

Untersuchung der akustischen Performance von Vakuumisoliervlas (VIG)

Christian Lux¹, Bernd Nusser², Peter Schober³

Holzforschung Austria, 1030 Wien,

E-Mail: ¹c.lux@holzforschung.at, ²b.nusser@holzforschung.at, ³p.schober@holzforschung.at

1. Luftschalldämmung von Vakuumglas

Aus bauakustischer Sicht kann Vakuumglas annähernd wie eine monolithische Einfachscheibe betrachtet werden [1]. Dabei hängt die Schalldämmung hauptsächlich von der Flächenmasse, der Steifigkeit, der inneren Dämpfung und der Dimension ab. Jede dieser Eigenschaften beeinflusst einen speziellen Frequenzbereich im Verlauf der Schalldämmung [2], [3]. Die tieffrequente Schalldämmung wird neben der Scheibenmasse hauptsächlich von der Steifigkeit und der Dimension (Höhe \times Breite) geprägt. Im diesem Bereich liegen die Eigenfrequenzen f_n des Vakuumglases. Diese können mit Gleichung (1) berechnet werden [4].

$$f_n = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{B'}{m'} \left[\left(\frac{n_x}{a} \right)^2 + \left(\frac{n_y}{b} \right)^2 \right]} \text{ in Hz} \quad (1)$$

Dabei entspricht B' der Biegesteifigkeit der Platte in Nm; m' der Flächenmasse in kg/m²; n_x und n_y ganzen natürlichen Zahlen; a und b den Seitenlängen der Platte in m. Oberhalb der Eigenfrequenzen liegt der Wirkungsbereich des Massengesetzes (Bergersches Massengesetz). Innerhalb der Grenzen des Massengesetzes $f_n < f_{\text{Massengesetz}} < f_c/2$ wird die Schalldämmung primär von der Flächenmasse beeinflusst. Mit Gleichung (2) kann das Schalldämm-Maß entsprechend dem Massengesetz berechnet werden [4].

$$R = 20 \lg(fm') \text{ in dB} \quad (2)$$

In (2) entspricht f der (betrachteten) Frequenz in Hz und m' der Flächenmasse in kg/m². Der Anstieg der Schalldämmung in diesem Bereich liegt bei 6 dB/Oktave. Ein Abfall des Schalldämm-Maßes tritt dann wieder auf, wenn die Koinzidenz oder Spuranpassung zu wirken beginnt. Koinzidenz bedeutet in der Bauakustik, dass die Wellenlänge der freien Biegewelle auf der Oberfläche des Bauteils mit der Spur der Wellenlänge des (schräg) einfallenden und des abgestrahlten Luftschalls übereinstimmt. Aufgrund dessen wird die Schalldämmung der Verglasung stark verschlechtert. Die Koinzidenzgrenzfrequenz f_c kann mit folgender Gleichung berechnet werden [4].

$$f_c = \frac{c_0^2}{2\pi} \sqrt{\frac{m'}{B'}} \xrightarrow{\text{für Glas gilt dann}} f_c \cong \frac{12000}{t} \text{ in Hz} \quad (3)$$

Mit c_0 wird die Schallgeschwindigkeit in Luft in m/s gegeben und t ist die Scheibendicke in mm.

2. Aufbau und Systematik der untersuchten Prüfkörper

Alle hier untersuchten Verglasungen haben eine Dimension von (1230 \times 1480) mm². Der Einbau in den Prüfstand erfolgte gemäß ÖNORM EN ISO 10140-1:2016, Anhang D. Im Allgemeinen bestehen Vakuumgläser aus zwei vorgespannten Einzelgläsern (EG), mit einer Dicke von

jeweils 3 mm bis 8 mm. Die Einzelgläser werden mit Mikroabstandhaltern (Pillar) voneinander getrennt. Der Scheibenzwischenraum (SZR) beträgt 0,25 mm bis 0,7 mm. Am Rand wird ein vakuumdichter Randverbund angebracht, der die Scheiben zusammenhält. In einem dieser verwendeten Einzelgläsern ist eine Öffnung über die der SZR evakuiert wird. Dabei stellt sich ein Restgasdruck im Bereich von $< 0,001$ hPa (Hockvakuum) ein. In die Öffnung wird ein Getter angebracht und diese schließlich versiegelt (siehe **Abbildung 1**).

