



PILKINGTON
NSG Group Flat Glass Business

Geluidswering met glas

Technisch bulletin

Inleiding

We hebben allemaal wel eens last van lawaai; U ligt in bed, u leest een goed boek of u wilt zich concentreren op uw werk en dan wordt de rust verstoord door verkeerslawaai, lawaaiërige burens of een ander storend geluid.

De mensen wonen steeds dichter op elkaar en ook het lawaai van fabrieken en het verkeer lijkt erger te worden. En de mensen hebben minder kans om het te ontlopen. Het lawaai neemt toe. Maar ook het inzicht in de gevolgen daarvan voor de gezondheid, vanwege de stress die wordt veroorzaakt door geluidsoverlast. Afnemende woonruimte zal in de nabije toekomst alleen maar leiden tot meer geluidsoverlast. Daarom is men steeds meer geïnteresseerd in manieren om mensen tegen lawaai te beschermen, om stress (die soms zelfs kan leiden tot ernstige ziekte) te voorkomen.

Er is al veel onderzoek verricht op het gebied van lawaaiëbestrijding in gebouwen en tussen aangrenzende ruimtes. Dit is uitermate waardevol gebleken. Wij zullen ons hier concentreren op de bijdrage die wordt geleverd door zorgvuldig gekozen glas om het probleem te verhelpen.

Wat is geluid?

Natuurkundig gezien hoort geluid bij de studie naar golven en mechanische trillingen. Al 2000 jaar geleden bestudeerden de architecten in Rome de verplaatsing van golven in water om hun ontwerpen van amfitheaters te verbeteren.



Afbeelding 1: Geluid verspreidt zich in de lucht op dezelfde manier als golven door water

Als we bijvoorbeeld tegen een stemvork slaan, kunnen we de trillingen horen, maar niet zien. Deze trillingen van de stemvork worden door luchtmoleculen getransporteerd. De moleculen geven de trilling door aan andere moleculen. Dit gedrag kan in water worden gedemonstreerd. Deze trillingen lijken op watergolven. De hoogte van de golf staat gelijk aan het geluidsvolume

en het aantal golven over tijd staat gelijk aan de geluidsfrequentie: hoe meer golven, hoe hoger de frequentie.

Frequentie wordt gedefinieerd als cycli per seconde, ofwel Hertz. Hertz is de juiste wijze om de frequentie of toonhoogte te beschrijven. De afkorting is Hz.

De muziknoot A (de eerste A boven de centrale C) heeft een frequentie van 440 Hz of trillingen per seconde wanneer de piano voor een concert wordt gestemd. Als de frequentie wordt verdubbeld tot 880 Hz, is de noot één octaaf hoger voor het stemmen van de hele toon.

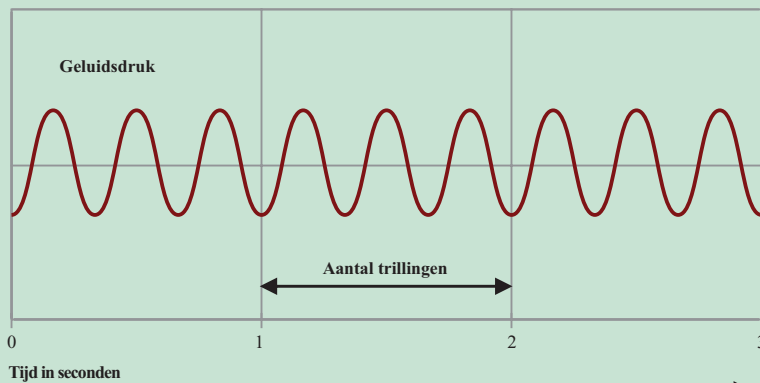
Het oor van een jong persoon kan frequenties van 20 Hz tot 20.000 Hz horen en is in staat geluidsdruk te voelen. Preciezer uitgedrukt zijn dit drukschommelingen van 10^{-5} Pascal (Pa) = 0,00001 (laagste gehoorlimiet) tot 10^2 Pa = 100 Pa (pijngrens) die als een volumesensatie naar de hersenen worden doorgestuurd. Wanneer we ouder worden, neemt het hoorbare frequentiebereik aan beide uiteinden van de schaal af. Dit gebeurt op natuurlijke wijze of door gehoorschade.

