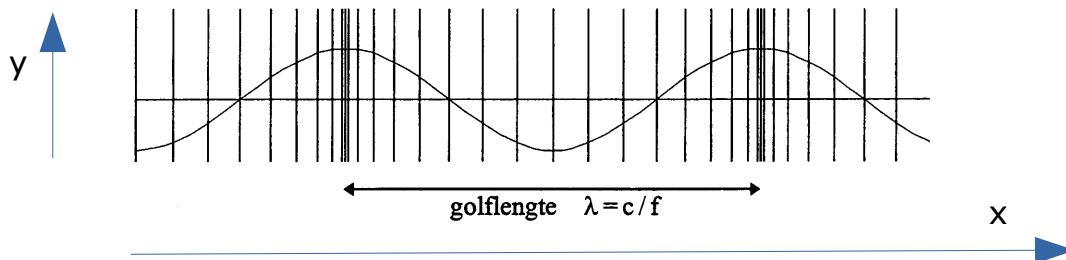
Bron > Medium > Waarnemer

2.2 Golfkarakter

Geluid wordt overgedragen door (minuscule) veranderingen van de druk, zg. drukgolven, in het medium waarin het zich voortplant. Dit is bij lucht te vergelijken met een plaat die heen en weer wordt bewogen en daardoor drukveranderingen in het omliggende medium veroorzaakt: het medium wordt samengedrukt en uit elkaar getrokken. De dichtheid varieert in de tijd op plaats x rondom een gemiddelde. Als de plaat regelmatig wordt bewogen ontstaan door deze beweging patronen die wij waarnemen als geluid. Bij een gelijkmatige beweging komt het volgende patroon het meest voor:



Als je dit patroon uitzet in een xy -diagram herken je de vorm van een sinusgolf.



Figuur 2: golfvorm van geluid [8]

Zoals bekend uit de wiskunde kunnen er aan een sinus verschillende karakteristieke waarden worden toegekend.

Trillingstijd T

De trillingstijd T is de lengte van het tijdsinterval waarin het patroon alle waarden aanneemt tot het zich weer gaat herhalen. Deze wordt uitgedrukt in seconden. De frequentie f is de reciproke waarde van de trillingstijd T . Als $T = 1/10$ seconde is de frequentie 10 Herz [Hz].

Golflengte λ

De golflengte λ is de afstand van het patroon in het medium, de afstand tussen 2 pieken of 2 dalen. De golflengte wordt uitgedrukt in meter.

Voorplantingssnelheid c

De snelheid waarmee het patroon zich door het medium verplaatst wordt de voortplantingssnelheid c genoemd, uitgedrukt in m/s.

Er is de volgende relatie tussen de hier genoemde grootheden:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{c}{\lambda} \quad \text{Formule 1}$$

Uit de beschrijving van geluid hiervoor is ook af te leiden dat de (chemische) fase van het materiaal (gas, vloeibaar of vast), die afhankelijk is van de temperatuur, invloed heeft op de golflengte en voortplantingssnelheid van het geluid in een medium. Hieronder staat de geluidssnelheid in een aantal bouwmaterialen.

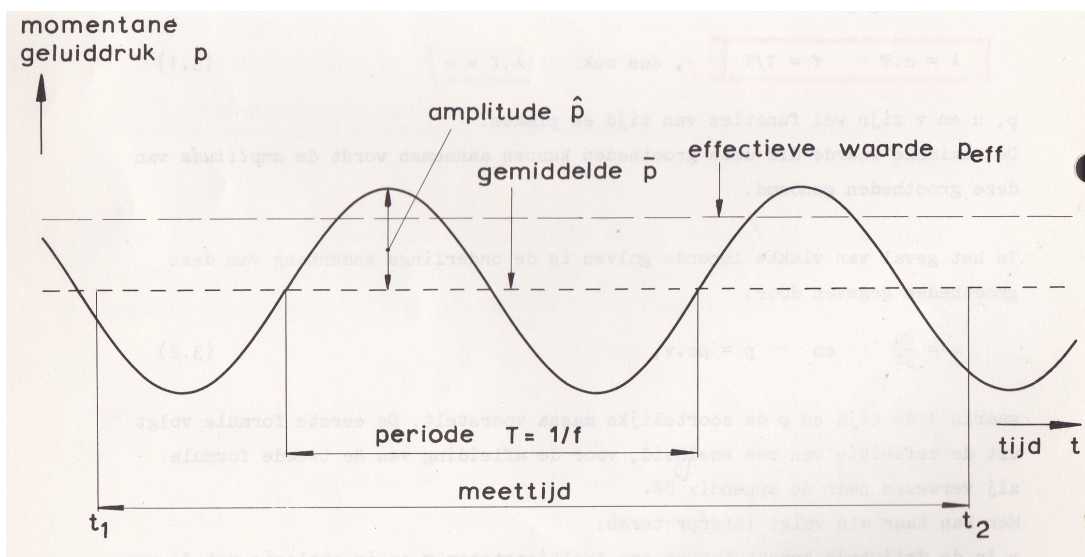
Tabel 1: Geluidssnelheid in enkele materialen

materiaal	dyn. elast.modulus K [N/m ²]	dichtheid ρ [kg/m ³]	$c = \sqrt{K/\rho}$ [m/s]
lucht	14.10 ⁴	1,2	340
kurk	62.10 ⁹	250	498
gevelklinker	25.10 ⁹	2100	3450
kalkzandsteen	25.10 ⁹	2000	3536
grindbeton K300	35.10 ⁹	2400	3819
grindbeton K225	20.10 ⁹	2200	3015
lichtbeton (hollith)	28.10 ⁹	1700	4058
drijfsteen	5.10 ⁹	1000	2236
gipsplaten	4.10 ⁹	800	2236
gips	7.10 ⁹	700	3162
staal	210.10 ⁹	7800	5189
aluminium	70.10 ⁹	2800	5000
lood	17.10 ⁹	12200	1180
spiegelglas	70.10 ⁹	2500	5292
vurenhout	10.10 ⁹	470	4613
grenenhout	11.10 ⁹	520	4599
rode merantie	10.10 ⁹	600	4082
triplex oregon pine	12.10 ⁹	580	4549
spaanplaat	3.10 ⁹	650	2148
hardboard (normaal hard)	4.10 ⁹	1000	2000
hardboard (half hard)	3.10 ⁹	650	2148

2.3 Effectieve geluiddruk

De golven waaruit geluid bestaat geven een druk, de zogenaamde geluiddruk en kan worden uitgedrukt in Pa. Ons oor is gevoelig voor de door deze drukgolven veroorzaakte drukverschillen.

Het oor kan echter niet alle drukverschillen precies volgen maar maakt daar een soort gemiddelde van. Dit noemen we de effectieve geluiddruk, p_{eff} . Die is anders dan de gemiddelde geluiddruk (uit de sinusvorm volgt dat die gelijk aan nul is).



Figuur 3: enkele kenmerken van een sinusgolf [8]

P_{eff} is de de wortel uit het gemiddelde kwadraat van de geluiddruk p_{gem} en maat voor de sterkte van het geluid

$$P_{eff} = \sqrt{p_{gem}^2} \quad \text{Formule 2}$$

Voor een zuiver sinusvormige golf geldt:

$$P_{eff} = \sqrt{\frac{1}{2} p^2} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot p \quad \text{Formule 3}$$

2.4 Geluiddrukniveau

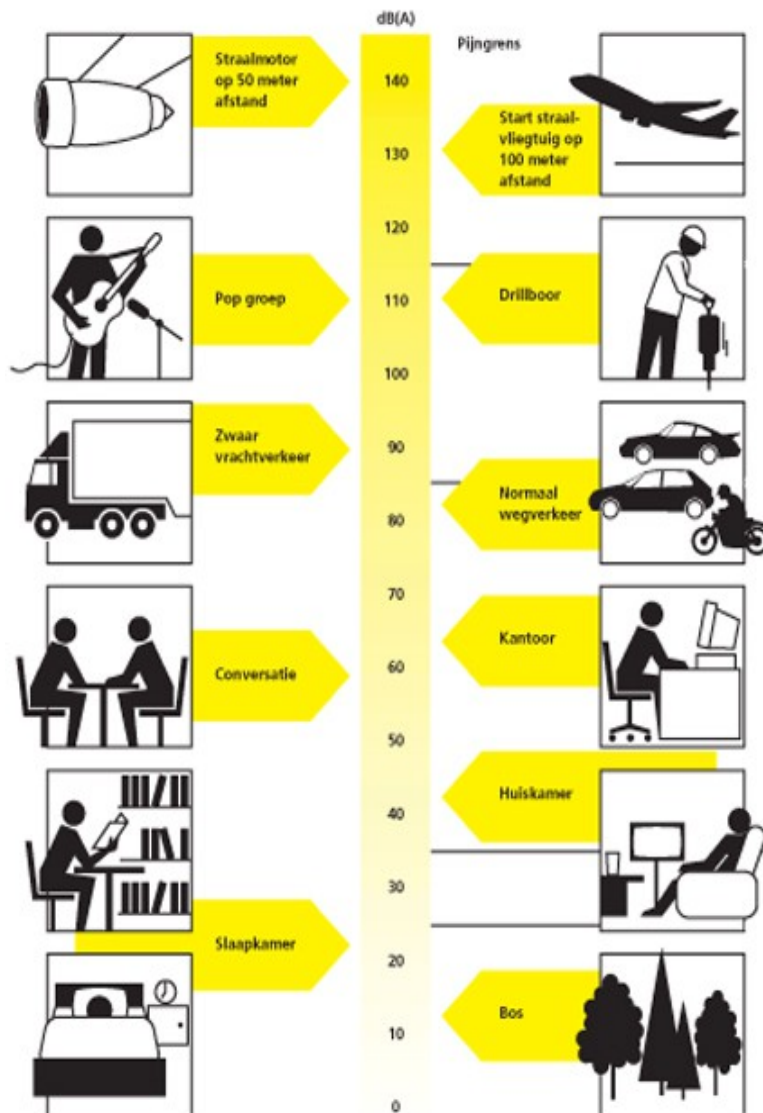
Het geluiddrukniveau L_p (Level of pressure) wordt bepaald ten opzichte van het geluiddruk-niveau bij de gehoordrempel p_0 met de volgende formule:

$$L_p = 10 \log \frac{P_{eff}^2}{P_0^2} [dB] \quad \text{Formule 4}$$

waarin

$p_0 = 20 \cdot 10^{-6} \text{ [Pa]}$ Gehoordrempel bij 1000 [Hz]

In de volgende figuur zijn de geluidrukniveaus van een aantal situaties verbeeld:



Figuur 4: Kenmerkend geluidrukniveaus in aantal situaties

De Bouwbesluiteis voor een verblijfsgebied is een maximale geluiddruk in een Verblijfsgebied van ca. 30 [dB], hoger dan i.h.a. als gewenst wordt ervaren. Bij zeer hoge geluidsniveaus kan het trommelvlies scheuren. Dit wordt de pijngrens genoemd.

2.5 Rekenen met geluiddrukkniveaus

Het geluiddrukkniveau wordt in een logaritmische functie uitgedrukt. Hierdoor gelden voor het rekenen daarom de logaritmische rekenregels zoals bij wiskunde onderwezen is.

Stel dat er 2 geluidbronnen zijn waarvan bron 1 een geluiddrukkniveau van 70 dB geeft en bron 2 75 dB geeft. Het totale geluidniveau van deze 2 bronnen samen moet als volgt worden berekend:

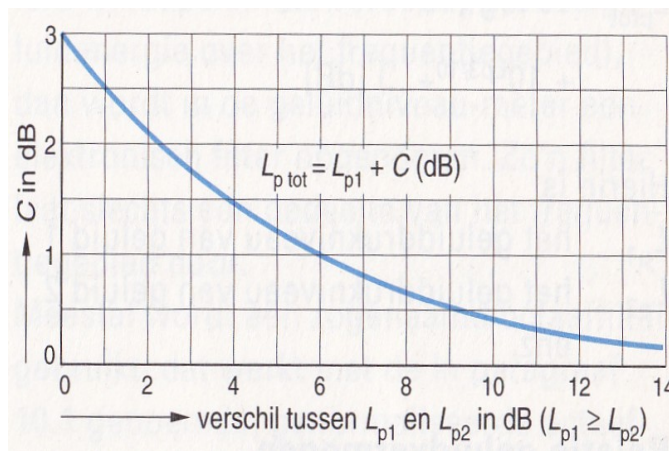
$$L_{p1+p2} = 10 \log [10^{L_{p1}/10} + 10^{L_{p2}/10}] = 10 \log [10^{70/10} + 10^{75/10}] = 76,2 \text{ dB}$$

Deze 2 bronnen kunnen dus niet rekenkundig opgeteld worden: ze veroorzaken samen 76 dB en niet 145 dB.

Een verdubbeling van de geluidsterkte geeft een vermeerdering van het geluiddrukkniveau met 3 [dB]:

$$10 \log (2 * 10^{(L_{p1}/10)}) = 10 \log(2) + 10 \log (10^{(L_{p1}/10)}) = 3 + L_{p1}$$

In de volgende figuur is te zien met welke waarde het hoogste geluidniveau moet worden verhoogd als er een 2^e geluidbron bijkomt:



Figuur 5: Hulpmiddel bij het optellen van twee geluiddrukkniveaus [1, 8]

Normaal worden verschillen kleiner dan 1 dB niet opgemerkt en worden geluiddrukkniveaus in gehele getallen weergegeven.

2.6 Octaafbanden

Geluid kan zich uitstrekken over een groot aantal frequenties. Het menselijk oor is gevoelig voor frequenties van ca. 20 Hz tot ca. 20.000 Hz.

Om in dit zogenaamde geluidsspectrum orde te scheppen zijn er octaafbanden gedefinieerd.

Een octaaf¹ is gedefinieerd als een frequentiegebied waarbij de bovenste frequentie 2x zo groot is als de onderste frequentie van zo'n band.

Voor de middenfrequentie f_m geldt:

$$f_m = \sqrt{f_1 \cdot f_2} = \sqrt{2} \cdot f_1 \quad [\text{Hz}] \quad \text{Formule 5}$$

waarin

ondergrens frequentie f_1

bovengrens frequentie $f_2 = 2 \cdot f_1$

Tabel 2: De octaafbanden zijn internationaal als volgt vastgesteld (ISO-R220 (1961)):

octaaf midden frequentie [Hz]	tertsbanden [Hz]	bandbreedte [Hz]
63	50-63-80	45-90
125	100-125-160	90-180
250	200-250-315	180-355
500	400-500-630	355-710
1000	800-1000-1250	710-1415
2000	1600-2000-2500	1415-2830
4000	3150-4000-5000	2830-5660
8000	6300-8000-10000	5660-11320

De indeling is afgeleid rond het octaaf waarin de menselijke spraak plaatsvindt en het menselijk oor het gevoeligst is, zo rond de 1000 Hz, en van daaruit naar beneden en boven verdeeld.

2.7 Samengesteld geluid

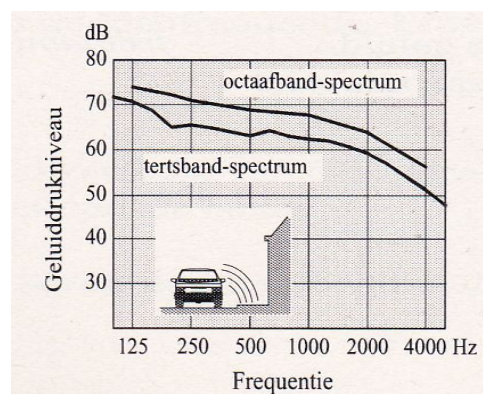
De bron van een geluidstrilling is bijna nooit monotoon, bestaat niet uit 1 frequentie: geluid is meestal samengesteld uit verschillende frequenties. Alleen kan bij machines soms een monotoon geluid ontstaan door het gelijkmatige roteren van de motor.

¹ *octa = 8 (latijn). Dit heet een octaaf omdat op een toetsinstrument zoals bijvoorbeeld een piano, een toets die 8 (octa) toetsen verder ligt, een 2x zo hoge toon geeft. In niet-westerse muziek is een octaaf soms anders verdeeld.*

Er kunnen binnen dezelfde afstand of golflengte ook tegelijkertijd nog andere patronen passen.

