



PILKINGTON
NSG Group Flat Glass Business

Schalldämmung mit Glas

Glaskompendum

Einleitung

Wer kennt das nicht? Es ist Sonntagnachmittag, man versucht sich zu entspannen. Man liest ein gutes Buch oder legt einfach die Beine hoch, um ein kleines Nickerchen zu machen. Trotzdem will sich die Entspannung nicht richtig einstellen, da man z. B. das Tennismatch hören kann, das sich der Nachbar im Fernsehen anschaut, oder die in unregelmäßigen Abständen vorbeifahrenden Autos einen immer wieder aus der Traumwelt aufschrecken lassen.

Mit zunehmendem Fortschritt wird die Menschheit bzw. die dazugehörige Industrie immer lauter. Aber auch das Gesundheitsbewusstsein wächst im gleichen Maße. Da z. B. das Verkehrsaufkommen auch zukünftig eher steigen als nachlassen wird und der zur Verfügung stehende Wohnraum immer intensiver genutzt werden wird, müssen Wege gefunden werden, um die Menschen vor dem steigenden Geräuschpegel zu schützen, denn Lärm kann erheblichen Stress verursachen und zu ernsthaften Erkrankungen führen.

Obwohl das Themengebiet der Schalldämmung sehr weitläufig und interessant ist, wollen wir uns im Folgenden auf die Möglichkeiten konzentrieren, die der Baustoff Glas zu bieten hat.

Was ist Schall?

Physikalisch gesehen gehört der Schall in das Themengebiet der Wellenphysik/mechanischen Schwingungen. (Bereits vor 2000 Jahren verglich ein römischer Architekt, der mit dem Bau von Amphitheatern beschäftigt war, den Schall mit Wellen im Wasser.)



Abb. 1: Schall breitet sich ähnlich aus wie Wasserwellen

Schlägt man beispielsweise eine Stimmgabel an, so kann man hören aber auch sehen, dass diese schwingt. Diese Schwingungen werden auf (Luft-) Moleküle übertragen, die dann ihre Schwingungen an andere (Luft-) Moleküle weitergeben.

Diese Schwingungen sind vergleichbar mit einer Wasserwelle, wobei die Höhe der Welle ein Maß für die Lautstärke ist und die Anzahl der Wellen pro Sekunde (dies ist die Definition der Frequenz, Einheit Hertz (Hz)) über den Klang entscheidet.

Der Kammerton A erzeugt 440 Schwingungen pro Sekunde. Verdoppelt man die Frequenz, erhöht man den Ton um eine Oktave.

Das Ohr kann Frequenzen von 16 Hz bis gut 16000 Hz unterscheiden und ist in der Lage, Drücke oder genauer gesagt Druckschwankungen zwischen $10^{-5} \text{ Pa} = 0,00001 \text{ Pa}$ (untere Hörgrenze) und $10^2 \text{ Pa} = 100 \text{ Pa}$ (Schmerzgrenze) wahrzunehmen und als Lautstärkeindruck an das Gehirn weiterzugeben.

Das Verhältnis zwischen dem leisesten und dem lautesten Geräusch beträgt also 1 zu 10 Millionen. Da dies sehr unhandlich ist, benutzt man in der Praxis den so genannten Schalldruckpegel oder kurz Schallpegel L, der eine Umrechnung des Schalldrucks in ein handlicheres Maß, die so genannte Dezibelskala (dB) darstellt. Die gewöhnliche Skala reicht von 0 dB (Hörschwelle) bis etwa 130 dB (Schmerzgrenze). In Abb. 3 sind ein paar Beispiele dargestellt.

Lärm kann auf verschiedene Ursachen zurückgeführt werden, und jeder Lärm kann bei unterschiedlichen Frequenzen unterschiedliche Lautstärken erreichen. Bei Flugzeugen bestehen beispielsweise deutliche Unterschiede zwischen Propellerflugzeugen, modernen Flugzeugen mit Doppelstrom-Strahltriebwerken und Militärflugzeugen.