De relatie tussen het zachtste en het hardste geluid is een verhouding van 1 tot 10 miljoen. Omdat het moeilijk is om met getallen die zover uit elkaar liggen te werken, is de geluidsdruk niet rechtstreeks bruikbaar als eenheid voor de geluidssterkte. Daarom wordt gebruik gemaakt van het geluidsdrukniveau of geluidsniveau (L). Het normale bereik gaat van 0 dB (gehoorlimiet) tot 130 dB (pijngrens). Op afbeelding 3 staan enkele voorbeelden.

Er zijn verschillende manieren om geluid voort te brengen en elk geluid kan verschillende geluidsvolumes met verschillende frequenties produceren. Als we een vliegtuig als voorbeeld nemen, is er een duidelijk geluidsverschil tussen een propellervliegtuig en een moderne straaljager of militair vliegtuig. Als het volume per frequentie op een grafiek wordt afgezet, ziet dit er heel anders uit. Als we lawaai willen bestrijden, moeten we deze variaties in overweging nemen.

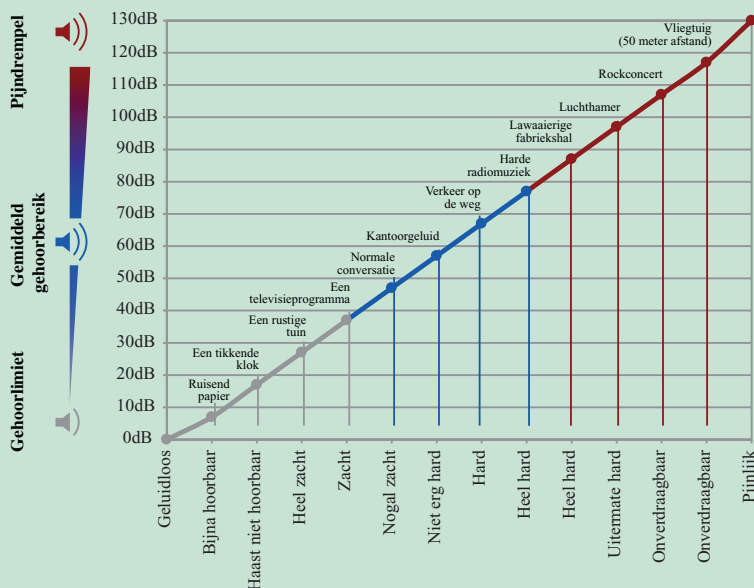
Sommige soorten glas functioneren beter bij sommige frequenties dan andere. Door de glasprestatie aan het geluid aan te passen, kunnen we de meest hinderlijke geluiden reduceren om het beste resultaat te verkrijgen. Iemand die vlakbij een privé-landingsbaan met kleine vliegtuigen woont, heeft een heel ander probleem dan iemand die

Definitie van frequentie



Afbeelding 2: Definitie van frequentie

Geluidsbron en perceptie



Afbeelding 3: Geluidsbron en perceptie (bron: Kuraray, Troisdorf)

naast een militaire luchtbasis woont. De oplossing voor het geluidsprobleem is om een verschillende glasconfiguratie te gebruiken.

Het geluidsniveau wordt op verschillende manieren vastgesteld. Bij grotere projecten worden adviseurs van een akoestisch adviesbureau gevraagd ter plaatse metingen te verrichten om zo het gemiddeld geluidsniveau per frequentie over een bepaalde tijdsperiode te meten. Deze onderzoeken leveren precieze informatie op over het geluidsvolume op elke frequentie die gedempt moet worden. Deze informatie wordt in een rapport vermeld, waarbij het geluid wordt onderverdeeld per octaafband, als volgt:

Frequentie [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
Geluidsdruk [dB]	30	36	42	44	48	50

Metingen kan men ter plaatse, of op enige afstand, verrichten. Indien er geen plaatselijke informatie beschikbaar is kan de informatie worden gecorrigeerd door enige afstand in te calculeren. Hoe groter de afstand tot de bron, hoe lager het geluidsniveau.

