DK 666.157:699.844:534.83:69.028.2

Untersuchung der Schalldämmung von Isolierglasscheiben in Abhängigkeit von deren Seitenabmessungen

Von Paul Derner und Dietrich Mertin, Gelsenkirchen

Herrn Dr. phil. Otto Stehl zum 60. Geburtstag gewidmet

(Mitteilung aus der FLACHGLAS AG, Gelsenkirchen)

(Eingegangen am 31. März 1981)

Als eine mögliche Ursache für bisweilen auftretende Diskrepanzen zwischen Schalldämm-Messungen an Isolierglasscheiben im Laboratorium und an Fenstern am Bau muß der Umstand angesehen werden, daß in der Praxis sehr unterschiedliche Scheibengrößen auftreten, während die Abmessungen des Prüflings für Laboratoriumsmessungen genormt sind. Es wurde daher die Abhängigkeit der Schalldämmung verschiedener Isolierglasscheiben von deren Kantenlängen untersucht, wobei außerdem noch die Gasfüllung des Scheibenzwischenraums variiert wurde.

Es liegen Daten für Scheibengrößen zwischen 0,34 und 6 m^2 vor. Sie zeigen:

a) Für große Scheiben (3 bis 6 m^2) mit Luftfüllung muß mit einer deutlichen Abnahme der Schalldämmung gegenüber mittleren Formaten (etwa 1,5 m^2) gerechnet werden.

b) Eine bestimmte Gasfüllung des Zwischenraums führt neben der bekannten grundsätzlichen Verbesserung der Schalldämmung auch zu einer beträchtlichen Abschwächung der Formatabhängigkeit.

c) Bei kleinen Scheiben ($< 1\ m^2$) kann es zu sprunghaften Änderungen der Schalldämmung bei Variation der Kantenlängen kommen. Als eine wesentliche Ursache hierfür müssen Plattenresonanzen angenommen werden.

Bei der Übertragung von Labormessungen auf die Praxis sollte in Zukunft das Scheibenformat berücksichtigt werden.

Investigation of the dependence of sound insulation of insulating glazing on the dimensions of the panes

A possible reason for discrepancies sometimes found between sound insulation measurements on insulating glazing made in the laboratory and on windows in buildings may be that very different pane sizes are found in buildings whilst the dimensions of test samples are standardized. The dependence of the sound insulation of different insulating panels on their edge dimensions has thus been investigated together with variation of the gas filling of the space between the panes.

Data have been obtained for pane sizes between 0,34 and 6 m^2. They show that:

a) for large panes (3 to 6 m^2) with air filling a significant decrease in sound insulation compared with medium sizes (about 1,5 m^2) must be expected.

b) The well known fundamental improvement in sound insulation produced by a certain gas filling also reduces the effect of pane size.

c) With small panes ($< 1\ m^2$) abrupt changes in sound insulation can occur when the dimensions of the panes are varied and resonance of the panels may be one fundamental reason for this.

A future extension of laboratory measurements in practice should consider the influence of pane shape.

Etude de l'isolation acoustique de vitrages isolants en fonction de leurs dimensions latérales

Une des causes possibles des divergences que l'on note parfois entre les mesures d'isolation acoustique concernant des vitrages isolants en laboratoire et celles de fenêtres de bâtiments peut venir du fait, qu'en pratique, les vitrages sont de grandeurs très différentes, tandis que les dimensions des vitrages isolants, lors des essais en laboratoire, sont normalisées. C'est pourquoi l'influence des longueurs des bords sur l'isolation acoustique – pour de différents vitrages isolants – pour lesquels on a également changé le gaz de remplissage, a été étudiée.