Bei der Planung der Schalldämmung können solche Unterschiede durch geeignete Wahl der Verglasungen reduziert werden.

Definition der Frequenz

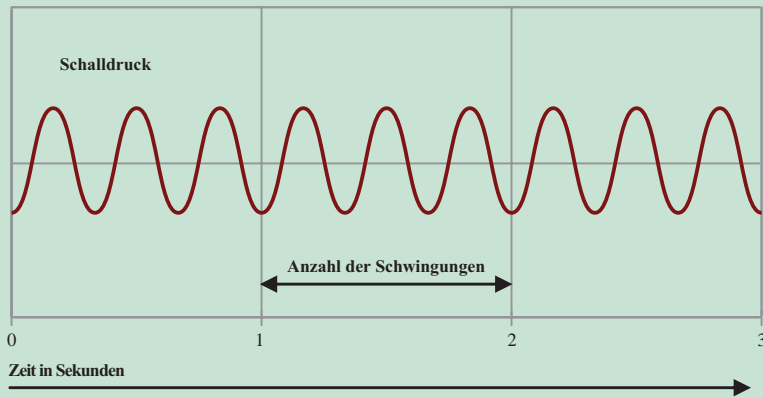


Abb. 2: Definition der Frequenz

Lärmquelle und -wahrnehmung

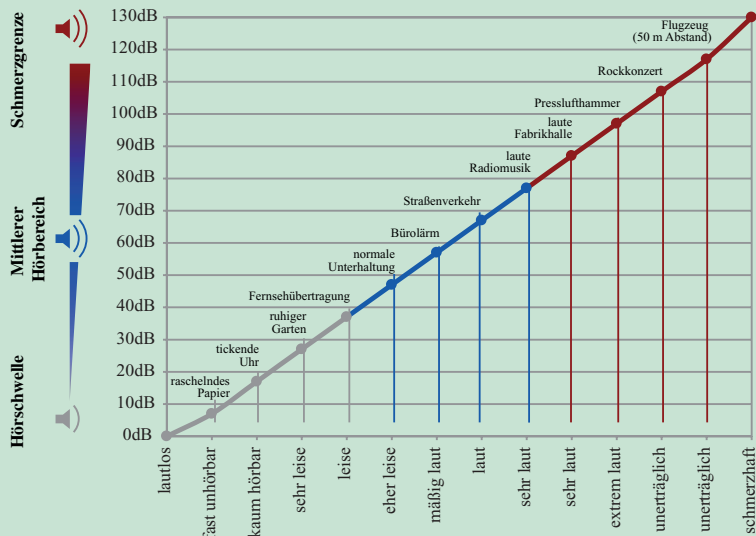


Abb. 3: Lärmquelle und -wahrnehmung (Quelle: Kuraray, Troisdorf)

Die Bestimmung des Geräuschpegels lässt sich auf unterschiedliche Weise durchführen. Bei großen oder schwierigen Projekten sollte ein Sachverständiger eingeschaltet werden, der vor Ort über einen längeren Zeitraum Lärmmessungen durchführt. Die Ergebnisse werden in der Regel nach sogenannten Oktavfrequenzen dargestellt.

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

Die Schallmessung kann vor Ort, in der Nähe der Schallquelle oder an einer dazwischen befindlichen Stelle erfolgen. Hierbei gilt: Je größer die Entfernung von der Quelle, desto geringer sind die Auswirkungen.

