



## Indledning

Det kunne være en søndag eftermiddag, hvor du sidder indendørs og læser en god bog, måske ligger du i din seng og skal til at sove eller sidder på arbejdet og forsøger at koncentrere dig og bliver forstyrret af støjende naboer, trafikken eller en af mange andre mulige støjgener. Vi udsættes alle for generende støj på et eller andet tidspunkt.

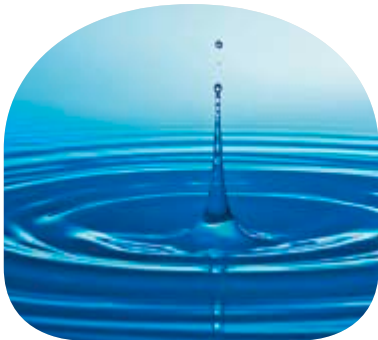
Med en stigende befolkningstæthed, øget fabriksproduktion og mere trafik, synes støjproblemerne at blive større, og muligheden for at slippe for dem mindre. Som følge af mere støj er der en større bevidsthed om den effekt på helbredet,

som stress kan have, fordi hverdagens støj trænger sig på i områder, der før var stille. Tendensen for fremtiden synes at være, at trafikken og den generelle støj bliver værre, efterhånden som vi får mindre plads at leve på. Derfor er der en øget interesse for tiltag, der beskytter mennesker mod støj, så de undgår den betydelige belastning, støj medfører og som kan medføre alvorlige sygdomme.

Der er lagt mange kræfter i at regulere den støj, der trænger ind i bygninger, samt støj mellem naboområder, og selvom dette er værdifuldt arbejde, vil vi koncentrere os om, hvordan omhyggeligt udvalgte glas kan bidrage til at håndtere problemet.

## Hvad er lyd?

Fra en fysikers synspunkt hører lyd til området bølgefysik/ mekaniske svingninger. Selv for 2000 år siden brugte en romersk arkitekt, der var involveret i byggeri af amfiteatre, bølger i vand til at forbedre sin konstruktion.

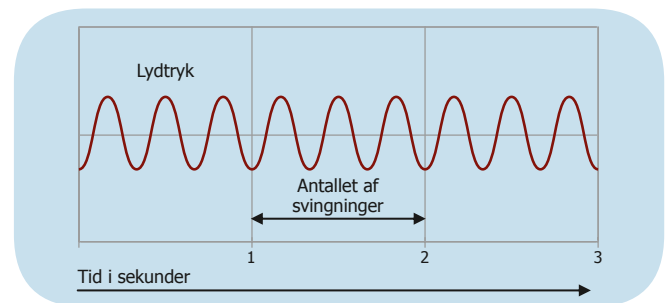


Figur 1: Lyd spredes på samme måde som bølger i vand

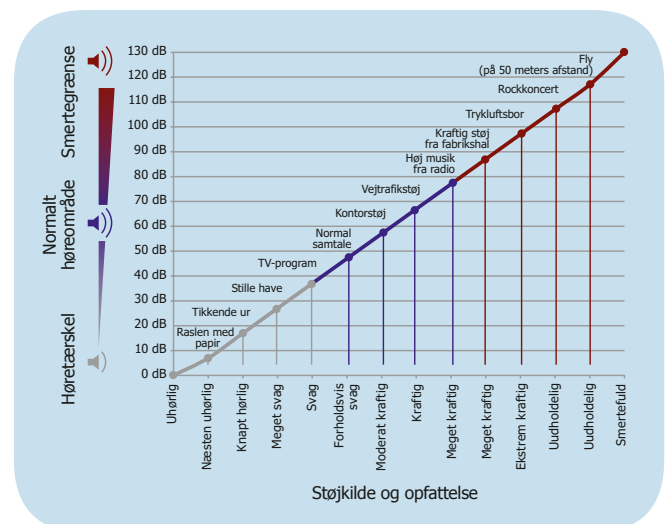
Når vi f.eks. slår på en stemmegaffel, kan vi høre svingningerne, men vi kan ikke se dem. Stemmegafflens svingninger overføres til luftmolekyler, som efterfølgende overfører deres svingninger til andre luftmolekyler. Denne proces kan ses i vand. Disse svingninger kan sammenlignes med en bølge i vand, hvor bølgens højde svarer til lydets lydstyrke, og antallet af bølger i et givet tidsrum er lydets frekvens, dvs. jo flere bølger, desto højere frekvens. Frekvensen defineres som svingninger pr. sekund eller hertz. Hertz er den korrekte måde at beskrive lydets frekvens eller tonehøjde på og forkortes Hz.