Il existe des résultats pour les vitrages de 0,34 à 6 m^2 de surface, qui montrent que:

a) pour des grands vitrages (de 3 à 6 m^2) avec remplissage d'air, il faut s'attendre à une diminution importante de l'isolation acoustique par rapport aux formats moyens (1,5 m^2 environ).

b) Un certain remplissage de gaz – en plus de l'amélioration de base connue de l'isolation acoustique – résulte en une diminution considérable de l'influence du format.

c) Pour des petits vitrages ($< 1\ m^2$), il peut se produire des changements irréguliers de l'isolation acoustique lorsque l'on fait varier les longueurs des bords. Une des causes principales pourrait être les résonances des vitres.

Lors de l'extrapolation des mesures en laboratoire à la pratique, il faudrait tenir compte, à l'avenir, du format des vitrages.

In letzter Zeit wird in großem Umfang Isolierglas zur Schall- und Wärmedämmung eingesetzt; aus wärmetechnischen Gründen ist bei Einfachfenstern die Verwendung von Isolierglas bei Neubauten zwingend vorgeschrieben. In Fällen, in denen auch erhöhter Schallschutz gefordert wird, richtet sich die Beurteilung der schalldämmenden Wirkung des Fensters häufig nach dem bewerteten Schalldämm-Maß R_w der Isolierglasscheibe, wie es in einem Laboratorium ohne Nebenwege gemessen wird. Bei Nachmessungen am Bau können dann erhebliche Diskrepanzen zwischen diesem Laborschalldämm-Maß der Scheibe und der sich in der Praxis ergebenden Schalldämmung des Systems Scheibe/Fenster auftre-

ten, was gelegentlich zu einer Verunsicherung des Verbrauchers führt. Für diese Diskrepanz gibt es mehrere Gründe:

a) schalldämmende Wirkung des Rahmens,

b) Wechselwirkung zwischen Scheibe und Fensterrahmen,

c) unterschiedliche Beschallung (diffuser Schall bei Labormessungen, Verkehrslärm oder gerichteter Schall bei Messungen am Bau),

d) unterschiedlicher Einbau der Prüfgegenstände; während für Labormessungen seit neuestem die Einbau- und Prüfbedingungen versuchsweise festgelegt sind [1], trifft man in der Praxis die unterschiedlichsten Einbaugeometrien und Verglasungsarten an (Nischentiefe; Einbau stumpf oder gegen einen Anschlag; Kitt- oder Druckverglasung),

e) Nebenwege.

Ein weiterer Punkt ist die Tatsache, daß in der Praxis Fenster und damit auch Isolierglasscheiben mit den unterschiedlichsten Kantenlängen auftreten, während man sich bei Labormessungen auf das Format $(1{,}23 \times 1{,}48)$ m² (nach dem Normentwurf DIN 52 210, Teil 100 [1]) konzentriert. Das Scheibenformat kann beispielsweise über längenabhängige Plattenresonanzen auf die Schalldämmung Einfluß nehmen. Aufgabe des vorliegenden Beitrags war es, die Abhängigkeit der Schalldämmung vom Format der Isolierglasscheiben zu untersuchen. Die Resultate anderer Verfasser [2 und 3] können kaum herangezogen werden, da bisher nur Einfachglas untersucht wurde und zudem teilweise mit gerichtetem Schall [2] gearbeitet wurde. Außerdem war in allen Fällen die Fixierung der Prüflinge nicht genormt.

1. Versuche

1.1. Experimentelle Methode

Die Messungen wurden an geklebten Isolierglasscheiben (Bild 1) nach der Zweiraummethode gemäß DIN 52 210 [4] durchgeführt.

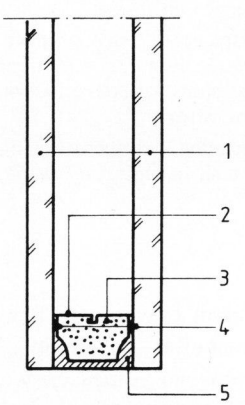


Bild 1. Cudo-Isolierglassystem.
1: Glasscheibe
2: Abstandshalterprofil
3: Trocknungsmittel
4: Butyl
5: Kleber

