

Berechnung der Schalldämmung von Fenstern

F 1923

F 1923

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlußberichtes einer vom Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen -BMVBW- geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00

Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

Berechnung der Schalldämmung von Fenstern

AZ: B I 5 - 80 01 83

Untersuchungen durchgeführt im Auftrag des
Bundesministeriums für Raumordnung, Bauwe-
sen und Städtebau

Der Bundesminister für Wohnungsbau

Abschluss-Zwischen-Bericht
zum Forschungs-Auftrag

Akt. B I 5 - 800183 - 2 Datum: 31.10.83

Bezeichnung der
Berichte
des Referats B I 5

Nr. 1923

39 Seiten

25 Bilder

K. Gösele

Leinfelden-Echterdingen, den 31.10.83

I n h a l t s a n g a b e

1. Aufgabenstellung
2. Grundlagen der Berechnung
3. Fenster mit Einfachscheiben
4. Doppelschalige Verglasung ohne Scheibenverbindung
 - 4.1 Ergebnisse von vorliegenden Untersuchungen
 - 4.2 Eingehendere Berechnung
5. Rahmenübertragung
6. Verbundfenster
 - 6.1 Einfluß einer Körperschall-Übertragung über den Rahmen
 - 6.2 Berechnung
7. Kastenfenster
8. Einfachfenster mit Isolierverglasung
 - 8.1 Übertragungswege
 - 8.2 Quantitative Erfassung der Körperschall-Übertragung
 - 8.3 Vergleich von Körperschall- und Hohlraum-Übertragung
 - 8.4 Berechnung von R_W für Fenster mit gasgefüllten Isolierglasscheiben
 - 8.4.1 Isolierglasscheiben ohne zusätzliche Körperschalldämpfung
 - 8.4.2 Isolierglasscheiben mit zusätzlicher Körperschalldämpfung
9. Einfluß des Rahmen-Materials
10. Zusammenfassung
11. Literatur

1. Aufgabenstellung

An Fenster werden in der Baupraxis oft Anforderungen an die Schalldämmung gestellt, sofern am Einbauort ein größerer Verkehrslärm vorhanden ist. Wie soll der Fensterbauer wissen, was für ein Fenster er für eine bestimmte, geforderte Schalldämmung wählen soll und wie kann er es nachweisen? Bisher sind zwei Wege beschritten worden, abhängig von der Fensterart. Bei Fenstern mit Isolierverglasung hat der Lieferant der Scheiben die Schalldämmung der Scheibe durch Messungen in einem Prüfinstitut feststellen lassen. Dieser so gewonnene Wert ist dann dem jeweiligen Fenster zugeordnet worden.

Im zweiten Fall bei Verbund- und Kasten-Fenstern, ist ein Versuchs-Fenster in einem Prüfinstitut untersucht und der sich ergebende Wert für die Anwendung zugrunde gelegt worden. Öfters ist auch dieser Weg bei Fenstern mit Isolierverglasung beschritten worden.

Unterlagen, aus denen man rechnerisch aus dem Aufbau der Verglasung und des Fensters sagen könnte, welche Schalldämmung zu erwarten war, fehlten bisher. Zwar sind in DIN 4109, Teil 6, Entwurf 1979 [3] sowie in der VDI-Richtlinie "Schalldämmung bei Fenstern" Entwurf 1983 [4] gewisse grobe Richtwerte enthalten. Diese liegen jedoch um ungefähr 6 dB und mehr unter den im Prüfstand gemessenen Werten. Solch große Sicherheitsabschläge wirken jedoch abschreckend, sodaß der Fensterbauer eher den Aufwand einer Prüfung auf sich nehmen wird als den nach den genannten Richtwerten erforderlichen großen Aufwand.

Unabhängig von dieser praktischen Frage konnte man für die schalltechnische Dimensionierung eines Fensters nicht vorhersagen, um wieviel ein Fenster besser würde, wenn beispielsweise eine der Scheiben dicker gemacht oder der Hohlraum in bestimmter Weise größer gemacht wird. Diese Lücke soll durch die vorliegende Arbeit zu schließen versucht werden. Es soll vorhergesagt werden können, wie groß die Schalldämmung eines geplanten Fensters sein wird, wenn die Fugen ausreichend dicht sind.

2. Grundlagen der Berechnung

Die Grundlage bilden zahlreiche Meßergebnisse an Fenstern und Scheiben, die in den Jahren 1974 - 77 im Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart unter der Leitung des Verfassers vorgenommen worden sind^{*)}. Aus diesen Ergebnissen wurde versucht, allgemeingültige Zusammenhänge für die Berechnung zu finden. Im folgenden werden noch einige Bedingungen genannt, die für die angegebenen Werte gelten. Die hier besprochenen Dämmwerte beziehen sich jeweils auf fugendichte Fenster. Zum größeren Teil sind bei den untersuchten Fenstern die Fugen zusätzlich mit plastischer Masse für die Messungen gedichtet worden.

Einfluß der Einbau-Nischen

Die Schalldämmung von Fenstern und vor allem von Scheiben hängt davon ab, wie die vor und hinter dem Fenster befindliche Einbau-Nischen beschaffen sind. [18] [24]. Die Bedeutung dieser Nischen für die Schalldämmung von Fenstern und Glasscheiben ist lange Zeit nicht erkannt worden und wird auch heute vor allem bezüglich der Meßtechnik nicht genügend berücksichtigt [1] [18].

Die hier benutzten Meßwerte sind auf Fenster bezogen, die auf einer Seite praktisch bündig mit der Wand, also ohne Nische, angebracht sind, auf der anderen Seite eine Nische von etwa 140 - 160 mm Tiefe, je nach Fensterart aufweisen, siehe Bild 1. Die Bedingungen entsprechen etwa denen beim Einbau eines Fensters in eine 240 mm dicke Außenwand.

Sie entsprechen jedoch nicht den Bedingungen nach der zur Zeit Fenster in Prüfständen nach DIN 52 210, Teil 2, Ausgabe 1981 untersucht werden. Dort sind zwei Nischen von etwa 250 mm und ca. 150 mm Tiefe vorhanden, die wahrscheinlich zu kleineren Dämmwerten als den in dieser Arbeit und in den meisten Bauten führen werden.

^{*)} Der Verfasser möchte Herrn Dipl. Ing. Lakatos für die Durchführung der Messungen herzlich danken

Auswertung

Sämtliche Meßwerte sind auf die Fläche der Einbauöffnung des Fensters bezogen, wie in DIN 52 210, Teil 3 vorgeschrieben. Die Bestimmung des Schalldämm-Maßes R_W erfolgte nach DIN 52 210, Teil 4, Ausgabe 1975 [2]. Bei einem Teil der Versuche ist allerdings R_W entgegen der genannten Norm nicht auf ganze dB sondern auf 0,5 dB ausgewertet worden, um kleine Unterschiede zwischen verschiedenen Anordnungen besser erfassen zu können.

Fenstergröße

Die Ergebnisse sind an Fenstern mit den Einbauabmessungen 1,14 m x 1,40 m gewonnen worden. P. Derner [9] hat eine Abhängigkeit der Schalldämmung von der Größe der Prüffläche bei Scheiben festgestellt und zwar in dem Sinne, daß größere, nicht unterteilte Flächen zu geringeren Dämmwerten führen. Inwieweit eine derartige Abhängigkeit für übliche Abmessungen auch bei Fenstern auftreten, ist nicht bekannt.

3. Fenster mit Einfachscheiben

Derartige Fenster sind aus wärmetechnischen Gründen heute nicht mehr besonders interessant. Trotzdem sollte man darüber z.B. auch wegen der Anwendung bei Innenverglasungen für Oberlichter bei Trenn- und Flur-Wänden etwas Quantitatives aussagen können. Dafür sind die Schalldämmwerte verschiedener Scheiben und von Fenstern mit Einfachscheiben zusammengestellt worden. Sie sind in Bild 3 eingetragen. Zum Vergleich ist die für Trenn-Wände und -Decken vorgeschlagene "Gewichts-Kurve" nach [15] als Kurve c eingetragen.

Es ist offensichtlich, daß die an Fenstern gemessenen Werte um etwa 4 - 6 dB höher sind als nach Kurve c für Wände. Dies hat verschiedene Gründe.

Der erste offensichtliche Grund ist, daß die Verglasung bei Fenstern eine kleinere Fläche hat als das Fenster, auf dessen lichte Einbauöffnung vereinbarungsgemäß die Schalldämmung von Fenstern bezogen wird. Der Unterschied beträgt etwa 1 - 2 dB. Der zweite Grund liegt in der Körperschalldämpfung der Scheiben durch die Einbaubedingungen am Rande der Scheibe. Das ist einmal das dort verwendete Dichtungsmaterial, worauf z.B. A. Eisenberg, W.A. Utley und B.L. Fletscher hingewiesen haben [30]. Dazu kommt möglicherweise, eine gewisse Dämpfung durch den Fensterrahmen selbst. Man sollte sich deshalb möglichst auf Werte beziehen, die an Fenstern gemessen worden sind.

Verbundscheiben, bei denen zwei Silikatscheiben über einen Kunststoff oder nur eine Klebeschicht miteinander verbunden sind, verhalten sich etwas günstiger als einschichtige, homogene Glasscheiben; siehe Bild 3. Darauf hat schon A. Eisenberg [12] hingewiesen. Der Unterschied ist jedoch relativ gering. Der große schalltechnische Vorteil derartiger Scheiben, auf die in Abschnitt 8 eingegangen wird, macht sich weniger bei Einfachscheiben bemerkbar. Die aufgrund der Zwischenschicht auftretende höhere Körperschalldämp-

fung wirkt sich unterhalb der Grenzfrequenz^{*)} der Einzelscheibe kaum aus, weil dort die durch Dämpfung beeinflussbaren freien Biege-Wellen der Scheibe keine Rolle spielen. Erst bei und oberhalb der Grenzfrequenz der Scheiben wird die Körperschalldämpfung auch bei Einzelscheiben voll wirksam. Deshalb wirkt sie sich bei dicken Scheiben stärker aus als bei dünnen Scheiben, weil der bewertete Frequenzbereich oberhalb der Grenzfrequenz dort größer ist.

Zahlenmäßig läßt sich das bewertete Schalldämm-Maß R_W von Einfach-scheiben und entsprechenden Fenstern folgendermaßen nach Bild 2 angeben:

$$\text{für Scheiben:} \quad R_W = 35 \text{ dB} + 10 \lg \frac{d_{G1}}{d_0} \quad (1)$$

$$\text{für Fenster:} \quad R_W = 37 \text{ dB} + 10 \lg \frac{d_{G1}}{d_0} \quad (2)$$

d_{G1} : Dicke der Glasscheibe (in mm)

d_0 : 10 mm (Bezugswert)

Die angegebenen Werte für Scheiben sind um 1 - 1,5 dB höher als die Werte aus einer Arbeit von F. Kutzer [27]. Man kann nur vermuten, daß in beiden Fällen die unterschiedlichen Einbaubedingungen die Ursache sind (verschieden tiefe Nischen, vielleicht auch anderes Material für Anschlußdichtung)

*) Die Grenzfrequenz von Glasscheiben der Dicke d in mm beträgt:

$$f_{gr} = \frac{12000}{d} \text{ Hz}$$

4. Doppelschalige Verglasung ohne Scheibenverbindung

4.1 Ergebnisse von vorliegenden Untersuchungen

Schon vor längerer Zeit hatte der Verfasser gemeinsam mit B. Lakatos [21] Untersuchungen über die Schalldämmung von zwei Scheiben mit dazwischen liegender Luftschicht durchgeführt, wobei die Scheiben nur über den Rand der Einbauöffnung (190 mm Beton) miteinander verbunden waren. Die Ergebnisse ließen sich folgendermaßen erstaunlich einfach zusammenfassen:

$$R_W = 25 \lg \frac{(d_{Gl_1} + d_{Gl_2})}{d_0} + 15 \lg \frac{d_S}{d_0} + 32 \text{ dB} \quad (3)$$

wobei bedeuten:

d_{Gl_1} : Dicke der 1. Scheibe (in mm)

d_{Gl_2} : Dicke der 2. Scheibe (in mm)

d_S : Scheibenabstand (in mm)

d_0 : 10 mm (Bezugswert)

In Bild 4 sind die Meßwerte eingetragen und mit der Beziehung (3), die als Gerade eingetragen ist, verglichen. Dabei ist die Glasdicke der beiden Scheiben jeweils auf $(d_{Gl_1} + d_{Gl_2}) = 10$ mm umgerechnet. Die Übereinstimmung ist in einem weiten Bereich des Scheibenabstandes gegeben. Auch die Scheibendicke wird offenbar in dem Bereich 4 - 8 mm richtig wiedergegeben.

Jeder Leser, der sich nur etwas mit der Schalldämmung von Scheiben befaßt hat, wird hier einwenden, warum der Einfluß unterschiedlich dicker Scheiben nicht berücksichtigt ist. Es ist ja eine eiserne Regel, siehe z.B. die Arbeiten von A. Eisenberg, daß man aus schalltechnischen Gründen die Scheiben einer Doppelverglasung möglichst verschieden dick machen sollte, damit die Spuranpassungsfrequenzen der beiden Scheiben nicht zusammenfallen und dadurch ein extrem ausgeprägtes Dämmungsminimum vermieden wird. Die Ver-

suche haben jedoch gezeigt, daß dies bei einer Übertragung über den Lufthohlraum entgegen den bisherigen Annahmen nicht von so großer Bedeutung ist, daß es sich wesentlich auf R_W auswirkt. In Bild 4 sind Meßwerte für gleich dicke und verschieden dicke Scheiben jeweils gesondert gekennzeichnet. Es ist offensichtlich, daß sich diese beiden Wertegruppen nicht verschieden verhalten. Man könnte daraus schließen, daß damit die oben genannte Regel vergessen werden könnte; dies trifft jedoch dann nicht zu, wenn die Körperschallübertragung über eine gemeinsame Verbindung der Scheiben ebenfalls von Bedeutung ist, wie dies bei Isolierglas-scheiben der Fall ist. Dort sollte eine der beiden Scheiben möglichst dünn sein.

Insgesamt betrachtet, kann man mit der obigen sehr einfachen Beziehung die Schalldämmung vorherberechnen, soweit es sich um die Übertragung über die Luftschicht allein handelt. Leider haben diese Meßwerte und damit auch die Rechnung den Haken, daß die Dämmwerte durch den sogen. Nischeneffekt teilweise zu niedrig sind, bedingt durch eine Übereinstimmung der Hohlraum-Resonanzen der Scheiben mit den Resonanzen der vorgelagerten Nische. Die Werte können deshalb nur mit einem gewissen Vorbehalt unmittelbar auf Fenster übertragen werden.

4.2 Eingehendere Berechnung

Die oben geschilderte Beziehung gibt die Zusammenhänge recht empirisch wieder. Anschaulicher und physikalisch verständlicher ist eine Betrachtungsweise bei der man jeweils von dem bewerteten Schalldämm-Maß R_{W_1} einer Einzelscheibe ausgeht und die Verbesserung ΔR_W durch die zweite Scheibe bestimmt. Dann ergibt sich das bewertete Schalldämm-Maß R_W der Doppelverglasung zu

$$R_W = R_{W_1} + \Delta R_W \quad (4)$$

Eine solche Betrachtung ist auch bei zweischaligen Wänden mit gedämpftem Hohlraum durchgeführt worden und führte dort zu relativ einfachen Beziehungen [13], zumindest für das Schalldämm-

Maß R . Sie hat allerdings nur dann einen Sinn, wenn ΔR_W praktisch unabhängig von R_{W_1} der ersten Scheibe ist. Dies ist jedoch, wie die Versuche ergeben haben, der Fall.