Beispiel: Mit zunehmender Entfernung nimmt der Lärm ab

Der Lärm von Straßenverkehr nimmt bei Verdopplung der Entfernung von der Straße im rechten Winkel um ca. 3 dB ab. Wenn beispielsweise: L der dB-Lärmpegel bei einer Entfernung von 5 m ist, ergibt sich folgendes Lärminderungsmuster:

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

Der Lärmpegel sollte über einen längeren Zeitraum gemessen werden, so dass über diesen Mittelwert der unverhältnismäßig hohe Anteil eines vereinzelt lauten Geräusches, wie z. B. einer Autohupe, ausgeglichen wird. Es lässt sich ein theoretischer Dauerlärmpegel ermitteln, der als äquivalenter Lärmpegel (Leq) bezeichnet wird.

Alternativ kann eine Gewichtung durchgeführt werden.

So berücksichtigt z. B. die A-Gewichtung, dass das menschliche Gehör nicht bei jeder Frequenz gleichermaßen auf dieselbe Lautstärke reagiert, d. h. einige Frequenzen erscheinen lauter als andere, selbst wenn sie mit der gleichen Energie erzeugt werden.

Sollten keine Messungen erfolgen, so kann man auf Erfahrungswerte aus anderen Messungen, wie z.B. Straßenverkehr, Musik, Stimmen, Zügen oder Flugzeugen zurückgreifen.

Wichtig ist es, dass die Messindizes auf einem identischen Spektrum beruhen. Sobald der Lärmpegel bekannt ist, lässt sich die Glasleistung entsprechend anpassen, um den angestrebten Restlärmwert zu erzielen.

Bestimmung des Schalldämmwerts R_w

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

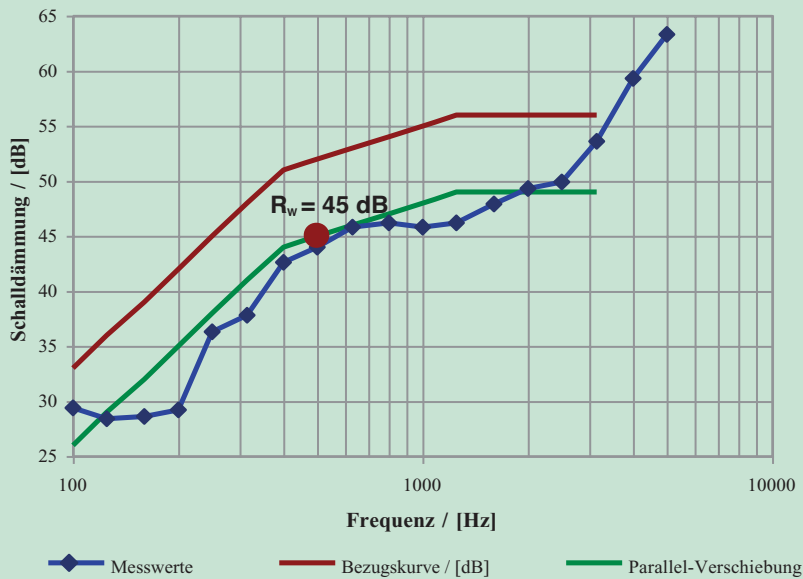


Abb. 4: Bestimmung des R_w Wertes

* zuvor unter der Bezeichnung Pilkington **Optilam™** Phon bekannt

Für „Dickbrettbohrer“:

Die Messwerte für den Aufbau 10 mm Pilkington **Optifloat™** – 16 mm SZR – 9,1 mm Pilkington **Optiphon™** sind blau dargestellt. Die in der Norm EN 717 Teil 4 festgelegte Bezugskurve ist rot dargestellt. Diese Bezugskurve wird nun in ganzen dB-Schritten nach unten verschoben. Und zwar so lange, bis die durchschnittliche Abweichung der Messwerte von der verschobenen Bezugskurve maximal und kleiner als 2 dB ist. Hierbei werden nur die Messwerte berücksichtigt, die kleiner sind als die Bezugswerte. Der y-Wert dieser verschobenen Bezugskurve (grüne Kurve in Abbildung 4) für eine Frequenz von 500 Hz ist der gesuchte R_w -Wert; in diesem Beispiel 45 dB. Der erwähnte Zusammenhang zwischen der Schalldruckamplitude und der empfundenen Lautstärke ist leider nicht ganz so einfach, wie der Naturwissenschaftler dies gerne hätte, denn die Natur hat unser Gehör für bestimmte Bereiche empfindlicher gemacht als für andere Bereiche. Dies hat zur Folge, dass man einen 1000 Hz-Ton im Vergleich zu einem 100 Hz-Ton als lauter wahrnimmt, obwohl der Schalldruck derselbe ist. Diese Eigenart des menschlichen Gehörs wird durch die Form der Bezugskurve berücksichtigt.