Bijvoorbeeld: Afname van geluid bij grotere afstand

Verkeersgeluid neemt ongeveer 3 dB af wanneer de afstand wordt verdubbeld. Als L bijvoorbeeld het dB geluidsniveau op 5 meter is, dan verloopt de afname als volgt:

5 meter	L	dB
10 meter	(L-3)	dB
20 meter	(L-6)	dB
40 meter	(L-9)	dB
80 meter	(L-12)	dB
160 meter	(L-15)	dB

Het geluidsniveau wordt meestal gemeten over een bepaalde tijd. Het gemiddelde niveau wordt genomen om het versturende effect van uitzonderlijk hard geluid, zoals een claxon, te elimineren. Het geluidsenergieniveau kan worden vastgesteld. Dit is een A-gewogen gemiddelde op de lange termijn, dat het dag-avond-nacht-niveau (L_{den}) wordt genoemd. Het L_{den} -geluidsniveau moet aan de basis liggen van het ontwerp en niet de uitzonderlijke geluidspieken. Daarom is het doel van het ontwerp om het algemene geluidsniveau te dempen en niet de uitzonderingen, anders nemen de criteria extreme vormen aan. Voor sommige toepassingen is het het beste om slechts een deel van de drie tijdsperiodes te gebruiken of een extra geluidsindicator voor geluid dat slechts van korte duur is.

Soms omvat de metingapparatuur een functie om het geluid met een A-weging op te kunnen nemen. Als er geluidslimieten voor het interieur zijn vastgesteld, dan worden deze meestal in dB(A) of L_{Aeq} uitgedrukt.

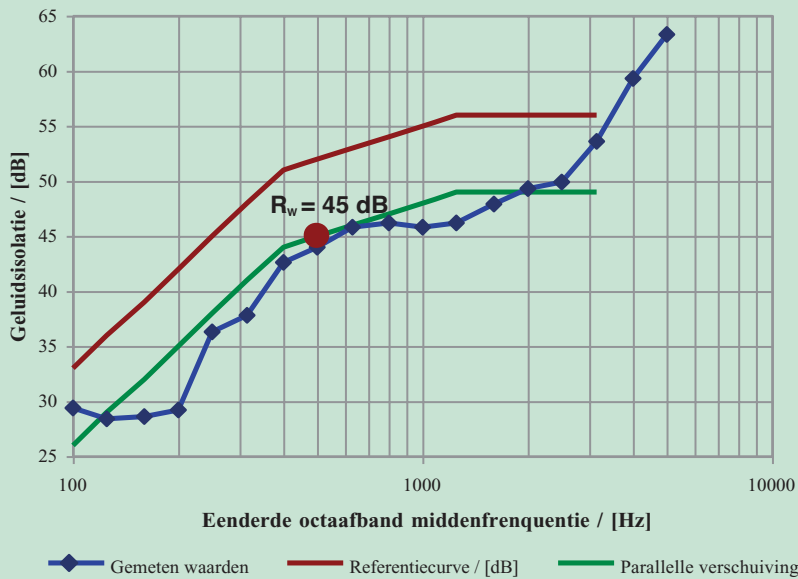
De A-weging is een aanpassing aan het geluid op elke frequentie die een gestandaardiseerde curve volgt. De A-weging is een herkenning dat het menselijke oor niet op dezelfde manier op hetzelfde volume op iedere frequentie reageert. Sommige frequenties lijken harder dan anderen, ook al worden ze met dezelfde energie geproduceerd. Het is belangrijk dat de menselijke reactie op het geluid in overweging wordt genomen, in plaats van beslissingen te nemen op basis van gevoelige instrumenten die geluid op absolute wijze meten.

Als er geen onderzoek wordt uitgevoerd, dan bestaan er voorbeelden van eerdere onderzoeken waarmee ontwerpers gewone geluidsniveaus kunnen gebruiken voor dezelfde geluidsbronnen, zoals het verkeer, muziek, stemgeluid, treinen, vliegtuigen, enz.

Wanneer het geluidsniveau bekend is, kan men de glaskeuze hierop aanpassen om het gewenste geluidsniveau binnen te realiseren. Het is belangrijk dat de meeteenheden aan elkaar worden aangepast of met dezelfde schaal worden gebruikt, zodat de berekening juist is.

Vaststelling van de geluidsisolatiewaarde R_w

10 mm Pilkington **Optifloat™** – 16 mm luchtruimte – 9,1 mm Pilkington **Optiphon™***