Die Volumina von Sende- bzw. Empfangsraum betrugen 80 bzw. 89 m³. Im Senderaum wurde terzbandgefiltertes rosa Rauschen im Bereich zwischen 100 und 6300 Hz mit Hilfe von Dodekaeder-Lautsprechern erzeugt. Die Messung der Schallpegel erfolgte mit Kondensatormikrofonen und nachgeschalteten Meßverstärkern und war ebenfalls terzgefiltert. Für die Datenaufnahme und die Auswertung stand ein PDP 11-Rechner zur Verfügung. Das Schalldämm-Maß wurde aus den Schallpegeln L_1 und L_2 im Sende- bzw. Empfangsraum und der Nachhallzeit T (in s) im Empfangsraum nach Gleichung (1) bestimmt:

$$R = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S \cdot T}{0{,}163\ V}. \qquad (1)$$

Darin ist V das Volumen des Empfangsraums (in m³). Die Prüffläche S ist in m² einzusetzen. Sie betrug im vorliegenden Fall $(3{,}02 \times 2{,}02)$ m² ≈ 6 m², ansonsten entsprach die Trennwand dem Normentwurf DIN 52 210 [1]. Die Maueröffnung bzw. Nische wurde sukzessiv durch Einziehen von 20 mm dicken und 110 mm breiten Stahlsprossen unterteilt, so daß kleinere Öffnungen entstanden, die mit entsprechend vielen Isolierglasscheiben geringerer Größe ausgefüllt wurden. Die Gesamtprüffläche von 6 m² blieb bei diesem Verfahren erhalten, wodurch der Parameter Nischengröße eliminiert wurde.

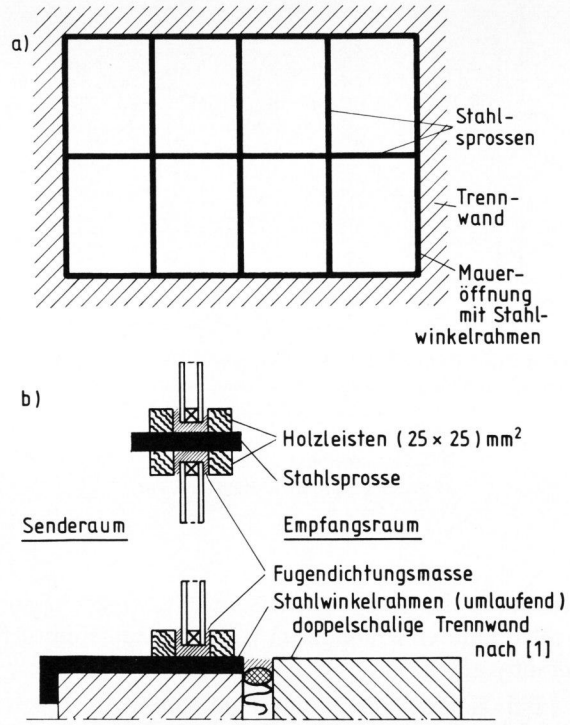
Im einzelnen wurden folgende Scheibengrößen geprüft:
$(3{,}00 \times 2{,}00)$ m² (1 Scheibe),
$(1{,}48 \times 2{,}00)$ m² (2 Scheiben, 1 senkrechte Strebe),
$(0{,}72 \times 2{,}00)$ m² (4 Scheiben, 3 senkrechte Streben),
$(0{,}34 \times 2{,}00)$ m² (8 Scheiben, 7 senkrechte Streben)
sowie auch
$(0{,}72 \times 0{,}98)$ m² (8 Scheiben, 3 senkrechte Streben und 1 waagerechte Strebe).
Bild 2a zeigt als Beispiel den Fall der $(0{,}72 \times 0{,}98)$ m² großen Scheiben. Die kleineren Scheiben wurden in den durch die Stahlstreben gebildeten Feldern in Anlehnung an den Normentwurf DIN 52 210 [1] montiert (Bild 2b).