Im folgenden soll ΔR_W anhand von früher schon in Abschnitt 4.1 besprochenen Meßergebnissen bestimmt werden. Es handelt sich um Scheiben, die ohne gegenseitige Randverbindung in die in Bild 1, links dargestellte Öffnung eingebaut worden sind, siehe auch Skizze in Bild 5. Dort sind die ΔR_W -Werte beim Vorsetzen einer 4 mm dicken Scheibe in verschiedenen Scheibenabständen d_S aufgetragen. Es ergibt sich ein eindeutiger Zusammenhang, wonach

$$\Delta R_W = 15 \lg \frac{d_S}{d_0} - 2 \text{ dB} \quad (5)$$

d_S : Scheibenabstand

d_0 : 10 mm

beträgt, solange d_S größer als 10 mm ist. Aus Bild 5 ist ersichtlich, daß diese Beziehung gilt, gleichgültig ob die erste Scheibe 4 mm oder 8 mm dick ist. Diese Beziehung gilt in einem weiten Bereich von Scheibenabständen d_S von 10 bis 150 mm. Die festgestellten Werte stimmen quantitativ auch mit Meßwerten überein, die an Doppelwänden von 2,5 m x 3 m Größe aus 12,5 mm Gipskartonplatten bei leerem Wandhohlraum bestimmt worden sind. Die dort gegenüber der ersten Schale (auch 12,5 mm dicke Gipskartonplatten) ermittelten ΔR_W -Werte sind in Bild 6 als "Sterne" eingetragen, wobei die gemittelten Werte für 4 mm Glasscheiben als Gerade a eingezeichnet sind. Es besteht offensichtlich eine gute Übereinstimmung, so daß die obige Beziehung (5) eine allgemeinere Gültigkeit hat. Für einen mit Mineralwolle gefüllten Wandhohlraum ergeben sich die Werte der Kurve c. Sie sind um rund 10 dB höher als bei leerem Hohlraum.

Einfluß der Glasscheibendicke d_{Gl_2}

Die Ergebnisse von Bild 5 und die Beziehung (5) gelten nur für zweite, vorgesetzte Scheiben, die 4 mm dick sind. Wie ist dies

bei einer anderen Dicke? Eine nähere Überlegung ergibt, daß ΔR_W bei einer anderen Scheibendicke d_{G1_2} um so viel größer werden muß als das bewertete Schalldämm-Maß dieser zweiten Scheibe größer ist als das der 4 mm - Scheibe. Nun ist aus Abschnitt 3 bekannt, daß das R_{W_2} der zweiten Scheibe sich ergibt zu:

$$R_{W_2} = 35 \text{ dB} + 10 \lg \frac{d_{G1_2}}{d_0}$$

Es ist zu erwarten, daß danach ΔR_W mit $10 \lg (d_{G1_2}/4 \text{ mm})$ gegenüber dem Wert bei der 4 mm - Scheibe zunimmt:

$$\Delta R_W = 15 \lg \frac{d_S}{d_0} - 2 \text{ dB} + 10 \lg \frac{d_{G1_2}}{4 \text{ mm}}$$

oder:

$$\Delta R_W = 15 \lg \frac{d_S}{d_0} + 10 \lg \frac{d_{G1_2}}{d_0} + 2 \text{ dB} \quad (6)$$

Diese Beziehung ist anhand der vorliegenden Meßwerte überprüft worden. Dazu sind die Werte jeweils auf eine Scheibendicke d_{G1_2} von 4 mm umgerechnet worden:

$$\Delta R_{W_4} = \Delta R_W - 10 \lg \frac{d_{G1_2}}{4 \text{ mm}}$$

Die erhaltenen Werte sind in Bild 7 eingetragen, wobei die Art der Scheibenpaare angegeben ist. Es ist offensichtlich, daß die Beziehung (6) mit guter Genauigkeit gilt. Damit kann die Schalldämmung zweier Scheiben mit reiner Luftschallübertragung folgendermaßen angegeben werden, wenn man R_{W_1} aus Abschnitt 4 entnimmt zu:

$$R_{W_1} = 35 \text{ dB} + 10 \lg \frac{d_{G1_1}}{d_0}$$

$$R_W = 10 \lg \frac{d_{G1_1}}{d_0} + 10 \lg \frac{d_{G1_2}}{d_0} + 15 \lg \frac{d_S}{d_0} + 37 \text{ dB} \quad (7)$$

Vergleicht man diese Beziehung mit der früher von Gösele und Lakatos [21] abgeleiteten, siehe Abschnitt 4.1, Beziehung (3), dann stellt man fest, daß die Unterschiede zwischen beiden nur gering sind, solange die beiden Scheiben nicht extrem unterschiedlich ausgeführt und nicht zu dick (über 8 mm). Näherungsweise kann man somit statt Beziehung (7) auch (3) verwenden.

4.3 Einfluß einer Gasfüllung

Bei Isolierglasscheiben ist es in den letzten Jahren weitgehend üblich, den Scheibenhohlraum mit einem Schwergas zu füllen [8] [23]. Dadurch wird, wie theoretisch gezeigt werden konnte [20] das Auftreten von schädlichen Eigenschwingungen der Hohlräume weitgehend unterdrückt. Die Schwergasfüllung wirkt praktisch etwa so, wie wenn ein Strömungswiderstand z.B. Mineralwolle in dem Hohlraum eingebracht wäre. Die in diesem Fall sich ergebenden ΔR_W -Werte sind für einige Doppelscheiben in Bild 8 eingetragen. Einige Werte beziehen sich auf Scheiben ohne Randverbindung, die anderen auf Isolierglasscheiben, jeweils mit einer zweiten Scheibe von 4 mm Dicke. Es zeigt sich, mit gewissen Streuungen, daß ΔR_W bei gleichem Scheibenabstand bei Gasfüllung um etwa 6 dB größer ist als ohne diese. Die Streuungen sind dadurch bedingt, daß ΔR_W stark durch eine mehr oder weniger ausgeprägte Resonanz zwischen 100 und 200 Hz beeinflußt wird, die offenbar von der Dicke der ersten Scheibe abhängt.

Näherungsweise wird sich ΔR_W und R_W für Doppelscheiben mit Gasfüllung folgendermaßen ergeben:

$$\Delta R_W = 15 \lg \frac{d_S}{d_0} + 10 \lg \frac{d_{G1_2}}{d_0} + 8 \text{ dB} \quad (8)$$

$$R_W = 15 \lg \frac{d_{G1_1}}{d_0} + 10 \lg \frac{d_{G1_2}}{d_0} + 15 \lg \frac{d_S}{d_0} + 43 \text{ dB} \quad (9)$$

(Gültig für Scheiben)

Diese Werte sind allgemein nur als gültig anzunehmen, wenn keine Körperschallübertragung über Randverbindungen vorliegt. In Bild 6 ist die Verbesserung ΔR_W in Vergleich gesetzt zu den Werten für einen mit Mineralwolle gedämpften Hohlraum bei Doppelwänden. Die Gasfüllung erreicht nicht ganz die günstigen Werte bei Mineralwolle-Füllung. Die Ursache ist eine bei Schwergas-Füllungen häufig stark ausgeprägte Resonanz, die aus Bild 9 hervorgeht. Sie kompensiert zum Teil die bei höheren Frequenzen auftretenden sehr günstigen Verbesserungswerte.

5. Rahmenübertragung

Fenster bestehen aus der Verglasung und dem Rahmen. Welche Bedeutung hat der Rahmen für die Schallübertragung? Wie groß die Schallübertragung über den Rahmen selbst ist, ist in früheren Untersuchungen von Gösele und Lakatos [22] sowie später von Mechel, Koch und Lakatos [28] für Einfach- und Verbund-Fenster überprüft worden. Bei den erstgenannten Untersuchungen ist die Scheibe des zu überprüfenden Fensters mit einer Blechschale (mit Luftabstand) abgedeckt worden. Bei der zweiten Untersuchung ist anstelle einer Glas-Scheibe eine doppelschalige Ersatzscheibe aus Blei- und Stahlblech eingesetzt worden, deren bewertetes Schalldämm-Maß ohne Fensterrahmen $R_W = 54$ dB betrug.

Bei beiden Untersuchungen hat sich im Mittel ein Frequenzverlauf des Rahmen-Schalldämm-Maßes ergeben, wie er in Bild 10 dargestellt ist. Dabei ist die Schalldämmung auf die Fläche der Einbauöffnung des Fensters bezogen. Wäre auf die Fläche des Rahmens bezogen worden, wie man es nach Definition von R eigentlich tun müßte, dann wäre das Dämm-Maß um rund 6 dB niedriger. Typisch für die Rahmenübertragung ist, daß sie für tiefe Frequenzen relativ hoch und bis etwa 700 Hz kaum von der Frequenz abhängig ist. Für höhere Frequenzen steigt sie dann an.

Die bewerteten Rahmen-Schalldämm-Maße bezogen auf die Fensterfläche, liegen zwischen etwa 44 und 49 dB, im Mittel bei etwa 46 dB. Bei den Fenstern mit schalltechnisch hochwertigen Verglasungen sind allerdings die Rahmen dicker ausgebildet, sodaß bei ihnen Werte zwischen 46 dB und 49 dB vorliegen. Durch diese Rahmenübertragung wird die erreichbare Schalldämmung von Fenstern begrenzt. Die Abnahme der Dämmung wird durch die Rahmenübertragung im folgenden durch einen Korrekturfaktor k_R berücksichtigt, wobei die Schallenergie-Übertragung über Verglasung und Rahmen energetisch addiert werden. Dieser Korrekturfaktor hängt von der Höhe des bewerteten Schalldämm-Maßes der Verglasung ab. Im folgenden sind diese k_a -Werte für ein Rahmen-Dämm-Maß $R_{WRahmen}$ von 46 dB und von 49 dB angegeben.

Tabelle 1

Korrekturfaktor k_R zur Berücksichtigung
der Rahmenübertragung bei Fenstern

bewertetes Schalldämm- Maß der Verglasung dB	Korrekturfaktor k_R in dB	
	für $R_{WRahmen}$ = 46 dB	für $R_{WRahmen}$ = 49 dB
40	- 1,0	- 0,5
42	- 1,5	- 0,8
44	- 2,1	- 1,2
46	- 3	- 1,8
48	- 4,1	- 2,5
50	- 5,5	- 3,5

Bei den weiteren Rechnungen dieses Berichts ist jeweils ein bewertetes Schalldämm-Maß des Rahmens von 49 dB zugrunde gelegt.

Aus den obigen Unterschieden in der Tabelle 1 ist zu entnehmen, daß alle Berechnungen der Schalldämmung von Fenstern bei hochschalldämmenden Verglasungen, je nach Rahmenausbildung mit einer Unsicherheit von 1 - 2 dB versehen sind.

6. Verbundfenster

6.1 Einfluß einer Körperschallübertragung über den Rahmen

Die Schalldämmung von Verbundfenstern müßte sich nach Abschnitt 4 berechnen lassen, sofern keine Körperschallübertragung von der ersten zur zweiten Scheibe über den Rahmen erfolgt. Ein Vergleich zwischen dem Fall getrennter Scheiben nach Abschnitt 4 und von einzelnen Verbundfenstern ergibt, daß eine solche Körperschallübertragung nicht oder nicht in störendem Maß vorliegt. In Bild 11 sind zwei Beispiele für Holzfenster mit den Verglasungen 4/35/4 mm und 8/50/4 mm gezeigt. Die Übereinstimmung zwischen getrennten Scheiben und Fenstern ist bei den mittleren und hohen Frequenzen erstaunlich gut. Nur bei tiefen Frequenzen ist eine Diskrepanz in dem Sinne, daß die Schalldämmung der Fenster etwas besser ist. Dies mag mit dem Nischeneffekt [24] zu tun haben. Es ist jedoch auch denkbar, daß die Fuge zwischen den beiden Flügelrahmen schallabsorbierend auf den Scheibenhohlraum wirkt.

Jedenfalls kann angenommen werden, daß die Körperschallübertragung über den Flügelrahmen nicht berücksichtigt zu werden braucht.

6.2 Berechnung

Nach Abschnitt 2 und 4 ergeben sich folgende Beziehungen (2) und (6) für ein Verbundfenster:

$$R_{W_1} = 37 \text{ dB} + 10 \lg \frac{d_{G1_1}}{d_0} \quad (2)$$

$$R_W = R_{W_1} + 15 \lg \frac{d_S}{d_0} + 10 \lg \frac{d_{G1_2}}{d_0} + 2 \text{ dB} \quad (6)$$

Daraus ergibt sich R_W , wenn man noch die unmittelbare Übertragung über den Fensterrahmen durch das Korrekturglied k_R nach Abschnitt 5 berücksichtigt.

$$R_W = 10 \lg \frac{d_{G1}}{d_0} + 10 \lg \frac{d_{G1}}{d_0} + 15 \lg \frac{d_S}{d_0} + 39 \text{ dB} + k_R \quad (10)$$

Für 61 meßtechnisch im Prüfstand überprüfte Verbundfenster ist R_W in dieser Weise auch berechnet worden, wobei ein $R_{W\text{Rahmen}}$ von 49 dB zugrunde gelegt worden ist. In Bild 12 sind die Meß- und Rechenwerte einander gegenübergestellt worden. Bei einer vollständigen Übereinstimmung von Messung und Rechnung müßten die eingetragenen Punkte auf der in dem Diagramm eingezeichneten Geraden liegen. Dies ist nicht vollkommen der Fall. Vielmehr treten im einzelnen Abweichungen bis etwa ± 2 dB auf. Andererseits werden durch diese relativ einfache Rechnung Fenster mit Scheibenabständen d_S von 30 - 80 mm und Scheibendicken von 2,8 bis 12 mm erfaßt, wobei sowohl gleich dicke Scheibenpaare sowie unterschiedlich dicke dabei sind.

Zu der schon in Abschnitt 4 angeschnittenen Frage, ob die Scheiben in jedem Fall verschieden dick gewählt werden sollen oder nicht, gibt das Bild 13 noch einen Überblick. Dort sind im oberen Diagramm die gemessenen Schalldämmwerte von Verbundfenstern mit zwei verschieden dicken Scheiben mit Rechenwerten verglichen. Im unteren Diagramm wird die entsprechende Darstellung für jeweils zwei gleiche Scheiben gegeben. Aus den dargestellten Werten kann nicht geschlossen werden, daß die Scheiben unbedingt verschieden dick gemacht werden müßten. Dieses Ergebnis hängt damit zusammen, daß die zweifellos bei zwei gleichdicken Scheiben vorhandenen stärkeren Einbrüche in der Schalldämmung bei relativ hohen Frequenzen auftreten, wo die Dämmung schon so hoch ist, daß sie zur Berechnung des bewerteten Schalldämm-Maßes R_W nur noch wenig beiträgt.

Der Verfasser möchte ausdrücklich betonen, daß er die Verwendung etwas verschieden dicker Scheiben bei Verbundfenstern für wünschenswert hält. Es erscheint jedoch bei diesem Fenstertyp - dasselbe gilt auch für Kastenfenster - nicht mehr berechtigt, dies als eine unabdingbare Forderung für einen guten Schallschutz zu betrachten.

7. Kastenfenster

Hier kann von vornherein davon ausgegangen werden, daß die Körperschall-Übertragung von Scheibe zu Scheibe über den Doppelrahmen vernachlässigbar ist. Außerdem ist zu vermuten, daß die Übertragung über den Rahmen selbst nach Abschnitt 5 wesentlich über den Werten eines einfachen Rahmens (nach Bild 10) liegt.