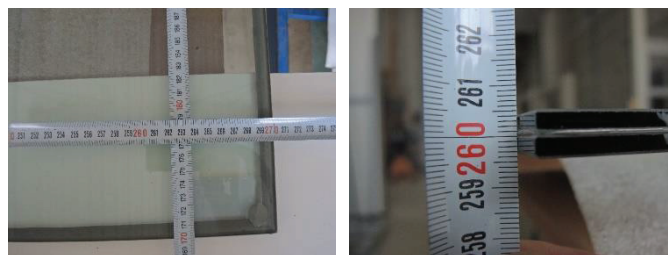


Abbildung 1: Vakuumglas (4v4) von Hersteller 1, links Draufsicht mit Getter im rechten unteren Eck, rechts Seitenansicht mit vakuumdichten Randverbund

In **Tabelle 1** sind die untersuchten Vakuumverglasungen aufgelistet. Zum Vergleich wurden weitere ausgewählte Einscheibengläser (EG) und Verbundgläser (VG) geprüft. Das Ziel war eine Einschätzung der Produkte zu ermöglichen und Vergleiche mit am Markt verfügbaren Scheibenaufbauten anstellen zu können. Zusätzlich wurden ausgewählte Vakuumscheiben (von Hersteller 1) zu vorher definierten Zweischeiben-Vakuumisolierverglasungen (VIG) veredelt. Zum Vergleich wurden vergleichbare Zweischeiben-Isolierverglasungen (MIG) aus EG bzw. VG hergestellt. Ergänzend wurden auf die Vakuumverglasungen Einzelscheiben aufgespannt. Hierfür wurde auf eine 4v4 Vakuumverglasung eine Einfachscheibe gelegt und mit Klebeband und Klammern fixiert. Derzeit werden vergleichbare lamellierte (mit PVB-Folie) Systeme untersucht.

Tabelle 1: Übersicht der untersuchten Vakuumverglasungen

Vakuumverglasung	Pillarabstand in mm	Anzahl n	Hersteller	m' in kg/m ²
3v3	30 \times 30	2	1	15,3
4v4	40 \times 40	10	1	19,4
5v5	40 \times 40	2	1	23,7
4v6	40 \times 40	4	1	24,0
6v6	40 \times 40	2	1	28,7
5v8	40 \times 40	2	1	30,5
4v4	40 \times 40	3	2	19,4

3. Vakuum-, Einscheiben- und Verbundgläser

In den nachfolgenden Auswertungen wurden die Messwerte der einzelnen Vakuumgläser gemittelt, da immer mindestens