Vergleich zweier schalldämmender Glasaufbauten mit

$R_w = 39\text{dB}$

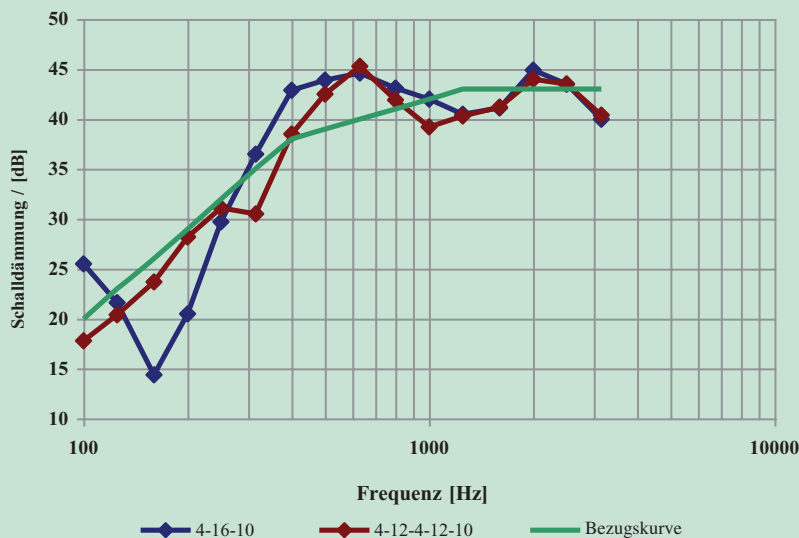


Abb. 5: Vergleich zweier schalldämmender Glasaufbauten

Bestimmung der Schalldämmung von Gläsern

Da es zu aufwändig wäre, jedes System vor Ort zu vermessen, werden alle Schalldämmspektren unter genormten Bedingungen aufgezeichnet. Wie man sieht, ist die Schalldämmung stark frequenzabhängig. Um nicht mit den kompletten Datensätzen arbeiten zu müssen, kann man diese Diagramme auf einen einzigen Wert reduzieren. Das genormte Verfahren wurde im Teil "Für Dickbrettbohrer" bereits beschrieben. Das Ergebnis ist eine einzelne Zahl – in diesem Fall $R_w = 45\text{dB}$ – mit der man gut weiterrechnen kann.

Der Nachteil solcher Ein-Wert-Angaben liegt darin, dass man mit völlig verschiedenen Kurvenverläufen auf dasselbe Ergebnis kommen kann, wie die Abbildung 5 zeigt.

Man erreicht aussagefähigere Ein-Wert-Angaben, indem man für spezielle Anforderungen „maßgeschneiderte“ Bezugskurven verwendet.

Solche „Sonderfälle“ sind C und Ctr. Sie berücksichtigen die unterschiedlichen Frequenzspektren von Wohn- und Verkehrsgeräuschen und ermöglichen so, die den jeweiligen Problemen adäquaten Lösungen in einfacher Art zu ermitteln.