Um noch kleinere Scheibenabmessungen als die genannten mit vertretbarem experimentellen Aufwand untersuchen zu können, wurde später zusätzlich die auf $(1{,}50 \times 2{,}02)$ m² halbierte Nische achtfach unterteilt. Dieses Verfahren führt auf eine Scheibengröße von $(0{,}47 \times 0{,}72)$ m².

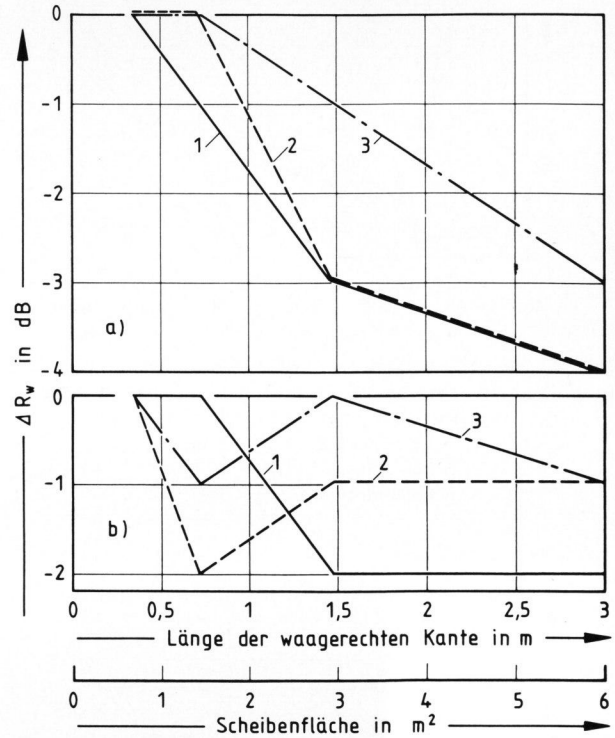
1.2. Experimentelle Resultate

Als repräsentative Ergebnisse sind in den Bildern 3a und b die Resultate für Isolierglasscheiben mit dem Aufbau

4 mm Glas/12 mm Zwischenraum/4 mm Glas, kurz 4(12)4,
12 mm Glas/12 mm Zwischenraum/4 mm Glas, kurz 12(12)4 und
12 mm Glas/16 mm Zwischenraum/4 mm Glas, kurz 12(16)4,



Bilder 2a und b. Schematische Darstellung des Einbaus der Prüfscheiben;
a) Sprossenteilung in der Maueröffnung bzw. Nische mit einer Fläche von $(3{,}02 \times 2{,}02)\ m^2$;
b) Montage der Scheiben in der Sprossenwand (Detail).



Bilder 3a und b. Änderung des bewerteten Schalldämm-Maßes ΔR_w gegenüber dem Wert für eine Scheibenfläche von $(0{,}34 \times 2{,}00)\ m^2$ in Abhängigkeit von der Kantenlänge für verschieden aufgebaute Isolierglasscheiben;
a) mit Luftfüllung des Zwischenraums;
b) mit Schwergasfüllung des Zwischenraums. Aufbau der Isolierglasscheiben 1: 4(12)4, 2: 12(12)4, 3: 12(16)4.

dargestellt. Durch diese Auswahl wird also sowohl die Variation der Glasdicke/Scheibenasymmetrie als auch des Scheibenzwischenraumes erfaßt. Es wurden jeweils Messungen mit Luft und mit Schwergas im Zwischenraum durchgeführt. In den Bildern 3a und b ist die Änderung des bewerteten Schalldämm-Maßes ΔR_w gegenüber dem Wert für eine Scheibenfläche von $(0{,}34 \times 2{,}00)\ m^2$ aufgetragen; als variabler Parameter dient die Länge der waagerechten Kante, während die senkrechte Kantenlänge unverändert blieb (2,00 m, siehe Abschnitt 1.1.).