I musikkens verden har tonen A (nærmeste A over lille C) en frekvens på 440 Hz eller svingninger pr. sekund ved koncertkalibrering. Hvis frekvensen fordobles til 880 Hz, stiger tonen en oktav.

Et ungt menneskes øre kan registrere frekvenser fra 20 Hz op til 20.000 Hz og kan registrere lydtryk, eller mere præcist trykssvingninger, mellem  $10^{-5}$  Pascal (Pa) = 0,00001 Pa (nederste høregrænse) og  $10^2$  Pa = 100 Pa (smertegrænse) ved at overføre disse til hjernen som en lydstyrkesansning. Med alderen forsvinder hørbare frekvenser i begge ender af skalaen enten naturligt eller som følge af høreskader.



Figur 2: Definition på frekvens



Figur 3: Støjkilde og opfattelse (kilde: Kuraray, Troisdorf)

Forholdet mellem den svageste og den kraftigste lyd er i størrelsesordenen 1 til 10 millioner. Da disse er meget u håndterlige størrelser, udtrykkes lydtryksniveauet (eller forkortet L for lydniveau) som en logaritmisk skala, der repræsenterer en konvertering af lydtrykket til en mere praktisk måleenhed, som vi kender som decibelskalaen (dB). Skalaen går normalt fra 0 dB (høretærskel) til ca. 130 dB (smertegrænsen). Figur 3 viser nogle forskellige eksempler.

Der kan opstå støj på mange forskellige måder, og hver type støj kan have forskellige lydstyrker ved forskellige frekvenser. Hvis vi bruger fly som eksempel, er der en tydelig forskel på lyden fra hhv. propelfly, fly med jet-motorer og militærfly. Hvis lydstyrken angives som en graf efter frekvens, ville der være en udpræget forskel på de tre grafer. Ved støjbekæmpelse skal der tages højde for disse variationer, og nogle af de forskellige glastyper fungerer ligeledes bedre ved nogle frekvenser end andre. Ved at tilpasse glassets egenskaber til støjen kan vi foretage en selektiv reduktion af de mest irriterende lyde, så den maksimale effekt opnås. Mennesker, der bor ved siden af en privat start- og landingsbane til små fly har en helt anden type problem end naboerne til en militær lufthavn. Løsningen på støjproblemet vil være at bruge forskellige glaskombinationer.

Støjniveauet kan bestemmes på en række forskellige måder. Til store eller komplicerede projekter kan der foretages en række støjmålinger på stedet af rådgivere med speciale i akustik, der anvender udstyr til at måle og beregne gennemsnitlige støjniveauer efter frekvens over en bestemt periode. Sådanne undersøgelser giver de præcise data for støjens lydstyrke ved alle de frekvenser, der skal dæmpes. Oplysningerne afleveres ofte i rapportform, der i tabelform viser støjen pr frekvens, f.eks.:

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

Lyden kan måles på stedet, tæt på støjilden eller på et sted derimellem. Hvis der ikke foreligger data fra stedet, kan lyden justeres, så der tages højde for afstanden. Jo længere væk man kommer fra kilden, desto mindre effekt har den.

#### Eksempel: Støjs aftagen over afstand

Trafikstøj reduceres med ca. 3 dB, når afstanden fordobles i en lige vinkel på vejen. Hvis L f.eks. er støjniveauet i dB på 5 meter, aftager støjen efter dette mønster:

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

Støjniveauet måles ofte over en periode, og gennemsnittet udregnes for at fjerne den forvrængende effekt af isolerede forekomster af kraftig, atypisk støj, f.eks. en bil, der dytter. Der kan bestemmes et A-vejete gennemsnits "day-evening-night"-niveau  $L_{den}$ . Det er det  $L_{den}$  støjniveau, der bør udgøre grundlaget for konstruktionen frem for en isoleret støjspidsværdi.

Formålet med konstruktionen bør derfor være at regulere den generelle støj frem for undtagelsesvist forekommende støj, da støjreduktionskriteriet ellers blive ekstremt. I nogle tilfælde kan det være formålstjenligt at benytte en af de tre perioders niveau.