Der C-Wert berücksichtigt dabei die Geräuschquellen

- Wohnaktivitäten (Reden, Musik, Radio, TV)
- spielende Kinder
- Schienenverkehr mit mittlerer und hoher Geschwindigkeit
- Autobahnverkehr > 80 km/h
- Düsenflugzeuge in geringem Abstand
- Betriebe, die überwiegend mittel- und hochfrequenten Lärm abstrahlen

Der Ctr-Wert berücksichtigt Geräuschquellen wie

- städtischen Straßenverkehr
- Schienenverkehr mit geringer Geschwindigkeit
- Propellerflugzeuge
- Düsenflugzeuge in großem Abstand
- Discomusik
- Betriebe, die überwiegend tief- und mittelfrequenten Lärm abstrahlen

Wenn also das in einer Stadt zu planende Gebäude direkt an einer Hauptverkehrsstraße liegt, ist der Ctr- Wert der aussagekräftigste.

Plant man ein Gebäude direkt neben der Autobahn, so ist der C-Wert entscheidend.

„Rechenregeln“

Die Verwendung der dB-Skala ermöglicht zwar schöne handliche Zahlen, führt aber zu etwas ungewöhnlichen „Rechenregeln“. Bei der Verdoppelung zweier Schallquellen erhöht sich der dB-Wert lediglich um 3 dB. Eine Verzehnfachung führt zu einem Anstieg von 10 dB.

Um die Verwirrung komplett zu machen, sei hier noch erwähnt, dass eine Halbierung des Schallpegels vom Ohr nicht als Halbierung der Lautstärke erkannt wird. Allgemein gilt, dass

- ein Unterschied von 1 dB kaum wahrnehmbar ist
- ein Unterschied von 3 dB wahrnehmbar ist
- ein Unterschied von 5 dB einen Klassenunterschied bedeutet
- ein Unterschied von 10 dB den Lärm halbiert/verdoppelt

Die verschiedenen Arten der Schalldämmung

Masse

Der Schall breitet sich wie bereits erwähnt in Wellen aus, indem er die Moleküle seines jeweiligen Mediums zum Schwingen anregt. Durch diese Übertragungsart widerfährt dem Schall – abhängig von der jeweiligen Masse – eine natürliche Dämpfung.

Einfach ausgedrückt: Je mehr Masse man zwischen Sender und Empfänger bringt, desto größer ist die Dämpfung.

Die einfachste Art, die Schalldämmung bei Gläsern zu erhöhen, liegt also darin, viel Glas zu verwenden. So hat eine 12 mm Einfachscheibe einen R_w -Wert von 34 dB, eine 4 mm Scheibe aber lediglich einen von 29 dB.

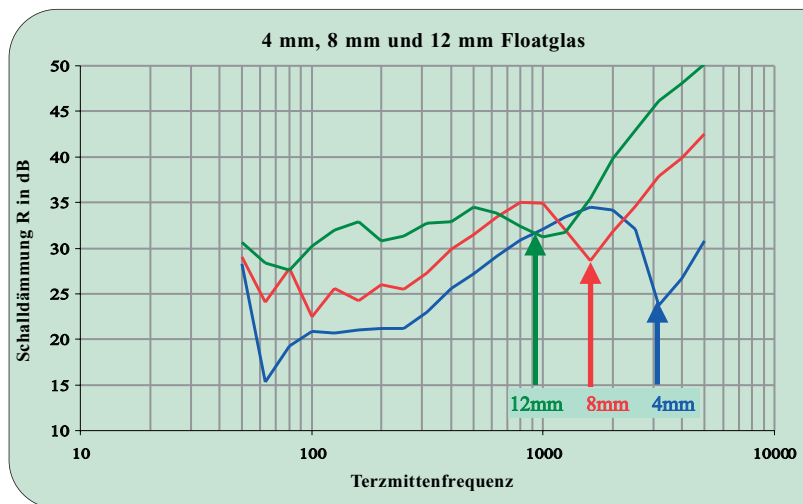


Abb. 6: Einfluss der Scheibendicke auf die Koinzidenzfrequenz

Koinzidenzfrequenz und Asymmetrie

Vergleicht man die Spektren von 4 mm, 8 mm und 12 mm Floatglas, so sieht man, dass jedes dieser Spektren im rechten Teil einen Einbruch hat.