Alle luftgefüllten Einheiten (Bild 3a) zeigen oberhalb einer Scheibenfläche von etwa $1{,}5\ m^2$ eine deutliche Abnahme des bewerteten Schalldämm-Maßes zu größeren Flächen hin (bis zu 4 dB). Bild 4 zeigt als Beispiel das Schalldämm-Maß der Scheibe 12(12)4 mit Luftfüllung für die Scheibenabmessungen $(1{,}48 \times 2{,}00)\ m^2 \approx 3\ m^2$ und $(0{,}72 \times 2{,}00)\ m^2 \approx 1{,}5\ m^2$. Das Schalldämm-Maß der größeren Scheibe liegt praktisch im gesamten Frequenzbereich unter dem der kleineren Scheibe, was sich in einer Differenz der bewerteten Schalldämm-Maße von 3 dB niederschlägt.

Die Verschlechterung des bewerteten Schalldämm-Maßes mit zunehmender Fläche, insbesondere der luftgefüllten Einheiten, wurde bei sporadischen Messungen an Scheiben in unterschiedlich großen Nischenöffnungen bestätigt. Beispielsweise nimmt der R_w-Wert der luftgefüllten Scheibe mit dem

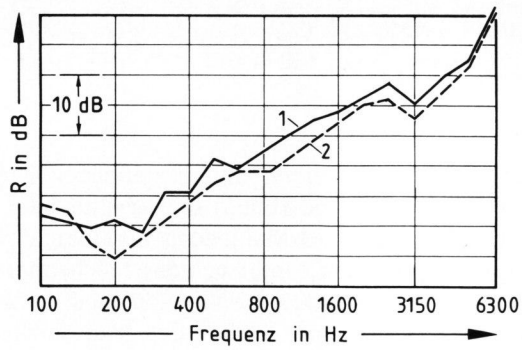


Bild 4. Schalldämm-Maß der Isolierglasscheibe 12(12)4 mit Luftfüllung für zwei verschiedene Scheibenflächen, und zwar 1:$(0{,}72 \times 2{,}00)\ m^2 \approx 1{,}5\ m^2$; 2: $(1{,}48 \times 2{,}00)\ m^2 \approx 3{,}0\ m^2$; $\Delta R_w = 3$ dB.

Aufbau 12(12)4 jeweils um 2 dB ab, wenn man die Nische von $(1{,}25 \times 1{,}50)$ über $(1{,}50 \times 2{,}02)$ auf $(2{,}02 \times 3{,}02)\ m^2$ vergrößert. Die entsprechenden Schalldämm-Kurven sind relativ zueinander in Bild 5 aufgetragen.

Bei Scheiben mit einer bestimmten Schwergasfüllung beobachtet man (Bild 3b) eine wesentlich geringere Änderung des R_w-Wertes mit zunehmender Scheibenfläche (maximal 2 dB), die zudem zumindest zum Teil auf die Meßwertstreuung zurückzuführen sein dürfte. Dieses in der unterteilten $6\ m^2$ großen Nische gewonnene Ergebnis gilt auch für

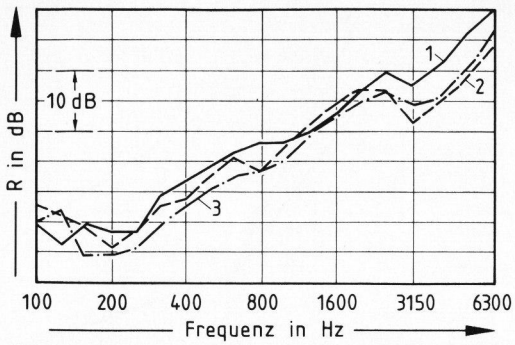


Bild 5. Schalldämm-Maß der Isolierglasscheibe 12(12)4 mit Luftfüllung für verschieden große, jeweils mit einer Scheibe gefüllte Nischen; ΔR_w = maximal 4 dB.
1: Scheibenformat (1,23 × 1,48) m²;
2: Scheibenformat (1,48 × 2,00) m²;
3: Scheibenformat (2,00 × 3,00) m².