Andererseits spielt hier die Schallabsorption der Ränder des relativ tiefen Hohlraumes eine Rolle. Teilweise werden hier Randdämpfungen z.B. in Form von Mineralwolle hinter Lochblech angebracht. Auch wenn eine solche zusätzliche Dämpfung nicht vorhanden ist, hat die meist aus Holz bestehenden Hohlraum-Begrenzung eine höhere Schall-Absorption als bei den Versuchen nach Abschnitt 4, vor allem bei den entscheidenden tiefen Frequenzen, bedingt durch die mehr oder weniger hohl liegende Berandung aus Brettern, Holzspanplatten o.ä.. Insofern ist der unmittelbare Vergleich mit der Rechnung nach Abschnitt 4 etwas erschwert. Dazu kommt noch, daß die meisten Kastenfenster nicht aus zwei sondern aus drei Scheiben wegen der Wärmedämmung und zur Vermeidung von Schwitzwasser an der äußeren Scheibe führen.

Trotzdem wird im folgenden der Versuch gemacht, mit der Rechnung nach Abschnitt 4 zu vergleichen, wobei die folgende Beziehung angewandt wird:

$$R_W = 10 \frac{d_{G11}}{d_0} + 10 \lg \frac{d_{G12}}{d_0} + 15 \lg \frac{d_S}{d_0} + 39 \text{ dB} \quad (11)$$

Die Meßergebnisse für Kastenfenster mit zwei Scheiben sind in Bild 14 eingetragen, wobei sie wieder in Abhängigkeit von den Rechenwerten aufgetragen sind. Die Übereinstimmung zwischen Rechnung und Messung ist wieder befriedigend. Die Abweichungen sind nicht größer als etwa ± 2 dB, obwohl extrem verschiedene Fenster überprüft worden sind.

Bei vielen Kastenfenstern ist die Außenscheibe zum Unterbinden einer Schwitzwasserbildung als Isolierglasscheibe ausgebildet, die unter Belassung eines Luftzwischenraums zwei oder mehr Scheiben umfaßt. Dafür müßte man nach der bisherigen Rechnung für R_{W_1} den entsprechenden Wert der Isolierverglasung einsetzen. Zugunsten einer einfacheren Berechnung nach (11) wurde die Isolierglasscheibe dafür durch eine Einfachscheibe ersetzt, die die gleiche Gesamtglasdicke besitzt wie die Isolierglasscheibe. Diese Vereinfachung scheint bei Scheiben mit etwa 12 mm Scheibenabstand berechtigt, da diese dann nur eine Dämmung aufweisen, die etwa einer Einfachscheibe gleicher Glasdicke entspricht (ca. ± 2 dB Abweichung).

Der Vergleich dieser Abschätzung mit Meßergebnissen in Bild 15 zeigt, daß die Meßwerte im Mittel etwas günstiger sind. Für eine Abschätzung ist die Beziehung (11) somit auch für Kastenfenster mit einer Isolierverglasung auf der Außenseite anwendbar.

Bei den Kastenfenstern liegt häufig eine Überdimensionierung vor, da sie in ihrer Dämmung oft über den Dämmwerten der Außenwände liegen. Dies kommt daher, daß bisher die Kenntnisse, darüber gefehlt haben, was eigentlich erforderlich ist. Aus Sicherheitsgründen hat man dann oft des Guten zuviel getan. Die jetzt gegebene Abschätzungsmöglichkeit kann deshalb in Zukunft unnötigen Aufwand ersparen.

8. Einfachfenster mit Isolierverglasung

Zunächst sollen hier nur Fenster mit Isolierverglasung besprochen werden, deren Scheibenhohlraum mit Gas gefüllt ist.

8.1 Übertragungswege

Bei den Verbund- und Kastenfenstern reichte es aus, die Schallübertragung über den Scheibenhohlraum und bei den Verbundfenstern noch über den Fensterrahmen zu erfassen. Bei Einfachfenstern mit Isolierverglasung tritt noch ein dritter Weg hinzu, nämlich der der Körperschallübertragung über die Scheibenverbindung am Rande. In Bild 16 ist dies am Beispiel eines Holz-Einfachfensters mit einer Verglasung 8/12/4 mm, mit Schwergas im Scheibenhohlraum, dargestellt. Kurve a stellt die gemessene Schalldämmung des Fensters dar. Zum Vergleich sind als Kurve b die Dämmwerte eines Fensters mit einer einschaligen Glasscheibe eingetragen, die 8 mm dick ist und damit der schwereren der beiden Scheiben der Isolierglasordnung entspricht. Die vorgesezte 4 mm-Scheibe dieser Anordnung verschlechtert bei tiefen Frequenzen die Schalldämmung der 8 mm-Scheibe erheblich. Erst bei höheren Frequenzen tritt eine wesentliche Verbesserung auf.

Das Dämm-Maß, das sich ergeben würde, wenn nur über den Hohlraum der Scheibe übertragen würde, ist als Kurve H in Bild 16 eingetragen. Die entsprechenden Werte sind Messungen an zwei getrennten Scheiben entnommen worden, deren Hohlraum mit Schwergas gefüllt war, siehe Bild 9.

Oberhalb 400 Hz tritt eine Übertragung auf, die weder über den Hohlraum noch über den Fensterrahmen (Bereich R) erfolgt. Sie muß der Körperschallübertragung über die feste Verbindung zwischen den Scheiben (Weg V) zugeschrieben werden. Über diesen Weg ist noch wenig bekannt.

Die von der ersten zur zweiten Scheibe über die Randverbindung übertragenen Schwingungen werden mehr oder weniger stark in den

angrenzenden Raum abgestrahlt. Je dünner die zweite Scheibe ist, um so weniger wird abgestrahlt und umso besser ist die Schalldämmung [17]. Dabei ist vorausgesetzt, daß die übertragenen Schwingungen bei dünner und dicker Scheibe gleich groß seien.

In Bild 17 ist dies an einem Beispiel schematisch dargestellt. Wenn keine Verbindung der Scheiben vorliegen würde, würde sich das Schalldämm-Maß nach Kurve a ergeben. Infolge der festen Verbindung zwischen den Scheiben ergibt sich für eine 4 mm dicke Scheibe der Verlauf nach Kurve b, für eine 6 mm dicke Scheibe der der Kurve c. Bei der dünnen Scheibe (Kurve b) ist die Dämmung wesentlich besser als bei der dickeren zweiten Scheibe. Abweichend von den Verbundfenstern spielt es deshalb bei den Fenstern mit Isolierverglasungen eine entscheidende Rolle, daß die beiden Scheiben in ihrer Dicke stark verschieden sind. Die erste Scheibe soll möglichst schwer sein, damit die erzeugten Schwingungen klein bleiben. Die zweite Scheibe soll möglichst dünn sein, damit sie eine geringe Schallabstrahlung ergibt^{*)}.

Aus diesem Grunde wird im folgenden - ausgenommen Scheiben nach Abschnitt 8.4.2 - vorausgesetzt, daß die zweite Scheibe nur 4 mm dick ist.

8.2 Quantitative Erfassung der Körperschallübertragung

In Bild 16 ist gezeigt worden, daß bei Fenstern mit Isolierglas-scheiben unterhalb 400 Hz die Übertragung nur über den Scheiben-hohlraum erfolgt, oberhalb 500 Hz dagegen ausschließlich über die Scheibenverbindung, soweit nicht bereits die Rahmenübertragung von gewisser Bedeutung ist. Ganz sicher ist dies allerdings zu-nächst nur für gasgefüllte Scheiben gültig. Diese frequenzmäßige

^{*)} Man könnte aus dieser Darstellung den Eindruck gewinnen, daß es wichtig sei, daß die dickere Scheibe dem einfallenden Schall zugewandt sein müsse. Dies trifft nicht zu. Die Schalldämmung ist nicht von der Richtung der Schallübertragung abhängig. In der Gegenrichtung tritt ein anderer Effekt auf, der sich jedoch nicht so einfach beschreiben läßt.

Unterteilung der Schalldämmung soll im folgenden ausgenutzt werden, um die beiden Übertragungswege zahlenmäßig getrennt erfassen zu können. Dazu wird etwas getan werden, was der Akustiker zunächst nur mit großen Zweifeln betrachten wird: das Schalldämmmaß R eines Fensters in Abhängigkeit von der Frequenz wird in einen Bereich 100 - 400 Hz und in einen zweiten von 500 - 3150 Hz unterteilt. Auf jeden Bereich wird die Luftschall-Bewertungskurve nach DIN 52 210, Teil 4 [2] angewandt, wobei die Dämmwerte im nichtzugehörigen Frequenzbereich als unendlich groß angenommen werden. Im Bereich 100 - 400 Hz werden somit die Dämmwerte 500 - 3150 Hz als unendlich groß angenommen, sodaß Unterschreitungen der (verschobenen) Bewertungskurve nur im Bereich 100 - 400 Hz auftreten können. Dadurch können für jedes Fenster zwei bewertete Schalldämm-Maße berechnet werden, die zur Abgrenzung gegen den normgerecht gebildeten Wert R_W mit " R_{W400} " bzw. " R_{W3150} " bezeichnet werden sollen. Der eine kennzeichnet in gewisser Weise die durch die Hohlraum-Übertragung H bestimmte Dämmung, der andere die durch Körperschall-Übertragung sich ergebende Dämmung.

Dieses Verfahren erhält dadurch seinen quantitativen Sinn, daß es möglich ist, aus beiden Werten mit genügender Genauigkeit wieder den R_W -Wert des Fensters zu gewinnen. Es gilt:

$$R_{W\Sigma} = -10 \lg \Sigma \left(10^{-0,1 R_{W400}} + 10^{-0,1 R_{W3150}} \right) \quad (12)$$

$$R_W \approx R_{W\Sigma}$$

d.h. durch "energetische" Addition von R_{W400} und R_{W3150} erhält man angenähert R_W .

Zur Begründung für dieses Verfahren kann man [16] heranziehen, wo gezeigt worden ist, daß die Bewertung nach Bewertungskurven gleichbedeutend mit einer Bewertung nach Schallpegeln ist. Zwei einzelne Teilschallpegel kann man jedoch sinngemäß nach (12) addieren.

Der Beweis, daß ein solches Verfahren mit ausreichender Genauigkeit zulässig ist, wurde dadurch geführt, daß bei insgesamt 43 Fenstern aufgrund der vorliegenden R-Werte (in Abhängigkeit von der Frequenz) jeweils $R_{W_{400}}$ und $R_{W_{3150}}$ berechnet und daraus nach (12) $R_{W\Sigma}$ bestimmt worden ist. Die Abweichungen zwischen R_W und $R_{W\Sigma}$ sind in Bild 18 in Form einer Häufigkeitsverteilung aufgetragen. Die Abweichungen liegen innerhalb von ± 1 dB. Ferner gilt, daß bei Scheiben ohne Randverbindung und mit Gasfüllung $R_W = R_{W_{400}}$ ist.

Mit diesem Trick ist es möglich, anhand vorhandener Meßwerte ohne Zusatzmessungen gewisse Aussagen über die Körperschallübertragung zu machen. Dies soll an Ergebnissen in Bild 19 und 20 verdeutlicht werden, wo $R_{W_{400}}$ und $R_{W_{3150}}$ für einige Fenster mit gasgefüllten Scheiben dargestellt sind und zwar in Abhängigkeit von der Glasdicke d_{Gl_1} der ersten, dickeren Scheibe. Die zweite Scheibe ist aus den oben geschilderten praktischen Gründen jeweils 4 mm dick, der Hohlraum mit Gas gefüllt.

Folgerungen aus $R_{W_{400}}$

Aus Bild 19 ist zunächst zu entnehmen, daß die Hohlraumübertragung bei Fenstern und Scheiben für dieselbe Verglasung gleich groß und mit der Dicke der ersten Scheibe ansteigt. Die Dämmung ist jedoch - in dem betrachteten Frequenzbereich - geringer als die einer Einzelscheibe der Dicke d_{Gl_1} . Das ist die Auswirkung der Grundresonanz der Doppelscheibe. Diese Verschlechterung ist umso größer je dicker die erste Scheibe ist, weshalb es sich nicht lohnt, derartige Scheiben sehr dick zu machen. Auf die Ursache wird an anderer Stelle eingegangen. Es handelt sich offensichtlich um einen Spuranpassungseffekt der freien BiegeWellen der ersten Scheibe mit der Wellenlänge in der Gasschicht.

Hier soll noch der Einfluß des Scheibenabstandes d_S auf $R_{W_{400}}$ bei Fenstern anhand von Meßergebnissen besprochen werden. In Bild 21 sind diese in Abhängigkeit vom Scheibenabstand d_S aufgetragen. Sie entsprechen weitgehend dem, was man für R_W nach Beziehung (9), abgeleitet für Scheiben, zu erwarten hatte. Es ist daraus zunächst zu entnehmen, daß R_W ziemlich gut $R_{W_{400}}$ entspricht, sofern keine

anderen Übertragungswege vorliegen. Zum anderen ist unmittelbar bei Fenstern bestätigt, daß

$$R_{W_{400}} = \text{const.} + 15 \lg \frac{d_s}{d_0} \quad (13)$$

Folgerungen aus $R_{W_{3150}}$

Aus Bild 20 ist die Größe der Übertragung über die Scheibenverbindung zu entnehmen, wobei man mit dem Fall a, ohne eine vorgeetzte zweite Scheibe, vergleichen kann. Danach ergibt sich bei Fenstern (Gerade b) eine Verbesserung um etwa 5 dB. Diese Verbesserung ist abhängig von der Art der Ausbildung der Verbindung. Sie ist z.B. bei einer früher üblichen Lötband-Verbindung wesentlich kleiner als bei den heute üblichen Verfahren. Sie ist auch - zunächst überraschenderweise - von dem Abstand der Scheiben abhängig. Bei 24 mm Scheibenabstand ergibt sie sich um etwa 2 dB größer.

In meßtechnischer Hinsicht wichtig ist, daß diese Verbesserung bei der Untersuchung von Scheiben um etwa 5 dB größer ist als bei der Untersuchung von Fenstern mit diesen Scheiben, siehe Geraden b und c in Bild 20. Diese Differenz ist dadurch zu erklären, daß bei Scheiben der Scheibenrand mit der schweren Masse der Wand verbunden ist, in der die Scheibe eingebaut ist, beim Fenster jedoch nur mit dem Rahmen. Es ist deshalb zu erwarten, daß auch die Masse des Fensterrahmens von Bedeutung ist. Dies ist bei einem mit Beton gefüllten Betonrahmen auch beobachtet worden.

Mit dem hier vorgeschlagenen Verfahren kann man z.B. schalltechnisch geeignete und ungeeignete Verbindungen zahlenmäßig gegeneinander abgrenzen. Man kann auch Dämpfungsmaßnahmen an den Scheiben, die sich ja auf die Körperschallübertragung auswirken, quantitativ nachweisen. Das ist jedoch nicht Thema dieses Berichts. Diese Rechnung ist nur deshalb vorgenommen worden, um die Körperschallübertragung über den Scheibenrand zahlenmäßig zu

erfassen und damit das bewertete Schalldämm-Maß von Fenstern berechnen zu können.

8.3 Vergleich von Körperschall- und Hohlraum-Übertragung

Die ganzen bisherigen Überlegungen sind eigentlich nur deshalb gemacht worden, um zu klären, wie groß die Körperschall-Übertragung im Vergleich zur Hohlraum-Übertragung ist. Dazu sind in Bild 22 die $R_{W_{400}}$ - Werte (der Hohlraum-Übertragung entsprechend) und die $R_{W_{3150}}$ - Werte, die der Körperschall-Übertragung entsprechen, zusammen in ein Diagramm eingetragen worden, in Abhängigkeit von der Dicke d_{Gl_1} der ersten, schweren Glasscheibe des Isolierglases. Das überraschende Ergebnis ist, daß die beiden Werte zufällig gleich groß sind. Durch Körperschall und über den Hohlraum (a) wird somit gleich viel "bewerteter" Schall übertragen. Allerdings findet die Hohlraum-Übertragung bei tiefen Frequenzen unter 400 Hz, die Körperschall-Übertragung dagegen bei hohen Frequenzen, oberhalb 400 Hz statt.