zwei gemessen wurden. Die Anzahl n der gemittelten Messwerte wird im jeweiligen Diagramm mit ($n=$) angegeben. Der Frequenzverlauf der 4 mm, 8 mm EG und der Mittelwert der zehn gemessenen 4v4 Vakuumgläser ist in **Abbildung 2** dargestellt. Zusätzlich wurde das Massengesetz für eine 4 mm und 8 mm EG eingetragen. Zum Vergleich der Messwerte wurden noch Schalldämm-Maße für die EG aus ÖNORM EN 12758:2019 entnommen. Es ist ersichtlich, dass die Messwerte der 4 mm EG gut mit dem gegebenen Verlauf aus der EN 12758:2019 zusammenpassen. Der Koinzidenzeinbruch bildet sich bei beiden Verläufen gleich aus und liegt bei 3150 Hz. Im Gültigkeitsbereich des Massegesetzes passen die Messwerte gut zu dem berechneten Verlauf. Betrachtet man das Schalldämm-Maß der 8 mm EG im Vergleich zu den EN 12758:2019 Werten sind die Abweichungen zu denen der 4 mm EG größer. Des Weiteren ist der Verlauf aufgrund der höheren Flächenmasse der 8 mm EG bezogen auf die 4 mm EG parallel nach oben verschoben. Damit ist die Schalldämmung der dickeren EG größer. Genauso wie bei der 4 mm EG passen die errechneten Massegesetz-Werte gut zu den gemessenen Werten. Für diesen Fall zeigt sich bei den Messwerten ein Koinzidenzeinbruch im Bereich von 1600 Hz bis 2000 Hz. Aufgrund der Scheibendicke verschiebt sich diese im Vergleich zur 4 mm EG zu tieferen Frequenzen. Der EN 12758:2019-Verlauf zeigt einen schärferen Einbruch bei 1600 Hz. Somit zeigt das 4v4 Vakuumglas die gleiche bzw. höhere Performance als ein vergleichbares 8 mm EG, vor allem im Bereich der Koinzidenzfrequenz, da das Ansteigen der Schalldämmung länger erhalten bleibt und der Abfall erst später erfolgt. Nach dem Koinzidenzeinbruch steigt das 8 mm EG wieder eher an und erreicht ab 2500 Hz höhere Schalldämm-Maße. In **Abbildung 3** wird das 4v4 Vakuumglas mit VG-Systemen verglichen und diese wiederum mit einer 8 mm EG und EN 12758:2019. Der 44.2 VSG Aufbau zeigt nahezu den gleichen Verlauf wie die 8 mm EG. Erst im Bereich der Koinzidenzfrequenz treten Unterschiede auf. Die Tiefe des Einbruchs wird durch die Dämpfung der PVB-Folie reduziert. Eine Verschiebung der Koinzidenzfrequenz ergibt sich durch diese Folie nicht. Das liegt daran, dass sich die Steifigkeit so wenig ändert und somit die Verglasung wie eine monolithische Verglasung wirkt. Die 8 mm VG aus der EN 12758:2019 passt bis auf die Terzen 100 Hz und 125 Hz gut zu den Messwerten. Für den Fall der 44.2 VSGa sieht das Verhalten bezogen auf die 44.2 VSG etwas anders aus. Im tief- und mittelfrequenten Bereich passt es gut zusammen. Veränderungen ergeben sich hauptsächlich im hochfrequenten Bereich. Dort ist das Verhalten prinzipiell ähnlich wie bei einem 4v4 Vakuumglas. Der Koinzidenzeinbruch verschiebt sich zu 2500 Hz – 3150 Hz, zeigt sich aber gegenüber des Vakuumglases nicht so ausgeprägt. Aus diesem Grund erreicht die 44.2 VSGa weit höhere Schalldämmwerte in diesem Bereich. Im tieffrequenten Bereich werden von der 44.2 VSGa höhere Schalldämmwerte gegenüber der Vakuumverglasung erreicht. Was vermutlich auf die verschiedenen Steifigkeiten der beiden Gläser zurückzuführen ist. In **Abbildung 4** (links) werden die Frequenzverläufe aller gemessener Vakuumgläser wiedergegeben. Es ist ersichtlich, dass im

Bereich des Massegesetzes das Schalldämm-Maß der Varianten aufgrund der ansteigenden Flächenmasse parallel nach oben verschoben wird.

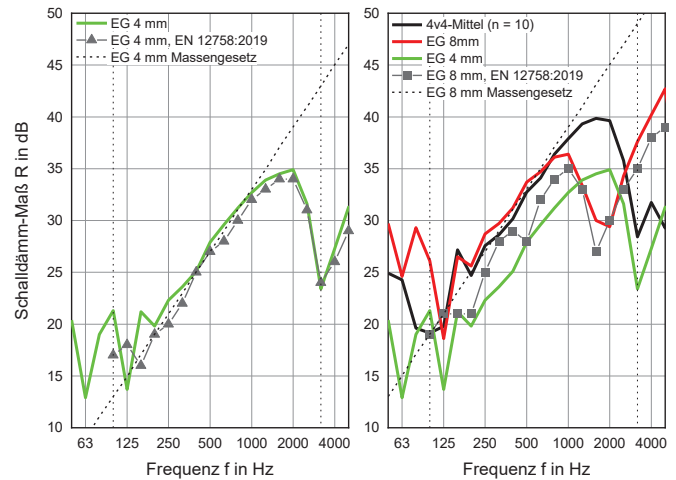


Abbildung 2: Frequenzverlauf 4 mm EG im Vergleich zu Massegesetz (links); Frequenzverlauf der 4v4 Vakuumverglasung 8 mm EG im Vergleich zum Massegesetz (rechts)