Visse typer for støjmålingsudstyr har en indstilling, der gør det muligt at registrere data med en A-vægtning. Når der angives indendørs støjgrænser, udtrykkes de ofte i dB(A) eller  $L_{Aeq}$ . A-vægtningen er en justering af støjen ved hver frekvens, der følger en standardiseret kurve. A-vægtningen anvendes i erkendelse af, at det menneskelige øre ikke reagerer lige meget på det samme lydtryk ved forskellige frekvenser, dvs. visse frekvenser virker kraftigere end andre, selvom de afgives med samme energi. Det er vigtigt, at der tages hensyn til menneskets reaktion på støj, så der ikke kun træffes afgørelser, der er baseret på følsomt udstyr, der foretager absolutte lydmålinger.

I de tilfælde hvor der ikke foretages undersøgelser, kan den projekterende ud fra tidligere undersøgelser tage udgangspunkt i typiske støjniveauer fra almindelige støjklender, f.eks. trafik, musik, tale, tog, fly etc.

Hvis der ikke findes tredjedelsoktav- eller oktavniveaue oplysninger, anvendes der en række forkortelser for støjen, normalt værdierne  $R_w$ ,  $R_w+C$  og  $R_w+C_{tr}$  der bruges til at forkorte oplysningerne. I forhold til glassets ydeevne bestemmes forkortelserne ved at tegne en kurve for lyddæmpningen efter frekvens og foretage en matematisk sammenligning af den med standardkurverne, indtil de passer sammen. Støjreduktionen ved en fast frekvens på standardkurverne udgør værdierne  $R_w$ ,  $R_w+C$  og  $R_w+C_{tr}$ .

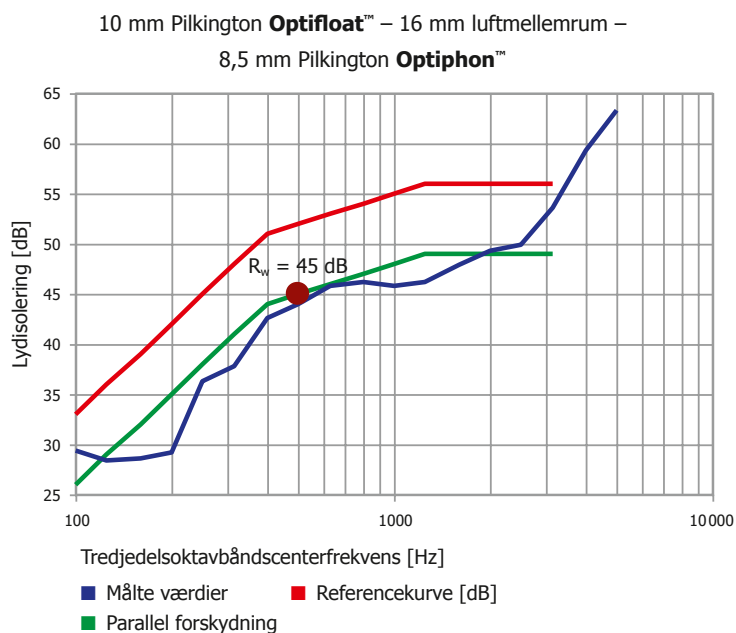
Når støjniveauet kendes, kan glassets egenskaber tilpasses, så der opnås det ønskede niveau for støj. Det er vigtigt, at målingens indekser tilpasses til hinanden eller er i samme størrelsesforhold for at sikre, at beregningen er korrekt.

## For de, der vil fordybe sig

De målte værdier for 10 mm Pilkington **Optifloat™** – 16 mm luftmellemrum – 8,5 mm

Pilkington **Optiphon™**\* er vist med blåt.

Referencekurven, der er specificeret i DS/EN ISO 717, afsnit 4, er vist med rødt. Denne referencekurve flyttes nu nedad i hele dB-intervaller, indtil summen af de målte værdiers afvigelse i forhold til den forskudte referencekurve maksimeres og er mindre end 32 dB. Kun de målte værdier, der er mindre end referenceværdierne, anvendes. Den forskudte referencekurves y-værdi (den grønne kurve i Fig. 4) ved en frekvens på 500 Hz er den ønskede  $R_w$ -værdi, i dette eksempel 45 dB. Desværre er ovennævnte forhold mellem lydtryksamplituden og den opfattede lydstyrke ikke så enkelt, som lydteknikere ville ønske det var, da vores hørelse fra naturens side er mere følsom over for nogen spektrer i forhold til andre. Det betyder, at vi opfatter en 1000 Hz tone som mere kraftig end en 100 Hz tone, selvom lydstyrken er den samme. Referencekurven tager højde for denne egenskab ved det menneskelige øre.