Die so genannte Koinzidenzfrequenz ist materialspezifisch und dickenabhängig.

Als Faustformel gilt:

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

(wobei d = Materialdicke)

Nach dieser Formel liegt f_g für 4 mm Floatglas bei 3000 Hz, für 8 mm Floatglas bei 1500 Hz und bei 12 mm Floatglas bei 1000 Hz, was recht gut mit den Spektren in Abbildung 6 übereinstimmt.

Wenn man also einen Isolierglasaufbau mit unterschiedlich starken Einzelscheiben wählt (z. B. 4-12-8), so lässt zwar die äußere Scheibe Lärm um 3000 Hz gut passieren, jedoch wird dieser Teil durch die innere Scheibe weggefiltert. Durch diesen asymmetrischen Aufbau kann man den Einbruch im Koinzidenzbereich deutlich reduzieren, wie die Abbildung 7 zeigt.

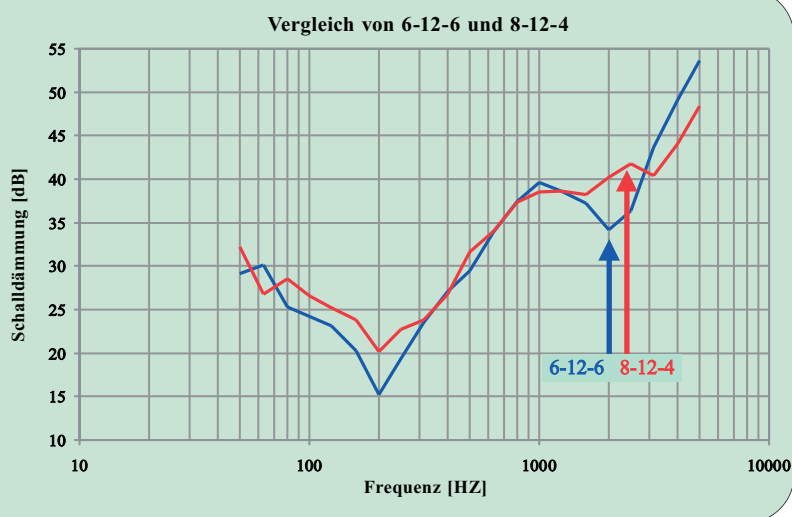


Abb. 7: Asymmetrischer Glasaufbau zur Verringerung der Koinzidenz

Scheibenzwischenraum / Gasfüllung

Auf seinem Weg durch ein Isolierglas muss der Schall auch durch den Scheibenzwischenraum. Wenn man diesen vergrößert (also mehr Masse zwischen Sender und Empfänger bringt) oder eine schwerere Gasfüllung verwendet, kann man schalltechnisch einige dB gewinnen.

Aus schalldämmtechnischer Sicht ist das sogenannte Schwefelhexafluorid (SF6) ideal. Allerdings hat dieses Gas zwei Nachteile. Erstens verschlechtert sich der Ug-Wert und zweitens hat dieses Gas ein CO₂-Äquivalent von 22.800 und trägt somit extrem zum Treibhauseffekt bei. Aus beiden Gründen sind SF6- Gasfüllungen in Deutschland und in weiten Teilen Europas verboten. Krypton ist etwas schwerer als standardmäßig in Isoliergläsern eingesetzte Argon. Gleichzeitig ermöglicht es hervorragende Wärmedämmwerte. Bei hohen Schallschutzanforderungen lässt sich so etwa 1 dB gewinnen.

Entkopplung / Dämpfung

Die Schalldämmung im Übertragungsmedium Glas kann man dadurch weiter verbessern, dass man Gießharz-Verbundglas oder das Schalldämm-Verbundsicherheitsglas Pilkington **Optiphon™** verwendet.