8.4 Berechnung von R_W für Fenster mit gasgefüllten Isolierglasscheiben

8.4.1 Isolierscheiben ohne zusätzliche Körperschalldämpfung

Mit der Festlegung daß Hohlraum-Übertragung und Körperschall-Übertragung gleich groß seien, läßt sich aus der Beziehung (9) aus Abschnitt 6 für Scheiben für Fenster mit gasgefüllten Isolierglasscheiben folgende Beziehung für R_W ableiten:

$$R_W = 10 \lg \frac{d_{Gl_1}}{d_0} + 15 \lg \frac{d_S}{d_0} + 39 \text{ dB} + k_R \quad (14)$$

dabei $d_{Gl_2} = 4 \text{ mm}$ gesetzt

Dabei ist ein Abschlag von 3 dB gegen Beziehung (9) wegen der als gleich groß angenommenen Körperschall-Übertragung vorgenommen werden. Außerdem ist ein Zuschlag von 1 dB für die gegen-

über der lichten Fensterfläche verkleinerte Verglasungsfläche (75 %) gemacht worden.

In Bild 23 ist ein Vergleich zwischen den Rechenwerten nach (14) und Meßwerten vorgenommen worden. Die Übereinstimmung ist relativ gut. Die Abweichungen bei den dicken Scheiben, $d_{Gl} \geq 10$ mm, sind grundsätzlicher Art. Sie beruhen wahrscheinlich auf dem oben schon erwähnten und hier nicht erfaßten Spuranpassungseffekt bei Gasfüllungen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß der Einfluß der Dicke der ersten, dickeren Glasscheibe und des Scheibenabstandes d_S bei gasgefüllten Scheiben ausreichend erfaßt werden kann. Voraussetzung ist allerdings, daß die zweite Scheibe etwa 4 mm dick ist. Das ergibt sich jedoch automatisch, wenn man eine gute Dämmung bei normalen, nicht zusätzlich gedämpften Glasscheiben erreichen will.

8.4.2 Isolierglasscheiben mit zusätzlicher Körperschalldämpfung der Scheiben

Die störende Körperschallübertragung kann man bei Isolierglasscheiben stark vermindern, indem man die beiden Scheiben mit einer starken Körperschalldämpfung versieht. Praktisch wird dies zur Zeit dadurch erreicht, daß man Verbundscheiben verwendet, wobei zwei Einzelscheiben über eine zähelastische Kunststoffzwischen-schicht verbunden sind. Neben der stark verringerten Körperschall-Übertragung wird dadurch auch die Hohlraum-Übertragung bei den verwendeten schweren Scheiben wesentlich verbessert (Wegfall des oben angedeuteten Spuranpassungseffekts bei Schwergasfüllungen). Vor allem kann jetzt die zweite Scheibe schwerer als bisher (4 mm) gemacht werden, was jetzt - nach Unterdrückung der Körperschall-Übertragung - zu einer Verbesserung der Schalldämmung führt. Damit wurden von den Herstellern derartiger Scheiben Dämmwerte erreicht, die an der Grenze des nach unseren Erkenntnissen Möglichen liegen. Diese Scheiben können kaum mehr weiter verbessert werden, zumal beim Einbau in ein Fenster mehr

als die Hälfte der Schall-Leistung über den Fensterrahmen übertragen wird, es sei denn, man würde den Rahmen günstiger als bisher ausführen, was durchaus möglich erscheint.

Die Schalldämmung eines solchen Fensters läßt sich näherungsweise nach Beziehung (9) berechnen:

$$R_W = 10 \lg \frac{d_{G1_1}}{d_0} + 10 \lg \frac{d_{G1_2}}{d_0} + 15 \lg \frac{d_S}{d_0} + k_R + 46 \text{ dB} \quad (15)$$

Dabei ist keine Übertragung über die Scheibenverbindung am Scheibenrand berücksichtigt. Für die kleinere Fläche ist ein Zuschlag von 1 dB gemacht.

Diese Rechnung sei an einem Beispiel erläutert:

Fenster mit Isolierverglasung 12/20/8 mm mit Gasfüllung; Verbund-scheiben mit Kunststoffzwischen-schicht:

$$R_W = 10 \lg \frac{12}{10} + 10 \lg \frac{8}{10} + 15 \lg \frac{20}{10} + 46 \text{ dB} + k_R$$

ohne Berücksichtigung des Rahmens ergibt sich R_W zu 50,5 dB, k_R zu -3,8 dB (bei $R_{W\text{Rahmen}} = 49 \text{ dB}$), damit

$$R_W = 46,7 \text{ dB} \approx 47 \text{ dB}$$

Gemessen worden sind im Prüfstand 47 dB.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß die Schallübertragung von Fenstern mit derartigen Verbundscheiben bevorzugt über den Fensterrahmen erfolgt. Die Übertragung über die Randverbindung der Scheiben ist ausgeschaltet. Die Dämmwirkung kann rechnerisch erfaßt werden.

8.5 Einfachfenster mit luftgefüllten Isolierglasscheiben

Bisher sind Fenster mit gasgefüllten Scheiben behandelt werden. Sie hatten den Vorteil, daß die Übertragung über den Hohlraum oberhalb 400 Hz völlig vernachlässigt werden kann. Die Übertragung der an Scheiben gemessenen Werte auf Fenster war dabei gut möglich.

Versucht man diesen Weg auch bei luftgefüllten Scheiben, dann erhält man Meßwerte, die um 5 - 6 dB höher sind als die Rechenwerte sind. Dies soll im folgenden gezeigt werden. R_W ergibt sich aufgrund der Beziehung (7) zu:

$$R_{W\text{Fenster}} = 10 \lg \frac{d_{G1}}{d_0} + 10 \lg \frac{d_{G1}}{d_0} + 15 \lg \frac{d_S}{d_0} + 37 \text{ dB} + k_R \quad (16)$$

Dabei wurde eine Flächenkorrektur von + 1 dB beim Fenster angesetzt sowie der Einfluß der Körperschall-Übertragung mit einer Korrektur von - 1 dB berücksichtigt, statt - 3 dB bei den gasgefüllten Scheiben, da die Körperschall-Übertragung als absolut gleich groß wie bei den gasgefüllten Anordnungen angenommen wurde, jedoch relativ als kleiner weil die Übertragung über den luftgefüllten Hohlraum nach Abschnitt 6 um 6 dB niedriger sei.

In Bild 24 ist im unteren Diagramm ein Vergleich zwischen Rechnung und Messung vorgenommen. Das Ergebnis ist, daß die Meßwerte für Fenster im Mittel um etwa 5 dB höher sind als nach der Rechnung erwartet. Dieser Abweichung ist bereits früher beobachtet [21] [24] worden, als nach der vereinfachten Beziehung (3) verglichen worden ist.

Ein wesentlicher Teil der Abweichungen ist auf den Nischeneffekt [18] [24] zurückzuführen, der bei den Rechenwerten aufgrund der verwendeten Versuchsanordnung mit erfaßt ist. Er beruht auf der Übereinstimmung von Hohlraum-Resonanzfrequenzen in der vorgelagerten Nische. Diese Übereinstimmung führt zu einer geringeren Dämmung. Sie fällt beim Fenster weg, wodurch die Dämmung besser wird. Dieser Erklärung widerspricht zunächst die gute Überein-

stimmung von Rechnung und Messung bei den Verbundfenstern. Er kann im Augenblick nur vermutet werden, daß sich dieser Nischeneffekt bei den größeren Scheibenabständen d_g von Verbundfenstern weniger auswirkt. Erklärbar ist dies zunächst nicht. Die Ergebnisse sind um etwa 5 dB günstiger als die Rechenwerte. Die Rechnung für gasgefüllte Scheiben ist um 6 dB günstiger als für luftgefüllte Scheiben. Man kann deshalb versuchen, die Rechenwerte für gasgefüllte Scheiben nach Beziehung (14) auch auf Fenster mit luftgefüllten Isolierglasscheiben anzuwenden, wobei aufgrund der Erfahrung nach Bild 24 noch ein Abschlag von 1 dB angebracht wird:

$$R_{W \text{ Fenster, luftgefüllte Scheiben}} = R_{W \text{ Fenster, gasgefüllt nach Beziehung (14)}} - 1 \text{ dB} \quad (17)$$

Ein Vergleich zwischen den Werten nach Beziehung (17) und Meßwerten ist im oberen Diagramm von Bild 24 vorgenommen worden. Die Übereinstimmung ist jetzt relativ gut. Völlig unbefriedigend ist an dieser Vorgehensweise, daß sie, wie schon erwähnt, im Widerspruch steht zu der Berechnung bei Verbundfenstern. Bei den luftgefüllten Isolierglasfenstern wird der zweifellos vorhandene Nischeneffekt berücksichtigt, bei den Verbundfenstern dagegen nicht.

9. Einfluß des Rahmen-Materials

Aus praktischer Sicht liegt die Frage nahe, ob und welchen Einfluß das Material des Fensterrahmens auf die Schalldämmung eines Fensters hat.

Der Rahmen kann einmal die Übertragung nach Abschnitt 5 unmittelbar beeinflussen, in dem die Rahmenübertragung selbst vom Rahmenmaterial abhängen kann. Eindeutige Unterschiede zwischen verschiedenen Rahmenmaterialien konnten in diesem Zusammenhang nicht festgestellt werden. Zwar zeigte sich bei der Untersuchung der Schalldämmung einer "Platte" aus einzelnen, lose zusammengefügt Fensterprofil-Stäben, daß die Hohlprofile aus Kunststoff und Aluminium oberhalb 1000 Hz ausgeprägte Resonanzen zeigten und ihre Dämmung deshalb geringer war als bei massiven Holzprofilen. Bei der Untersuchung von eingebauten Fensterrahmen konnte dieser Effekt jedoch nicht mehr beobachtet werden, vermutlich bedingt durch die Dämpfungseinflüsse der Umgebung. Bezüglich der Rahmenübertragung verhalten sich somit verschiedene Materialien in handelsüblicher Ausführung ungefähr gleich.

Es gibt noch eine zweite denkbare Möglichkeit, wie das Rahmenmaterial sich auswirken könnte nämlich bezüglich der Körperschalldämpfung der Glasscheiben. Isolierglasscheiben weisen zwischen etwa 100 und 300 Hz eine ausgeprägte Resonanz auf, siehe Bild 25, die als "Masse - Feder - Masse" - Resonanz der Doppelscheibe gedeutet wird. Zahlenmäßig ergibt die Rechnung z.B. für die in Bild 25, unten dargestellte 8/12/4 mm - Scheibe eine Resonanzfrequenz von etwa 190 Hz, somit in Übereinstimmung mit der Messung. Diese Resonanz ist beim Einbau der Scheiben in ein Fenster zum Teil weniger stark ausgebildet als wenn die Scheibe unmittelbar untersucht wird. In Bild 25 ist als Gerade die Schalldämmung eines Fensters mit einer Einfachscheibe von 6 mm bzw. 8 mm Dicke

jeweils eingetragen^{*)} um die Resonanz (schraffierter Bereich) deutlich in Erscheinung treten zu lassen. Vergleicht man nun die Fenster mit verschiedenen Materialien, dann fällt auf, daß die Fenster mit Aluminium-Rahmen eine stärker ausgeprägte Resonanz aufweisen als die Holz- und Kunststoff-Fenster. Dies ist insofern verständlich, als die Materialien in gleichen Sinn eine verschiedene Materialdämpfung aufweisen. Überraschend ist jedoch, daß sich dieses auch unmittelbar noch auf die Scheiben auswirkt.

Ein etwas günstigeres Verhalten von Holz- und Kunststoff-Fenstern ergibt sich auch, wenn man die R_W -Werte betrachtet. Bei der Mittelung über eine größere Zahl von Fenstern mit gasgefüllten Verglasungen von 4/12/4 mm, 6/12/4 mm, 8/12/4 mm ergaben sich folgende Differenzen in den R_W -Werten:

Holz-Fenster um rund 1 dB günstiger
als Aluminium-Fenster

Kunststoff-Fenster um rund 2 dB günstiger
als Aluminium-Fenster

Es besteht somit ein gewisser Einfluß des Rahmen-Materials auf die Schalldämmung von Fenstern. Man könnte ihn durch einen Zu- bzw. Abschlag von z.B. 1 dB für Kunststoff- bzw. Aluminium-Fenster in der Rechnung berücksichtigen. Vor allem könnte man jedoch die Rahmen in schalltechnischer Hinsicht zu verbessern versuchen, indem man ihre Körperschalldämpfung erhöht. Dies erscheint bei den Hohlprofilen durchaus möglich.

^{*)} in physikalischer Hinsicht müßte man eigentlich mit einer Einfachscheibe, die gleich dick ist wie beide Scheiben zusammen, vergleichen; dadurch würde die Linie um 4,5 dB (obere Scheibe) bzw. 3,5 dB (untere Scheibe) höher verlaufen

10. Zusammenfassung

Bei der Berechnung der Schalldämmung von Fenstern müssen drei Übertragungswege berücksichtigt werden:

- über die Glasscheibe bzw. den Hohlraum zwischen den Scheiben
- über die Scheibenverbindung bei Isolierglasscheiben
- über den Fensterrahmen

Der Anteil über die Scheibenverbindung fällt bei Verbund- und Kastenfenstern weg. Bei den letztgenannten Fenstern fällt auch noch die Rahmenübertragung weg. Bei Fenstern mit Isolierverglasung fällt die Übertragung über die Scheibenverbindung dann weg, wenn die Einzelscheiben als Verbundscheiben in geeigneter Form ausgeführt sind.

Das bewertete Schalldämm-Maß R_w von Fenstern kann in den meisten Fällen mit genügender Genauigkeit vorhergesagt werden. In Tabelle 2 sind die Berechnungsformeln zusammengestellt.

In den Tabellen 3 bis 6 sind die aus den Formeln berechneten Schalldämmwerte angegeben, sodaß ein leichter Überblick über die erforderlichen Scheibendicken und Abstände möglich ist.

Die Untersuchungen haben gezeigt, daß offensichtlich die Körperschalldämpfung des Rahmens von Bedeutung für die erreichbare Schalldämmung ist. Es erscheint denkbar, daß man auf diese Weise vor allem bei Einfachfenstern mit Isolierverglasung eine Verbesserung der Schalldämmung erreichen könnte.