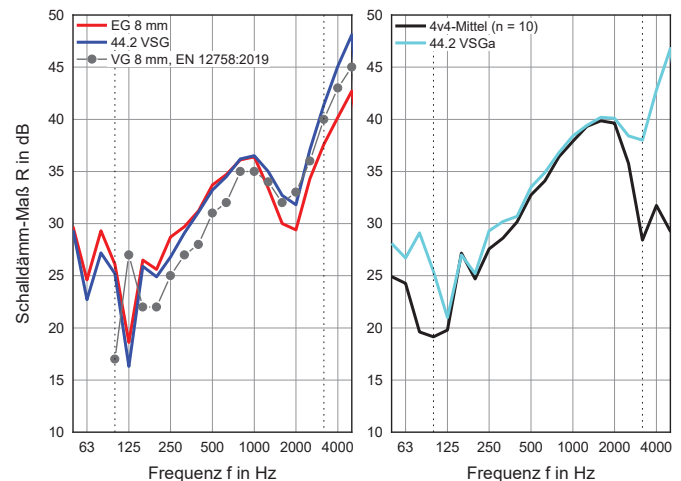


Abbildung 3: Frequenzverlauf 8 mm EG und 44.2 VSG im Vergleich (links); Frequenzverlauf der 4v4 Vakuumverglasung und 44.2 VSGa (rechts)

Dabei weisen die asymmetrischen Aufbauten im Vergleich zu den symmetrischen Aufbauten (4v6 mit 5v5 und 6v6 mit 5v8) keine Unterschiede auf. In diesen beiden Fällen sind die Flächenmassen zu ähnlich, um Unterschiede zu erzeugen (siehe **Tabelle 1**). Im Bereich der Koinzidenzfrequenzen zeigen sich durch die zunehmende Scheibendicke Verschiebungen zu niedrigeren Frequenzen. Bei dem 6v6 Vakuumglas bildet sich gegenüber den anderen eine Verbreiterung des Koinzidenzeinbruchs aus. Dieser zeigt sich analog bei den Werten der EN 12758:2019. Bei den asymmetrischen Varianten im Vergleich zu den symmetrischen Varianten zeigt sich keine Verschiebung der Koinzidenzfrequenz. Hier wären eine Verbreiterung des Koinzidenzeinbruchs (4v6) bzw. zwei Koinzidenzeinbrüche (5v8) zu erwarten gewesen. Diese Einbrüche können weder dem einen noch dem anderen Grundglas eindeutig

zugeordnet werden. Des Weiteren wird ersichtlich, dass eine deutliche Steigerung der Schalldämmung in tieffrequenten Bereichen ab 4v6 bzw. 5v5 gegenüber den 3v3 und 4v4 Gläsern eintritt. Diese Verbesserung fällt ab den genannten Systemen gleich aus. Zum anderen werden in **Abbildung 4** (rechts) zwei gleichartige Vakuumgläser 4v4 von verschiedenen Herstellern miteinander verglichen. Es ist ersichtlich, dass die beiden Frequenzverläufe bis auf wenige Frequenzbänder nahezu deckungsgleich sind. Selbst die Unterschiede in diesen Frequenzbändern fallen eher gering aus. In diesem Fall kann man die Vakuumgläser der unterschiedlichen Hersteller als gleichwertig ansehen.