Im linken Teil der Spektren erkennt man einen weiteren Einbruch. Hierbei handelt es sich um die sogenannte Resonanzfrequenz. Das ist die Frequenz, bei der das Bauteil als Ganzes in Resonanz schwingt und somit die Schallschwingungen besonders gut „transportiert“ und damit schlecht dämmt.

Man kann die Schalldämmung dadurch verändern, dass man die Resonanzfrequenz des Bauteils zu tieferen Frequenzen (bei denen der Mensch schlechter oder gar nicht hört) verschiebt. Dies erreicht man vorzugsweise dadurch, dass man das Isolierglas „entkoppelt“, indem man eine Glasscheibe gleichzeitig schwer und weich macht. Dies kann man dadurch erreichen, dass man zwei Glasscheiben entweder mit speziellen (weichen) Gießharzen oder mit modernen und speziell für diese Anwendung entworfenen PVB-Folien verbindet.

Wichtiger Hinweis

Der Restlärmpegel ist nicht bei allen Standorten gleich. Es liegen nationalstaatliche Richtlinien vor. In einer Bibliothek sollte der Hintergrundlärm beispielsweise bei 30 dB liegen, und bei einem Schlafzimmer ist es wieder anders als bei einem Wohnzimmer. Null Lärm ist unerwünscht und kommt gewöhnlich nur in so genannten schalltoten Räumen vor, die Versuchszwecken vorbehalten sind. Null Lärm kann eine unheimliche Wirkung haben, da sich das Ohr auf andere ablenkende Geräusche einstellt.

$$\text{Lärmquelle} - \text{Lärmdämpfung des Gebäudes} = \text{Restlärm}$$

Verglasungen haben einen hohen Anteil an dem gesamten Schalldämmungskonzept des Gebäudes. Hierbei gilt: Je höher die Anforderung ist, desto besser müssen die einzelnen Komponenten aufeinander abgestimmt sein.

Zusammenfassung

Es gibt fünf Faktoren, die miteinander kombinierbar sind und die Schalldämmung von Isoliergläsern positiv beeinflussen können

1. Glasmasse
2. asymmetrischer Aufbau
3. großer Scheibenzwischenraum
4. Verwendung von Schwergasen
5. Verwendung von Gießharzen/speziellen Verbund-Sicherheitsgläsern

In den oberen Schallschutzklassen setzen sich die modernen Schalldämm-Verbundsicherheitsgläser wie Pilkington **Optiphon™** im Vergleich zu den Gießharzprodukten immer mehr durch, da man auch mit ihnen ohne den Einsatz von SF6 R_w -Werte von bis zu 50 dB erreichen kann, sie aber als Bandmaße lieferbar sind, die Verträglichkeit von PVB mit anderen Materialien als weitgehend unproblematisch anzusehen ist und man zusätzliche Funktionen wie Absturzsicherung und Überkopfverglasung erreichen kann.