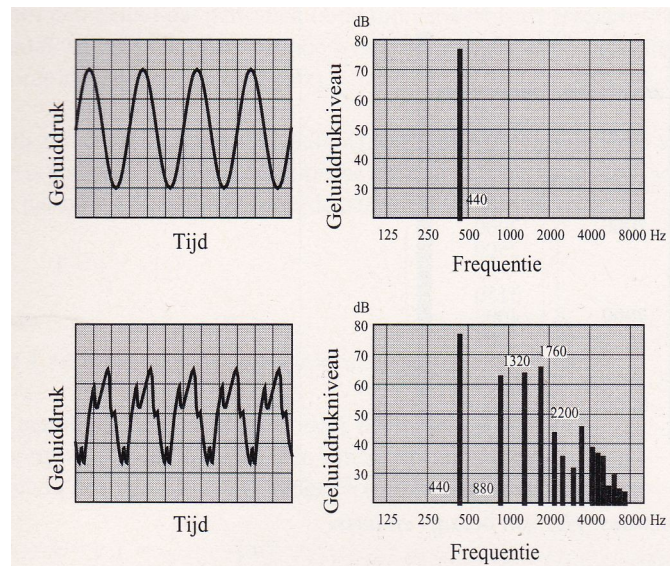
De bij een herkenbare toon is de trilling met de grootste golflengte de grondtoon, de varianten met een veelvoud van dezelfde frequentie boventonen. In de muziek bepalen deze boventonen het karakter van het geluid waardoor ze door ons herkend worden als zang, orgel, gitaar enz.

Om het geluidsdrukkniveau van dit soort geluid te kunnen vaststellen wordt het geluid dan gemeten en geanalyseerd per octaafband of per tertsbandspectrum.



Figuur 6: geluidsspectrum van een bron

Geluidmeters kunnen van een geluidbron de samenstellende frequenties bepalen:



Figuur 7: Analyse van een paar geluidspectra

2.8 Resultierend geluiddrukniveau

Na opdeling van de trillingen per octaafband kan het geluiddrukniveau kan worden berekend uit de samengestelde geluiddrukken per octaaf- of tertsbands.

$$L_{p,res} = 10 \cdot \log \sum 10^{L_{p,i}/10} \quad \text{Formule 6}$$

met $L_{p,i}$ de geluiddruk van octaafband i .

In de Nederlandse praktijk wordt meestal gerekend in met de octaafbanden van 125 tot en met 2000 Hz.

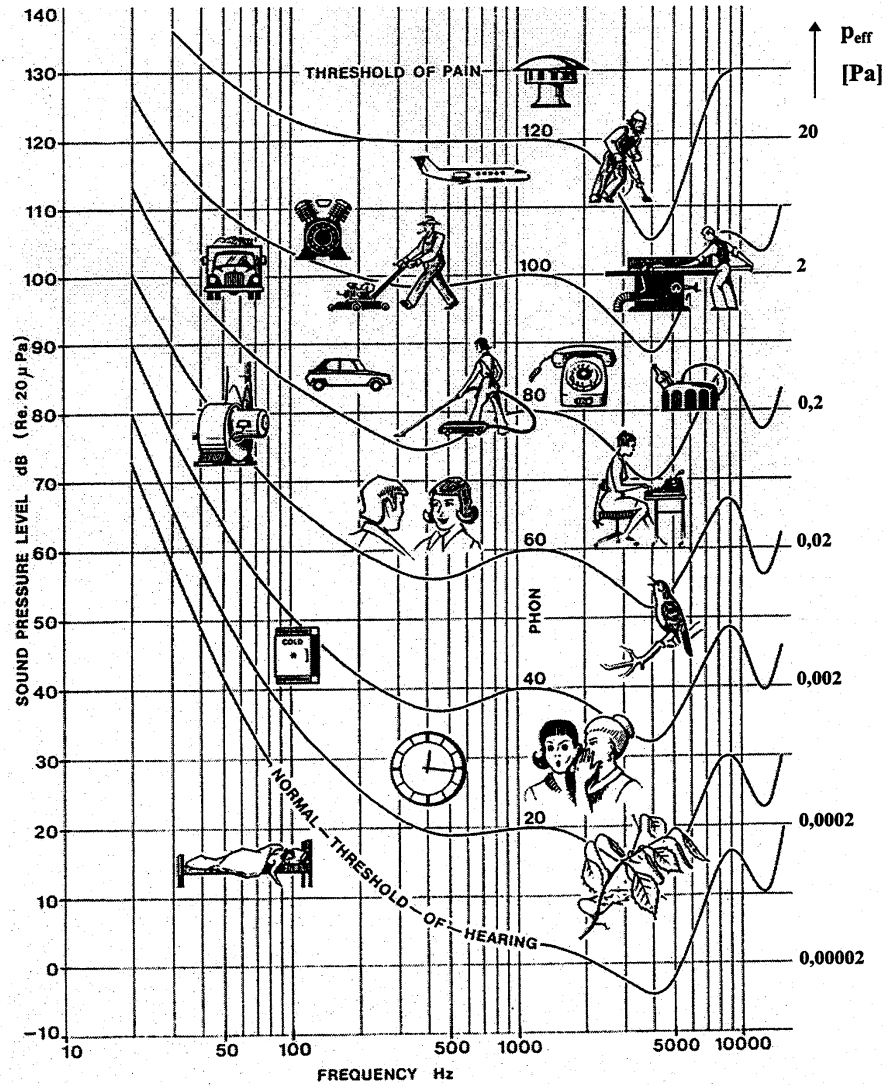
Zie een geluidspectrum met de volgende geluidsniveaus:

octaafband [Hz]	125	250	500	1000	2000
geluidsniveau [dB]	50	59	67	71	74

Met formule 6 volgt een totaal geluidsniveau van 76 [dB].

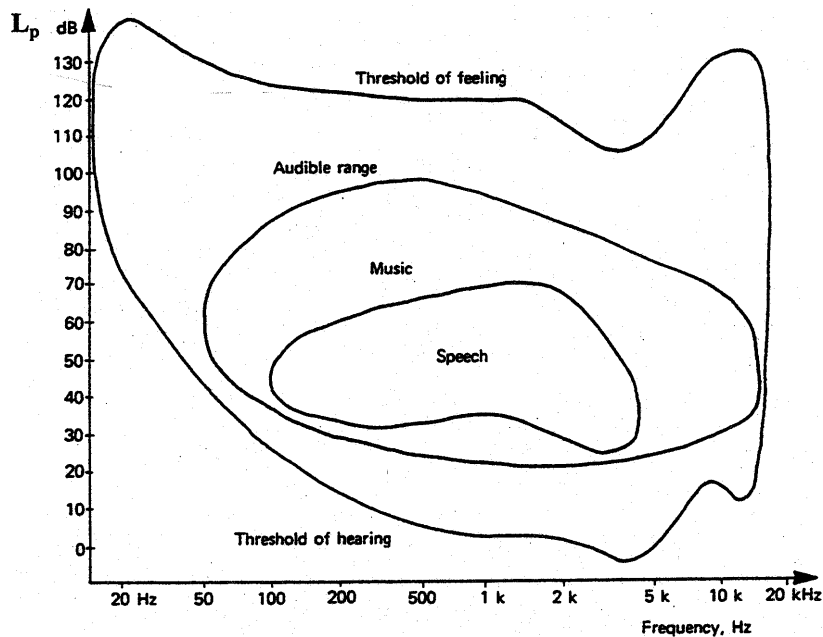
2.9 Correctiefactoren

Het menselijke oor is niet voor alle frequenties van geluid even gevoelig. In de volgende figuur zijn zogenaamde isofonen weergegeven: geluidsniveaus van een bepaalde frequentie die als even luid worden ervaren:



Figuur 8: Isofonen van soorten geluid [8]

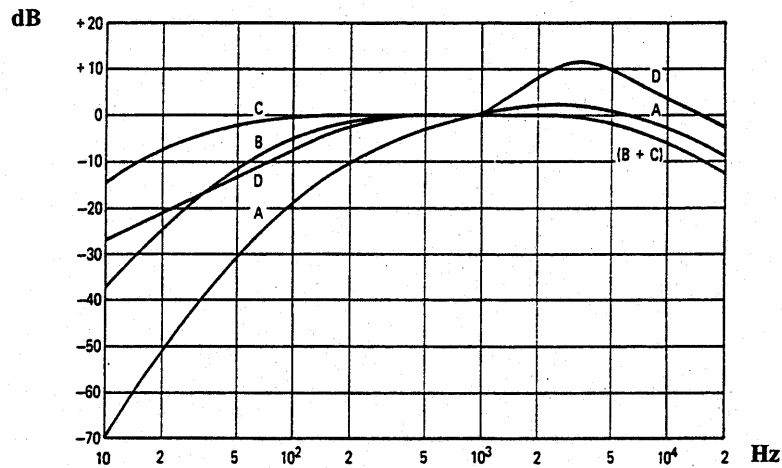
Een andere wijze om deze oorgevoeligheid weer te geven is de volgende:



Figuur 9: Gehoorgrenzen als functie van de frequentie [8]

Op basis van deze zg. oorgevoeligheid zijn er internationaal weegfactoren gedefinieerd waardoor het geluid beoordeeld kan worden. Zo kan een lagetoon een hogere sterkte hebben omdat wij dat als minder storend ervaren.

In de volgende figuur zijn er 4 weegfuncties weergegeven:



Figuur 10: Genormeerde geluid-weegfuncties [8]

Of in tabel vorm:

octaaf	63	125	250	500	1000	2000	4000
A-weging	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1
B-weging	-9,3	-4,2	-1,3	-0,3	0	-0,1	-0,7
C-weging	-0,8	-0,2	0	0	0	0,5	0,8

Tabel 3: Genormeerde weegfactoren

In de praktijk wordt vrijwel alleen de A-weging gebruikt: een geluiddrukkniveau dat aldus is gewogen wordt uitgedrukt in [dB(A)].

2.10 Akoestisch vermogen en geluidintensiteit.

Uit ervaring weten we allemaal dat hoe groter de afstand tot een geluidbron is, hoe zwakker het geluid is dat wordt gehoord.

In de bouwakoestiek worden de volgende bronnen onderscheiden:

- puntbron
- lijnbron

Bij een puntbron wordt het geluid als het ware in een bol rondom de bron uitgezonden, bij een lijnbron als over een cilinder. Dit geeft 2 fundamenteel verschillende formules voor de intensiteit I op afstand R van de bron:

- puntbron: $I = \frac{W}{4 \cdot \pi \cdot R^2}$ Formule 7
- lijnbron: $I = \frac{W}{4 \cdot \pi \cdot R}$ Formule 8

Hierin is W het akoestische vermogen van de bron, bij een puntbron in [W] en bij een lijnbron in [W/m]. Op grote afstand R van de bron kan een eenheidsvlak van $1 \times 1 \text{ m}^2$ worden aangenomen waar de geluidsgolven nagenoeg loodrecht doorheen gaan. Er is dan de volgende formules af te leiden:

- vrije veld: $I = \frac{p_{eff}^2}{\rho \cdot c}$ Formule 9

Hierin is p_c de specifieke akoestische golfweerstand, voor lucht is dat ca. $410 \text{ [kg/m}^2\text{s]}$.

Met bovenstaande kunnen de volgende formules voor het geluiddrukkniveau op afstand R van de geluidbron worden afgeleid:

- puntbron: $L_p = L_w - 10 \cdot \log 4 \pi R^2$ Formule 10

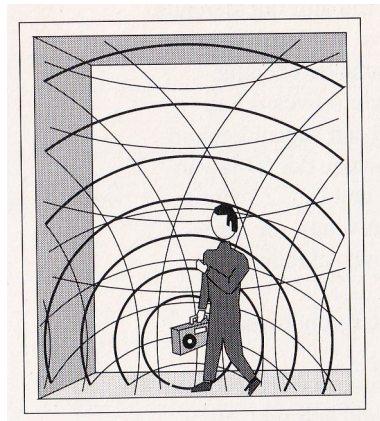
- lijnbron: $L_p = L_w - 10 \cdot \log 2\pi R$ Formule 11

Hierin is L_w het akoestisch vermogensniveau:

$$L_w = 10 \log \frac{W}{W_0} \quad \text{Formule 12}$$

waarin W_0 het referentievermogen is (10^{-12} [W])

Alle bovenstaande formules gelden in het zogenaamde vrije veld, waar het geluid zich ongestoord kan verspreiden. In de gebouwde omgeving is dat echter zelden het geval, en is er vrijwel altijd sprake van een zogenaamd "diffuus geluidveld". Daar komt het geluid van alle kanten en kan niet worden aangegeven waar de bron zich bevindt.



Figuur 11: Diffuus geluidveld in een besloten ruimte [6]

De geluidintensiteit I is dan te bepalen op:

- Diffuus veld: $I = \frac{p_{eff}^2}{4\rho \cdot c}$ Formule 13

2.11 Equivalent geluidsdrukkniveau

De meeste soorten geluid die in de bouwpraktijk voorkomen, zoals verkeerslawaai en industrielawaai, kunnen in de tijd enorm variëren. Voor het beoordelen van dergelijk geluid moet het geluidsniveau over een langere tijd worden gemiddeld.

Het equivalent geluidsniveau is de constante waarde van het geluidsniveau dat over de beschouwde tijdsperiode T_m energetisch hetzelfde niveau geeft. Deze waarde is bijna altijd A-gewogen.

$$L_{eq} = 10 \cdot \log \left(\frac{1}{T_m} \cdot \int \frac{p_t^2}{p_0^2} \cdot dt \right) \quad \text{Formule 14}$$

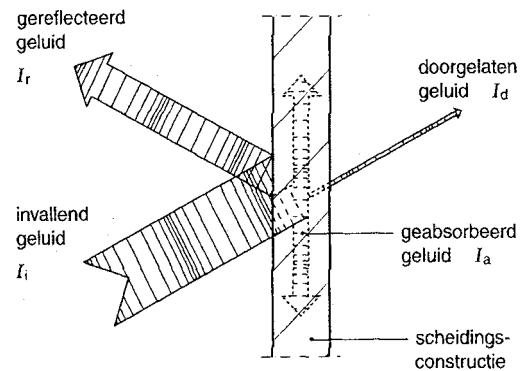
waarin

- T_m het onderzocht tijdsinterval

- p_t de momentane geluidsdruk op tijdstip t
- p_0 de referentiegeluidsdruk bij de gehoordrempel, $20 \cdot 10^{-6}$ [Pa]

Het toelaatbare equivalente geluidsdrukniveau is afhankelijk van de locatie: een woonomgeving heeft bij voorkeur een maximale L_{eq} van 55 dB(A), lde voorkeur is veel lager, net als voor scholen of kinderdagverblijven: 30 dB(A).

2.12 Absorptiecoëfficiënt, nagalmtijd, galmstraal



$$I_i = I_r + I_a + I_d \quad \text{met } I = \text{intensiteit geluid [W/m}^2\text{]}$$

Figuur 12: Geluid dat op een wand valt [1,8]

Wanneer geluid op een scheidingswand komt, treden er de volgende mechanismen op: Het grootste deel van het invallende geluid wordt gereflecteerd, een deel wordt doorgelaten en het overblijvende deel wordt door de constructie geabsorbeerd.

Voor de waarnemer aan de kant van het invallende geluid is alleen van belang hoeveel geluid er via de wand verloren gaat en in mindering kan worden gebracht op de geluidsintensiteit in die ruimte: het verschil is wat er door die wand in zijn geheel wordt geabsorbeerd, ook al wordt een deel daarvan door de wand naar de ruimte aan de andere kant doorgelaten. (Het deel dat wordt doorgelaten is ook absoluut klein, zie voorbeeld Werkboek.)

Door te normeren op het invallende geluidsintensiteit I_{inv} aan de "zendende" kant kunnen de volgende grootheden worden gedefiniëerd:

De reflectiecoëfficiënt r ,

$$r = \frac{I_{reflectie}}{I_{invallend}} \quad \text{Formule 15}$$

en het geluidaborberende gedrag van de wand kan nu worden uitgedrukt in de absorptiecoëfficiënt a als:

$$a = 1 - r \quad \text{Formule 16}$$

Bij 100% geluidsabsorptie krijgt a de waarde 1 ($r=0$, bijvoorbeeld een open raam). De absorptie coëfficiënt is frequentie afhankelijk. Voor een aantal materialen zijn deze verzameld in de volgende tabel:

materiaal	octaafband (frequentie) (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
grindbeton	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04
gasbeton 70 kg/m ²	0.14	0.19	0.24	0.32	0.41	-
akoestische pleister	0.15	0.20	0.35	0.60	0.6	0.5
spaanplaat 6.4 kg/m ² d=8; s=30	0.16	0.58	0.75	0.53	0.54	0.42
gipskarton geperforeerd d=9.5; s=100; a=30; 6% gaatjes	0.39	0.81	0.68	0.44	0.25	0.20
houten latten breed 85; tussenruimte 25; d=12; s=200; a=25	0.60	0.85	0.80	0.82	0.70	0.62
parket, gelijkmd op ondergrond	0.04	0.04	0.06	0.12	0.10	0.15
tapijt d=5met onderlaag (8mm vilt)	0.04	0.10	0.31	0.70	0.93	0.74
glas	0.1	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02
gordijn katoen, geplooid 3:1 S=50; 0.4 kg/m ²	0.15	0.45	0.96	0.91	1.06	1.02

Tabel 4: Absorptie coëfficiënten van enkele materialen

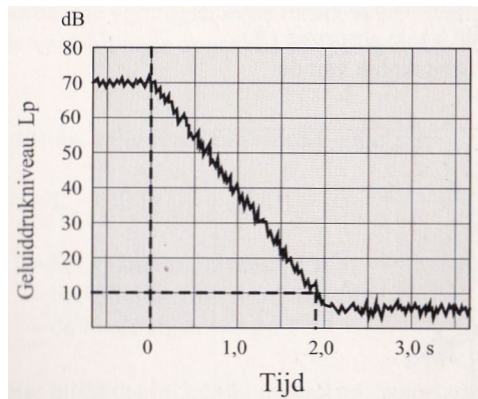
Zie voor meer materialen het A-tabellarium.