Afbeelding 4: De geluidsisolatie vaststellen

* eerder bekend als Pilkington **Optilam™** Phon

Meer gedetailleerde informatie

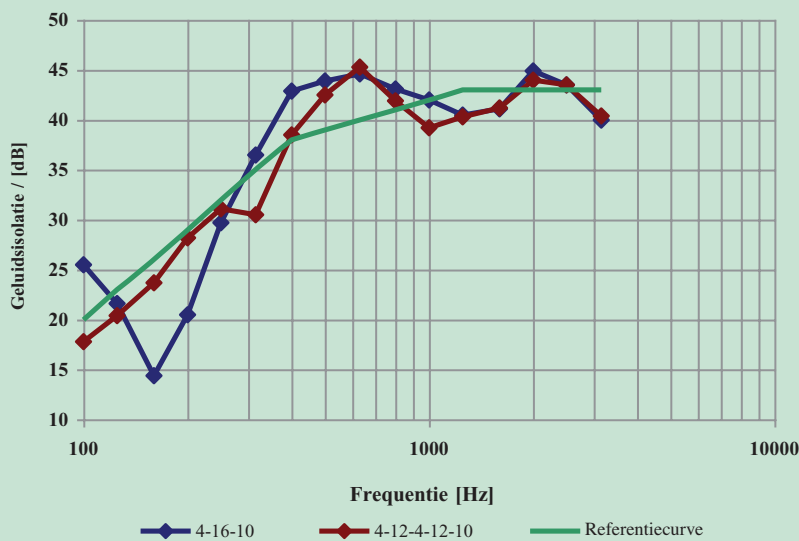
De gemeten waarden voor 10 mm Pilkington **Optifloat™** – 16 mm luchtruimte – 9,1 mm Pilkington **Optiphon™*** staan in het blauw aangegeven.

De referentiecurve uit EN 717 Deel 4, staat in het rood aangegeven. Deze referentiecurve wordt nu omlaag verschoven in stappen van hele dB, totdat de som van de afwijkingen van de gemeten waarden van de verschoven referentiecurve gemaximaliseerd en minder dan 32 dB is. Alleen de gemeten waarden die lager zijn dan de referentiewaarden worden in overweging genomen. De y-waarde van deze verschoven referentiecurve (groene curve in afbeelding 4), bij een frequentie van 500 Hz is de gezochte R_w -waarde, in dit voorbeeld 45 dB.

Jammer genoeg is deze relatie tussen de geluidsdrukamplitude en het gehoorde volume niet zo eenvoudig als wetenschappers dat zouden willen, omdat ons gehoor gevoeliger is voor sommige bereiken dan andere. Dit heeft de natuur zo bepaald. Dit betekent dat we een toon van duizend Hz luider horen dan een toon van honderd Hz, ook al is het volume identiek. Deze eigenschap van het menselijke oor is in overweging genomen bij de vorm van de referentiecurve.

Vergelijking tussen twee isolatieglasstructuren waarbij

$R_w = 39 \text{ dB}$



Afbeelding 5: Vergelijking tussen twee isolatieglasstructuren

De geluidsisolatie van glassoorten vaststellen

Aangezien het tijdrovend en kostbaar zou zijn om elk systeem ter plaatse te meten, zijn alle geluidsisolatiespectra in gestandaardiseerde omstandigheden opgenomen (blauwe lijn van afbeelding 4). Zoals we zien, is geluidsisolatie erg afhankelijk van de frequentie. Om te voorkomen dat we met de gehele gegevensset moeten werken, kan dit diagram tot een enkele waarde worden beperkt. De gestandaardiseerde procedure staat hieronder weergegeven. Het resultaat is één cijfer – in dit geval $R_w = 45 \text{ dB}$ – dat kan worden gebruikt voor verdere berekeningen.

Het nadeel van een dergelijke specificatie van één cijfer is dat we hetzelfde resultaat kunnen bereiken met heel verschillende curvevormen, zoals aangetoond in afbeelding 5.

We krijgen duidelijkere specificaties van één waarde als we "op maat gemaakte" referentiecurven voor specifieke vereisten gebruiken.

Dergelijke "speciale gevallen" zijn C en Ctr. Zij houden rekening met de verschillende frequentiespectra van woon- en verkeersgeluiden en maken het zodoende mogelijk om op eenvoudige wijze de juiste oplossingen voor de problemen te vinden.

De C-waarde houdt rekening met de geluidsbronnen:

- Activiteiten in woonwijken (stemgeluid, muziek, radio, tv)
- Spelende kinderen
- Treinverkeer bij gemiddelde en hoge snelheid
- Snelwegverkeer bij meer dan 80 km/u
- Straaljagers op korte afstand
- Bedrijven die voornamelijk medium- en hoogfrequentiegeluid uitstoten

De C_r-waarde houdt rekening met de volgende geluidsbronnen:

- Stadsverkeer
- Treinverkeer bij lage snelheid
- Propellervliegtuigen
- Straaljagers van veraf
- Discomuziek
- Bedrijven die voornamelijk laag- en mediumfrequentiegeluid uitstoten

Dit betekent dat men bij een gebouw in de stad en gelegen aan een weg beter met de C_r waarde kan rekenen. Als een gebouw vlak naast een snelweg staat kan men beter de C waarde gebruiken.