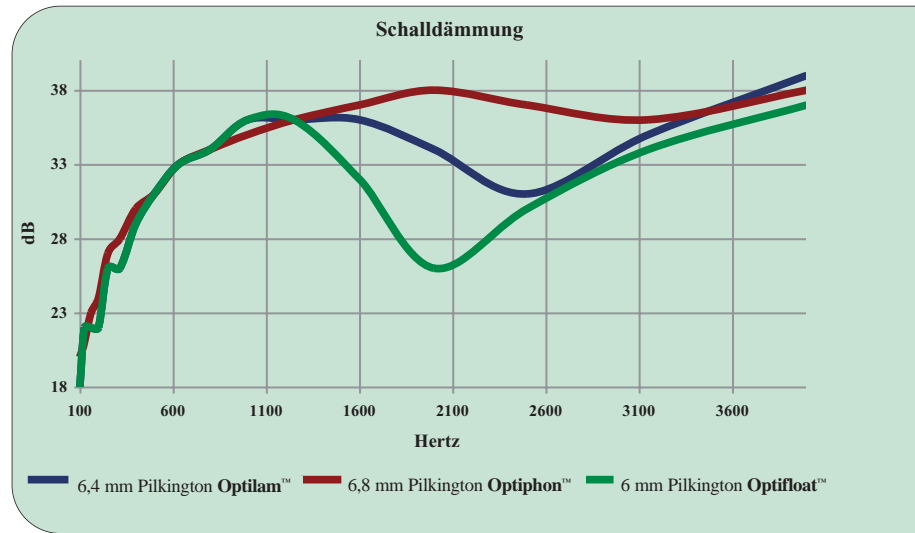


Abb. 8: grafische Darstellung der Schalldämmung

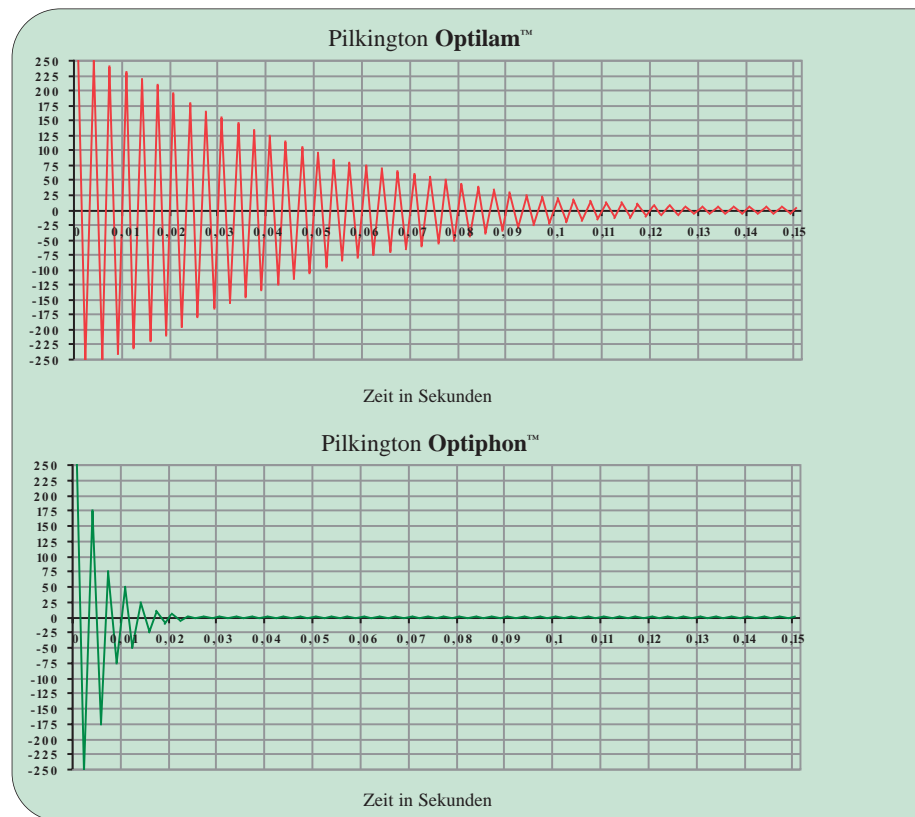


Abb. 9: Die Abbildung zeigt auf eindrucksvolle Weise den schalltechnischen Unterschied zwischen Pilkington **Optilam™** und Pilkington **Optiphon™**.

*Pilkington Group Limited und alle konzernverbundenen Unternehmen haften nicht für etwaige Fehler oder Auslassungen in dieser Veröffentlichung sowie ggf. daraus entstehende Schäden. Pilkington **Optiphon**™ ist ein geschütztes Markenzeichen der Pilkington Group Limited.*



PILKINGTON
NSG Group Flat Glass Business

Pilkington Deutschland AG
Hegestraße 45966 Gladbeck
Infoline 0180/ 30 20 100
www.pilkington.com