Nagalmtijd

Zolang het geluidniveau in een ruimte constant is, de zogenaamde stationaire situatie, merk je weinig van de absorptie: er is evenwicht tussen de hoeveelheden geluid die worden geproduceerd en geabsorbeerd. Pas als de geluidbron wegvalt, merk je de absorptie.

Dit is bij iedereen wel bekend: als je bijvoorbeeld een klap geeft in een ruimte, of een uitroep doet, duurt het even voor het geluid daarvan verdwenen is.

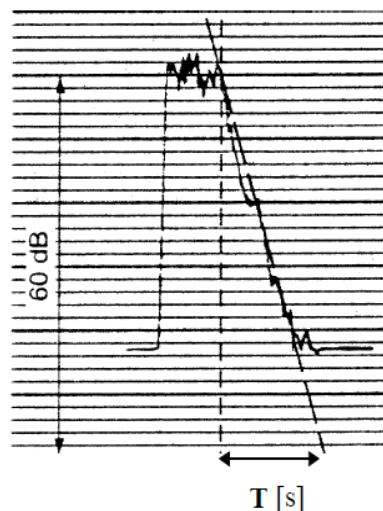
De tijd die dat duurt wordt de nagalmtijd genoemd en deze is internationaal gedefiniëerd als de tijd waarin het geluidrukniveau 60 dB is gedaald. Deze kan met een geluidmeter worden gemeten en als volgt geprint:



Figuur 13: Bepaling van de nagalmtijd [1]

In dit voorbeeld is de nagalmtijd van de ruimte 1,8 s.

In de praktijk heeft men meestal niet zo'n groot verval in het niveau: dan dient men de nagalmtijd te extrapoleren uit het eerste lineaire deel van de grafiek.



Figuur 14: Nagalmtijd indien geluid minder dan 60 dB verzwakt [1,8]

In de Nederlandse norm NEN 5077 is precies voorgeschreven hoe dit moet worden gemeten.

Galmstraal

Als er in een ruimte een geluidbron aanwezig is, kan men niet zo ver daarvan af vrij nauwkeurig de lokatie van die bron nog wel vaststellen: dan is de directe geluid overheersend. Pas op grotere afstand wordt het moeilijk om die lokatie vast te stellen: daar wordt het diffuse geluid ervaren.

De galmstraal is gedefinieerd als de afstand waar het directe en diffuse geluid even sterk zijn. De formule die kan worden afgeleid luidt:

$$R_{galm} = \sqrt{\frac{A}{16 \cdot \pi \cdot (1-a)}} \quad [\text{m}] \quad \text{Formule 17}$$

Omdat de absorptiecoëfficiënt niet voor alle frequenties gelijk hoeft te zijn, kan de galmstraal dus waarneembaar verschillen (je hoort het geluid anders).

2.13 Absorptie

Als al het geluid dat op een wand valt wordt geabsorbeerd is dat te vergelijken met een open raam: ook daar verdwijnt al het geluid uit de ruimte.

De totale absorptie A van een ruimte in $[\text{m}^2 \text{ o.r.}]$ kan met de hiervoor eerder afgeleide absorptiecoëfficiënten als volgt worden berekend:

$$A = \sum_1^i a_i \cdot S_i \quad \text{Formule 18}$$

waarin S_i het oppervlak met absorptiecoëfficiënt a_i voorstelt en gesommeerd wordt over alle omhullende scheidingsconstructies (wanden, vloer en plafond).

Voor een diffuus geluidveld kan de volgende formule voor het geluidniveau worden afgeleid:

$$L_p = L_w + 10 \cdot \log \frac{4}{A}$$

Formule 19

Hierin is A de totale absorptie in de ruimte, uitgedrukt in m^2 open raam $[\text{m}^2 \text{ o.r.}]$:

Uit deze formule volgt dat als je 2x zoveel absorptie hebt het geluidniveau met 3 dB afneemt, dus gehalveerd wordt.

Formule van Sabine

Volgens Sabine kan de nagalmtijd T van een ruimte met volume V als volgt worden berekend:

$$T = \frac{1}{6} \frac{V}{A} \quad [\text{s}] \quad \text{Formule 20}$$

3 Geluidoverdrachts mechanismen

Geluid in de gebouwde omgeving heeft meestal verschillende bronnen en kan op verschillende wijzen worden overgedragen: in bijvoorbeeld een slaapkamer kun je het geluid van auto's of ander verkeersbronnen horen, maar ook het geluid van een doorgetrokken toilet bij de burelen.

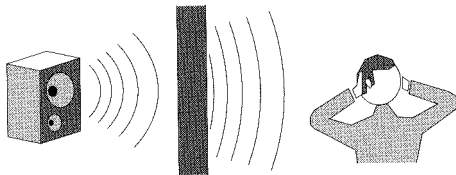
In het eerste voorbeeld vindt de geluidoverdracht overdracht plaats van lucht naar lucht, in het tweede voorbeeld vanuit een constructie naar lucht.

Deze twee vormen worden onderscheiden als luchtgeluid en contactgeluid.

3.1 Luchtgeluid

Luchtgeluid wordt vanuit een bron direct op de lucht overgedragen. Zulke geluidbronnen zijn o.a.:

- de menselijke stem
- een blaas- of snaar-instrument (bijv. fluit of gitaar)
- een radio

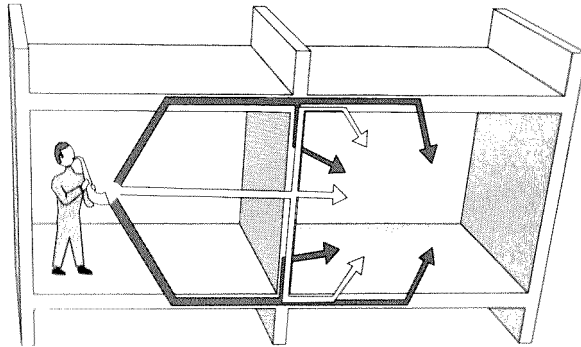


Figuur 15: luchtgeluid: bron in een aangrenzende ruimte [4,6]

De geluidsoverdracht van de ruimte waarin het geluid wordt geproduceerd naar de naastgelegen ruimte kan worden beschreven met de volgorde:

bron > lucht > constructie > lucht

In een gebouw kan dit soort geluid zich als volgt voortzetten:
id.



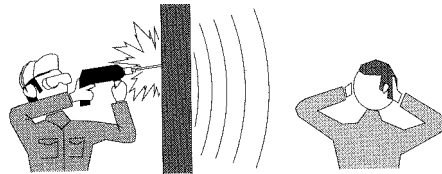
Figuur 16: Overdrachtswegen van luchtgeluid in een gebouw [4,6]

3.2 Contactgeluid

Contactgeluid is afkomstig van een bron die direct hoorbaar een constructie in trilling brengt.

Voorbeelden van contactgeluidbronnen zijn:

- lopen over een vloer (al dan niet met naaldhakken)
- toiletreservoir
- ventilatie unit
- lift

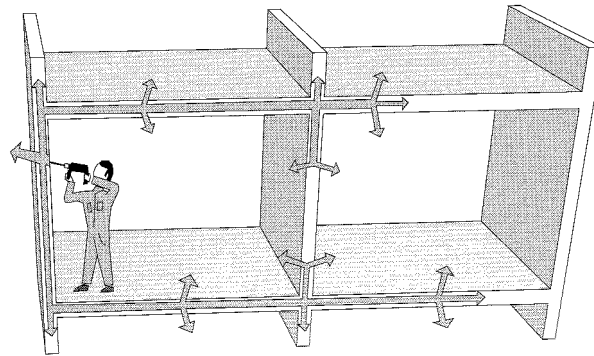


Figuur 17: contactgeluid: bron in een aangrenzende ruimte [4,6]

De geluidsoverdracht kan hier worden beschreven met:

bron > constructie > lucht

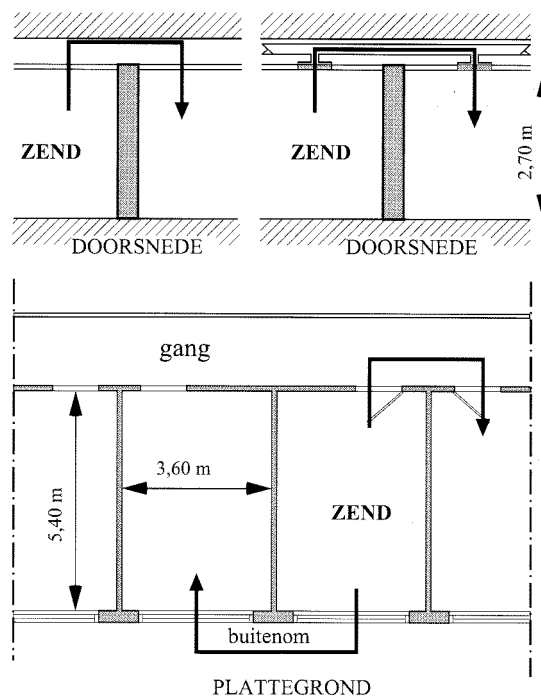
In een gebouw kan dit soort geluid zich als volgt voortzetten:



Figuur 18: Overdrachtswegen van contactgeluid in een gebouw [4,6]

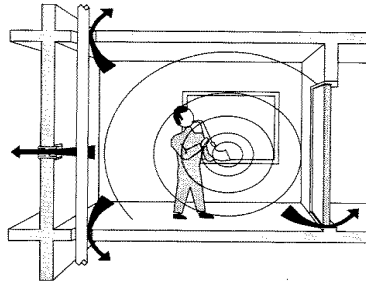
3.3 Overige begrippen

Bij zowel luchtgeluid als contactgeluid kan het geluid via de constructies in een andere ruimte terechtkomen. Het geluid dat via de vloeren en wanden wordt overgedragen heet flankerend geluid. Het geluid dat door bijvoorbeeld een liftschaft of gemeenschappelijk kanaal wordt overgedragen heet omloopgeluid.



Figuur 19: Overdrachtswegen van omloopgeluid in een gebouw [4,6]

Dit kan ook nog op andere manieren in een andere ruimte terecht komen, bijvoorbeeld via een verlaagd plafond, de buitenlucht of een atrium:



*Figuur 20:
Geluidoverdracht [4,6]*

En het geluid kan zich gewoon via lekken in de constructie, rondom bijvoorbeeld een doorgaand kanaal of kozijn voortplanten.

4 Geluidisolatie definities

Geluidisolatie is een eigenschap van een scheidingsconstructie: bijvoorbeeld een wand scheidt een kantoor en een spreekkamer in een school: gesprekken worden anders gehoord dan het verschuiven van een stoel.

Voor het beoordelen van de geluidwering van de twee hier genoemde voorbeelden zijn verschillende te onderscheiden overdrachtsmechanismen welke apart worden uitgewerkt.

4.1 Luchtgeluidisolatie

De luchtgeluidisolatie is een eigenschap van een (al dan samengestelde) constructie tussen een bron en een ontvangruimte, bijvoorbeeld van de buitenwanden van een slaapkamer tegen het geluid van auto's of ander verkeer, of tussen twee slaapkamers in dezelfde woning. De bepaling van de rekenwaarde van deze wanden is echter verschillend.

4.1.1 Binnenwandconstructies

Internationaal is R de aanduiding voor een weerstand, en zo ook voor de geluidwering van een wandconstructie.

Voor de geluidwerendheid R van een wand geldt de volgende definitie:

$$R = 10 \cdot \log \frac{I_{\text{invallend}}}{I_{\text{doorlaat}}} \quad [\text{dB}] \quad \text{Formule 21}$$

Let op: het is dus een verhouding van de intensiteit aan weerszijden van de wand.
 Deze R kan in een laboratorium worden bepaald in een speciaal gebouwde meetopstelling.
 Daarbij wordt in het zendvertrek een sterke geluidbron opgesteld die geluid over een groot frequentiegebied maakt. Deze methode is internationaal gestandaardiseerd.
 De intensiteit kan worden omgerekend naar een geluidsdrukniveau en nagalmtijd, waarna de de formule er iets anders komt uit te zien:

$$R = L_z - L_o + 10 \cdot \log \frac{S}{A} \quad [\text{dB}] \quad \text{Formule 22}$$

hierin is

- L_z het geluidsdrukniveau in de zendruimte [dB]
- L_o het geluidsdrukniveau in de ontvangruimte [dB]
- S de oppervlakte van de constructie [m^2]
- A de totale absorptie in de ontvangruimte in m^2 open raam

Deze formule staat ook in de Nederlandse norm NEN 5077 welke is aangewezen door het Bouwbesluit. De grootheid R kan zowel betrekking hebben het gehele gemeten geluidsspectrum als van een octaafband. Dat laatste wordt dan meestal in een index aangegeven, bijv. R_{125} .

Voor normeringsdoeleinden is deze formule aangepast naar de grootheid D_{nT} welke uitgaat van de nagalmtijd (er is een directe relatie met de absorptie middels de formule van Sabine).

$$D_{nT} = L_z - L_o + 10 \cdot \log \frac{T}{T_0} = R + 10 \cdot \log \left(\frac{0,16 \cdot V}{T_0 \cdot S} \right) \quad [\text{dB}] \quad \text{Formule 23}$$

hierin is

- D_{nT} het genormeerde luchtgeluidsdrukniveau verschil van de constructie [dB]
- T de nagalmtijd in de ontvangruimte [s]
- T_0 de referentie nagalmtijd 0,5 [s]

Volgens NEN5077 moet de D_{nT} in de octaafbanden i in [125, 250, 500, 1000 , 2000] Hz worden bepaald.

De A-gewogen geluidwering van een wand is dan

$$D_{nT,A} = -10 \cdot \log \sum_{i=1}^5 10^{-(D_{nT,i} - C_i)/10} \quad [\text{dB(A)}] \quad \text{Formule 24}$$

hierin is

- 1) $D_{nT,i}$ de geluidwering van octaafband i
- 2) C_i de A-gewogen toetswaarde van octaafband i uit:

125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
--------	--------	--------	---------	---------

-21	-14	-8	-5	-4
-----	-----	----	----	----

Vervolgens kan de $D_{nT,A,k}$ worden berekend met:

$$D_{nT,A,k} = D_{nT,A} - 10 \cdot \log\left(\frac{0,16 \cdot V}{T_0 \cdot S}\right) \quad [\text{dB}] \quad \text{Formule 25}$$

Volgens NEN5077:2006 art.5.4 geldt voor S :

$$S \geq \frac{0,16 \cdot V}{2,5 \cdot T_0} = 0,128 \cdot V \quad [\text{m}^2] \quad \text{Formule 26}$$

4.1.2 Buitenwandconstructies

Voor buitenwandconstructies is de fysieke weerstand R uiteraard hetzelfde. Om deze in de praktijk te kunnen meten is deze formule aangepast naar de grootheid G_i welke ook uitgaat van de nagalmtijd maar daarnaast ook nog een correctiefactor heeft.

$$G_i = L_{bu} - L_{bi} + 10 \cdot \log \frac{T}{T_0} - C_r \quad [\text{dB}] \quad \text{Formule 27}$$

hierin is

L_{bu} het geluidrukniveau buiten op 2 m voor de wand [dB]

L_{bi} het geluidrukniveau in de ontvangruimte [dB]

T de nagalmtijd in de ontvangruimte [s]

T_0 de referentie nagalmtijd (0,5 [s])

C_r een correctiefactor voor de reflectie buiten tegen de gevel en de vorm.

De grootheid G moet per genormeerde octaafband i worden bepaald.

Per octaafband moet over alle deelopervlakten p de G_i worden berekend volgens formule 27.