Figur 4: Bestemmelse af lydisoleringsværdien  $R_w$

\* tidligere markedsført under navnet Pilkington **Optilam™** Phon

## Bestemmelse af glastypers lydisolering

Da det ville være tidskrævende og bekosteligt at måle alle systemer på stedet, registreres alle lydisolerings-spektrer under standardiserede forhold (blå linje i Figur 4). Som det ses, er lydisoleringen meget frekvensafhængigt. For at undgå at skulle arbejde med hele datasættet kan dette diagram reduceres til en enkelt værdi. Den standardiserede procedure er beskrevet i kassen ovenfor. Resultatet er et enkelt tal – i dette tilfælde  $R_w = 45$  dB, som kan bruges til yderligere beregninger.

Ulempen ved sådanne specifikationer med én værdi er, at vi kan nå frem til samme resultat med vidt forskellige kurveformer, som vist i Figur 5.

Vi opnår mere udtryksfulde specifikationer med én værdi, hvis vi bruger "skræddersyede" referencekurver til specifikke krav.

C og  $C_r$  hører til denne slags "særligt tilfælde". De tager højde for boligstøjs og trafikstøjs forskellige frekvensspektrer og gør det dermed muligt at finde passende og enkle løsninger på de pågældende problemer.



Figur 5: Sammenligning af to termoruder, hvor  $R_w = 39$  dB

C-værdien tager højde for følgende støjkilder:

- Boligaktiviteter (tale, musik, radio, tv)
- Legende børn
- Jernbanetrafik ved middel og høj hastighed
- Motorvejstrafik > 80 km/t
- Jetfly på kort afstand
- Virksomheder, der hovedsageligt afgiver middel- og højfrekvent støj



$C_r$ -værdien tager højde for støjklender såsom:

- Bymæssig trafik
- Jernbanetrafik ved lav hastighed
- Propelfly
- Jetfly på lang afstand
- Musik med lavfrekvente bas lyde
- Virksomheder, der hovedsageligt afgiver lav og middelfrekvent støj

Hvis en planlagt bygning således er placeret i en by, lige ved en stor vej, er  $C_r$ -værdien den mest velegnede. Hvis bygningen skal ligge lige op ad en motorvej, er  $C_r$ -værdien velegnet.

## Beregningsregler

Selv om brugen af dB-skalaen giver dejligt runde tal, er den også grundlaget for nogen noget usædvanlige "beregningsregler". Hvis en støjkilde fordobles, stiger den samlede dB-værdi kun med 3 dB. En tidobling, dvs. ti elektriske ventilatorer frem for en, medfører kun dobbelt så meget støj, dvs. +10 dB.

For at afrunde forklaringen bør det også nævnes, at halvering af det støjniveau, som øret opfanger, ikke er det samme som at halvere lydstyrken. Følgende generelle forhold gør sig gældende:

- En forskel på 1 dB bemærkes ikke i praksis
- En forskel på 3 dB er kun netop hørbar
- En forskel på 5 dB udgør en klar forskel
- En forskel på 10 dB halverer/fordobler støjen

## De forskellige typer lydisolering

### Masse

Som nævnt tidligere spreder lyd sig i bølger ved at aktivere det pågældende medies molekyler, så de svinger. Som følge af denne overførsel udsættes støjen for en naturlig dæmpning,

afhængigt af den pågældende masse. Forenklet sagt: Jo mere masse, der er mellem kilden og modtageren, jo større er dæmpningen.

Den nemmeste måde at øge lydisoleringen af glas på, er derfor at bruge en stor mængde glas. Således har et enkelt glas på 12 mm en  $R_w$ -værdi på 34 dB, hvorimod den tilsvarende værdi for et glas på 4 mm kun er 29 dB.

## Koincidensfrekvens og asymmetri

Ved sammenligning af spektrerne for 4 mm, 8 mm og 12 mm floatglas ses det, at alle tre spektrer går nedad i højre del af diagrammet.