Regels voor de berekening

Ook al biedt de dB-schaal ons eenvoudige en handige cijfers, toch moeten er enigszins ongebruikelijke "berekeningsregels" worden toegepast. Als een geluidsbron wordt verdubbeld, dan stijgt de totale dB-waarde met slechts 3 dB. Bij een vertienvoudiging, ofwel tien elektrische ventilatoren in plaats van één, stijgt het geluidsniveau slechts tweemaal, ofwel 10 dB.

Verder is het zo dat als het geluidsniveau bij het oor wordt gehalveerd, de volumewaarde niet wordt gehalveerd. Over het algemeen geldt het volgende:

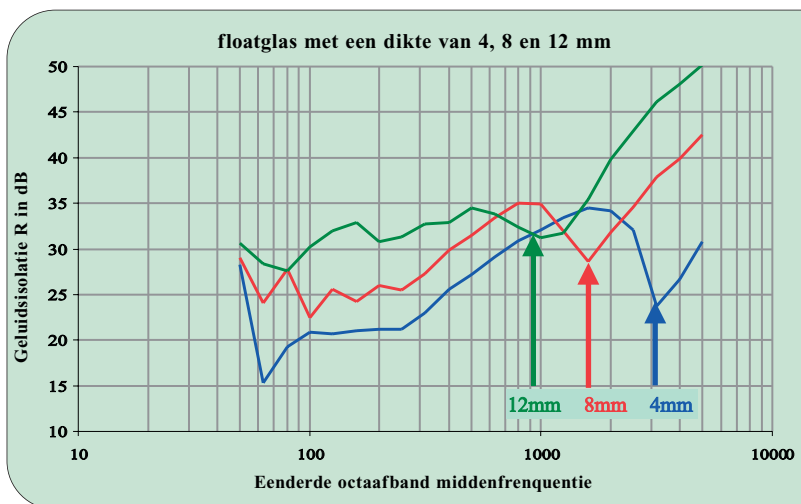
- Een verschil van 1 dB is praktisch niet hoorbaar
- Een verschil van 3 dB is net hoorbaar
- Een verschil van 5 dB is duidelijk hoorbaar
- Een verschil van 10 dB halveert/verdubbelt het geluid.

Verschillende soorten geluidsisolatie

Massa

De eenvoudigste manier om de geluidsisolatie van glas te verhogen is door het toepassen van een hele dikke ruit. Een ruit met een dikte van 12 mm heeft namelijk een R_w-waarde van 34 dB, terwijl de overeenkomstige waarde voor een ruit met een dikte van 4 mm slechts 29 dB is. Zoals eerder gezegd, verspreidt geluid zich door de moleculen van een medium (bijvoorbeeld lucht) te laten trillen. Gezien deze aard van overdracht wordt het geluid op natuurlijke wijze gedempt – al naar gelang de massa.

Eenvoudig gezegd: hoe meer massa er tussen de zender en de ontvanger aanwezig is, des te meer wordt het geluid gedempt.



Afbeelding 6: Invloed van de ruitdikte op de grensfrequentie

Grensfrequentie en asymmetrie

Als we de spectra van floatglas met een dikte van 4, 8 en 12 mm met elkaar vergelijken, zien we dat elk ervan in het rechtergedeelte een daling vertoont.

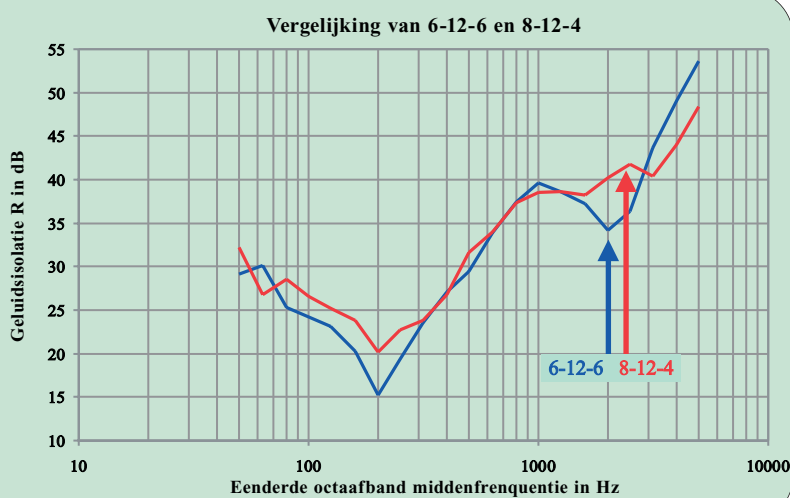
Deze prestatievermindering bij bepaalde frequenties of grensfrequenties komt voor bij de frequentie die overeenkomt met de natuurlijke resonantiefrequentie van het product. De zogenaamde grensfrequentie is specifiek voor elk materiaal en hangt bij glas af van de ruitdikte. De regel is:

$$f_g = \frac{12000 \text{ Hz}}{d}$$

(waarbij d = de dikte van het materiaal)