De gevelgeluidwering G is het A-gewogen totaal over alle octaafbanden i. De NEN 5077 schrijft de middenfrequentiebanden 125, 250, 500, 1000 en 2000 Hz voor.

$$G_A = 10 \cdot \log \sum_{i=1}^5 10^{(G_i - C_i)/10} \quad \text{Formule 28}$$

hierin is

G_{ii} de geluidwering van octaafband i

C_i de A-weging van octaafband i

De karakteristieke gevelgeluidwering $G_{A,k}$ volgt uit:

$$G_{A,k} = G_A - 10 \cdot \log \frac{V_r}{6 \cdot T_0 \cdot S_{r,u}} \quad \text{Formule 29}$$

waarin

V_r het volume van die ruimte is

$S_{r,u}$ de oppervlakte van de uitwendige scheidingsconstructie in die ruimte

T_0 de referentie nagalmtijd 0,5 [s]

Het resultaat moet op het dichtst bijgelegen gehele getal worden afgerond.

4.2 Massawetten

Met de definities die hiervoor zijn gegeven kan de geluidisolatie van een constructie worden gemeten. Dat is handig als een gebouw er staat, maar bij het ontwerpen van een gebouw wil je graag van tevoren iets kunnen voorspellen over de te verwachten kwaliteit.

Voor massieve constructies zijn er rekenformules ontwikkeld:

enkelvoudige wand

Voor een wand die uit één materiaal bestaat is de volgende formule voor de geluidsisolatie af te leiden:

$$R = 17,5 \cdot \log m + 17,5 \cdot \log \frac{f}{500} + 3 \quad [\text{dB}] \quad \text{Formule 30}$$

waarin

m de massa van de wand in $[\text{kg}/\text{m}^2]$

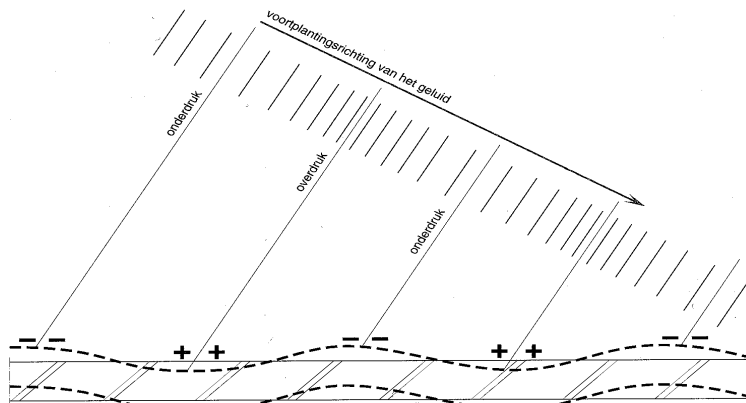
f de frequentie [Hz]

In de praktijk gebruikt men de R bij ongeveer 500 Hz:

$$R_{500} = 17,5 \cdot \log m + 3 \quad [\text{dB}] \quad \text{Formule 31}$$

Hoewel dit vaak een redelijke indicatie kan geven, kunnen er in de praktijk evenwel grote afwijkingen met gemeten waarden worden gevonden.

Een van de redenen is het zogenaamde coïncidentie-effect dat kan optreden: bij niet loodrechte inval van het geluid, maar schuin op de wand, kunnen er lopende golven in de wand worden opgewekt:

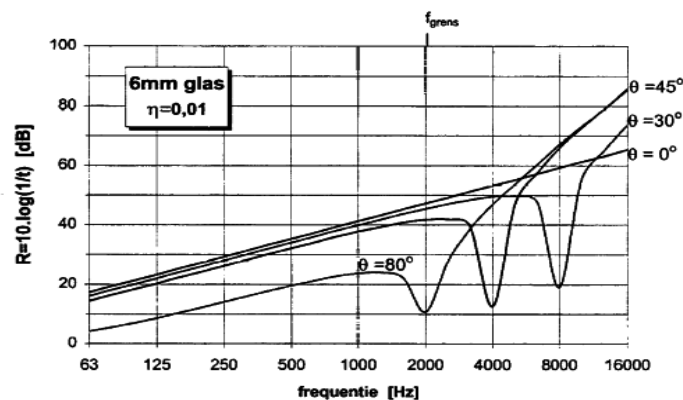


Figuur 21: Opwekking van een gedwongen buiggolf door invallende vlakke lopende golf [1,8]

Door de geluidsgolven raakt de oppervlakte in een gedwongen trilling met een frequentie f_c van:

$$f_c = \frac{64 \cdot 10^{-3}}{\sin^2(\theta) \cdot d \cdot \sqrt{\frac{K}{\rho}}} \quad \text{Formule 32}$$

Voorbeeld voor enkel glas [1,4,6,8 enz.]:



Het is beter om dit effect buiten het hoorbare geluid te houden, daarom streven om deze frequentie hoger dan 3000 Hz te hebben.

spouwwand

Voor een spouwwand die uit 2 lagen bestaat met daartussen een luchtlaag, is afgeleid:

$$R = 10 \cdot \log \left[\left(1 - \frac{(2\pi f)^2 \cdot (m_1 + m_2) \cdot C}{2} \right)^2 + \frac{\pi f}{\rho c} \cdot (m_1 + m_2 + (\rho c)^2 \cdot C - (2\pi f)^2 \cdot m_1 \cdot m_2 \cdot C)^2 \right]$$

Formule 33

waarin

m_1 de massa van de eerste wand in $[\text{kg}/\text{m}^2]$

m_2 de massa van de tweede wand in $[\text{kg}/\text{m}^2]$

C de slaphed van de luchtspouw $[\text{m}^3/\text{N}]$

ρc de specifieke akoestische golfweerstand (voor lucht 410 $[\text{kg}/\text{m}^2\text{s}]$)

f de frequentie $[\text{Hz}]$

Dit is een ingewikkelde formule die op het eerste oog niet zoveel zegt. Daarom heeft men hulpgrootheden gedefinieerd:

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{(m_1 + m_2)}{(m_1 \cdot m_2 \cdot C)}} = 60 \cdot \sqrt{\frac{(m_1 + m_2)}{(m_1 \cdot m_2 \cdot B)}} \quad [\text{Hz}] \quad \text{Formule 34}$$

en

$$\gamma = \frac{(m_1 + m_2)^2}{(2 \cdot m_1 \cdot m_2)} \quad \text{Formule 35}$$

Hierin is

B de breedte van de luchtsponw in [m]

f_r is de resonantiefrequentie van de sponw bij loodrechte geluidinval op de wand.

Met deze hulpgrootheden kan de geluidisolatie R worden herschreven tot:

$$R = 10 \cdot \log \left[\left(1 - \frac{\gamma \cdot f^2}{f_r^2} \right)^2 + \frac{(m_1 + m_2)^2}{130^2} \cdot f^2 \cdot \left(1 - \frac{f^2}{f_r^2} \right)^2 \right] \quad [\text{dB}] \quad \text{Formule 36}$$

De geluidisolatie bij de resonantie-frequentie is dan ca:

$$R_r = 20 \cdot \log \left(\frac{m_1}{2 \cdot m_2} + \frac{m_2}{2 \cdot m_1} \right) \quad [\text{dB}] \quad \text{Formule 37}$$

4.3 Contactgeluidisolatie

De contactgeluidisolatie wordt met een hamerapparaat bepaald. Dat apparaat hamert op een genormaliseerde wijze op een constructie en in een ontvangruimte wordt dan het geluidniveau gemeten. Uit deze meting kan het genormeerde contactgeluidniveau L_{nT} worden bepaald met de formule:

$$L_{nT} = L_{co} - 10 \cdot \log \frac{T}{T_0} \quad [\text{dB}] \quad \text{Formule 38}$$

hierin is

L_{co} het contactgeluiddrukniveau in de ontvangruimte [dB]

T de nagalmtijd in de ontvangruimte [s]

T_0 de referentie nagalmtijd 0,5 [s]

Het A-gewogen contactgeluidniveau $L_{nT,A}$ volgt uit sommatie over alle octaafbanden i in [125,250,500,1000,2000] volgens de formule

$$L_{nT,A} = 10 \cdot \log \sum_{i=1}^5 10^{(L_{nT,i} + H_i)/10} \quad \text{Formule 39}$$

met

$L_{nT,i}$ het genormeerde contactgeluidniveau in octaafband i

H_i de herleidingsfactor, voor alle octaafbanden is die -15 dB(A)

Het resultaat moet op het dichtst bijgelegen gehele getal worden afgerond.

Bovenstaande formules zijn gebaseerd op een apparaat met stalen hamers. Indien er hamers met andere koppen zijn gebruikt, moeten de berekeningen worden gecorrigeerd, zie de NPR5079.

4.4 Installatiegeluid

Het geluid dat veroorzaakt wordt door installaties in een gebouw, zoals bijv. ventilatoren, toiletten en liften, geeft geluid afhankelijk van de bouwwijze en hoe het geplaatst is. Die kan alleen dus alleen in de praktijk echt gemeten worden.

Het genormeerde geluidniveau kan op dezelfde wijze worden bepaald als het contactgeluidniveau hiervoor, maar ipv van het met het hamerapparaat opgewekte geluid, meet men dan dat van de installatie wanneer die in werking is.

$$L_{I;nT} = L_I - 10 \cdot \log \frac{T}{T_0} \quad [\text{dB}] \quad \text{Formule 40}$$

hierin is

$L_{I;nT}$ het genormeerde installatiegeluiddrukniveau in de ontvangruimte [dB]

L_I het installatiegeluiddrukniveau in de ontvangruimte [dB]

T de nagalmtijd in de ontvangruimte [s]

T_0 de referentie nagalmtijd 0,5 [s]

Ook voor deze waarde kan een A-gewogen ééngetalswaarde $L_{I;A}$ worden berekend. De formule is

$$L_{I;A} = 10 \cdot \log \sum_{i=1}^5 10^{(L_{I;nT,i} + W_i)/10} \quad [\text{dB(A)}] \quad \text{Formule 41}$$

hierin is

3) $L_{I;nT,i}$ het geluidniveau van octaafband i volgens formule 40

4) W_i de A-gewogen weging van octaafband i volgens:

125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
-16	-9	-3	0	+1

Het resultaat moet op het dichtstbijgelegen gehele getal worden afgerond.

Het karakteristieke A-gewogen installatiegeluidniveau van een ruimte is volgens NEN5077

$$L_{I;A;k} = L_{I,A} + 5 \cdot \log \left(\frac{V}{V_0} \right) \quad [\text{dB(A)}] \quad \text{Formule 42}$$

waarin

V het volume van de Ontvangruimte [m^3]

V_0 de referentiewaarde 25 [m^3]

Indien een Verblijfsgebied via meerdere ruimten met het installatiegeluid wordt belast, volgt het karakteristieke A-gewogen installatiegeluidniveau uit

$$L_{I;A;k} = 10 \log \cdot \sum_{r=1}^n \left(\frac{V_r}{V_{vg}} \cdot 10^{L_{I;A;r}/10} \right) + 5 \cdot \log \left(\frac{V_{vg}}{V_0} \right)$$

waarin

V_r het volume van ruimte r in [m^3]

V_{vg} het volume van het verblijfsgebied in [m^3]

5 Wettelijke eisen

Geluid heeft een grote invloed op de gezondheid: er is daarom veel regelgeving op dit gebied ontstaan. Het gaat te ver om al deze Wet- en Regelgeving hier te behandelen, volstaan wordt met een (beperkte) behandeling van de van toepasbaar zijnde delen in het Bouwbesluit.

Het Bouwbesluit stelt op 2 manieren eisen aan geluid in gebouwen. Allereerst zijn dat isolatie-eisen aan constructies in hoofdstuk 3, en daarnaast aan het bouwproces in hoofdstuk 8.

De eerste artikelen in het hoofdstuk 3 over Gezondheid in het Bouwbesluit bevatten een aantal geluidstechnische eisen aan bouwconstructies bij nieuwe gebouwen.

BRISwarenhuis

Zoeken

Bouwbesluit 2012

Filter Bouwbesluit

Bibliotheek

- Opschrift
- Aanhef
- Hoofdstuk 1. Algemene bepalingen
- Hoofdstuk 2. Technische bouwvoorschriften uit het oogpunt van veiligheid
- Hoofdstuk 3. Technische bouwvoorschriften uit het oogpunt van gezondheid**
 - Afdeling 3.1. Bescherming tegen geluid van buiten, nieuwbouw
 - Afdeling 3.2. Bescherming tegen geluid van installaties, nieuwbouw
 - Afdeling 3.3. Beperking van galm, nieuwbouw
 - Afdeling 3.4. Geluidwering tussen ruimten, nieuwbouw
 - Afdeling 3.5. Wering van vocht
 - Afdeling 3.6. Luchtverversing
 - Afdeling 3.7. Spuivoorziening
 - Afdeling 3.8. Toevoer van verbrandingslucht en afvoer van rookgas
 - Afdeling 3.9. Beperking van de aanwezigheid van schadelijke stoffen en ioniserende straling
 - Afdeling 3.10. Bescherming tegen ratten en muizen
 - Afdeling 3.11. Daglicht
- Hoofdstuk 4. Technische bouwvoorschriften uit het oogpunt van bruikbaarheid
- Hoofdstuk 5. Technische bouwvoorschriften uit het oogpunt van energiezuinigheid en milieu, nieuwbouw
- Hoofdstuk 6. Voorschriften inzake installaties

Hoofdstuk 3. Technische bouwvoorschriften uit het oogpunt van gezondheid

Afdeling 3.1. Bescherming tegen geluid van buiten, nieuwbouw

Artikel 3.1. Aansturingsartikel

1. Een te bouwen bouwwerk biedt in een verblijfsgebied bescherming tegen geluid van buiten.
2. Voor zover voor een gebruiksfunctie in tabel 3.1 voorschriften zijn aangewezen, wordt voor die gebruiksfunctie aan de in het eerste lid gestelde eis voldaan door toepassing van die voorschriften.
3. Het eerste lid is niet van toepassing op de gebruiksfuncties waarvoor in tabel 3.1 geen voorschrift is aangewezen.

Toon aansturingstabel (Tabel 3.1)

Artikel 3.2. Geluid van buiten

Toon leden van toepassing en grenswaarden voor artikel 3.2

Een uitwendige scheidingsconstructie van een verblijfsgebied heeft een volgens NEN 5077 bepaalde karakteristieke geluidwering met een minimum van 20 dB.

Artikel 3.3. Industrie-, weg- of spoorweglawaai

Toon leden van toepassing en grenswaarden voor artikel 3.3

1. Bij een krachtens de Wet geluidhinder of de Tracéwet vastgesteld hogere-waardenbesluit is de volgens NEN 5077 bepaalde karakteristieke geluidwering van een uitwendige scheidingsconstructie van een verblijfsgebied niet kleiner dan het verschil tussen de in dat besluit opgenomen hoogst toelaatbare geluidsbelasting voor industrie-, weg- of spoorweglawaai en 35 dB(A) bij industriellawaai, of 33 dB bij weg- of

Zoals te zien is in deze schermafdruck zijn er eisen gesteld aan de geluidwerendheid van uitwendige scheidingsconstructies (buitenwanden, daken enz.), contactgeluid van installaties, de nagalmtijd in een gemeenschappelijk trappenhuis in een woongebouw en aan geluidisolatie van andere aangrenzende percelen, bijv. een industriehal.

5.1 Buitengevel geluidwerendheid $G_{A,k}$

Afdeling 3.1 van het huidige Bouwbesluit 2012 stelt niet voor alle gebruiksfuncties eisen aan de gevelgeluidwering:

Aansturingstabel (Tabel 3.1)

gebruiksfunctie		leden van toepassing																	
		artikel	geluid van buiten					industrie-, weg- of spoorweglawaai				luchvaartlawaai				verbouw		tijdelijke bouw	
		lid	3.2	3.3				3.4				3.5			3.6				
1	Woonfunctie	*	1	2	3	4	5	1	2	3	4	*	1	2					
	a woonwagen	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	-	-	-	-	-		
	b andere woonfunctie	*	1	-	3	4	5	1	2	3	4	*	1	2	-	-	-		
2	Bijeenkomstfunctie																		
	a voor kinderopvang	*	1	2	3	4	5	1	2	3	4	*	1	2	-	-	-		
	b andere bijeenkomstfunctie	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
3	Celfunctie	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
4	Gezondheidszorgfunctie	*	1	2	3	4	5	1	2	3	4	*	1	2	-	-	-		
5	Industriefunctie	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
6	Kantoorfunctie	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
7	Logiesfunctie	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
8	Onderwijsfunctie	*	1	-	3	4	5	1	2	3	4	*	1	2	-	-	-		
9	Sportfunctie	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
10	Winkelfunctie	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
11	Overige gebruiksfunctie	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
12	Bouwwerk geen gebouw zijnde	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		

Alleen woonfuncties, bijeenkomstfunctie voor kinderopvang(kinderdagverblijven ed), onderwijsfuncties en gezondheidszorgfuncties moeten tegen buitenlawaai beschermd worden. Het is voor een kantoormedewerker uiteraard wel prettig als het op kantoor niet te luidruchtig is door voorbijvliegende vliegtuigen, maar het hoeft dus niet. De wetgever wil ook kantoren op bouwlocaties, industrieterreinen enz. mogelijk maken.