Tabelle 2

Beziehungen für die Berechnung des bewerteten Schalldämm-Maßes R_W von Fenstern

Fensterart	bewertetes Schalldämm-Maß R_W in dB
Einfach-Fenster mit Einzelscheiben	$= 10 \lg \frac{d_{Gl_1}}{d_0} + 37 \text{ dB}$
Verbund-Fenster	$= 10 \lg \frac{d_{Gl_1}}{d_0} + 10 \lg \frac{d_{Gl_2}}{d_0} + 15 \lg \frac{d_S}{d_0} + 39 \text{ dB} + k_R$
Kasten-Fenster	$= 10 \lg \frac{d_{Gl_1}}{d_0} + 10 \lg \frac{d_{Gl_2}}{d_0} + 15 \lg \frac{d_S}{d_0} + 39 \text{ dB}$
Einfach-Fenster mit Isolierverglasung gasgefüllte Scheiben	$= 10 \lg \frac{d_{Gl_1}}{d_0} + 15 \lg \frac{d_S}{d_0} + 39 \text{ dB} + k_R$ nur gültig für $d_{Gl_2} \approx 4 \text{ mm}$
Einfach-Fenster mit Isolier- verglasung, gasgefüllte Scheiben mit Verbundglas	$= 10 \lg \frac{d_{Gl_1}}{d_0} + 10 \lg \frac{d_{Gl_2}}{d_0} + 15 \lg \frac{d_S}{d_0} + 46 \text{ dB} + k_R$
Einfach-Fenster mit Isolierverglasung mit luftgefüllten Scheiben	$= 10 \lg \frac{d_{Gl_1}}{d_0} + 15 \lg \frac{d_S}{d_0} + 38 \text{ dB} + k_R$ nur gültig für $d_{Gl_2} \approx 4 \text{ mm}$

Es bedeuten: d_{Gl_1} : Dicke der schwereren Scheibe (in mm)

d_{Gl_2} : Dicke der zweiten Scheibe (in mm)

d_S : Scheibenabstand (in mm)

d_0 : 10 mm (Bezugswert)

k_R : Korrektur für Rahmenübertragung, siehe Tabelle 1

Tabelle 3

Bewertetes Schalldämm-Maß R_W
von Fenstern mit Einfach-Scheiben

Dicke der Scheiben d_{Gl} in mm	bewertetes Schalldämm-Maß R_W dB
3	32
4	33
5	34
6	35
8	36
10	37
12	38
15	39

T a b e l l e 4

Bewertetes Schalldämm-Maß R_w von Verbundfenstern, abhängig von der Dicke (d_{G1_1} und d_{G1_2}) und dem Abstand d_S der Scheiben

Dicke der Scheiben in mm		bewertetes Schalldämm-Maß R_w in dB bei den Scheibenabständen d_S in mm							
d_{G1_1}	d_{G1_2}	25	30	35	40	50	60	70	80
4	4	37	38	38	39	41	41	42	43
4	5	37	38	39	40	41	42	43	44
4	6	38	39	40	41	42	43	44	45
4	8	40	41	42	42	44	44	45	45
4	10	41	42	43	43	44	45	45	46
6	6	40	41	41	42	43	44	45	45
6	8	41	42	42	43	43	45	45	46
6	10	41	42	43	44	45	45	46	46
6	12	42	43	44	44	45	46	46	47
8	8	42	42	43	44	45	45	46	46
8	10	42	43	44	45	45	46	47	47
8	12	44	45	45	46	46	47	47	47

T a b e l l e 5

Bewertetes Schalldämm-Maß R_W von Kastenfenstern, abhängig von der Dicke (d_{Gl_1} und d_{Gl_2}) und dem Abstand d_S der Scheiben

Dicke der Scheiben in mm		bewertetes Schalldämm-Maß R_W in dB bei den Scheibenabständen d_S in mm				
d_{Gl_1}	d_{Gl_2}	80	100	125	150	200
4	4	44	46	47	49	50
4	6	46	47	49	51	52
4	8	47	49	50	52	53
4	10	48	50	51	53	54
6	6	48	49	51	53	54
6	8	49	50	52	54	55
6	10	50	52	53	55	56
8	8	50	52	53	55	56
8	10	51	53	54	56	57
10	10	52	54	55	57	58

Tabelle 6

Bewertetes Schalldämm-Maß R_w von Einfach-Fenstern mit Isolierglasscheiben mit Gasfüllung (aus Einzelscheiben)

zweite, dünnere Scheibe: 4 mm

Dicke d_{Gl_1} der ersten Scheibe in mm	bewertetes Schalldämm-Maß R_w in dB bei den Scheibenabständen d_s in mm			
	12	16	24	32
4	35	37	39	41
6	37	39	41	43
8	38	40	42	44
10	39	41	43	44

11. Literatur

- [1] DIN 52 210, Teil 2, "Luft- und Trittschalldämmung, Prüfstände für Schalldämm-Messungen an Bauteilen", Ausgabe August 1981
- [2] DIN 52 210, Teil 4, "Luft- und Trittschalldämmung, Ermittlung von Einzelangaben", Ausgabe Juli 1975
- [3] DIN 4109, Teil 6, "Schallschutz im Hochbau, Bauliche Maßnahmen zum Schutz gegen Außenlärm", Entwurf Februar 1979
- [4] VDI-Richtlinie 2719 "Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen", Entwurf September 1983
- [5] Cops, A. und Myncke, H. "Sound insulation of glass by means of scale models", *Acustica* 31 (1974) S. 143 - 149
- [6] Cops, A., Myncke, H. und Vermeir, G. "Insulation of reverberant sound through double and multilayered glass constructions", *Acustica* 33 (1975) S. 258 - 263
- [7] Cremer, L. "Theorie der Schalldämmung dünner Wände bei schrägem Einfall", *Acustische Zeitschrift* 7 (1942) S. 81
- [8] Derner, P. "Einfluß der Gasfüllung auf die Schall- und Wärmedämmung von Isoliergläsern", *Glastechn. Ber.* 48 (1975) S. 84 - 90
- [9] Derner, P. "Einfluß der Scheibengröße auf die Schalldämmung von Isolierglas", *Glastechn. Ber.* 55 (1982) S. 183 - 186
- [10] Eisenberg, A. "Schalldämmung von Fenstern", *Berichte aus der Bauforschung Heft* 63 (1969) S. 23 - 37
- [11] Eisenberg, A. "Die Schalldämmung von Gläsern und Verglasungen; II fest eingebaute Doppelverglasungen", *Glastechn. Ber.* 34 (1961) S. 544 - 547

- [12] Eisenberg, A. und Quenett, B. "Schalldämmung von Doppelscheiben aus Mehrschichtgläsern", 7. ICA-Kongress 1971, S. 81
- [13] Gösele, K. "Zur Berechnung der Luftschalldämmung von doppelschaligen Bauteilen (ohne Verbindung der Schalen)", Acustica 45 (1980) S. 218 - 227
- [14] Gösele, K. "Über Prüfstände zur Messung der Luftschalldämmung von Wänden und Decken", Acustica 15 (1965) S. 317 - 324
- [15] Gösele, K. "Die Luftschalldämmung" von einschaligen Trennwänden und Decken", Acustica 20 (1968) S. 334
- [16] Gösele, K. "Zur Bewertung der Schalldämmung von Bauteilen nach Sollkurven", Acustica 15 (1965) S. 264 - 270
- [17] Gösele, K. "Schallabstrahlung von Platten, die zu Biegeschwingungen angeregt sind", Acustica (1953) S. 243
- [18] Gösele, K. "Verbessern Gasfüllungen die Schalldämmung von Fenstern mit Isolierglasscheiben?", Glastechn. Ber. 55 (1982) S. 187 - 193
- [19] Gösele, K. und Gösele, U. "Einfluß der Hohlraumdämpfung auf die Steifigkeit von Luftschichten bei Doppelwänden", Acustica 38 (1977) S. 159 - 166
- [20] Gösele, K., Gösele, U. und Lakatos, B. "Einfluß einer Gasfüllung auf die Schalldämmung von Isolierglasscheiben" Acustica 38 (1977) S. 167 - 174
- [21] Gösele, K. und Lakatos, B. "Schalldämmung von Fenstern und Verglasungen", FBW-Blätter 4 (1977)
- [22] Gösele, K. und Lakatos, B. "Der Einfluß des Rahmens auf die Schalldämmung von Fenstern", Mitteilung 28 des Inst. für Bauphysik, Stuttgart (1978)
- [23] Gösele, K. und Lakatos, B. "Verbesserung der Schalldämmung von Isolierglasscheiben durch Gasfüllung", Glastechn. Ber. 40 (1975) S. 91

- [24] Gösele, K. und Lakatos, B. "Über den Einfluß von Nischen auf die Schalldämmung von Fenstern", in: Fortschritte der Akustik, Plenarvorträge und Kurzfref. d. 7. Tagung d. Dt. Arbeitsgemeinschaft f. Akustik, DAGA '80, München, Berlin: VDE-Verl. (1980) S. 395 - 398
- [25] Gösele, K., Schüle, W. und Lakatos, B. "Gasfüllung bei Isolierglasscheiben", FBW-Blätter 4 (1982)
- [26] Koch, K. "Hinweise zum Einbau schalldämmender Fenster in Altbauten", FBW-Blätter 2 (1981)
- [27] Kutzer, F. und Kloos, T. "Messung der Luftschalldämmung von Fenstern in Außenwänden am Bau", (1981) Bericht des Staatl. Materialprüfungsamtes Nordrhein-Westfalen
- [28] Mechel, F.P., Koch, S. und Lakatos, B. "Die Schalldämmung von Fensterrahmen", IBP-Mitteilungen 64 (1981)
- [29] Moll, M. "Schalldämm-Messungen an Fenstern - Ergebnisse von 100 Untersuchungen an Bauten", VDI-Berichte Nr. 316 (1978)
- [30] Utley, W.A. und Fletcher, B.L. "Influence of edge conditions on the sound insulation of windows", Appl. Acoustics 2 (1969) S. 131 - 136

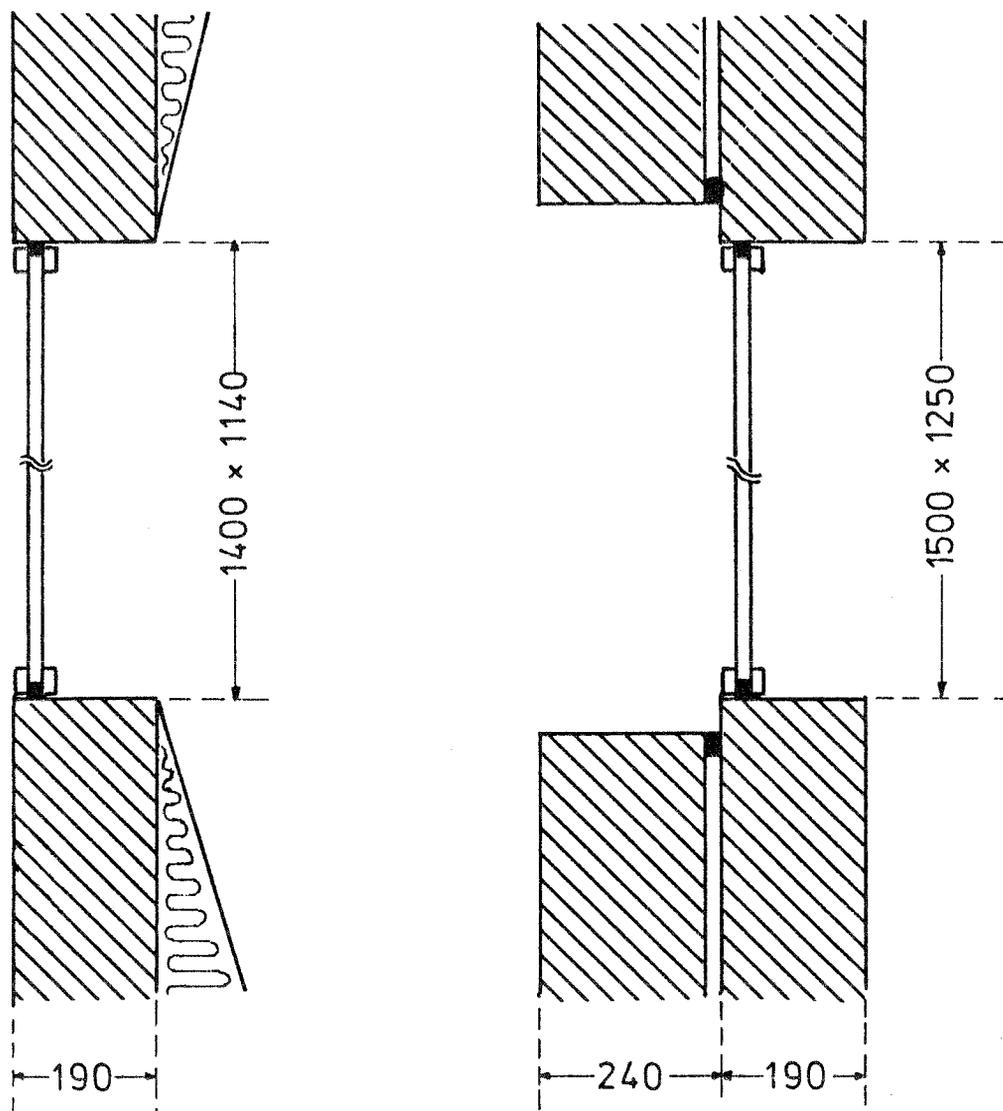


Bild 1: Anordnung zur Untersuchung der Schalldämmung von Glasscheiben und Fenstern (Maßangaben in mm)

links: die für die hier verwendeten Meßergebnisse verwendete Anordnung

rechts: die nach DIN 52 210, Teil 2, Ausgabe 1981, vorgesehene Prüfanordnung

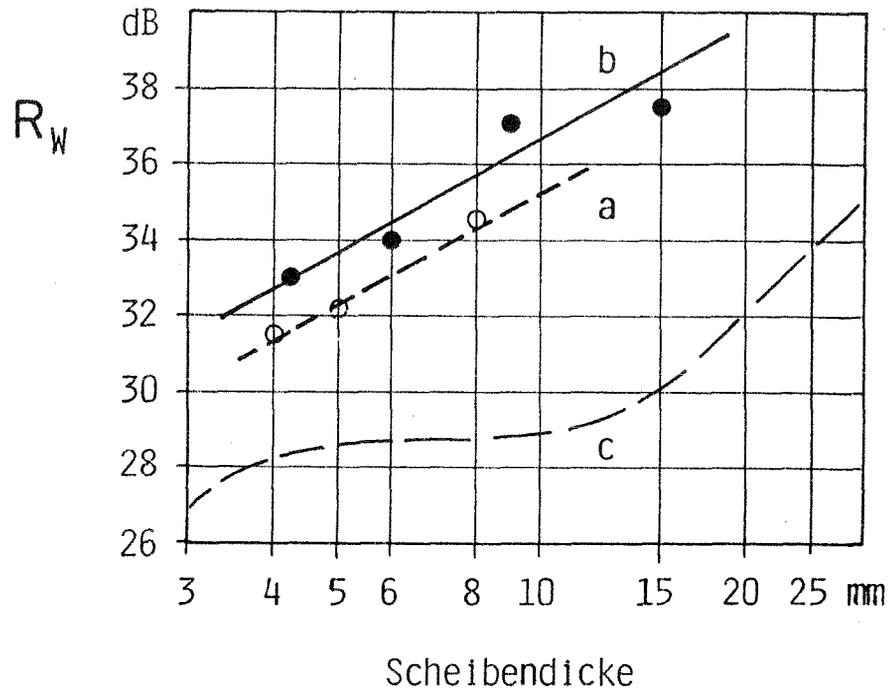


Bild 2: Bewertetes Schalldämm-Maß R_w von Einzelscheiben und von Fenstern mit Einzelscheiben, abhängig von der Scheibendicke

- Scheiben (Gerade a)
- Fenster (Gerade b)