Volgens deze formule is f_g 3000 Hz voor een floatglasruit van 4 mm, 1500 Hz voor een ruit van 8 mm en 1000 Hz voor een ruit van 12 mm, wat heel goed overeenkomt met de spectra die we in Afbeelding 6 hebben gezien.

Om dit probleem op te lossen, kunnen we de dikte van ruiten in een isoleereenheid zo mengen dat wanneer bij één ruit de grensfrequentie wordt bereikt, dat bij de andere niet het geval is, zodat het geluid gedempt blijft. Deze asymmetrische ruitconfiguraties kunnen op deze manier de daling in het grensbereik enorm reduceren, zoals is aangegeven in Afbeelding 7. Een verschil van 30% in ruitdikte is het beste. Niet alleen reduceert dit de daling, maar hij komt ook hoger op de schaal terecht, wat goed is, omdat hoe hoger de frequentie, hoe effectiever het glas is bij de reductie van het algemene geluidsniveau.



Afbeelding 7: Asymmetrische glasstructuur om de grensfrequentie te reduceren

Tussenruimte tussen de ruiten / gasvulling

Een andere manier om geluidsoverdracht te regelen is om de afstand tussen de glasruiten te variëren. Bij conventionele dubbele beglazing is de tussenruimte tussen de ruiten beperkt, om de thermische prestatie optimaal te houden. En de tussenruimte is niet groot genoeg om de akoestische prestatie te verbeteren. Bij secundaire beglazing bestaat de mogelijkheid om betrekkelijk grote tussenruimtes te hebben. Een luchtruimte van meer dan 50 mm begint duidelijke prestatieverbeteringen te verschaffen.

De ruimte tussen de twee ruiten van isolerende beglazing met gas vullen heeft slechts weinig effect indien er Argon gebruikt wordt. Toepassing van Krypton (edelgas) geeft een akoestische prestatie die tot 1 dB beter is. Zwavelhexafluoride (SF6) kan voor geluidsisolatie worden gebruikt omdat het zo zwaar is, maar dit gas heeft twee nadelen. Ten eerste wordt de thermische isolatiewaarde van de ruit minder en ten tweede heeft dit gas een CO₂-equivalent van 22.800, waardoor het een enorme bijdrage aan het broeikas effect levert. Daarom zijn SF6-vullingen in grote delen van

Europa verboden. Pilkington past sinds 2002 geen SF6 meer toe in haar isolerende beglazing.

Ontkoppeling / demping

We hebben al gezien dat de ruitdikte helpt en dat het variëren van de ruitdikten in één raam met dubbele beglazing goed is om de geluidsisolatie te verbeteren. Maar massa aan het product toevoegen of grote lucht tussenruimtes zijn vaak geen goede oplossingen vanwege het veroorzaakte extra gewicht en de extra ruimte. Gelukkig bestaan er manieren om de geluidsreductie van relatief dunne glasruiten te verbeteren, door het glas zelf een geluidsdempend effect te geven. Als het glas met een gewone pvb-tussenlaag wordt gelamineerd, kunnen we de prestatiedaling vanwege de grensfrequentie verminderen en kunnen we de frequentie veranderen waarop de daling gebeurt. Door een Pilkington **Optilam**[™]-product aan het raam toe te voegen, wordt een duidelijke verbetering gemeten, vooral als het geluidsniveau op de grensfrequentie van monolithisch glas hoog is. Dubbele beglazing biedt uitstekende resultaten met een menging van monolithisch (Pilkington **Optifloat**[™]) en Pilkington **Optilam**[™]-glas.