De wetgever heeft de grootheid $G_{A,k}$ zoals die wordt gedefinieerd in de NEN 5077 aangewezen als beoordelingsgrootheid waarmee de prestatie van de eis moet worden aangetoond. De $G_{A,k}$ van een uitwendige scheidingsconstructie van een VG in de in de vorige tabel aangewezen gebruiksfuncties moet voldoen aan:

	maximum binnenniveau [dB]	
	VG	bedgebid *
Industrielawaai	35	30
Weg- en Railverkeer	33	28

* een bedgebied kan voorkomen bij kinderopvang en gezondheidszorgfunctie

Voor het bepalen van de van toepassing zijnde gevelbelasting aan de buitenzijde wordt hier verwezen naar andere bronnen: zo kan de in rekening te brengen gevelbelasting al dan niet worden verhoogd met 5 dB(A) of meer.

Dit kan het geval zijn bij Industrie-, Weg- en/of Railverkeerslawaaai. Vliegtuiglawaai moet op een andere manier worden beoordeeld, dat wordt hier niet verder behandeld.

Ongeacht van de werkelijke geluidbelasting op een gevel van een Verblijfsgebied is er een minimum eis voor de $G_{a,k}$ van 20 dB(A). Voor een Verblijfsruimte is de eis maximaal 2 dB(A) lager (art. 3.3 lid 5).

De controle van de gevelwerendheid is dat aangetoond moet worden dat de berekende $G_{a,k}$ aan de minimum-eis moet voldoen. Bij de bouwaanvraag is dat met een berekening, en bij uiteindelijke oplevering middels een meting ter plekke.

5.2 Bescherming tegen installatiegeluid

Afdeling 3.2 van het huidige Bouwbesluit 2012 stelt voor alle gebruiksfuncties eisen aan het geluid van installaties.

De aansturingstabel van art. 3.7 is als volgt:

gebruiksfunctie	leden van toepassing				grenswaarden
	aangrenzend perceel	zelfde perceel	verbouw	tijdelijke bouw	zelfde perceel
artikel	3.8	3.9	3.10	3.11	3.9
lid	*	1 2	*	*	2
1 Woonfunctie	*	1 2	*	*	30
2 Bijeenkomstfunctie					
a voor kinderopvang	*	1 2	*	*	35
b andere bijeenkomstfunctie	*	1 -	*	*	-
3 Celfunctie	*	1 -	*	*	-
4 Gezondheidszorgfunctie	*	1 -	*	*	-
5 Industriefunctie	*	1 -	*	*	-
6 Kantoorfunctie	*	1 -	*	*	-
7 Logiesfunctie	*	1 -	*	*	-
8 Onderwijsfunctie	*	1 2	*	*	35
9 Sportfunctie	*	1 -	*	*	-
10 Winkelfunctie	*	1 -	*	*	-
11 Overige gebruiksfunctie	*	1 -	*	*	-
12 Bouwwerk geen gebouw zijnde	*	1 -	-	-	-

Gebouwgebonden installaties van geen enkele gebruiksfunctie mogen in een Verblijfsgebied van aangrenzend perceel een geluidsniveau van meer dan 30 dB veroorzaken.

En een toilet mag dat ook niet binnen hetzelfde perceel veroorzaken.

Verder zijn er voor enkele gebruiksfuncties eisen gesteld aan het geluid van andere installaties in hetzelfde gebouw op het eigen perceel zoals ventilatoren die in een Verblijfsgebied van een woonfunctie maximaal 30 dB mag veroorzaken en in een Kinderdagverblijf of onderwijsgebouw maximaal 35 dB. Bij overige Gebruiksfuncties is dat niet beperkt.

5.3 Beperking van galm

Afdeling 3.3 van het huidige Bouwbesluit 2012 stelt voor alleen de besloten gemeenschappelijke verkeersruimte in een woongebouw eisen aan de maximale nagalmtijd.

In de frequentiebanden 250, 500 1000 en 2000 Hz is moet de totale absorptie tenminste $1/8 V \text{ m}^2$ o.r. hebben, met V de inhoud van die gemeenschappelijke verkeersruimte.

5.4 Geluidwering tussen ruimten

Afdeling 3.4 van het huidige Bouwbesluit 2012 stelt voor alle gebruiksfuncties eisen aan het de geluidwering tussen (Verblijfs-)ruimten van verschillende Gebruiksfuncties op hetzelfde of een ander perceel.

De eis aan het directe geluid wordt gesteld middels de de eis aan de karakteristieke lucht-geluidniveauverschil volgens NEN5077. de eis voor contactgeluid middels het gewogen contact-geluidniveau volgens NEN 5077.

De aansturingstabel van art. 3.15 is als volgt:

Aansturingstabel (Tabel 3.15)

gebruiksfunctie					leden van toepassing													grenswaarden								
					ander perceel				verschillende gebruiksfuncties op hetzelfde perceel							verblijfsruimten van dezelfde woonfunctie		verbouw		tijdelijke bouw		ander perceel		verschillende gebruiksfuncties op hetzelfde perceel		
artikel					3.16				3.17							3.17a			3.18	3.19	3.16		3.17			
lid					1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	*	*			3	4	3	4
																					[dB]		[dB]			
1 Woonfunctie																										
a woonwagen					-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
b in een woongebouw					1	2	3	4	1	2	3	4	-	6	7	1	2	3	*	*	*	*	54	59	54	59
c andere woonfunctie					1	2	3	4	1	2	3	4	-	-	-	1	2	3	*	*	*	*	54	59	54	59
2 Bijeenkomstfunctie					1	2	3	4	1	2	3	4	-	-	-	-	-	-	*	*	*	*	59	64	59	64
3 Celfunctie					1	2	3	4	1	2	3	4	-	-	-	-	-	-	*	*	*	*	59	64	59	64
4 Gezondheidszorgfunctie					1	2	3	4	1	2	3	4	-	-	-	-	-	-	*	*	*	*	59	64	59	64
5 Industriefunctie																										
a lichte industriefunctie					-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
b andere industriefunctie					1	2	3	4	1	2	3	4	-	-	-	-	-	-	*	*	*	*	59	64	59	64
6 Kantoorfunctie					1	2	3	4	1	2	3	4	5	-	-	-	-	-	*	*	*	*	59	64	59	64
7 Logiesfunctie					1	2	3	4	1	2	3	4	5	-	-	-	-	-	*	*	*	*	59	64	59	64
8 Onderwijsfunctie					1	2	3	4	1	2	3	4	-	-	-	-	-	-	*	*	*	*	59	64	59	64
9 Sportfunctie					1	2	3	4	1	2	3	4	5	-	-	-	-	-	*	*	*	*	59	64	59	64
10 Winkelfunctie					1	2	3	4	1	2	3	4	5	-	-	-	-	-	*	*	*	*	59	64	59	64
11 Overige gebruiksfunctie					1	2	3	4	1	2	3	4	5	-	-	-	-	-	*	*	*	*	59	64	59	64
12 Bouwwerk geen gebouw zijnde					-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Artikel 3.16 heeft betrekking op ruimten tussen 2 verschillende percelen, en art. 3.17 tussen verschillende gebruiksfuncties en/of ruimten op hetzelfde perceel. De hier gestelde eisen zijn te verdelen in eisen aan het directe geluid en het contactgeluid.

Direct geluid

Het volgens NEN 5077 bepaalde karakteristieke lucht-geluidniveauverschil voor de geluidsoverdracht van een besloten ruimte naar een ander perceel is:

besloten ruimte in VG	≥ 52 dB
overige besloten ruimte in woonfunctie	≥ 47 dB

Het karakteristieke lucht-geluidniveauverschil voor de geluidsoverdracht van een verblijfsruimte naar een andere verblijfsruimte van dezelfde woonfunctie is niet kleiner dan 32 dB.

Contactgeluid

Het volgens NEN 5077 bepaalde gewogen contact-geluidniveau voor de geluidsoverdracht is ten hoogste:

van een besloten ruimte van	naar een besloten ruimte van een aangrenzende woonfunctie in		naar overige gebruiksfunctie
	Verblijfsgebied	Niet-verblijfsgebied	Verblijfsgebied
– woonfunctie:	54 dB	59 dB	54 dB
– overige gebruiksfunctie	59 dB	64 dB	59 dB

De eis geldt niet voor een naastliggende berging van een woonfunctie.

6 Geluidwering buitengevels

Geluidwering heeft het doel om een ruimte te beschermen tegen ongewenst geluid van buiten die ruimte: bijvoorbeeld een slaapkamer tegen het geluid van auto's of ander verkeer, maar ook tegen het geluid van een doorgetrokken toilet bij de burens.

Bij het ontwikkelen van een gebouw is het daarom wel handig als we van tevoren zodanig ontwerpen dat we na realisatie en oplevering van dat gebouw ook een gebouw hebben dat voldoet aan de wensen van de gebruiker en eisen van de wet.

Dit heeft geleid tot het vak van akoestisch adviseur die bij elk groter gebouw een taak krijgt.

Voor bouwkundigen zijn er veel hulpmiddelen ontwikkeld die gebruikt kunnen worden bij het bouwproces, zoals bijvoorbeeld allerlei SBR- en ISSO-publicaties maar ook een praktijkrichtlijn de NPR5070.

6.1 Berekening van de gevelgeluidwering

De geluidwering van een gevelconstructie moet worden bepaald volgens de NEN 5077, "Geluidwering, bepalingmethoden", maar omdat dat een meetmethode is en het om een nog te bouwen gebouw gaat, is dat bij het ontwerpen van een nieuw gebouw niet bruikbaar. Voor het maken van berekeningen is er daarom een rekenvoorschrift gegeven. Hierin kunnen de in een laboratorium per octaafband bepaalde geluidweringsgetallen R voor een materiaal maar ook voor complete constructies worden gebruikt.

De geluidwering moet volgens de NEN 5077 over de middenfrequentiebanden 125, 250, 500, 1000 en 2000 Hz worden bepaald.

Er zijn veel verzamelingen van dergelijke laboratorium metingen. In de volgende tabel zijn er een paar weergegeven:

Tabel 5: Laboratorium metingen geluidisolatie van enkele bouwconstructies [4,6]

Geluidweringsgetallen	Octaafband middenfrequentie [Hz]				
	125	250	500	1000	2000
Omschrijving constructie					
plattendak Houten dakbeschot- isolatie/bitumen dakbedekking	16	25	29	24	30
idem met 30 mm grind erop	21	27	27	29	34
100 mm beton/iso/dakbed. 225 kg/m ²	36	39	44	50	55
hellend pannendak: gordingenkap 10 kg/m ² dakspouw 30-70 mm	20	20	26	33	40
pannendak met geïsoleerd beschot min.wol 16 kg/m ² , sporenkap 15-25 kg/m ²	15	28	38	43	46
staalplaat 1 mm	19	23	29	32	36
7 mm	33	38	39	40	30
spaanplaat 16 mm	14	18	22	26	20
36 mm	22	24	27	24	29
Dubbel glas 4-6-8 mm	25	24	27	32	32
id gasgevuld	24	22	30	39	32

Van elke ruimte die deel uitmaakt van een Verblijfsgebied (dus ook niet-Verblijfsruimten die in dat Verblijfsgebied liggen) per octaafband de de partiele geluidwering G_i bepaald worden.

Eerst wordt de R_i -waarde per octaafband berekend met

$$R_i = -10 \cdot \log \left[\frac{1}{S} \left(\sum_{j=1}^n S_j \cdot 10^{-R_{i,j}/10} + 10 \cdot 10^{-D_{n,e}/10} \right) + K \right] \quad \text{Formule 43}$$

hierin is

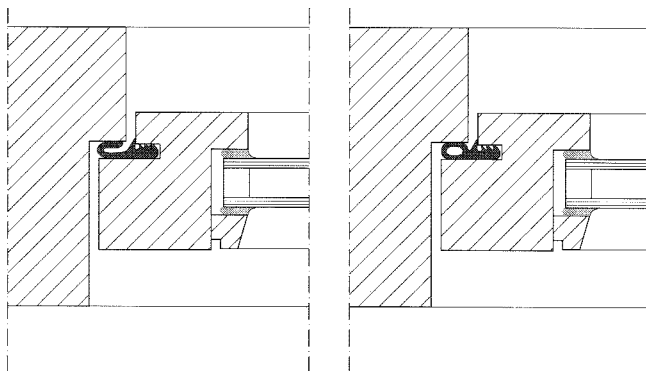
- R_j de geluidisolatie en
- S_j de oppervlakte van deelwand j
- S de totale oppervlakte van alle deelwanden n
- K een klierterm
- $D_{n,e}$ een genormeerde isolatiewaarde van een ventilatierooster. Deze worden in opdracht van een fabrikant gemeten in een laboratorium. Deze zijn meestal te vinden in de productspecificaties van het rooster.

De kierterm is afhankelijk van de afwerking van de randen van het raam: deze zijn afhankelijk van het soort profiel dat gebruikt wordt.

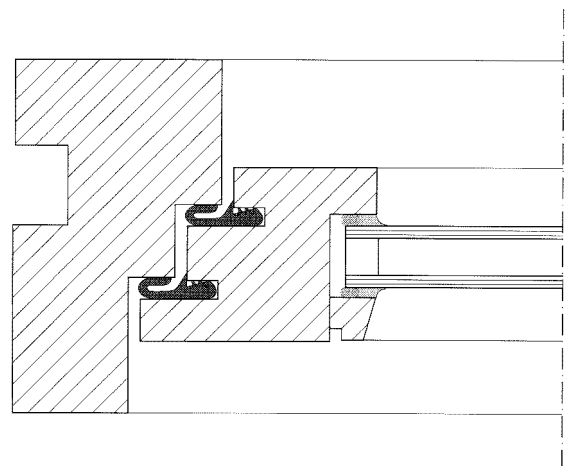
Zie de volgende tabel voor enkele karakteristieke grootheden van de kierterm:

Tabel 6: Kierterm van enkele gevelopeningen

Kieren	Kierterm K
Vast raam	10^{-6}
Raam met dubbele kierdichting	$10^{-4} \text{ á } 10^{-5}$
Enkele dichting met – buisprofiel – lip profiel	$10^{-4} \text{ á } 3 \cdot 10^{-5}$ $3 \cdot 10^{-3} \text{ á } 3 \cdot 10^{-4}$
geen dichting (spleet 1–5 mm)	$10^{-2} \text{ á } 10^{-3}$



Figuur 22: Voorbeeld van een lip- en een buisprofiel [6]



Figuur 23: Voorbeeld van goede dubbele kierdichting [6]

Er zijn rekenmethoden die ook de bijdrage van de kier per octaafband in rekening brengen.

Nu kan net als hiervoor een geluidwering per octaafband worden berekend:

$$G_i = R_i + 10 \cdot \log\left(\frac{V}{6 \cdot T_0 \cdot S}\right) - 3 + C_g \quad \text{Formule 44}$$

Hierin is

- -3 een constante om het verschil van laboratorium en praktijk met oa. schuine inval te verrekenen
- C_g een gevelstructuur correctieterm

Let op: alle waarden zijn gebaseerd op de ongewogen geluidwaarden: zonder weging van de correctie voor de gevoeligheid van het menselijk oor.

De genormeerde A-gewogen geluidwering G_A is met de correctie per octaafband:

$$G_A = 10 \cdot \log \sum_{i=1}^5 10^{(G_i - C_i)/10} \quad \text{Formule 45}$$

Hierin is C_i een A-gewogen karakteristiek geluidniveau dat genormeerd is voor een aantal standaardgeluiden welke in tabel 7 zijn weergegeven, zie de volgende paragraaf.

De karakteristieke gevelgeluidwering $G_{A,k}$ volgt uit:

$$G_{A,k} = G_A - 10 \cdot \log \frac{V_r}{6 \cdot T_0 \cdot S_{r,u}} \quad \text{Formule 46}$$

waarin

V_r het volume van die ruimte is

$S_{r,u}$ de oppervlakte van de uitwendige scheidingsconstructie in die ruimte

T_0 de referentie nagalmtijd 0,5 [s]

Vervolgens moet voor de $G_{A,k}$ van het Verblijfsgebied deze als gewogen som van de n samenstellende ruimten r als volgt worden bepaald:

$$G_{A,k} = -10 \cdot \log \sum_{r=1}^n \left(\frac{0,16 \cdot V_r}{T_0 \cdot S_{vg,u}} \cdot 10^{-(G_{A,r}/10)} \right) \quad \text{Formule 47}$$

waarin $S_{vg,u}$ de totale oppervlakte van de verschillende ruimten r is.