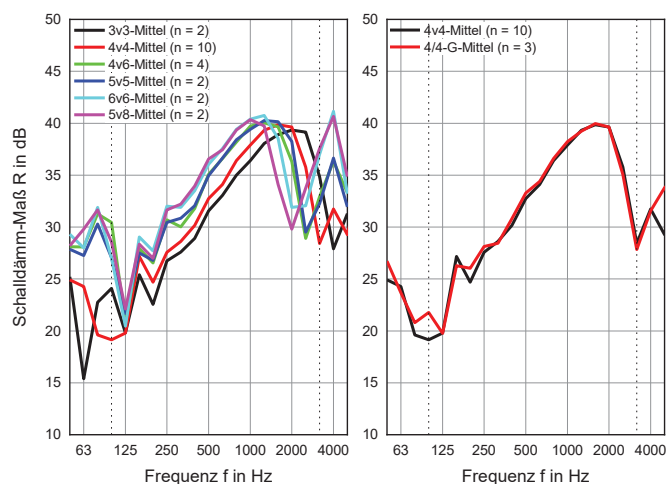


Abbildung 4: Frequenzverlauf von allen gemessenen Vakuumgläsern (links); Frequenzverlauf von 4v4 Vakuumgläsern von zwei Herstellern (rechts)

4. Mehrscheiben-Isoliergläser (MIG) und Vakuum-Isoliergläser (VIG)

In **Abbildung 5** und **Abbildung 6** werden die Frequenzverläufe der MIG- (gestrichelt) mit den VIG-Systemen (durchgezogen) verglichen. Zuerst werden die aufgespannten Systeme (8+4 und 4v4+4) ohne SZR betrachtet. **Abbildung 5** (links) zeigt die beiden Verläufe. Im tieffrequenten Bereich werden mit dem MIG-System etwas höhere Schalldämmungen erreicht. Dies liegt an dem 8 mm EG. Im mittelfrequenten Bereich sind beide Gläser nahezu deckungsgleich. Im hochfrequenten Bereich ab 1000 Hz zeigen sich Unterschiede, die sich ebenfalls aus der verwendeten Grundscheibe 8 mm EG ergeben. Diese Scheibe hatte eine Koinzidenz bei 1600–2000 Hz. Durch die aufgespannte Scheibe wird der Einbruch etwas gemindert und fällt somit etwas flacher ab. Das VIG-System erreicht dem gegenüber etwas höhere Schalldämm-Werte in diesem Bereich. Die Koinzidenzfrequenz wird in diesem Fall durch das Aufspannen nicht verschoben aber etwas gemindert. Ab 2500 Hz aufwärts werden von dem MIG-Aufbau höhere Werte erreicht, da der Anstieg der Schalldämmung früher beginnt. Im Fokus der zweiten Betrachtung (rechte Seite der Grafik) liegen die MIG- und VIG-Systeme mit einem SZR von 8 mm. Dieser ist in allen Fällen mit Luft gefüllt. Tieffrequent werden von dem MIG Aufbau leicht höhere Schalldämm-Maße erreicht. Ab 100 Hz aufwärts bis 1000 Hz passen die Verläufe gut zusammen. Bei dem MIG Aufbau sind zwei Koinzidenzeinbrüche

ausgeprägt. Einer bei 2000 Hz durch das 8 mm EG und einer bei 3150 Hz durch das 4 mm EG. Das VIG System erreicht zwischen 1000 Hz bis 2500 Hz höhere Werte, da keine Koinzidenz vorliegt. Bei 3150 Hz ist dafür der Einbruch aufgrund der drei verwendeten 4 mm EG stärker ausgeprägt. Somit wird von der 8-8-4-Scheiben ab 2500 Hz eine höhere Schalldämmung erzielt. Verglichen mit der EN 12758:2019 passen die ermittelten MIG Werte gut zu dem verwendeten Aufbau. Im tieffrequenten Bereich zeigen sich Abweichungen in einzelnen Frequenzbändern. Betrachtet man die Aufbauten ohne SZR (links) und mit ZSR (rechts) wird ersichtlich, dass sich durch den SZR von 8 mm eine Verringerung des Schalldämm-Maßes im Bereich von 160 Hz bis 1000 Hz einstellt, wobei die größten Abweichungen im unteren Teil des mittelfrequenten Bereiches auftreten. Der Grund dafür sind Resonanzen im SZR.