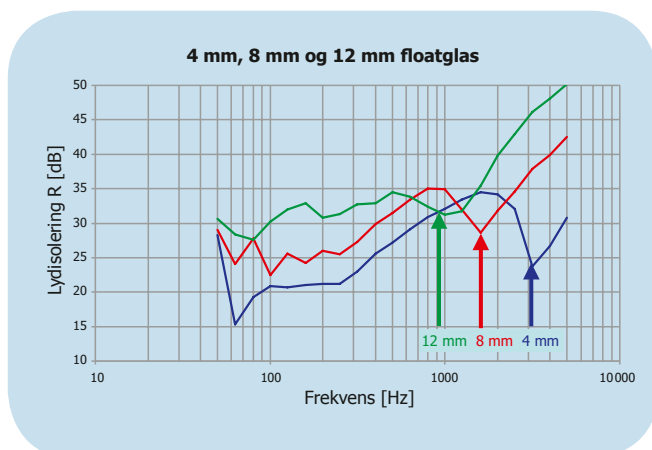
Denne ydeevnedgang ved bestemte frekvenser eller koincidensfrekvenser forekommer, når frekvensen svarer til produktets naturlige bøjningsstivhed. Den såkaldte koincidensfrekvens er materialespecifik og afhænger af glassets tykkelse. Tommel-fingerregel:

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

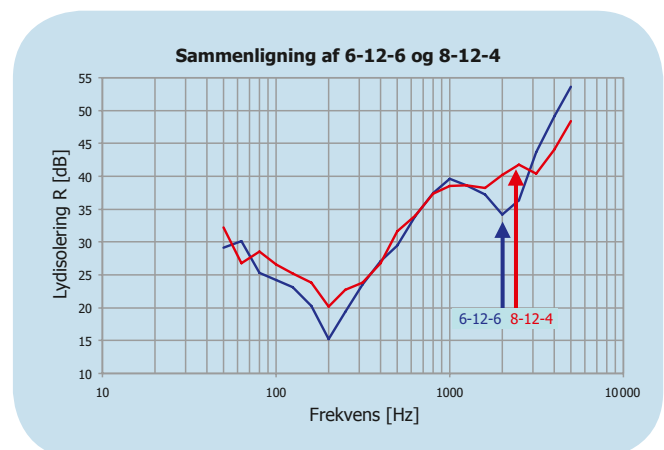
(hvor  $d$  = materialets tykkelse)

I henhold til denne formel er  $f_g$  3000 Hz for 4 mm floatglas, 1500 Hz for 8 mm floatglas og 1000 Hz for 12 mm floatglas, hvilket passer glimrende med spektrerne i Figur 6.

Dette kan overvindes ved at bruge termoruder med forskellige glastykkelser, således at et glas er ved koincidensfrekvensen, mens det andet ikke er og således fortsat dæmper lyden. Sådanne asymmetriske konstruktioner kan i betydeligt omfang reducere faldet i koincidensområdet som vist i Figur 7. En forskel på tykkelsen på 30% er ønskelig. Ikke alene reduceres faldet, det flyttes også længere op ad på skalaen, hvilket er fordelagtigt, da jo højere frekvensen er, desto mere effektivt bliver glassets evne til at reducere det overordnede støjniveau.



Figur 6: Glastykkelsens indflydelse på koincidensfrekvensen



Figur 7: Asymmetrisk termorude til reduktion af koincidens

## Afstand mellem glas/gasfyldninger

Det er også muligt at regulere overførslen af støj ved at ændre afstanden mellem glassene. Med almindelige termoruder er afstanden mellem glassene begrænset for at give optimale varmeisolering, og mellemrummet er ikke stort nok til at forbedre den akustiske ydeevne betydeligt. Med forsatsglas og forsatsruder er det muligt at have relativt store mellemrum, og ved luftmellemrum på over 60 mm begynder der at ske virkelige forbedringer af ydeevnen. Ved store mellemrum kan der sættes en karmabsorbent på sider, top og bund i lysningen.

Gasfyldning i mellemrummet mellem glassene i en termorude har kun en marginal effekt, og der er ingen praktiske ændringer ved brug af argon. Som følge af kryptons tæthed kan der opnås en lille forbedring på op til 1 dB. Svovlhexafluorid ( $\text{SF}_6$ ) har tidligere kunnet bruges til lydisolering, fordi det er så tungt. Denne gas har dog to ulemper. For det første forringer den  $U_g$ -værdien, og for det andet har denne gas en  $\text{CO}_2$ -ækvivalent på 22.800 og giver derfor et ganske stort bidrag til drivhuseffekten. Af disse to årsager er  $\text{SF}_6$  gasfyldninger forbudt i Danmark siden 1. januar 2003.