6.2 Praktische toepassing

De hiervoor beschreven formules worden in de praktijk vooral gebruikt bij het berekenen van geluidisolatie tegen verkeerslawaai.

Er zijn in principe 3 soorten verkeerslawaai:

- 1 wegverkeer
- 2 railverkeer
- 3 vliegverkeer

Internationaal wordt voor de gevelbelasting van het geluid de eenheid L_{DEN} gebruikt.

Nederland heeft voor vliegverkeer een hiervan afwijkende eenheid, de Kosten Eenheid [KE] in de regelgeving staan.²

2 genoemd naar de eerste hoogleraar Bouwfysica in Delft, professor dr.ir. C.W. Kosten . De vraag is hoelang deze eenheid nog blijft gebruikt. Overigens zijn de meeste grafieken en

Voor een aantal veel voorkomende geluidbronnen zijn er standaard'sleutels' vastgesteld:

Tabel 7: Andere standaard geluidspectra:

SPECTRA (GGG97)	Hz	63	125	250	500	1000	2000
standaard buitengeluid/wegverkeer	NEN		-14,00	-10,00	-6,00	-5,00	-7,00
standaard railverkeer	NEN		-27,00	-17,00	-9,00	-4,00	-4,00
standaard luchtvaart	NEN		-21,00	-11,00	-7,00	-4,50	-6,00
havenspoor R'dam			-17,00	-9,00	-5,00	-5,00	-9,00
popmuziek		-27,00	-14,00	-9,00	-6,00	-5,00	-6,00
housemuziek		-13,00	-8,00	-8,00	-7,00	-7,00	-9,00

In dit dictaat wordt nu verder alleen wegverkeerslawaai nader uitgewerkt, de methodiek is voor andere geluidspectra dezelfde.

Verkeerslawaai wordt uitgedrukt in een ééngetalswaarde, bijvoorbeeld 68 dB(A).

Met behulp van het standaardspectrum kan daarmee het geluidspectrum worden bepaald door de octaafwaarde van de gegeven waarde af te trekken: Vervolgens moet de A-weging gecorrigeerd worden om het werkelijke spectrum in ongewogen dB's te krijgen.

Dat omrekenen naar het geluiddrukkniveau per octaaf in dB gaat als volgt.

middenfreq	Hz	125	250	500	1000	2000
		68,00	68,00	68,00	68,00	68,00
geluidspectrum		-14,00	-10,00	-6,00	-5,00	-7,00
	dBA	54	58	62	63	61
Conversie	>dB	16,1	8,6	3,2	0	-1,2
	dB	70,1	66,6	65,2	63	59,8

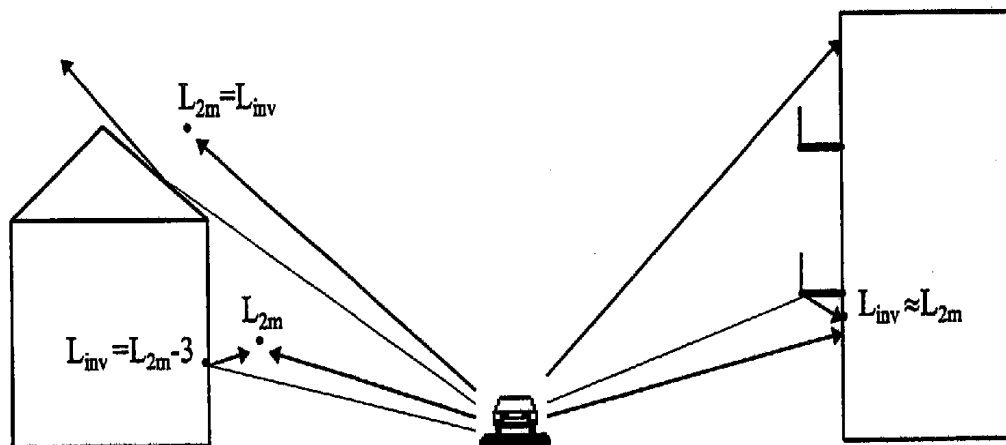
Nu is het opgegeven ééngetalsniveau zonder weegfactoren verdeeld over de octaven. Nadat aldus het werkelijk spectrum is bepaald, kan de geluidisolatie van de werkelijke gevelconstructie, die uit meerdere deelconstructies cq deelvlakken bestaat, in rekening worden gebracht. In het werkboek staat hiervan een voorbeeld.

In de formules voor G_i staat de gevelcorrectieterm C_g . Deze is genormeerd in het Rekenvoorschrift en afhankelijk van de gevelvorm.

Het principe is als volgt:

Als je het geluid op de voorgeschreven manier 2 m voor de gevel meet, meet je behalve het invallende geluid, soms ook geluid dat tegen de gevel reflecteert:

formules zoals die in dit dictaat en andere boeken staan, door hem opgesteld en/of verzameld.



Figuur 24: Overdracht van wegverkeerslawaai naar gebouwen [1,8]

In bijlage xx is voor een aantal gevelsoorten de aan te houden gevelcorrectie factor weergegeven.

In het volgende rekenvoorbeeld wordt de $G_{a,k}$ van een uit een paar deelconstructies opgebouwde buitenwand bepaald van een kantoorruimte met een volume van $5 \times 6 \times 2,7 = 81,0 \text{ m}^3$.

	opp.	partiele geluidisolatie R_i per octaafband				
deelconstructie	[m ²]	125 [Hz]	250 [Hz]	500 [Hz]	1000 [Hz]	2000 [Hz]
spouwmuur 440 kg/m ²	4,00	41	46	52	59	64
DG 4-16-6 gasgevuld	8,50	21	22	38	45	39
buitendeur	2,10	25	28	33	36	39

totaal opp. gevel $S = 13,5 \text{ m}^2$

Kierterm $0,4 \times 10^{-4}$

partiële isolatie R_i		23,1	24,3	36,9	40,1	38,9
partiële gevelwering G_i		23,1	24,3	36,9	40,1	38,9
spectrum wegverkeer		-14,0	-10,0	-6,0	-5,0	-7,0

$$G_A = 31,7 \text{ dB(A)}$$

$$G_{A,k} = 28,7 \text{ dB(A)}$$

7 Geluidwering tegen geluid van naastgelegen ruimten

7.1 Direct geluid binnenwandconstructies

Niet elke ruimte in een Verblijfsgebied hoeft een Verblijfsruimte te zijn. Wel moet voor elke ruimte in een woonfunctie, ook buiten een Verblijfsgebied, de isolatie worden berekend.

Voor de karakteristiek A-gewogen geluidisolatie van een gebruiksfunctie naar een ruimte geldt:

$$D_{nT,A,k} = D_{nT,A} - 10 \cdot \log \frac{0,16 \cdot V}{T_0 \cdot S_r} \quad \text{Formule 48}$$

hierin is

- 5) $D_{nT,A}$ de A-gewogen geluidwering volgens formule xx in hoofdstuk 4
- 6) S_r de oppervlakte van de scheidingsconstructie [m^2], met een minimum van 7 m^2
- 7) T_0 de referentie nagalmtijd 0,5 [s]

Voor de karakteristiek A-gewogen geluidisolatie van een gebruiksfunctie naar een Verblijfsgebied geldt:

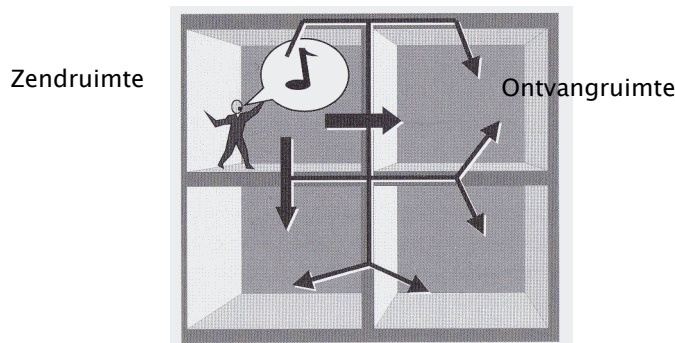
$$D_{nT,A,k} = -10 \cdot \log \sum_{r=1}^n \frac{0,16 \cdot V_r}{T_0 \cdot S_{vg}} \cdot 10^{-D_{nT,A,r}/10} - C_{vg} \quad \text{Formule 49}$$

hierin is

- 8) $D_{nT,A,r}$ de A-gewogen geluidwering van ruimte r volgens de vorige formule
- 9) S_{vg} de oppervlakte van de scheidingsconstructie [m^2], met een minimum van 7 m^2
- 10) T_0 de referentie nagalmtijd 0,5 [s]
- 11) C_{vg} een correctiefactor voor het aantal ruimten in het VG dat gemeten is. Indien alle ruimten zijn gemeten is $C_{vg} = 0$.

Bij het bepalen van de D_{nT} in de praktijk moeten alle overdrachten van het geluid dat van een Zendruimte in een Ontvangruimte terechtkomt worden meegewogen. Behalve het directe geluid van de eventuele scheidingswand tussen die twee ruimten is er ook nog de bijdrage van flankerend geluid.

In principe zijn er veel overdrachtswegen van het luchtgeluid uit de Zendruimte naar de Ontvangruimte:



Figuur 25: Overdracht van luchtgeluid in een gebouw [4,6]

Enkele kenmerkende isolatiewanden van een enkellaagse wand zijn:

Behalve dat het geluid direct door de scheidingswand gaat, kan het ook via de vloer en het plafond gaan, en ook nog via de andere ruimten in het gebouw. Er zijn rekenmodellen ontwikkeld waarmee dit soort constructies kunnen worden berekend.

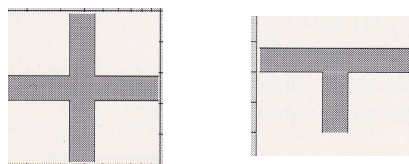
De geluidwering kan dan berekend worden met

$$D_{nT} = -10 \cdot \log(10^{-R_{sch}/10} + \sum 10^{-R_{i,j}/10}) + 10 \cdot \log \frac{V}{3 \cdot S} \quad \text{Formule 50}$$

Hierin is

- D_{nT} de geluidwering tussen de twee ruimten [dB]
- R_{sch} de geluidisolatie van de scheidingswand [dB]
- $R_{i,j}$ de isolatie van het flankerende geluid via de wand of vloer (i) in het zendvertrek inclusief de aansluiting (kruising of T-stuk) met de wand of vloer (j) in het ontvangvertrek [dB]
- V het volume van het ontvangvertrek [m^3]
- S de oppervlakte van de scheidingsconstructie [m^2]

Voor het berekenen van het flankerende geluid kunnen de volgende basis-elementen worden bepaald:



Figuur 26: Basis elementen voor de berekening van flankerend overdracht van luchtgeluid in een gebouw, een Kruisstuk en T-stuk [6]

Voor de flankerende geluidisolatie geldt de formule

$$R_{i,j} = 0,5 \cdot R_i + 0,5 \cdot R_j + D_{v,i,j} + 10 \cdot \log \frac{S}{\sqrt{S_i \cdot S_j}} \quad \text{Formule 51}$$

hierin is

- R_i de geluidisolatie van wand of vloer (i) in het zendvertrek
- R_j de geluidisolatie van wand of vloer (j) in het ontvangvertrek
- S_i de oppervlakte van wand of vloer (i) in het zendvertrek
- S_j de oppervlakte van wand of vloer (j) in het ontvangvertrek
- $D_{v,i,j}$ verbindingsdemping van wand of vloer (i) in het zendvertrek naar wand of vloer (j) in het ontvangvertrek

Als voorbeeld slaapkamer van 5*2*2,5 die aan een buitengevel met een andere kamer grenst:

Tabel 8: Er zijn totaal $4 \times 3 = 12$ verbindingsdempingen en $R_{i,j}$ tussen 2 vertrekken :

van Zendruimte	naar Ontvangruimte via	
Vloer	scheidingswand-vloer	1
	vloer-scheidingswand	2
	vloer- vloer	3
Plafond	scheidingswand- Plafond	4
	Plafond- scheidingswand	5
	Plafond-Plafond	6
Binnenwand	scheidingswand - Binnenwand	7
	Binnenwand- scheidingswand	8
	Binnenwand- Binnenwand	9
Gevel	scheidingswand-gevel	10
	gevel-scheidingswand	11
	gevel-gevel	12

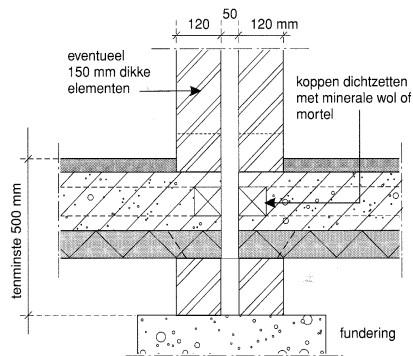
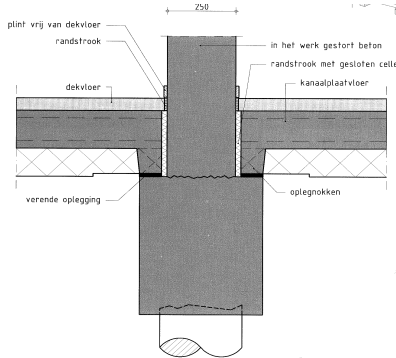
Met behulp van het rekenmodel worden dan bijv. de volgende isolatiewaarden gevonden

partiële isolatie R_i	36,4	42,3	36,9	40,1	38,9
partiële geluidwering D_{nT}	23,1	24,3	36,9	40,1	38,9
A-gewogen toetswaarde	-21,0	-14,0	-8,0	-5,0	-4,0

Uit deze tabel volgt met formule xx $D_{nT_A} = 49,6$ dB(A), en een karakteristieke $D_{nT_{A,k}} = 51,6$ afgerond 52 dB(A), waarmee deze voldoet aan de Bouwbesluit eis.

Bij rijtjeswoningen kan dit geluid worden beperkt door de constructies te ontkoppelen.

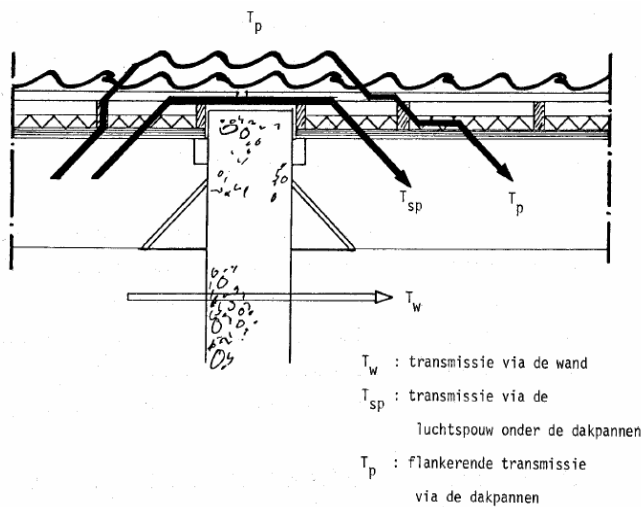
Beginnend bij de vloer:



De gemeenschappelijke wand tussen de woningen dient als ankerloze spouwmuur te worden uitgevoerd.

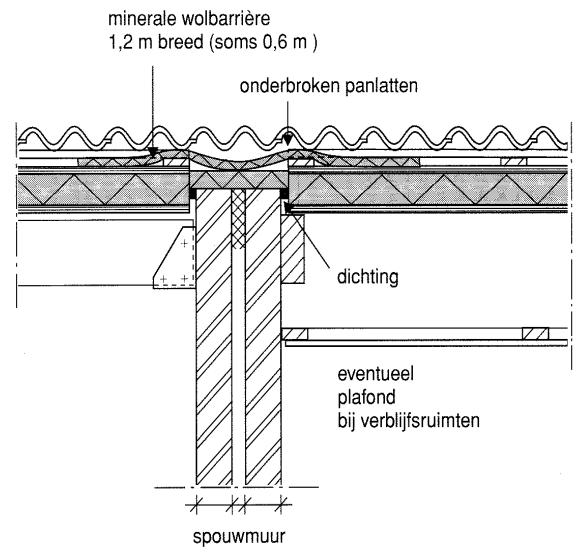
Dan is het van belang dat er dan niet alsnog een directe verbinding tussen de twee spouwbladen wordt gemaakt. Als dat het geval is door bijvoorbeeld valspectie, neemt de geluidsisolatie sterk af.