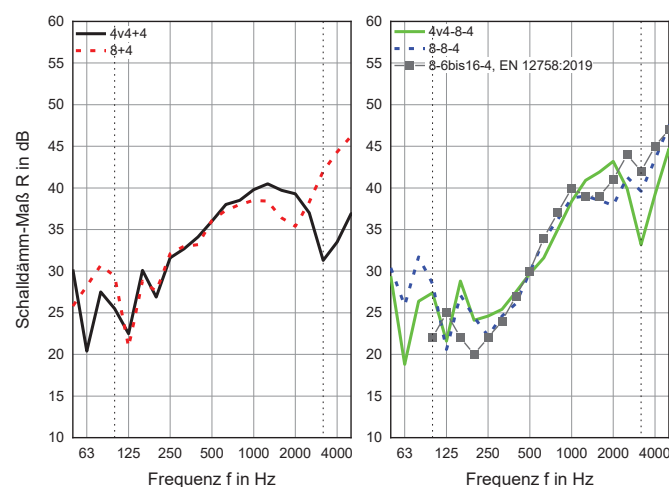


Abbildung 5: Frequenzverlauf von einer 8+4 und einer 4v4+4, beide 4 mm EG wurden auf die jeweilige Grundscheibe aufgespannt (links); Frequenzverlauf einer 8-8-4 (MIG) und einer 4v4-8-4 (VIG) mit einem 8 mm luftgefülltem SZR (rechts)

In **Abbildung 6** (links) werden die beiden Systeme mit einem SZR von 18 mm betrachtet. Das grundsätzliche Verhalten entspricht jenem der beiden vorher betrachteten Systemen ohne bzw. mit 8 mm SZR. Im tieffrequenten Bereich zeigt der MIG Aufbau höhere Schalldämm-Maße. Ab 100 Hz aufwärts passen die Verläufe gut zusammen. Ab 1000 Hz bilden sich Unterschiede aufgrund der unterschiedlichen Koinzidenzeinbrüche aus. Bei der Betrachtung der Frequenzverläufe in **Abbildung 5** (links) mit **Abbildung 6** (links) zeigen sich Unterschiede. Der Einbruch zwischen 125 Hz und 250 Hz ist bei dem SZR mit 18 mm stärker ausgeprägt als bei den anderen beiden Systemen. Ab 250 Hz aufwärts bis 630 Hz liegen die Schalldämm-Maße des 18 mm SZR zwischen den Werten des „kein SZR“ (oberen Grenze) und SZR 8 mm (untere Grenze). Bei höheren Frequenzen werden durch den größeren SZR die höchsten Schalldämmungen erreicht. Die Ausprägungen der Frequenzverläufe bei der Betrachtung des SZR stellen sich unabhängig von den gemessenen MIG- bzw. VIG-Systemen ein. Aus diesem Grund ist der SZR prägnant für den Verlauf des Schalldämm-Maßes. Zusätzlich wurden die zwei Grundgläser 8 mm EG und 4v4 noch mit

einem 18 mm luftgefüllten SZR und den Scheiben 44.2 VSG und 44.2 VSGa hergestellt. In **Abbildung 6** (rechts) werden die Ergebnisse der Messungen angeführt. Die Kurven der MIG-Systeme sind gestrichelt und die der VIG-Systeme durchgezogen eingezeichnet. Für den Fall der MIG-Aufbauten zeigt die 8-18-44.2 VSG die niedrigeren Schalldämmungen. Die höhere Schalldämmung der 8-18-44.2 VSGa liegt an dem Aufbau der VSG-Verglasung, da dort eine Akustikfolie als Zwischenschicht verwendet wurde. Es erfolgt keine Verschiebung der Koinzidenzfrequenz mit der VSGa, der Koinzidenzeinbruch ist jedoch mit dieser Scheibe weniger stark ausgeprägt. Bei den VIG-Aufbauten ist es ähnlich wie bei den MIG-Aufbauten, mit Akustik-VSG (VSGa) werden die höheren Schalldämm-Maße erreicht. Dieser Effekt zeigt sich ab 250 Hz aufwärts, besonders deutlich aber im Bereich der Koinzidenzfrequenz. Bei der 8-18-44.2 VSG können zwei geringe Einbrüche, einer bei 1600 Hz – 2000 Hz (der der 44.2 VSG) und einer bei 3150 Hz (der des 4 mm EG), auftreten. Bei der Akustik-VSG sieht man nur einen scharfen Einbruch der tiefer ausgeprägt ist. Dieser deutet wieder auf die 4 mm EG hin. Der Koinzidenzeinbruch der 44.2 VSGa an sich lag bei 2500 Hz – 3150 Hz. Die höchste Schalldämmung wird von der 4v4-18-44.2 VSGa erreicht. Danach folgen die 4v4-18-44.2 VSG und die 8-18-44.2 VSGa wobei die beiden Verläufe gut zusammenpassen. Die 8-18-44.2 VSG weist die niedrigsten Schalldämmwerte auf. Zum Vergleich wurde aus der EN 12758:2019 eine dreifach MIG VG 8-6 bis 16-4-6 bis 16-8 VG entnommen. Diese passt wiederum gut zu den Messwerten der vorher genannten Verglasung.