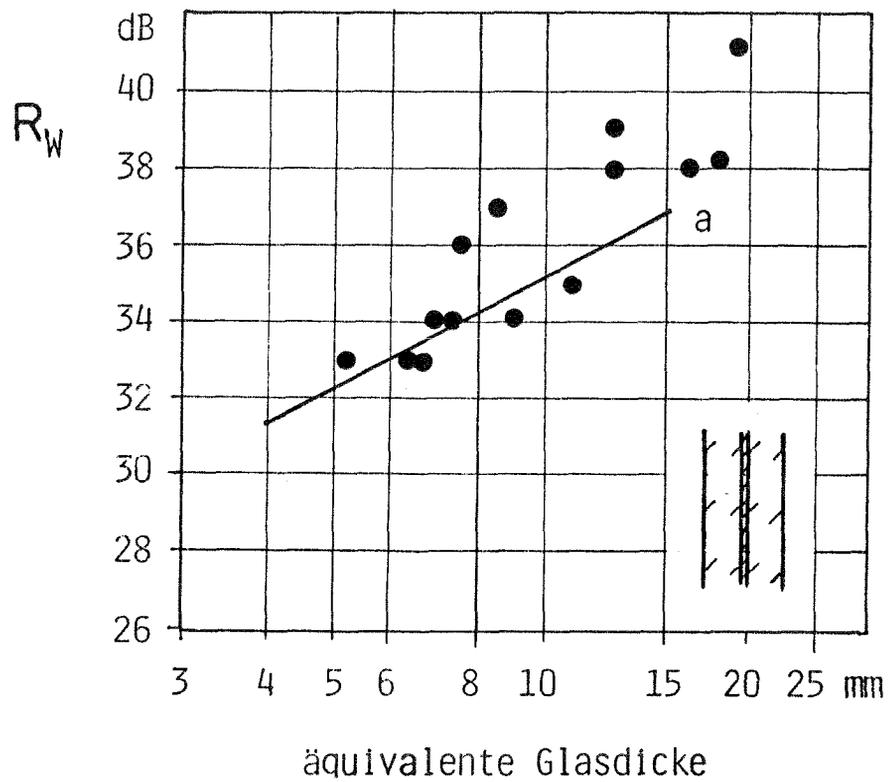


Bild 3: Bewertetes Schalldämm-Maß R_w von Verbundglasscheiben; zum Vergleich als Kurve a das Verhalten von Einfachscheiben nach Bild 2.

aufgetragen in Abhängigkeit einer "äquivalenten Glasdicke", die die gleiche flächenbezogene Masse wie bei den homogenen Scheiben ergibt

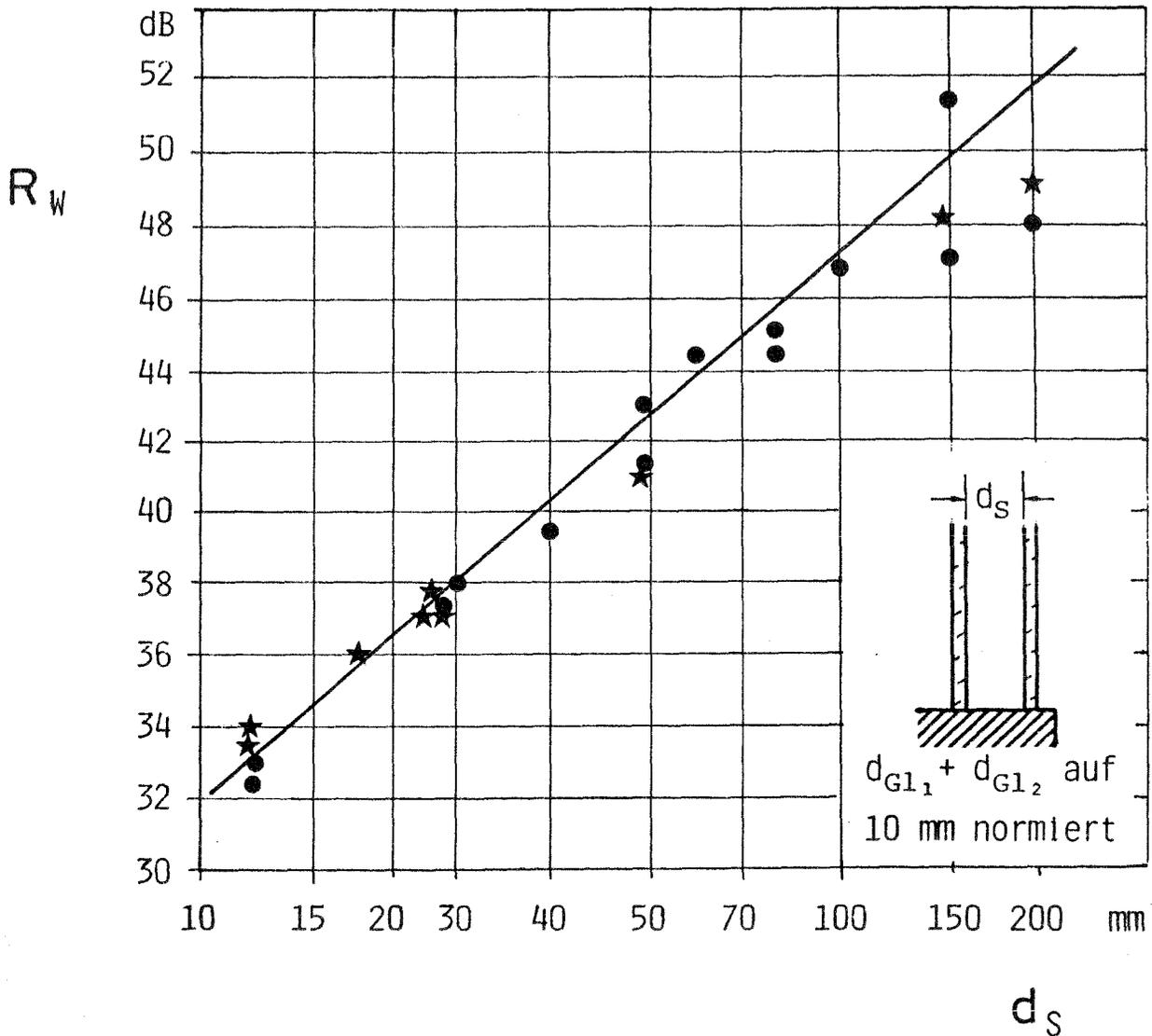


Bild 4: Bewertetes Schalldämm-Maß R_w von Doppelscheiben (ohne Randverbindung), abhängig vom Scheibenabstand

Gesamt-Glasdicke nach Beziehung (3) auf jeweils 10 mm umgerechnet

- gleich dicke Scheiben (4 und 8 mm)
- ★ verschieden dicke Scheiben

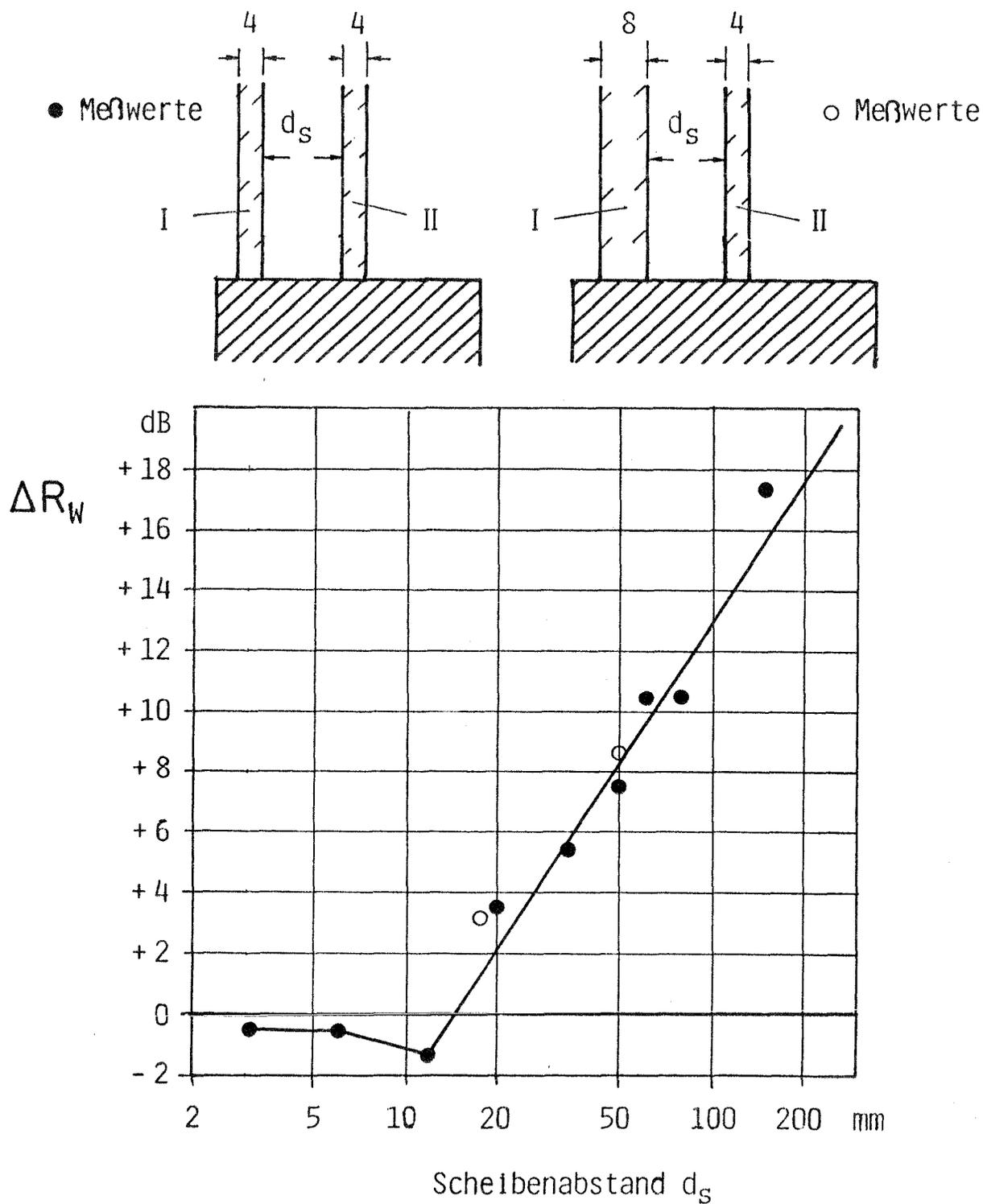


Bild 5 : Verbesserung ΔR_w des bewerteten Schalldämm-Maßes R_w einer Scheibe I durch eine vorgesetzte Scheibe II von 4 mm Dicke für verschiedene Scheibenabstände d_s

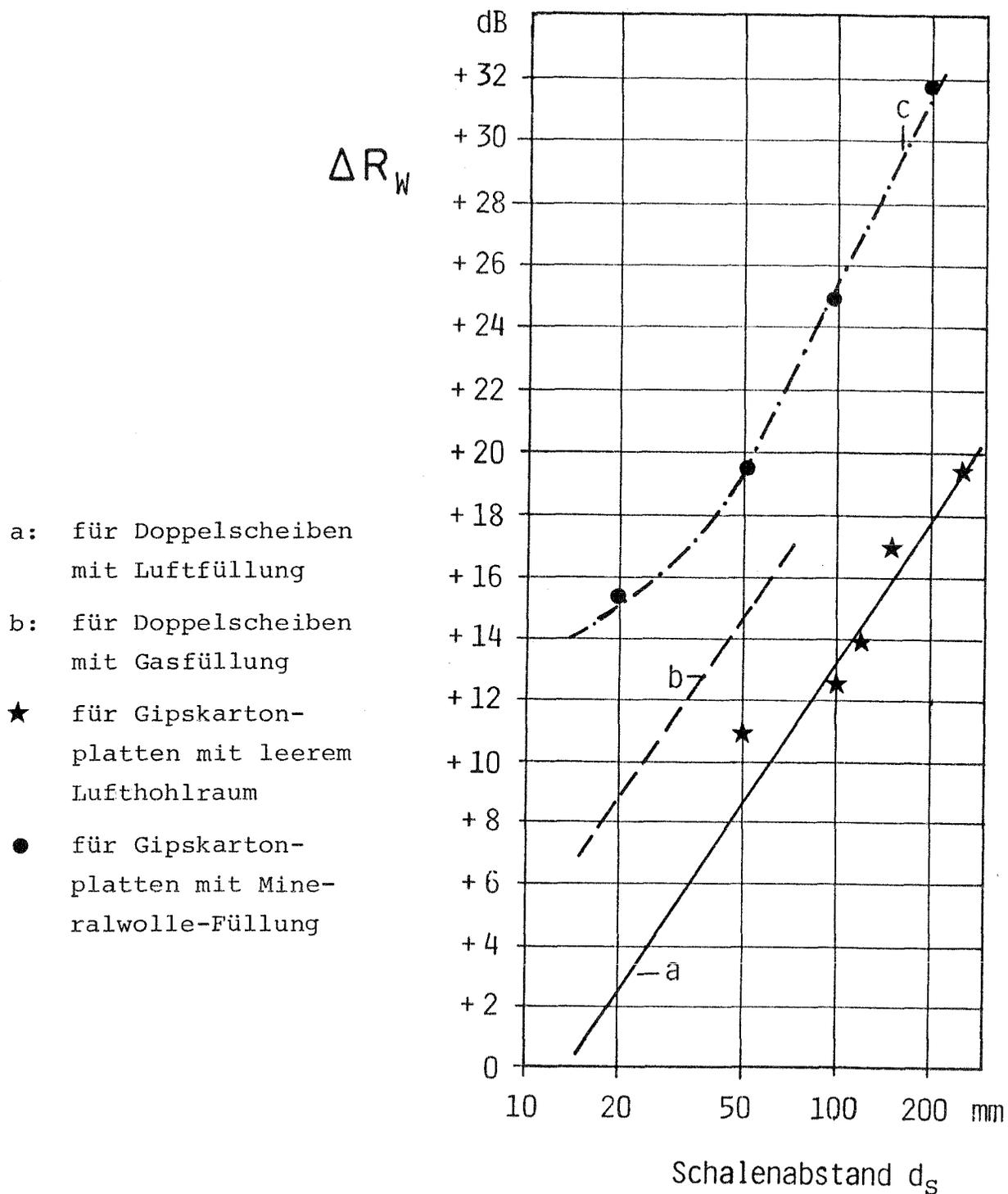


Bild 6: Vergleich der für vorgesezte 4 mm dicke Glasscheiben ermittelten Verbesserungswerte ΔR_W mit den an 7,5 m² großen Wänden aus 12,5 mm Gipskartonplatten (ohne gemeinsame Stiele) ermittelten Werte