Bij het dak zijn de volgende geluidswegen mogelijk:





Figuur 27: beperking geluidoverdracht op perceelsgrens [6], LBP



Een andere mogelijkheid is om de directe geluiddoorgang, die de grootste bijdrage heeft, verder te beperken. Dat kan door bijvoorbeeld een voorzetwand. Dat is een vorm van verhoging de absorptie en wordt verderop behandeld.

Contactgeluid

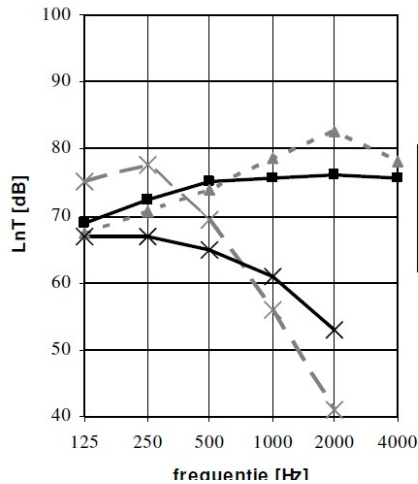
De eis in het Bouwbesluit is gebaseerd op een meting in de gebouwde toestand. Dat is onbruikbaar in het ontwerpstadium.

Er zijn daarom verschillende hulpmiddelen ontwikkeld om van tevoren te kunnen beoordelen of een bepaalde constructie, met een grote waarschijnlijkheid, zal voldoen aan de gestelde eisen. Bekende uitgaven zijn van de NEN, SBR en onder andere verenigingen van betonleveranciers etc.

Uiteraard is het altijd mogelijk dat het uiteindelijke resultaat tegenvalt: dan zal men mogelijk alsnog kostbare maatregelen moeten nemen om het in orde te brengen.

De belangrijkste invloedsfactoren zijn: massa, en ontkoppelen. Als dat laatste niet mogelijk is, bijvoorbeeld bij een vloerconstructie op een gemeenschappelijke funderingsbalk, kan het vergroten van de omloopweg een aanzienlijke verbetering opleveren. Veel van voorgestelde constructies zijn op deze principes gestoeld.

In de volgende figuur is van een paar massieve vloeren de isolatiewaarde tegen contactgeluid gegeven.



1) 120 mm massieve betonvloer (300 kg/m²),
 $L_{nTA} = 63$ dB

2) holle elementenvloer + druklaag (300 kg/m²)
 $L_{nTA} = 69$ dB

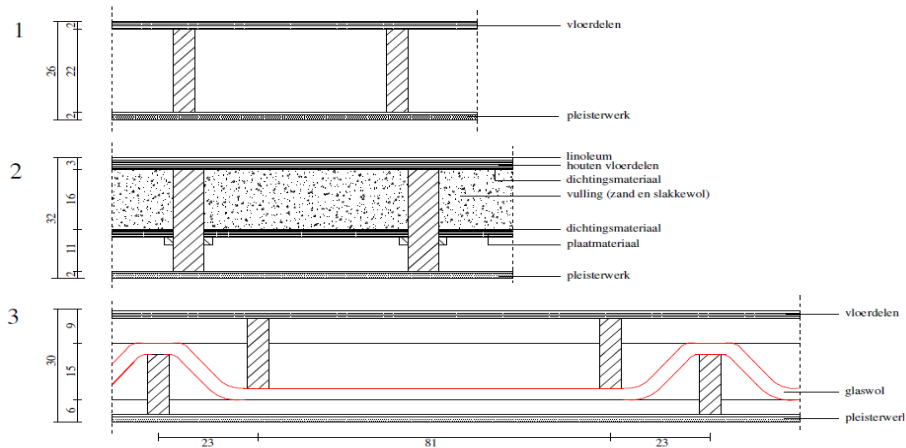
3) houten vloer met vrijhangend plafond
 $L_{nTA} = 55$ dB

4) curve ISO 717/2

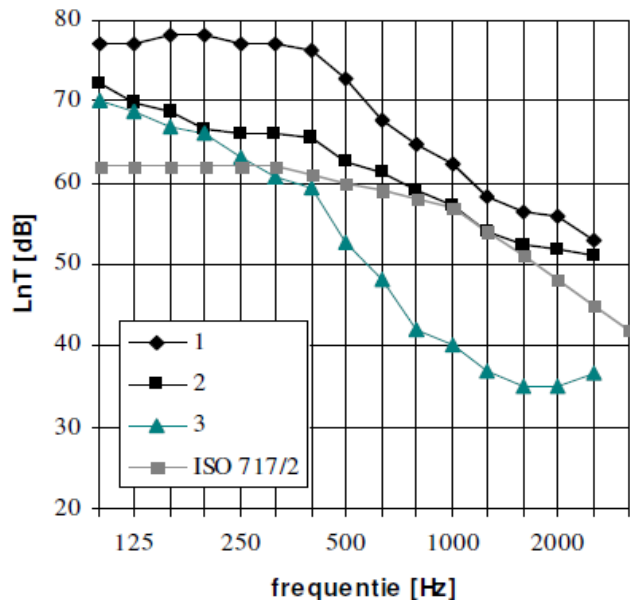
De aangegeven meetkrommen zijn indicatief voor het vloertype.

Een zwevende vloer is in het algemeen een goede oplossing voor het oplossen van geluidsoverlast door het lopen over vloeren. Er wordt dan een verende laag tussen het harde loopoppervlak en de onderliggende dragende vloerconstructie aangebracht. Het is belangrijk om op te letten dat er bij de uitvoering niet een fout wordt gemaakt en er ergens toch contact wordt gemaakt door bijvoorbeeld een stuk hard materiaal in de isolatielaag. Maar ook de randen vereisen aandacht: Indien de dekvloer contact maakt met een wand wordt daar flankerend geluid overgebracht.

Een ander oplossing is een gelaagde constructie te nemen. Vergelijk de volgende opbouwen van houten vloeren [6]:



De isolatie tegen contactgeluid is weergegeven in de volgende figuur:



Vloertype	$L_{nT,A}$ [dB(A)]
1	67
2	57
3	55

Figuur 28: Contactgeluidisolatie van een paar houten vloertypen

NPR 5070

Een veelgebruikt hulpmiddel in Nederland is de NPR 5070 "Geluidwering in woongebouwen: voorbeelden van wand- en vloerconstructies". Hierin staan veel standaarddetails waarvan de te verwachten geluidwering is aangegeven. Echter nog in de oude eenheden I_{lu} en I_{co} . Om de juiste constructie goed te kunnen kiezen is een omrekening naar de huidige voorgeschreven eenheden $D_{nT,A,k}$ en $L_{nT,A}$ nodig. Deze omrekening uit de NEN5077 is in Bijlage 1 opgenomen.

Voor een gewone woningscheidende constructie geldt momenteel de minimale eis $I_{co} \geq +5$ dB en $I_{lu,k} \geq 0$ dB. Deze zijn in Hoofdstuk 5 van de NPR verzameld.

Het vergt enige oefening om met de norm een oordeel over een constructie te kunnen geven. De details zijn aangegeven met een cijfer-letter code waarna in tabellen met een + of - kan worden afgelezen of de voorgestelde constructie aan de eis zal voldoen.

De massa's van de vloeren en wanden zijn kenmerkende grootheden die eerst moeten worden bepaald.

Daarna is het van belang of het een eengezins-(rijtjes-)woning betreft of een woongebouw. In het laatste geval zijn de verticale scheidingsconstructies ook een belangrijke variabele.

5.4 Keuzematrices en figuren met pictogrammen voor $I_{lu,k} \geq 0$ dB en $I_{co} \geq +5$ dB

Omschrijving	WONINGSCHEIDENDE WANDEN			
	Enkelvoudige wand		Ankerloze spouwwand	
	$\geq 525 \text{ kg/m}^2$	$\geq 575 \text{ kg/m}^2$	$2 \times \geq 200 \text{ kg/m}^2$	$2 \times \geq 250 \text{ kg/m}^2$
AANSLUITENDE CONSTRUCTIES	1 en A	2 en B	3 en C	3 en D

Figuur 1 — Keuzematrix voor eengezinswoningen voor $I_{lu,k} \geq 0$ dB en $I_{co} \geq +5$ dB

Omschrijving		WONINGSCHEIDENDE WANDEN		
		Enkelvoudige wand		Ankerloze spouwwand
		$\geq 525 \text{ kg/m}^2$	$\geq 575 \text{ kg/m}^2$	$2 \times \geq 350 \text{ kg/m}^2$
WONING-SCHEIDENDE VLOEREN	$\geq 800 \text{ kg/m}^2$	1 en A	2 en B	4 en D
	$\geq 500 \text{ kg/m}^2$ + verend opgelegde dekvloer met $\Delta L_{lin} \geq 10$ dB	1 en B	2 en B	4 en D
	$\geq 400 \text{ kg/m}^2$ + verend opgelegde dekvloer met $\Delta L_{lin} \geq 13$ dB	1 en B	2 en B	4 en D

Figuur 2 — Keuzematrix voor woongebouwen voor $I_{lu,k} \geq 0$ dB en $I_{co} \geq +5$ dB bron: [10]

Stel dat er bij rijtjeswoningen een enkelvoudige woningscheidende wand met een massa van 550 kg/m^2 is gekozen. Daar hoort de code 1-A bij.

In vervolgtabellen kan dan opgezocht worden of een bepaalde aansluiting zal voldoen.

Zo wordt voor de dakaansluiting gevonden:

BRISwarenhuis

Zoeken

NPR 5070 Geluidwering wanden

Bibliotheek

Voorwoord

1 Onderwerp en toepassingsgebied

2 Globale opzet van deze praktijkrichtlijn

2.1 Opzet

2.2 Keuze details

2.3 Speciale onderwerpen

3 Bepaling van de massa per oppervlakte

4 Woningscheidende wanden en vloeren

5 Aansluitingen voor $Il_{u,k} \geq 0$ dB en $I_{co} \geq +5$ dB

5.1 Keuzeproces

5.2 Toelichting keuzematrix voor eengezinswoningen

5.3 Toelichting keuzematrix voor woongebouwen

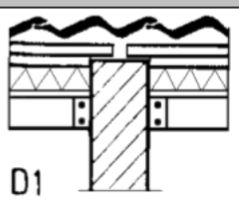
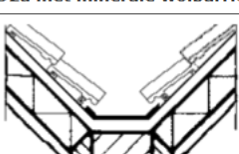
5.4 Keuzematrix en figuren met pictogrammen voor $Il_{u,k} \geq 0$ dB en $I_{co} \geq +5$ dB

6 Aansluitingen voor $Il_{u,k} \geq +5$ dB en $I_{co} \geq +10$ dB

7 Uitwerking woningscheidende constructies en aansluitdetails

8 Woningscheidende constructies met $Il_{u,k} \geq -5$ dB en $I_{co} \geq 0$ dB

9 Geluidisolatie tussen verblijfsruimten met

bij enkelvoudige wand		A	B
 D1	Enkelschalige hard-schuim elementen Massa ≥ 14 kg/m ² Sandwichelementen Massa ≥ 20 kg/m ² , zie noot a	-	+
	D1a met gesloten plafond onder gordingen	+	+
 D2 Zie noot a		+	+
	D2a met minerale wolbarrière	+	+
 D2a met minerale wolbarrière	Dakelement met $R_A \geq 28$ dB(A), zie noot b	+	+
		+	+

Figuur 29: principe opbouw dakaansluiting met code volgens NPR5070 figuur 3a [10]

Af te lezen is dat een detail dat uitgevoerd wordt volgens D1 niet zal voldoen. Als de massa echter groter is, bijv. 575 kg/m², wordt de code 1-B en dat voldoet wel.

Installatiegeluid

Bij overlast van trillingen van machines kan geprobeerd worden dat te verminderen door de machines op een verende constructie te plaatsen.

De resonantiefrequentie f_r van een trillende massa is te berekenen met de formule:

$$f_r = \frac{1}{2 \cdot \pi} \sqrt{\frac{1}{m \cdot C}} \quad [\text{Hz}] \quad \text{Formule 52}$$

hierin is

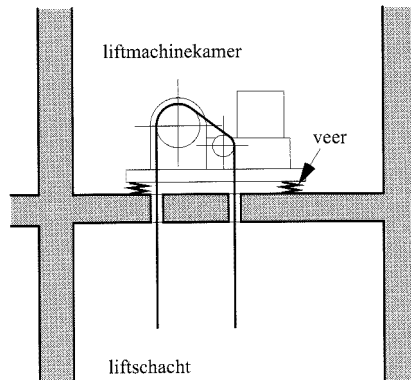
m de massa van het trillende voorwerp [kg]

C de slapheid van de veer [m/N]

Bij machines die roteren, en dus trillen, met een werkfrequentie f_m is er geen trillingsoverlast indien geldt:

$$\left(\frac{f_m}{f_r}\right)^2 \gg 1$$

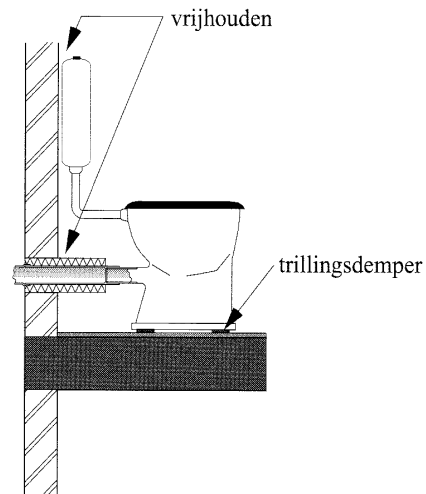
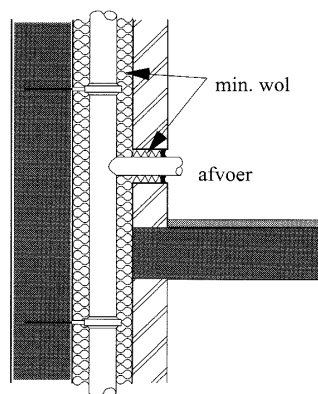
Een voorbeeld hoe een lift kan worden opgesteld is de volgende [6]:



Behalve het geluid dat van mechanische installaties komt, zijn er ook niet mechanische installaties.

Het stromen van water of lucht door leidingen kan ook geluidsoverlast geven.

Dit kan voorkomen worden door een dempende oplegging van de leidingen of deze anderszins aandacht te geven aan de wijze waarop deze in constructies worden geplaatst.



Figuur 30: beperking stromingsgeluiden [6]

7.2 Typen van absorberende materialen (Mechanismen)

De totale absorptie van een wand in een ruimte is van belang voor

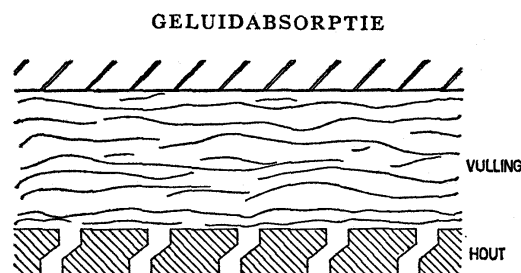
- de DnT van de wand
- de nagalmtijd

De nagalmtijd is van belang voor de spraakverstaanbaarheid in bijvoorbeeld een leslokaal, en voor een woongebouw ivm de Bouwbesluiten van de gemeenschappelijke verkeersruimte. Hoe deze kan worden berekend is hiervoor behandeld.

Er zijn twee manieren waarop geluidsabsorptie fysisch kan plaatsvinden:

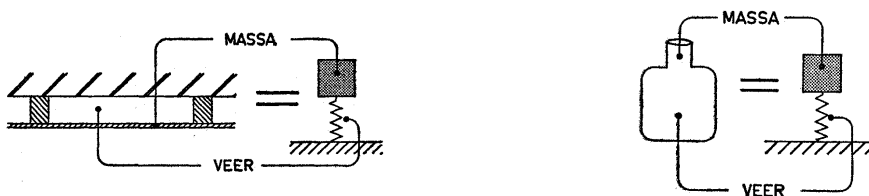
- 1 door wrijving in poreuze materialen
- 2 door resonantie

Bij de eerste manier is het principe zoals in de volgende figuur:



Door de weerstand van de lucht in het materiaal wordt de bewegingsenergie omgezet in warmte en het geluid aldus gedempt. De kanaaltjes moeten groot genoeg zijn zodat de geluidsgolf erin kan, maar ook weer niet te groot zodat er wrijving kan optreden.