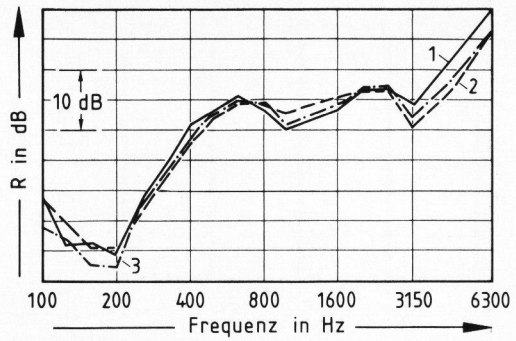


Bild 6. Schalldämm-Maß der Isolierglasscheibe 12(12)4 mit einer Schwergasfüllung für verschieden große, jeweils mit einer Scheibe gefüllte Nischen; ΔR_w = maximal 1 dB.
1: Scheibenformat (1,23 × 1,48) m²;
2: Scheibenformat (1,48 × 2,00) m²;
3: Scheibenformat (2,00 × 3,00) m².

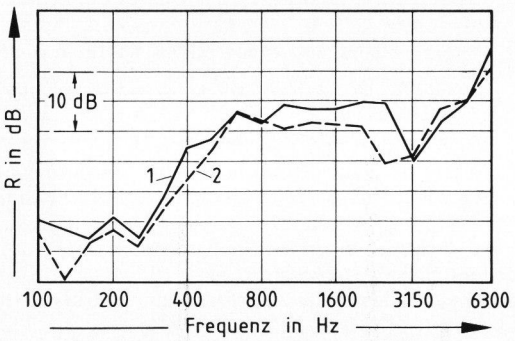


Bild 7. Schalldämm-Maß der Isolierglasscheibe 4(12)4 mit Heliumfüllung für zwei verschiedene Scheibenflächen, und zwar 1: (0,72 × 2,00) m² ≈ 1,5 m²; 2: (0,34 × 2,00) m² ≈ 0,7 m²; ΔR_w = 4 dB.

nischenfüllende Scheiben unterschiedlicher Größe. Bild 6 zeigt dazu (wie Bild 5) die Resultate für die Scheibe 12(12)4, dieses Mal jedoch mit einer Schwergasfüllung. In dem untersuchten Flächenbereich ändert sich das bewertete Schalldämm-Maß jetzt nur noch um maximal 1 dB. Neben der grundsätzlichen Verbesserung der Schalldämmung [5 und 6] kann man als weiteren Vorteil einer Schwergasfüllung damit eine deutliche Abschwächung der Formatabhängigkeit konstatieren.

Die Scheiben mit dem Aufbau 4(12)4 wurden zusätzlich mit einer Heliumfüllung des Zwischenraums gemessen. Auch dieses leichte Gas kann bekanntlich zu einer beträchtlichen Verbesserung der Schalldämmung führen [5 bis 7]. Auffallend ist hier die ungewöhnlich starke Abnahme der Schalldämmung der heliumgefüllten Scheibe beim Übergang von 1,5 m² (≙ (0,72 × 2,00) m²) auf 0,7 m² (≙ (0,34 × 2,00) m²) Scheibenfläche. Für diese beiden Abmessungen ist in Bild 7 das Schalldämm-Maß gegen die Frequenz aufgetragen. Für das vergleichsweise schlechte Ergebnis der kleineren Scheibe ist in erster Linie der obere Frequenzbereich mit dem gegenüber der größeren Scheibe stark verbreiterten und zu tieferen Frequenzen verschobenen Einbruch verantwortlich.