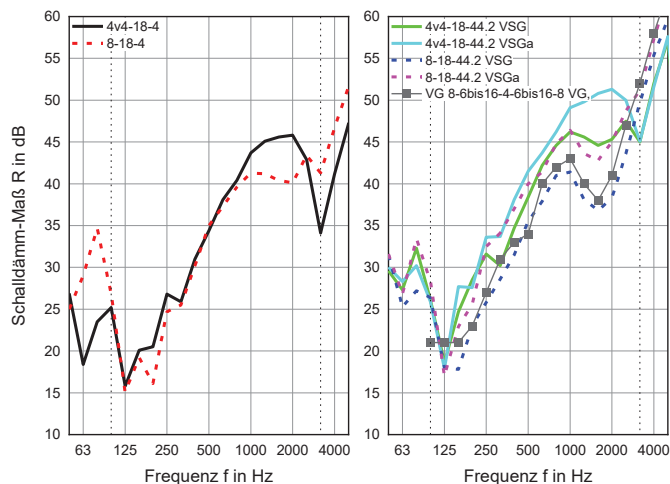


Abbildung 6: Frequenzverlauf von einer 8-18-4 und einer 4v4-18-4, beide 4 mm EG wurden auf die jeweilige Grundscheibe mit einem 18 mm luftgefüllten SRZ hergestellt (links); Frequenzverlauf einer 8-8-4 (MIG) und einer 4v4-8-4 (VIG) (rechts)

5. Bewertete Schalldämm-Maße

Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. zeigt die bewerteten Schalldämm-Maße (R_w -Werte) der untersuchten Scheiben. Zusätzlich werden die Spektrum-Anpassungswerte C und C_{tr} angegeben. Es ist prinzipiell zu erkennen, dass die R_w -Werte mit zunehmender Flächenmasse ansteigen. Dies ist sowohl bei den angeführten