## Adskillelse/dæmpning

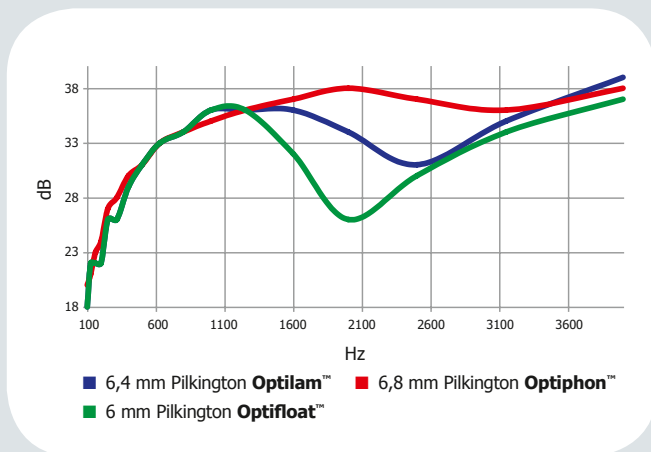
Det er blevet nævnt, at glassets tykkelse hjælper, og at det kan forbedre lydreduktionen at anvende forskellige glastykkelser i en termorude. Af hensyn til vægt og omfang kan det være u hensigtsmæssigt at øge produktets masse eller have store luftmellemrum. Heldigvis kan lydreduktionen for relativt tynde glas forbedres ved at give selve glasset en dæmpende effekt. Ved at laminere glasset med almindelige PVB-mellemlag kan vi reducere faldet i lydreduktion som følge af koincidensfrekvensen og ændre den frekvens, hvor faldet sker. Tilføjelse af et Pilkington **Optilam**<sup>™</sup>-produkt til konstruktionen kan medføre en markant forbedring, især hvor støjniveauet er højt ved koincidensfrekvensen for monolitisk glas. Termoruder kan give et rigtig godt resultat med en blanding af monolitiske glastyper (Pilkington **Optifloat**<sup>™</sup>) og glastypen Pilkington **Optilam**<sup>™</sup>.

Til specificerede højere krav findes Pilkington **Optiphon**<sup>™</sup>. Denne gruppe produkter indeholder specielle mellemlag af laminat, der yderligere adskiller de to glas, men stadig med samme personsikkerhed som lamineret glas. Kurven for Pilkington **Optiphon**<sup>™</sup> viser, at faldet ved det, der ville have været koincidensfrekvensen, næsten er elimineret. Der kan vælges en produktspecifikation, der svarer til støjkildens lydprofilen, så der opnås en fremragende lydreduktion, uden at glassets tykkelse øges i større grad. Dette giver en større fleksibilitet ved konstruktionen uden at gå på kompromis i forhold til andre vinduesfunktioner.

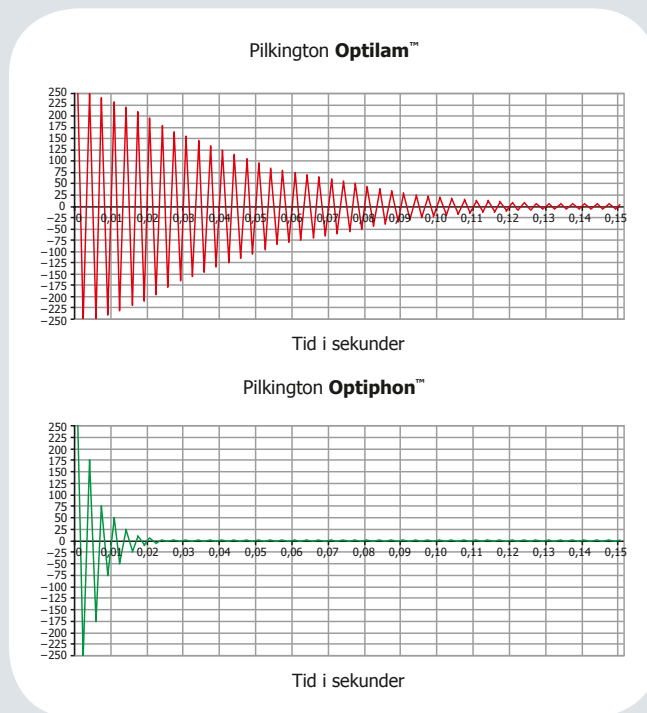
I den dybe del af tonerne ses også et dyk. Dette er den såkaldte resonansfrekvens. Ved denne frekvens svinger hele komponenten i resonans og viderefører således lydsvingningerne særdeles godt og lydisolerer dårligt.