Bei Kantenlängen unterhalb von 0,75 m bzw. Flächen unterhalb von 1,5 m² sind der systematischen Abhängigkeit der Schalldämmung von den Scheibenabmessungen sprunghafte Änderungen überlagert. Durch Zusammenwirken verschiedener Einflüsse (siehe Abschnitt 2.) kann sich die Schalldämmung hier mit den Abmessungen abrupt ändern. Als weiteres Beispiel dient die Isolierglasscheibe mit dem Aufbau 12(12)4 und einer Schwefelhexafluorid-Füllung. In Bild 8 ist für zwei verschiedene Abmessungen ((0,34 × 2,00) bzw. (0,72 × 0,98) m²) bei gleicher Scheibenfläche das Schalldämm-Maß als Funktion der Frequenz aufgetragen. Man beobachtet starke Unterschiede im Frequenzverlauf insbesondere bei tiefen und mittleren Frequenzen. Die Differenz im bewerteten Schalldämm-Maß beträgt 3 dB zuungunsten der Scheibe mit den Maßen (0,72 × 0,98) m².

Es hat den Anschein, als würde sich ein extrem kleines Scheibenformat positiv auf die Schalldämmung auswirken. Als Beispiel sind in Bild 9 die Schalldämm-Maße der luftgefüllten Scheibe mit dem Aufbau 4(12)4 für die Formate (0,47 × 0,72) m² ≈ 0,34 m² und (1,48 × 2,00) m² = 2,96 m² (nischenfüllend) gegenübergestellt. Die Differenz im R_w-Wert beträgt 6 dB. Besonders auffällig ist der Verlauf der Kurve für die kleine Scheibe im Bereich von 160 bis 400 Hz.

2. Diskussion

Es existiert zur Zeit keine zutreffende Theorie der Schalldämmung von Doppelscheiben, die auch den Einfluß des Scheibenformates mit erfassen würde. Im Rahmen dieser Arbeit können daher nur qualitative Betrachtungen angestellt werden.

Die Scheibenabmessungen gehen über verschiedene Mechanismen in das Ergebnis ein:

a) Die Bedämpfung der Scheiben am Rand ist abhängig von der gesamten Kantenlänge.

b) Die versteifende Wirkung des Scheibenrandes auf die Scheiben ist formatabhängig und damit auch die Lage und Tiefe der Spuranpassungseinbrüche.

c) Die Ausbildung der freien Querwellen im Scheibenzwischenraum hängt gleichzeitig von der Gaszusammensetzung (Schallgeschwindigkeit) und den Abmessungen ab.

d) Bei kleineren Kantenlängen und großen Glasdikken können auch die niedrigen Ordnungen der Plattenresonanzen in den bauakustischen Bereich fallen.

Durch Zusammenwirken verschiedener Faktoren kann es, insbesondere bei kleinen Scheibenabmessungen, bei der Variation der Kantenlängen zu erheblichen Änderungen im Verlauf der Schalldämm-Kurve und damit auch im bewerteten Schalldämm-Maß kommen. Beispiele hierfür sind in den Bildern 4 bis 9 vorgestellt. Eine quantitative Interpretation der Meßkurven erscheint zum gegenwärtigen Zeitpunkt kaum möglich, da sich die Wirkung der einzelnen Einflußgrößen nicht beziffern läßt.

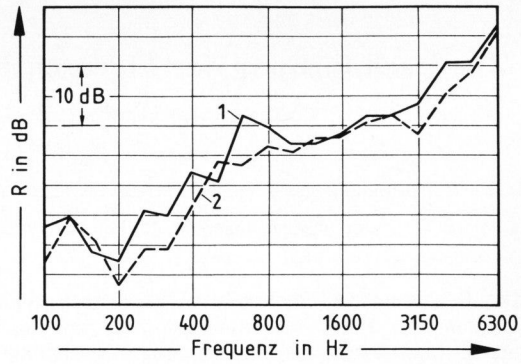


Bild 8. Schalldämm-Maß der Isolierglasscheibe 12(12)4 mit SF_6-Füllung für zwei verschiedene Formate bei nahezu gleich großer Scheibenfläche, und zwar 1: $(0{,}34 \times 2{,}00)\ m^2 \approx 0{,}68\ m^2$ 2: $(0{,}72 \times 0{,}98)\ m^2 \approx 0{,}71\ m^2$; $\Delta R^w = 3$ dB