Bij resonantie, de tweede manier worden twee varianten onderscheiden:



1. resonantie van een materiaal op een luchtlaag (dichte panelen, voorzetwanden ed.
2. resonantie van lucht op een luchtlaag (geperforeerde panelen), de zg. Helmholtz-damping

Geluidabsorptie door wrijving:

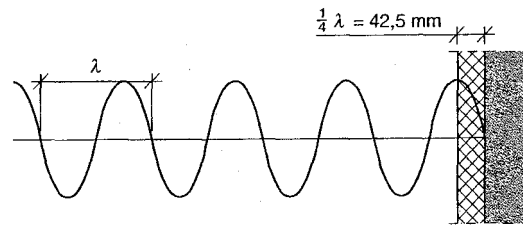
Bij poreuze materialen wordt het geluid gedempt door de opeenvolging van poriën in het materiaal waardoor de bewegende geluidsgolf zich moet verplaatsen. Die ondervindt wrijvingsweerstand en verliest daardoor energie. De poriën van het absorberende materiaal moeten daarom ook niet met een dichte laag zoals bijvoorbeeld behang of een pleisterlaag van de ruimte met te dempen geluid worden afgedekt.

Ook bij materialen met een gesloten celstructuur zoals gasbeton absorberen daardoor weinig tot niet.

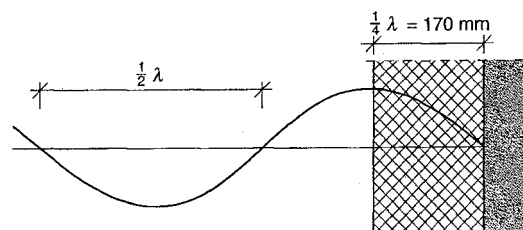
Als het poreuze materiaal op een harde wand is aangebracht kan er extra demping plaatsvinden doordat de teruggekaatste golf nogmaals wordt gedempt.

Bij de absorptie spelen de volgende kenmerken een rol:

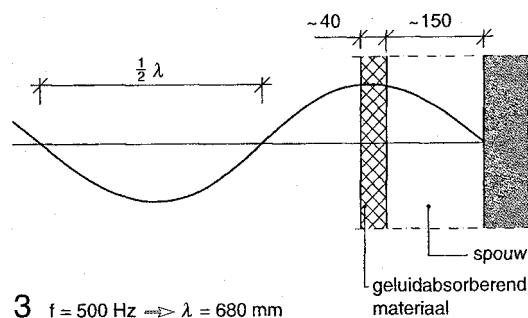
- de weerstand R van het materiaal die afhangt van de poriën grootte. Als die te klein is kunnen de geluidgolven het materiaal niet binnendringen maar reflecteren ze aan de buitenzijde. Ze mogen dus niet te klein zijn. Als ze groter worden is echter ook weer meer dikte nodig om een voldoende weglengte te krijgen. Dit kan worden opgelost door het materiaal iets voor de wand te plaatsen, zie de volgende figuren.
- De porositeit en poriënstructuur. Omdat de demping in de luchtkanaaltjes plaatsvindt is het handig om er daar zoveel mogelijk van te hebben. De structuur van de poriën is afhankelijk van het gebruikte materiaal, bijvoorbeeld vezelvorig of korrelvormig. Deze wordt uitgedrukt in de structuurfactor s en ligt doorgaans tussen de 1 en 10. Bij lage s zijn er regelmatige wrijvingsvlakken, bij hogere waarden worden ze grilliger van vorm. Dat kan resulteren in duidelijke pieken en dalen over het frequentiebereik
- De eventuele afschermende laag, bijvoorbeeld een gaatjesplaat. Als de gaten $>20\%$ van de oppervlakte zijn en ze niet meer dan 2 cm uit elkaar liggen heeft deze laag nauwelijks invloed op het absorptiepatroon.



1 $f = 2000 \text{ Hz} \Rightarrow \lambda = \frac{340.000}{2000} = 170 \text{ mm}$

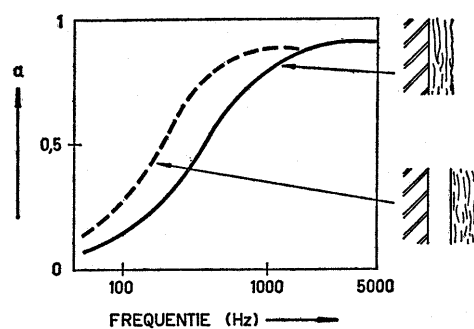


2 $f = 500 \text{ Hz} \Rightarrow \lambda = 680 \text{ mm}$



3 $f = 500 \text{ Hz} \Rightarrow \lambda = 680 \text{ mm}$

In bovenstaande figuur is te zien hoe de plaats van het absorberende materiaal gerelateerd is aan de golflengte van het geluid. Het effect daarvan is te zien in de volgende figuur:



Berekening van folie dikte

Om het absorberende materiaal te beschermen kan er een zeer dunne folie op gelegd worden. Deze mag niet te dik zijn. Dit is het geval als geldt:

$$2\pi \cdot f \cdot \rho \cdot d \leq 400 \quad \text{Formule 53}$$

De frequentie mag niet lager dan 4000 Hz zijn.

Als de folie een dichtheid ρ van 1000 [kg/m³] heeft dan is te berekenen:

$$d = \frac{400}{2\pi \cdot 4000 \cdot 1000} = 16 \cdot 10^{-6} \text{ [m]}$$

Geluidabsorptie met een voorzetwand

Bij een buigslappe voorzetwand is de massa van de voorgezette plaat meestal veel kleiner dan van de te isoleren (enkellaagse) wand.

Formule 32 gaat dan over in:

$$f_r = \frac{60}{\sqrt{m \cdot B}} \quad \text{Formule 54}$$

Een voorzetwand met een massa van 4 kg/m² geeft bij een spouwbreedte van 60 mm een (absorberende) resonantiefrequentie van ca 125 Hz.

Een ander effect van een voorzetwand is dat er in de spouw staande golven kunnen ontstaan. De breedte B van de spouw is dan precies een aantal n keer de halve golflengte.

$$B = n \cdot \frac{\lambda}{2} = n \cdot \frac{c}{2 \cdot f} \quad \text{Formule 55}$$

Staande golven kunnen goed worden bestreden door het aanbrengen van geluidabsorberend materiaal in de spouw.

Desondanks is het effect op geluidisolatie negatief: kanaalplaten en andere holle bouwelementen hebben een 3 tot 6 dB lagere geluidisolatie dan massief uitgevoerde elementen met dezelfde massa.

De resonantiefrequentie is te berekenen met formule xx.

Het is verstandig om de resonantiefrequentie zo ver mogelijk onder het te weren geluidsspectrum te houden.

Geluidabsorptie met een geperforeerde voorzetwand

Indien de gaten van de voorzetwand niet voldoen aan de voorwaarde zoals bij de hiervoor eerder beschreven geluidabsorptie door wrijving ontstaan er als het ware kleine flesjes met lucht. Dit zijn zogenaamde Helmholtz-resonatoren. De absorptie vindt plaats door het trillen van de lucht in die flesjes, de voorzetwand blijft in rust. De hoeveelheid trillende lucht is erg klein en de daarbij horende frequentie dus hoger.

De resonantiefrequentie f_r is te berekenen met

$$f_r = 54 \cdot \sqrt{\frac{e}{d \cdot D}} \quad \text{Formule 56}$$

waarin

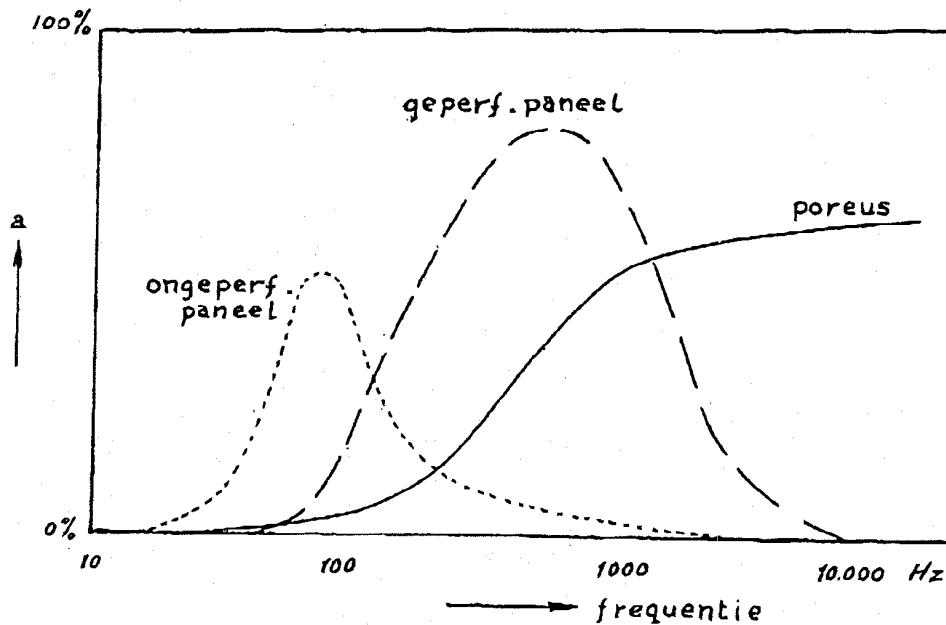
d de dikte van de geperforeerde plaat [m]

Datum 28 mei 2015
Naam rapport Les Akoestiek
Pagina 58 van 63

D de afstand van de plaat tot de achterwand [m]
e de perforatiegraad

Samenvattend

In de volgende figuur zijn samenvattend de effecten van een aantal wandafwerkingen op de absorptiekenmerken verzameld:

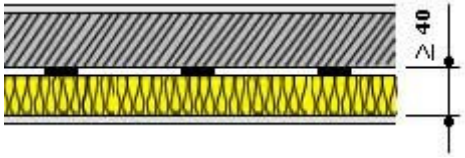
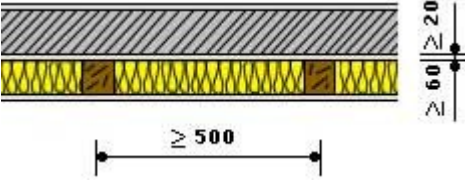
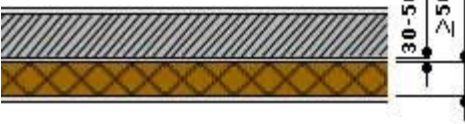


Tabel 9: eigenschappen van een aantal geluidabsorberende materialen:

poreuze materialen	niet-geperforeerde materialen	geperforeerde materialen
textiel, tapijt, steenwol, glaswol, h.w.c. platen, poreuze pleister	triplex, hardboard, aluminium of ander plaatmateriaal	ingeboorde of ingezaagde tegels perforatiegraad <30%
absorptie in hoge frequentie	absorptie vooral in lage frequentie	absorptie in midden-frequentie (300-1500 Hz)
verven is funest	verven toegestaan	verven toegestaan mits gaten ontzien
Specifieke weerstand R moet klein zijn	$f_r = \text{formule}$ $a < 0,5$	alleen lucht beweegt: massa klein, f_r heel hoog

Hier worden nog enkele praktische uitvoeringsvoorbeelden gegeven:

	Voorzetwand van gipskartonplaten op een houten staander of metalen U-profiel tenminste 20mm van de bestaande wand, binnen met steenwol oid bekleed
--	--

	gipskartonplaat met isolatieplaat tenminste 40 mm dik, direct punt- of lijnvormig op bestaande wand geplakt
	Gipskartonplaatt op houten staanders hoh ≥ 500 mm, daartussen isolatiemateriaal, spouw 20-60 mm
	Zachtboardplaten met minimale dikt van 50mm met een spouw van 30 tot 50 mm.

8 Bronnen:

virtueel:

<http://bk.nijsnet.com> gemaakt door ir. Lau Nijs, TUD-Bk
<http://www.infomil.nl/onderwerpen/hinder-gezondheid/geluid/geluid-wabo/bouwen/bescherming-geluid/>

<http://www.briswarenhuis.nl/docs/wet/bb2012/hfd3>
<http://www.gehorighuis.nl/normen-en-indexen.html>

Kennisbank Bouwfysica (Klimapedia) Ned. Vlaamse Bouwfysica Vereniging, artikelen in de A-xx reeks, div. auteurs

papier

- [1] Bouwfysica, ir. A.C. van der Linden, ir. A. Zeegers c.s., uitgeverij Waltman, Delft
- [2] Nederlandse Norm NEN 5077:2006, "Geluidwering, bepalingsmethoden", versie 2006, NEN-Delft
- [3] Nederlandse praktijkrichtlijn NPR5079 "Geluidwering in gebouwen- Het bepalen en hanteren van ééngetalsaanduidingen voor de geluidwering in gebouwen en van bouwelementen", 1999 NEN Delft
- [4] Gietbouwdetails geluidwering, Gietbouw in de woningbouw, VOB N Venendaal 2003
- [5] Geluidisolatie, dr.ir. H. J. Martin, dictaat bij college 7S510, TU Eindhoven 2008
- [6] Geluidwering in de woningbouw, ir. P.E. Braat-Eggen, ir. L.C.J. van Luxemburg, TUE-TNO-bouw in opdracht van ministerie VROM Den Haag 1993
- [7] Cursusboek Bouwakoestiek, Meetmethoden en Meetprocedures, Ad Vreeswijk, PHTO-Akoestiek 1997
- [8] Collegedictaten BB3220(oud gc45), Deel 1 akoestiek, div. auteurs, TUD-fac. Civiele techniek, vakgroep Bouwfysica, 1971-1999 Delft
- [9] Collegedictaat Bouwfysica, prof. ir. C.W. Kosten, TH Delft, 1965
- [10] Nederlandse praktijkrichtlijn NPR 5070 "Geluidwering in woongebouwen: voorbeelden van wand- en vloerconstructies", 2005 NEN Delft

Productinformatie.

Uiteraard zijn er van de meeste producten toepassingsvoorbeelden op internet te vinden. Hierbij goed opletten bij welke versie van het Bouwbesluit en/of gebruikte normen het gaat.

Bijlage 1: NEN5077:2006 Bijlage B

De karakteristieke isolatie-index voor luchtgeluid ($I_{lu,k}$) moet worden berekend met vergelijking (B.1).

$$I_{lu,k} = D_{nT,A,k} - 52 \quad (B.1)$$

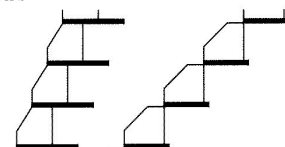
De isolatie-index voor contactgeluid (I_{co}) moet worden berekend met vergelijking (B.2).

$$I_{co} = 59 - L_{nT,A} \quad (B.2)$$

Bijlage 2: Gevelstructuur correctietermen

Gevelstructuur-correctie C_g

Geveltype	Vlakke gevel	Vlakke gevel met overstek	Gevel met galerij								
Doorsnede van de gevel	1 	2 	3a 	3b 	3c 						
Bijzonderheden van de gevelstructuur	Geheel vlakke gevel (diepte-varianties minder dan 0,40 m)	Overstek of uitkragend deel breder dan 1 m boven de gevel	Galerij			Galerij			Hoge borstwering (10% open aan de bovenzijde)		
Borstwering	n.v.t.	n.v.t.	geen			gesloten			gesloten		
Absorptiecoëfficiënt van het plafond in %	n.v.t.	0 50 100	0 50 100	0 50 100	0 50 100	0 50 100	0 50 100				
Waarde van C _g in dB (A)	Algemeen geldende waarde (trefpunt zichtlijn lager dan 1,5 m)	0	-1 -1 0	-1 -1 0	0 0 1	n.v.t.					
	Indien trefpunt zichtlijn ligt tussen 1,5 en 2,5 m	0	n.v.t.	-1 0 2	0 1 3	n.v.t.					
	Indien trefpunt zichtlijn hoger ligt dan 2,5 m	0	n.v.t.	1 1 2	2 2 3	3 4 6					

Geveltype	Gevel met balkon									Terrasgevel								
Doorsnede van de gevel	4a 	4b 	4c 	5a/b 														
Bijzonderheden van de gevelstructuur	Half inspringend balkon of hoekbalkon	Half inspringend balkon of hoekbalkon	Geheel inspringend balkon (loggia)	Terrasgevel met of zonder plafond					Terrasgevel met of zonder plafond									
Borstwering	open		gesloten		open/gesloten			open			gesloten							
Absorptiecoëfficiënt van het plafond in %	0 50 100	0 50 100	0 50 100	0 50 100	0 50 100	0 50 100	0 50 100	0 50 100	0 50 100									
Waarde van C _g in dB (A)	Algemeen geldende waarde (trefpunt zichtlijn lager dan 1,5 m)	-1 -1 0	0 0 1	1 1 2	1 1 1	3 3 3												
	Indien trefpunt zichtlijn ligt tussen 1,5 en 2,5 m	-1 -1 3	0 2 4	1 1 2	3 4 5	5 6 7												
	Indien trefpunt zichtlijn hoger ligt dan 2,5 m	1 2 3	2 3 4	1 1 2	4 4 5	6 6 7												