Als er hogere vereisten zijn, biedt Pilkington **Optiphon**[™] uitkomst. Deze producten zijn gemaakt met speciale tussenlagen in een laminaat, die de twee glasruiten verder uit elkaar halen, terwijl de stootbestendigheid van het gelamineerde glas ongemoeid blijft. Het curveprofiel van Pilkington **Optiphon**[™] geeft aan dat de prestatiedaling op de grensfrequentie nagenoeg geëlimineerd is. De juiste productklasse kan worden gekozen voor het specifieke geluidsprofiel voor een uitstekende prestatie, zonder dat de ruiten zo enorm veel dikker worden. Dit maakt veel flexibeler ontwerpen mogelijk, zonder dat aan de overige functies van het glas wordt getornd. Aan de linkerkant van de spectra zien we ook een daling. Dit is de zogenoemde resonantiefrequentie. Dat is de frequentie waarop het element in zijn geheel trilt, waardoor de geluidstrillingen uitstekend worden doorgegeven en de ruit dus slecht isoleert.

De geluidsisolatie kan worden verbeterd door de resonantiefrequentie van het element op een andere frequentie te verzetten (uit de buurt van de storende frequentie of op een frequentie die het menselijk oor minder goed hoort). Dit wordt gedaan door het isolatieglas te 'ontkoppelen', door de ruit tegelijkertijd dicht en zacht te maken. Dit gebeurt wanneer twee glasruiten met een

speciaal (zacht) hars aan elkaar worden gehecht óf met moderne pvb-tussenschichten die speciaal voor deze toepassing zijn ontwikkeld.

Even recapitulieren

Het juiste akoestische product moet worden gekozen om de interne ruimte comfortabel te maken, zonder de stress die gepaard gaat met geluidsoverlast. De hoeveelheid restgeluid is niet op alle locaties identiek en de nationale richtlijnen zijn bedoeld voor de meeste omgevingen. In een bibliotheek moet het achtergrondgeluid bijvoorbeeld ongeveer 30 dB zijn en een slaapkamer is weer anders dan een zitkamer. Absoluut geen geluid is ongewenst en wordt alleen aangetroffen in echovrije ruimtes die gewoonlijk alleen voor tests worden gebruikt. Absoluut geen geluid is vaak een vreemde ervaring, omdat het oor zich dan richt op andere geluiden die storend worden. De basisformule is:

$$\text{geluidsbron} - \text{demping door gebouw} = \text{restgeluid}$$

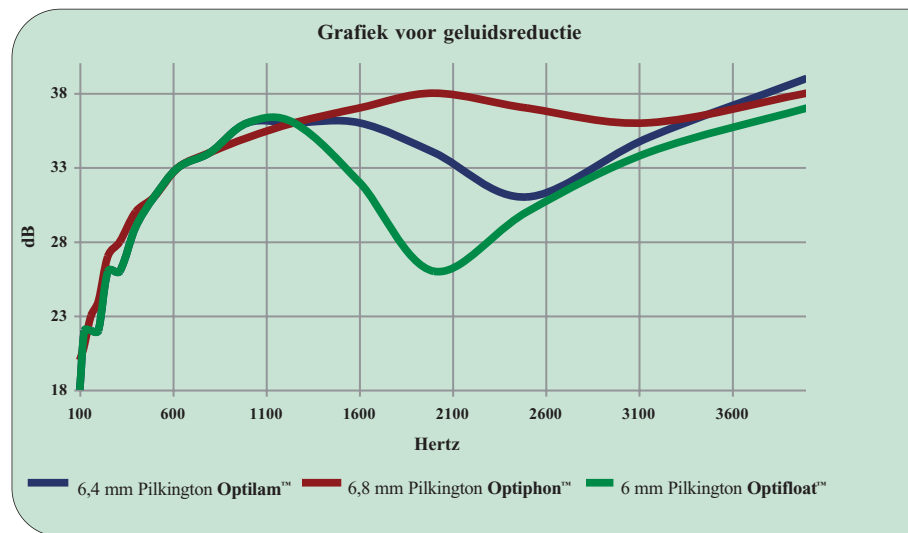
Merk op dat het hele gebouw hieraan meedoet en dat glas alleen niet alle akoestische problemen kan oplossen. Het geluid heeft slechts een kleine opening nodig om een gebouw binnen te dringen, anders dan warmteverlies of -verhoging, die afhankelijk is van het oppervlaktegebied. Voor een geluidsreductie tot 35 dB door het glas, moet het raamkozijn zonder ventilatioerooster een gelijkaardige prestatie kunnen leveren. Boven dit niveau moeten de ramen die voor geluidsreductie worden ontwikkeld, de prestatie van het glas bijhouden, zodat het gecombineerde product goed functioneert.