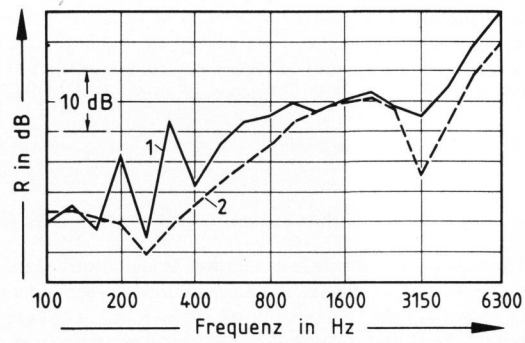


Bild 9. Schalldämm-Maß der Isolierglasscheibe 4(12)4 mit Luftfüllung für sehr verschiedene Scheibenflächen, und zwar 1: $(0{,}47 \times 0{,}72)\ m^2 \approx 0{,}34\ m^2$; 2: $(1{,}48 \times 2{,}00)\ m^2 \approx 3\ m^2$; $\Delta R_w = 6$ dB.

3. Schlußfolgerungen

Für die Praxis ist festzuhalten:

a) Da im allgemeinen die Schalldämmung mit zunehmender Scheibengröße abnimmt, sollten Eignungsprüfungen an möglichst großen Scheiben ($> 1{,}5$, möglichst $> 2\ m^2$) durchgeführt werden. Sonst läuft man Gefahr, Spitzenwerte zu erzielen, die bei späteren Nachmessungen an Einheiten mit anderen Abmessungen bei weitem nicht erreicht werden.

b) Die Schalldämmung einer Isolierglasscheibe kann je nach Scheibenaufbau aber auch beeinträchtigt werden, wenn die Scheibenfläche kleiner als typischerweise 1 m^2 bzw. eine Kante kürzer als 0,7 m ist.

Diese Arbeit wurde im Physikalischen Labor der FLACHGLAS AG durchgeführt. Die Autoren danken Herrn Armbruster und Herrn Gawron für die Betreuung der Messungen und für experimentelle Vorschläge, den Herren Rotermund und Vitzthum für die Durchführung der Versuche und der FLACHGLAS AG für die Erlaubnis zur Veröffentlichung dieser Arbeit.

4. Literatur

[1] Normentwurf DIN 52 210, Teil 100 (Februar 1980): Bauakustische Prüfungen; Luft- und Trittschalldämmung, Änderungen und Ergänzungen zu DIN 52 210, Teil 2 und 3, für die Prüfung der Luftschalldämmung von Fenstern und Scheiben für Fenster. Berlin: DIN 1980.

[2] Eisenberg, A.: Die Schalldämmung von Gläsern und Verglasungen. I. Fest eingebaute Einfachscheiben. Glastechn. Ber. **31** (1958) S. 297–302.

[3] Cops, A.; Myncke, H. und Lambert, E.: Sound insulation of glass by means of scale models. Acustica **31** (1974) S. 143–149. [Ref. Glastechn. Ber. **49** (1976) 76R0848.]

[4] Norm DIN 52 210, Teil 1, 3 und 4 (Juli 1975): Bauakustische Prüfungen; Luft- und Trittschalldämmung, Meßverfahren; Eignungs-, Güte- und Baumuster-Prüfungen; Ermittlung von Einzahl-Angaben. Berlin: DIN 1975.

[5] Derner, P.: Einfluß der Gasfüllung auf die Schall- und Wärmedämmung von Isoliergläsern. Glastechn. Ber. **48** (1975) S. 84–90.

[6] Gösele, K.; Gösele, U. und Lakatos, B.: Einfluß einer Gasfüllung auf die Schalldämmung von Isolierglasscheiben. Acustica **38** (1977) S. 167–174. [Ref. Glastechn. Ber. **52** (1979) 79R1565.]

[7] Gösele, K. und Lakatos, B.: Verbesserung der Schalldämmung von Isolierglasscheiben durch Gasfüllung. Glastechn. Ber. **48** (1975) S. 91–95.

81R0961