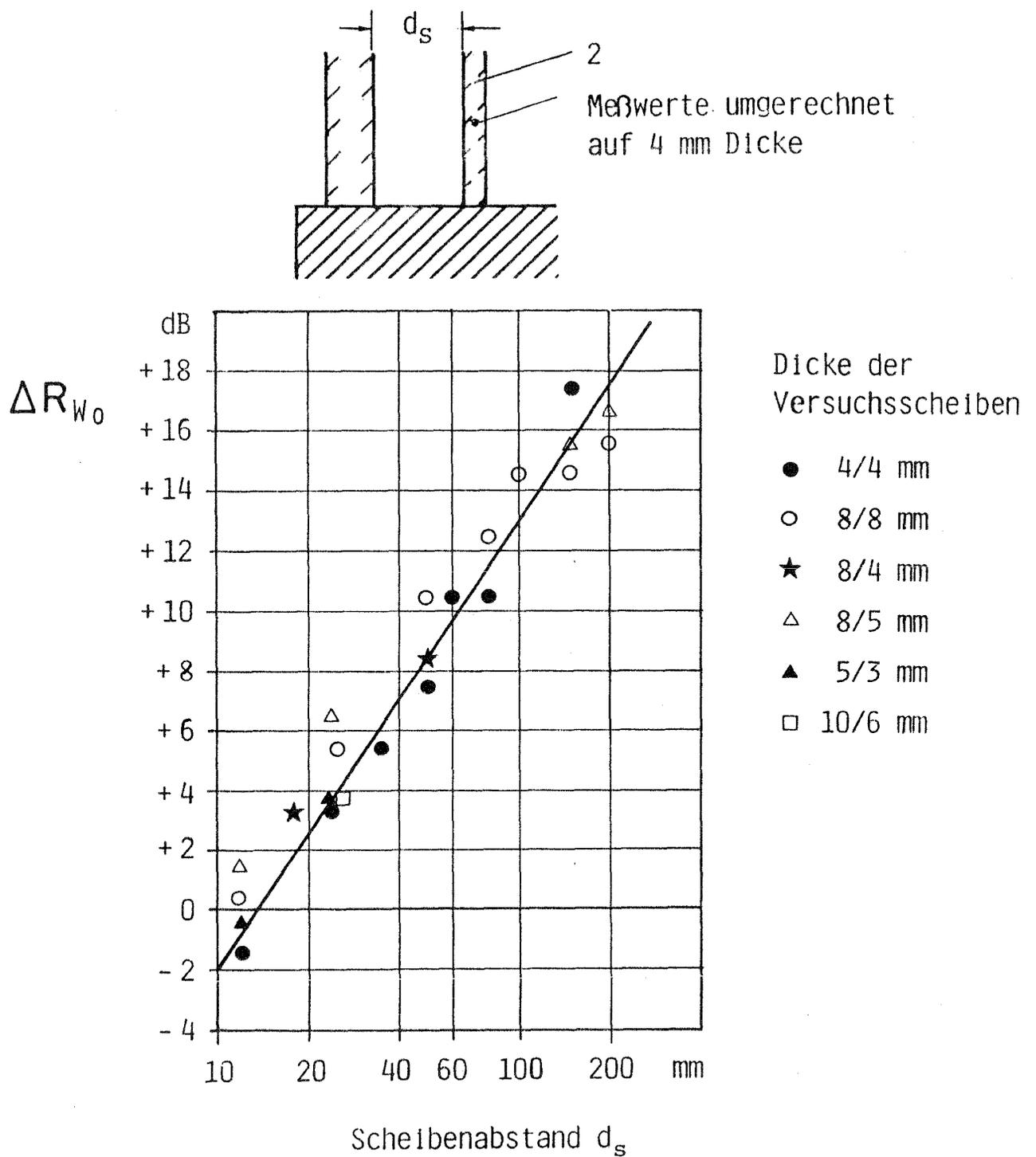


Bild 7: Verbesserung ΔR_{W_0} durch eine zweite Scheibe 2 in Abhängigkeit von dem Scheibenabstand d_s

Meßwerte der Vergleichbarkeit halber umgerechnet auf 4 mm Dicke der Scheibe 2 nach folgender Beziehung

$$\Delta R_{W_0} = \Delta R_W - 10 \lg \frac{d_{G1}^2}{4 \text{ mm}}$$

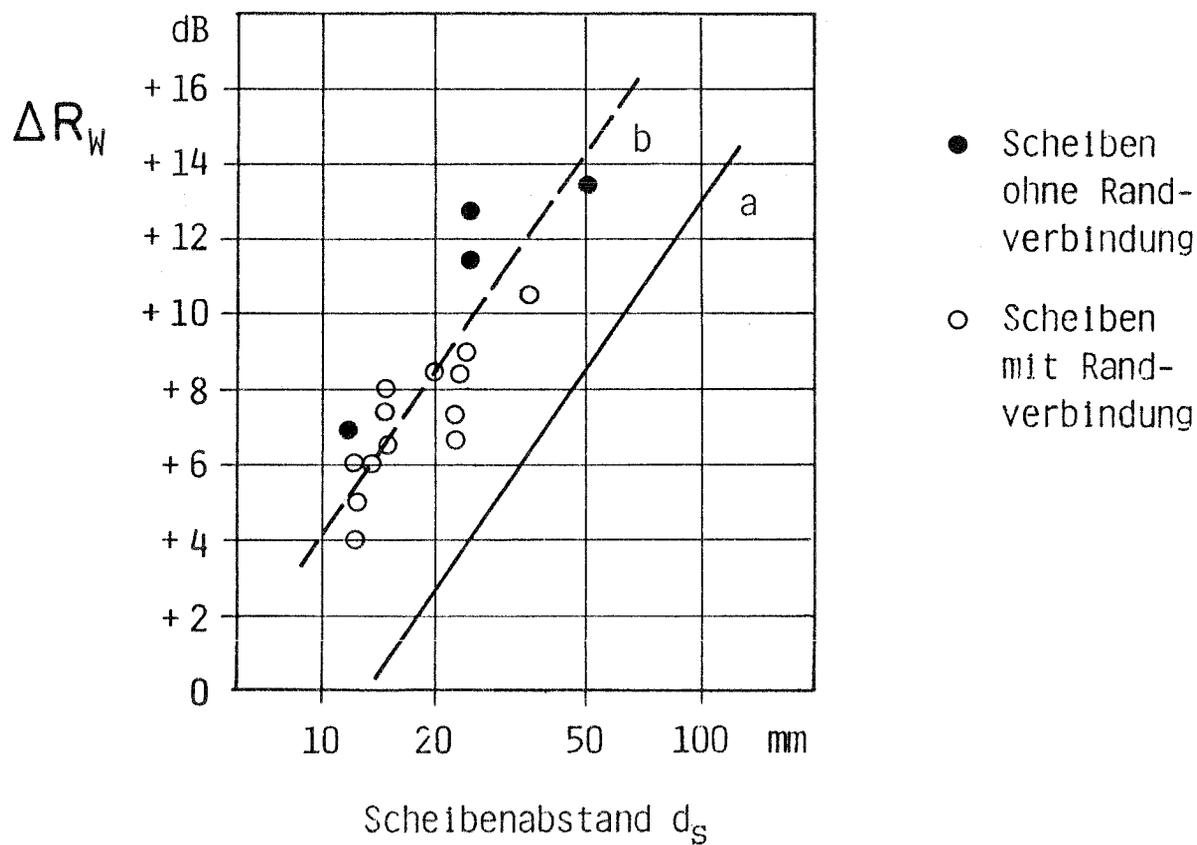
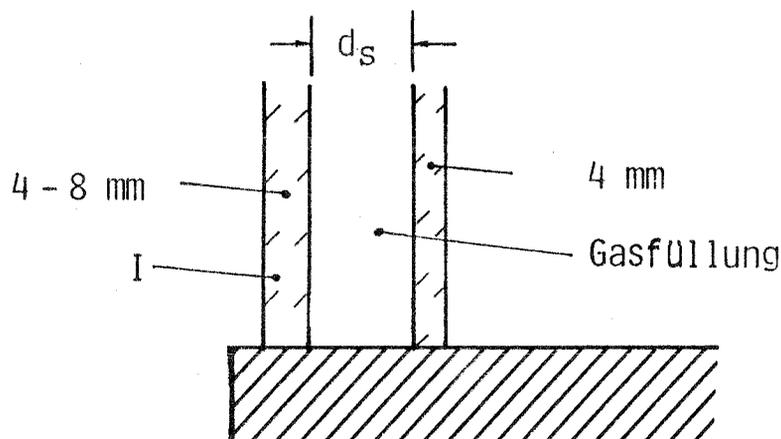


Bild 8: Verbesserung ΔR_W gegenüber der ersten Scheibe I durch eine vorgesezte 4 mm Scheibe, Hohlraum mit Gas gefüllt

a: zum Vergleich bei Luftfüllung, nach Bild 5

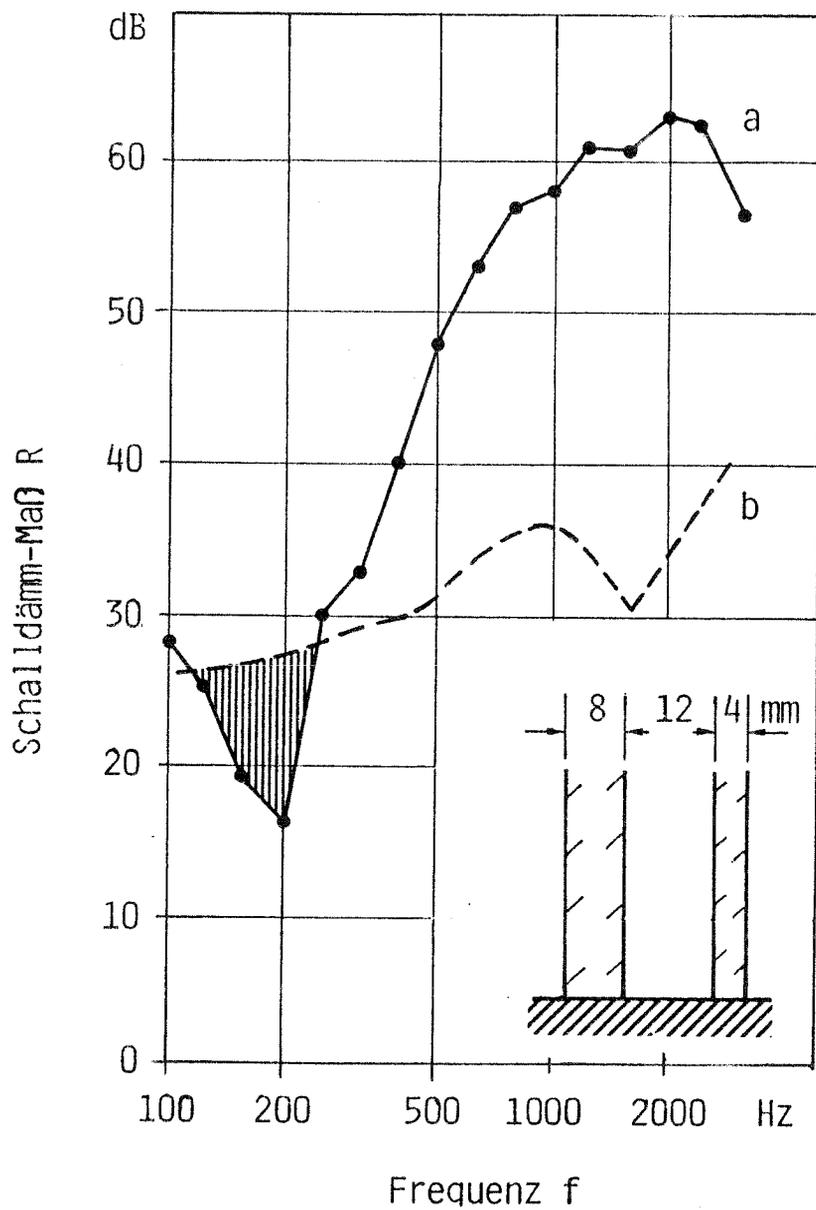


Bild 9: Isolierglasscheibe mit Schwergas-Füllung (SF_6)

a: Doppelscheibe mit Gasfüllung

b: 8 mm Einzelscheibe

Bei tiefen Frequenzen tritt eine ausgeprägte Resonanz auf, die verhindert, daß sich die große Verbesserung bei mittleren und hohen Frequenzen voll auswirken kann

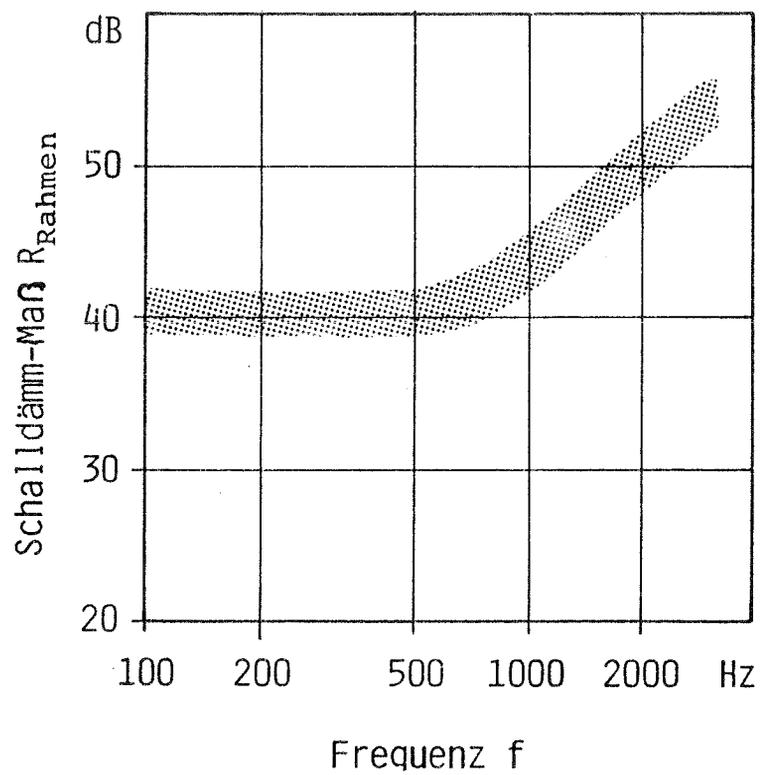
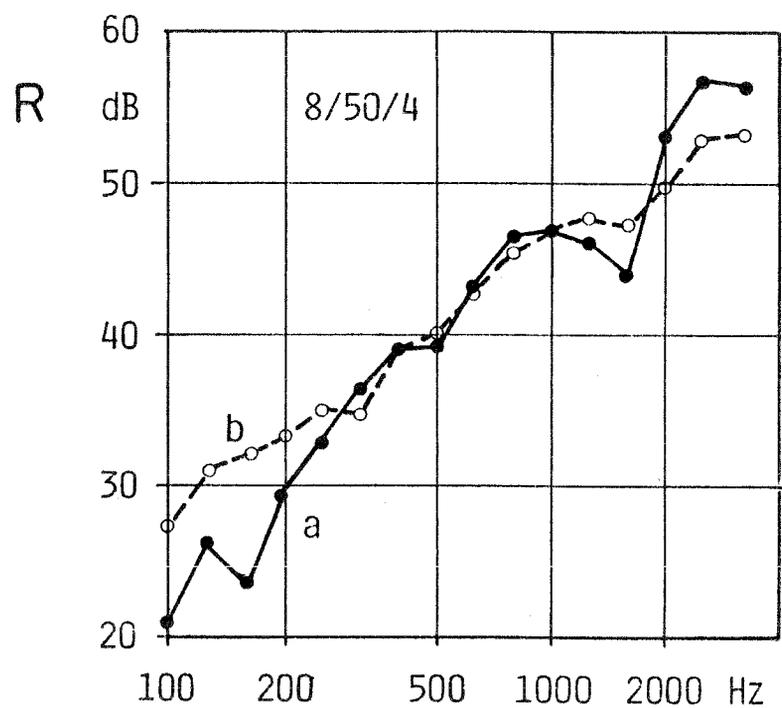
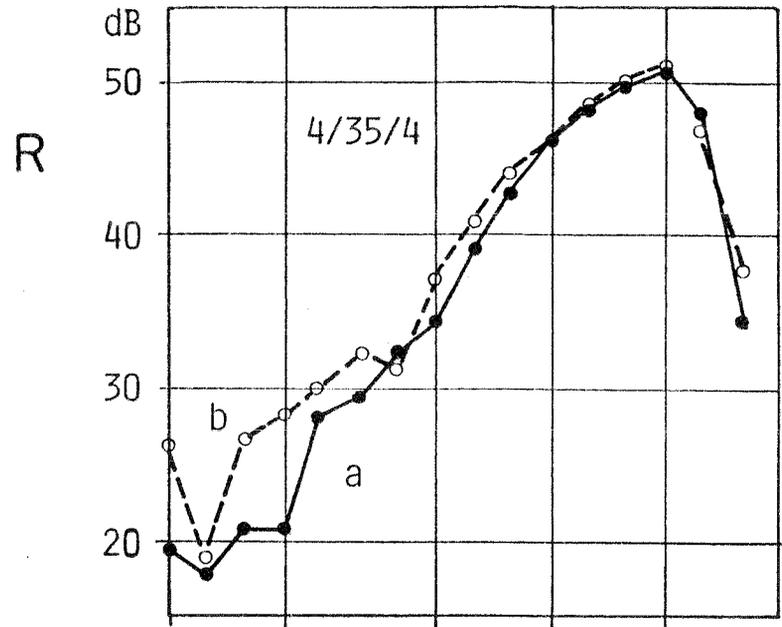
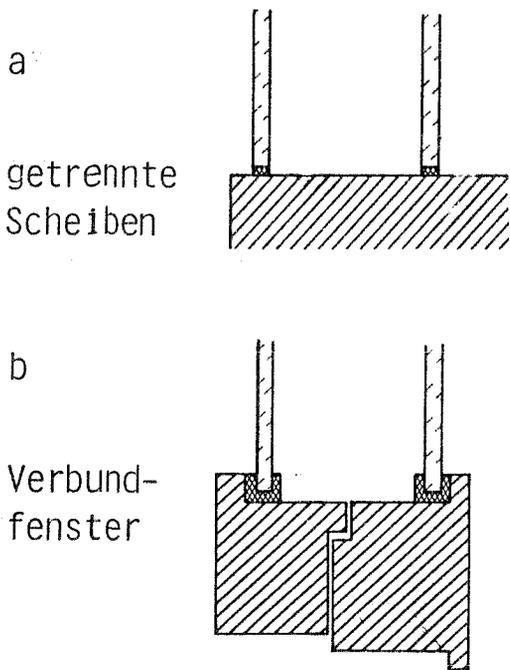