EG und Vakuumgläsern ersichtlich. Vergleicht man EG mit VG und Vakuumgläsern gleicher Dicke und Flächenmasse wie z.B. 8 mm EG, 44.2 VSG, 44.2 VSGa und 4v4 Vakuumglas liegen die R_w -Werte zwischen 34 dB und 35 dB. Die Werte aus der EN 12758:2019 sind für diese Fälle immer 1 dB bis 2 dB niedriger. Die Akustik-VSG sticht mit 37 dB etwas heraus. Die Spektrum-Anpassungswerte C und C_{tr} liegen zwischen -1 dB und -2 dB bzw. -3 dB und -4 dB. Bezogen auf die EN 12758:2019 zeigen sich analoge Anpassungswerte. Bei diesen Verglasungen gibt es somit keine großen Unterschiede im bewerteten Schalldämm-Maß. Betrachtet man nur die Vakuumgläser ist ersichtlich, dass die 3v3 und 4v4 hinsichtlich des Einzahlwertes gleich sind. Alle anderen Vakuumgläser ≤ 10 mm Gesamtdicke erreichen R_w -Werte zwischen 36 dB bis 37 dB. Die Anpassungswerte bewegen sich für alle zwischen -1 dB und -4 dB. Damit liegen die Einzahlwerte für alle untersuchten Vakuumgläser in einem engen Bereich. Werden die Zweifach-Verglasungen (MIG und VIG) hinsichtlich des SZR betrachtet, also von keinem SZR bis zu 18 mm, ergeben sich Differenzen bis zu 3 dB. Mit zunehmendem Abstand von 0 mm zu 8 mm fallen die R_w -Werte ab. Bei dem Schritt von 8 mm auf 18 mm bleibt der Einzahlwert gleich oder steigt um ein 1 dB. Besonders deutlich wird dies, wenn der tieffrequentem Anpassungswert mitbetrachtet wird. Dabei zeigen sich Differenzen von 5 dB bzw. 6 dB. Bei dem Vergleich der MIG- bzw. VIG-Systeme mit gleichem SZR ergeben sich maximale Differenzen von 1 dB. Wenn bei der 8-18-44.2 VSG die VSG durch eine VSGa ersetzt wird, ändert sich der R_w -Wert um 5 dB und die tieffrequente Anpassung um 3 dB. Für den gleichen Fall (4v4-18-44.2 VSG) mit einer 4v4 als Grundverglasung beträgt die Änderung nur 1 dB sowohl im R_w -Wert wie für die tieffrequente Anpassung. Bei den MIG-Systemen gegenüber den VIG-Systemen ist das bewertete Schalldämm-Maß bei den VIG-Aufbauten höher.

Verglasung	SZR	Art	R_w (C; C_{tr})	$R_w + C_{tr}$	R_w (C; C_{tr})	$R_w + C_{tr}$
			gemessen		EN 12758:2019	
			in dB		in dB	
4	--	EG	30 (-2; -3)	27	29 (-2; -3)	26
8	--	EG	34 (-2; -3)	31	32 (-2; -3)	29
44.2 VSG (0,76)	--	VG	34 (-1; -3)	31	33 (-1; -3)	30
44.2 VSGa (0,76)	--	VG	37 (-1; -4)	33	--	--
3v3 (n = 2)	0,25	Vakuumglas	35 (-1; -4)	31	--	--
4v4 (n = 10)	0,25	Vakuumglas	35 (-2; -4)	31	--	--
4v4 (n = 3)	0,30	Vakuumglas	35 (-2; -3)	32	--	--
5v5 (n = 2)	0,25	Vakuumglas	36 (-2; -2)	34	--	--
4v6 (n = 4)	0,25	Vakuumglas	36 (-2; -3)	33	--	--
6v6 (n = 2)	0,25	Vakuumglas	37 (-2; -3)	34	--	--
5v8 (n = 2)	0,25	Vakuumglas	36 (-2; -2)	34	--	--
8+4	--	MIG	37 (-1; -3)	34	--	--
8-8-4	8	MIG	35 (-2; -4)	31	34 (-2; -4)	30
8-18-4	18	MIG	35 (-2; -7)	28	--	--
8-18-44.2 VSG	18	MIG	36 (-2; -5)	31	37 (-2; -5)	32
VG 8-6bis16-4-6bis16-8 VG						
8-18-44.2 VSGa	18	MIG	41 (-3; -7)	34	--	--
4v4+4	--	VIG	37 (-1; -2)	35	--	--
4v4-8-4	8	VIG	34 (-1; -3)	31	--	--
4v4-18-4	18	VIG	35 (-1; -5)	30	--	--
4v4-18-44.2 VSG	18	VIG	41 (-2; -7)	34	--	--
4v4-18-44.2 VSGa	18	VIG	42 (-2; -7)	35	--	--

Abbildung 7: Übersicht der ermittelten Einzahlwerte

6. Literatur

- [1] Ashmore, N. et al.: Acoustics 2015 Hunter Vally, 15. - 18. November 2015, p. 1
- [2] Cabrera, D. et al.: Building Acoustics 23, 2016 p. 193
- [3] Nugroho, A.C. et al.: Journal of Physics: Conference Series 1075, 2018, p. 12063
- [4] Fasold, W.: Schallschutz und Raumakustik in der Praxis, Huss-Medien Verl. Bauwesen, Berlin, 2003