Lydisoleringen kan forbedres ved at flytte resonansfrekvensen til en anden frekvens (væk fra den generende frekvens eller til en frekvens, hvor det menneskelige øre ikke hører den så godt). Dette opnås helst ved at "adskille" det isolerende glaslag ved at gøre glasset både tung og blød på samme tid. Dette kan opnås ved at sammenføje to stykker glas ved hjælp af moderne PVB-mellemlag, der er udviklet specielt til dette formål.





Figur 8: Kurve for lydreduktion



Figur 9: Illustrationen viser den imponerende forskel på Pilkington **Optilam™** og Pilkington **Optiphon™** fra et lydteknisk synspunkt.

## Viglig påmindelse

Formålet med at vælge det rigtige akustiske produkt, er at gøre det akustiske indeklima behageligt (iht bygningsreglementet) og eliminere den stress, der forbindes med støjgener. Tilfredsstillende lydforhold er ikke det samme alle steder, og de nationale retningslinjer er udarbejdet med henblik på de fleste miljøer. På et bibliotek bør baggrundstøjen f.eks. være omkring 30 dB, og ligeledes adskiller et soveværelse sig fra en stue. Ingen støj er ikke ønskværdigt og findes hovedsageligt kun i lydøde rum, der er beregnet til prøvninger. Ingen støj kan være en uhyggelig oplevelse, der får øret til at lytte efter andre lyde, der vil virke distraherende. En første vejledning er:

Støjkilde – bygnings støjdempering = Tilfredsstillende lydforhold

Vær opmærksom på, at hele bygningen skal fungere, og at glasset alene ikke løser alle akustiske problemer. Lyd skal kun bruge en minimal sprække for at trænge ind i en bygning i modsætning til varmetab eller varmeoptagelse, der har tendens til at være proportional med overfladearealet. Med hensyn til glassets støjreduktion op til 35 dB vil et vindue uden udluftnings ventil opnå en lignende effekt. Over dette niveau skal der anvendes vinduer, der er specielt udviklet til at opnå et niveau, der svarer til glassets lydreduktion for at sikre, at det samlede produkt fungerer.

## Sammendrag

Der er fem faktorer, der tilsammen kan påvirke luftlydisolerings- evnen for termoruder.

1. Glassets massefylde
2. Asymmetrisk opbygning
3. Stor afstand mellem glassene
4. Brug af alternative gasser
5. Brug af Pilkington **Optiphon™** specielt, lamineret sikkerhedsglas.

Ved store krav til lydisoleringen bliver moderne lydisolerende, lamineret sikkerhedsglas såsom Pilkington **Optiphon™** stadig mere almindeligt fordi det er muligt i kombinationer at opnå  $R_w$ -værdier på over 50 dB, og de fås ligeledes i store formater. PVB's kompatibilitet med andre materialer er almindeligt kendt, og det er også muligt at gøre materialet personsikkert og bruge det i glastage.

Denne publikation giver kun en generel beskrivelse af produktet. Du kan få yderligere information fra din lokale leverandør af Pilkington-produkter. Brugerne er selv ansvarlige for at påse at brugen af produktet egner sig for en specifik applikation og at praktisk brug er i overensstemmelse med al relevant lovgivning, standarder, praksis og andre krav. Nippon Sheet Glass Co. Ltd. og deres datterselskaber fraskriver sig, i den videste udstrækning tilladt ved lov, ansvar for fejl eller udeladelser fra denne publikation og for alle konsekvenser deraf. Pilkington, "Optifloat", "Optiphon" og "Optilam" er beskyttede varemærker ejet af Nippon Glass Co. Ltd, eller datterselskaber heraf.



CE-mærkning bekræfter at produktet svarer til relevante europæiske regler.  
CE-mærkeetiketten for hvert produkt, inkluderer deklarerede værdier, finder du på [www.pilkington.com/CE](http://www.pilkington.com/CE)