Conclusie

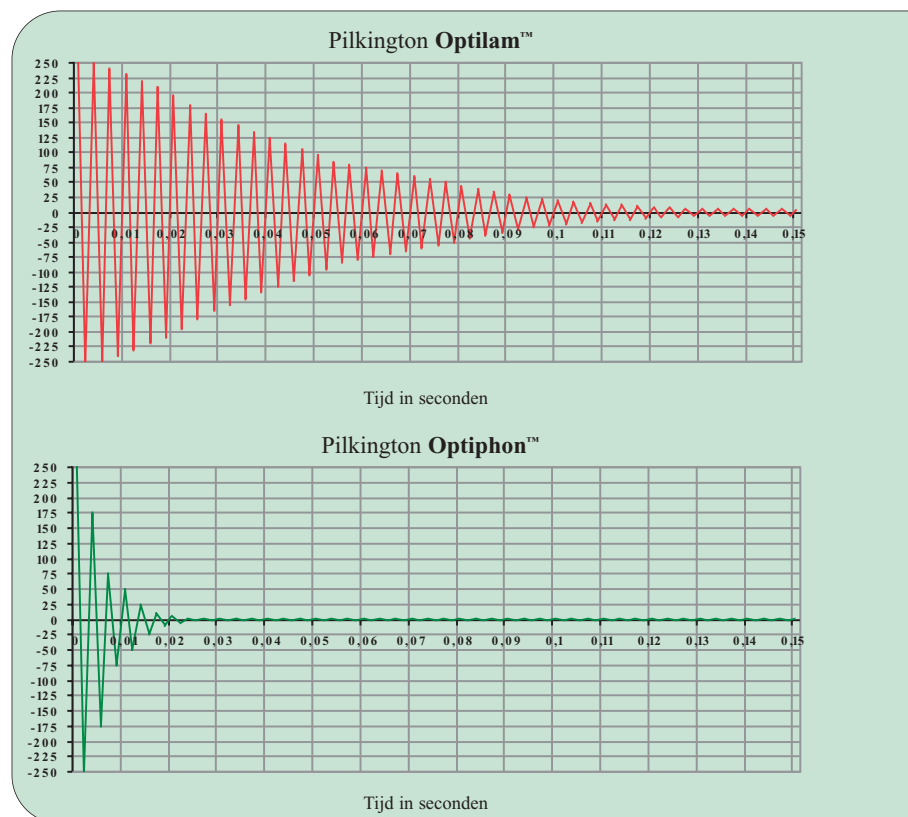
Er zijn vijf factoren die samen een positieve invloed hebben op de geluidsisolatiefunctie van dubbele beglazing:

1. De glasmassa
2. Een asymmetrische structuur
3. Een grote tussenruimte tussen de ruiten
4. Het gebruik van gassen
5. Het gebruik van **Optiphon™** speciaal gelamineerd veiligheidsglas of Cast In Place (CIP)-producten.

Voor hogere geluidsisolatievereisten worden steeds vaker moderne gelamineerde veiligheidsglasproducten met een geluidsisolerende werking, zoals Pilkington **Optiphon™** gebruikt in plaats van gevormde harsproducten, omdat R_w -waarden



Abbeelding 8: Illustratie van geluidsreductie



Abbeelding 9: De illustratie wijst op de grote verschillen in demping tussen Pilkington **Optilam™** en Pilkington **Optiphon™**, geluidstechnisch gezien.

van meer dan 50 dB mogelijk zijn en deze producten grote afmetingen kunnen hebben. De compatibiliteit van pvb met ander materiaal is goed gedocumenteerd en veiligheidsvoordelen, zoals schokbescherming en veiligere beglazing boven het hoofd, zijn ook mogelijk. De akoestische prestaties van ramen worden niet alleen door de beglazing bepaald. Extra aandacht dient men te besteden aan type raam, aansluitingen, ventilatioeroosters. Als u na het lezen van deze brochure nog vragen heeft, aarzel dan niet om uw contactpersoon bij Pilkington te bellen.

Dit document is te goeder trouw opgesteld en gepresenteerd. Pilkington Group Limited wijst echter alle aansprakelijkheid af voor fouten of weglatingen in deze publicatie en alle gevolgen van dien.



PILKINGTON
NSG Group Flat Glass Business

Pilkington Benelux B.V.

De Hoeveler 25

Postbus 143 7500 AC Enschede

Telefoon +31 (0)53 483 58 35

Fax +31 (0)53 431 91 78

E-mail: info@pilkington.nl

www.pilkington.nl