Bild 10: Schalldämm-Maß R_{Rahmen} von Fensterrahmen, gemittelt über mehrere Ausführungsarten

R bezogen auf die Fläche der Einbauöffnung des Fensters



Frequenz f

Bild 11: Vergleich des Schalldämm-Maßes von zwei getrennten Scheiben (a) und eines Holz-Verbundfensters (b) mit gleicher Verglasung

oben : Verglasung 4/35/4 mm

unten: Verglasung 8/50/4 mm

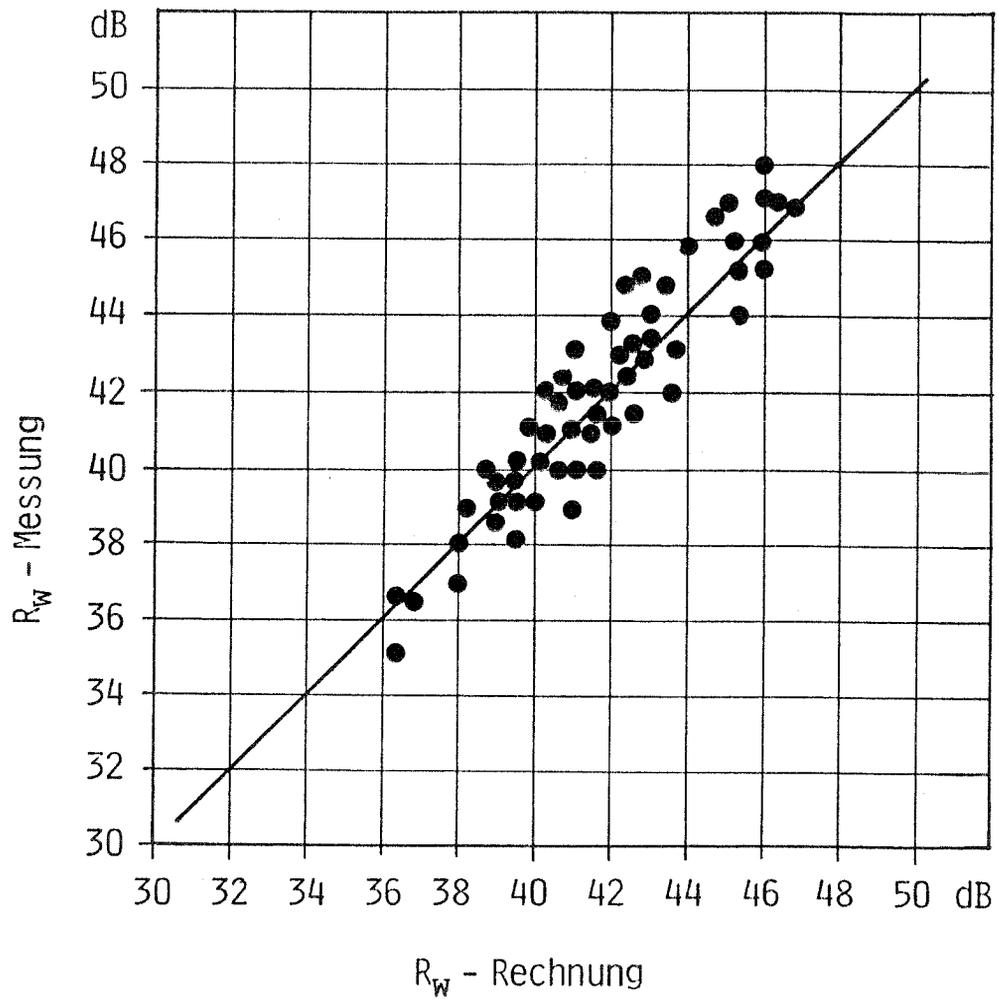
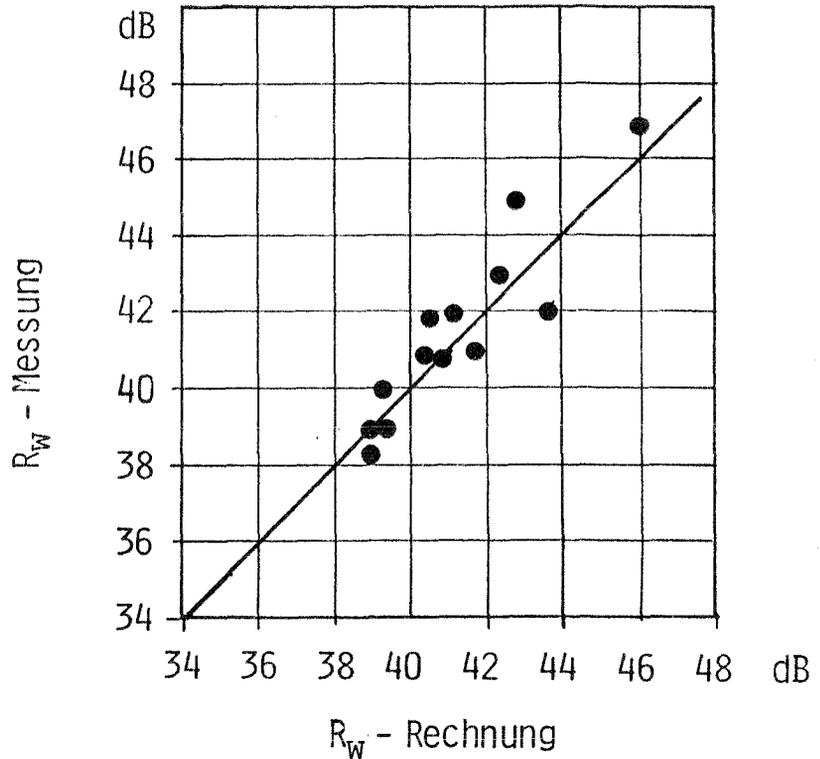


Bild 12: Vergleich von Meßergebnissen mit Rechenwerten nach Beziehung (10) für Verbundfenster

verschieden dicke
Scheiben:

3,8/5	2,8/6
4/5	3/8
4/6	4/8
2,8/3,8	3/4
4/10	

in mm



gleich dicke
Scheiben:

- ★ 2,8/2,8
- 3/3
- 4/4
- 5/5
- △ 6/6

in mm

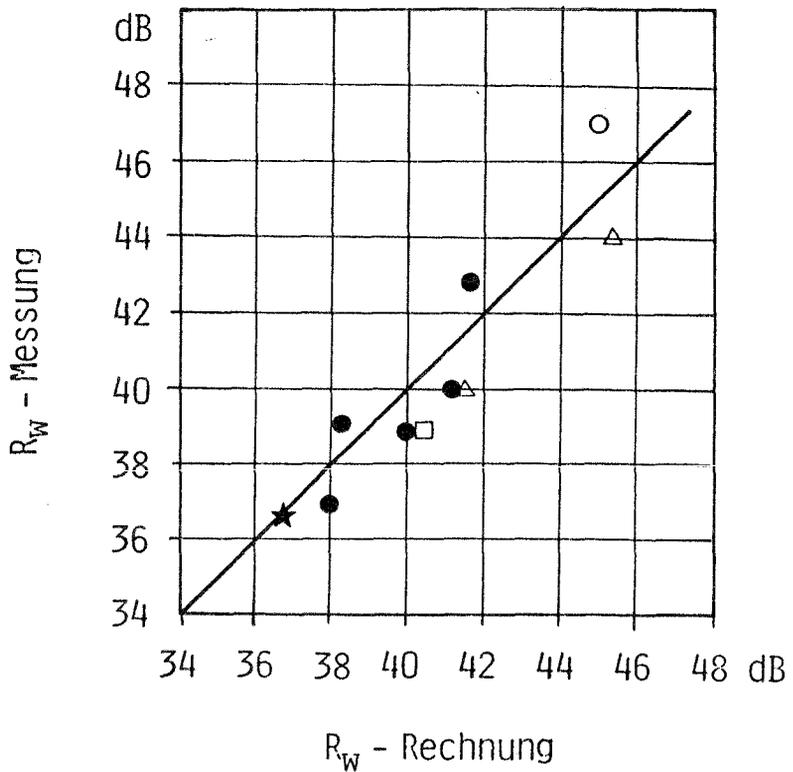


Bild 13: Schalldämm-Maß R_w von Verbundfenstern mit jeweils gleich dicken Scheiben (unteres Diagramm) und verschieden dicken Scheiben (oberes Diagramm)

Jeweils Vergleich von Rechen- mit Meßwerten

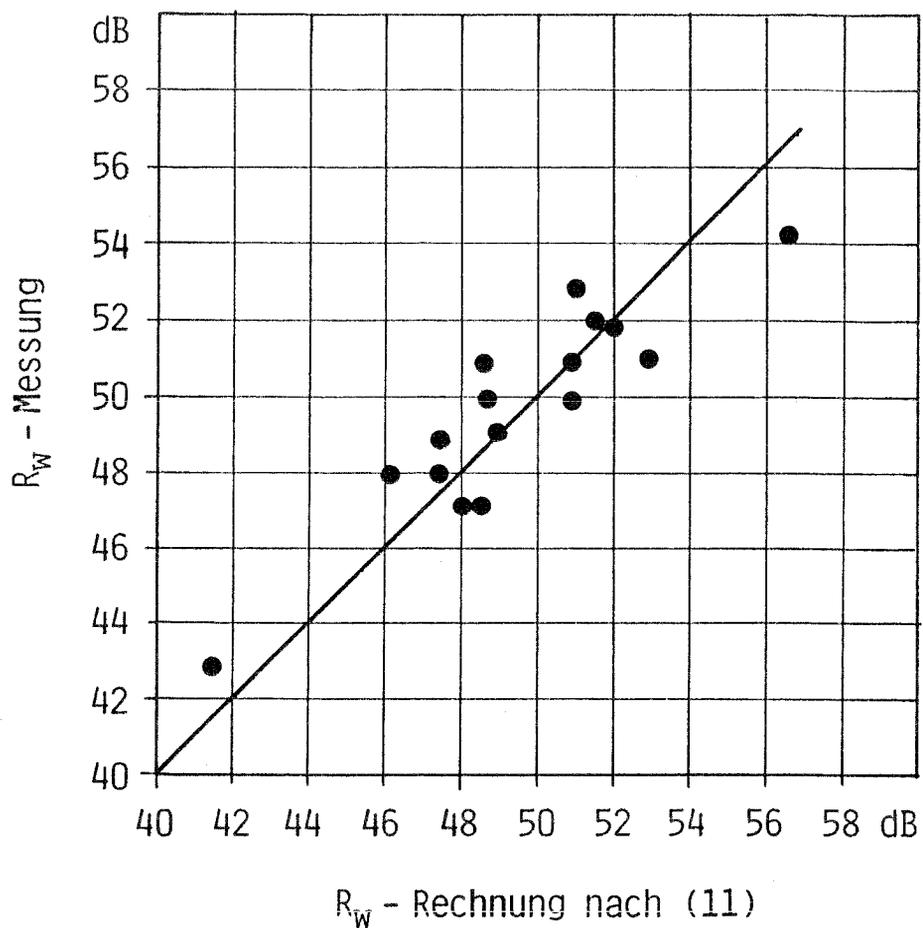
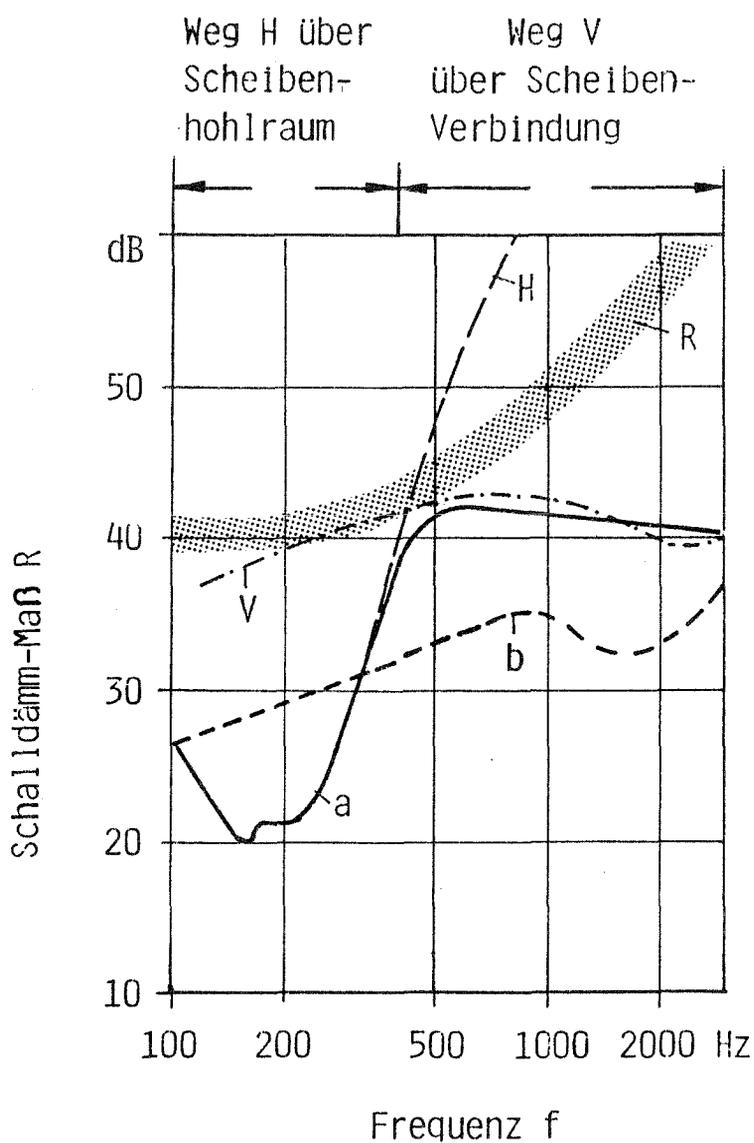


Bild 14: Vergleich von R_w -Meßwerten von Kastenfenstern mit zwei Scheiben mit Rechenwerten nach Beziehung (11)
Scheibendicken variieren zwischen 3,8 und 12 mm,
Scheibenabstand variierend zwischen 50 und 230 mm



gezeichnetes Beispiel:

Holz-Einfachfenster
8/12/4 mm
mit Schwergas

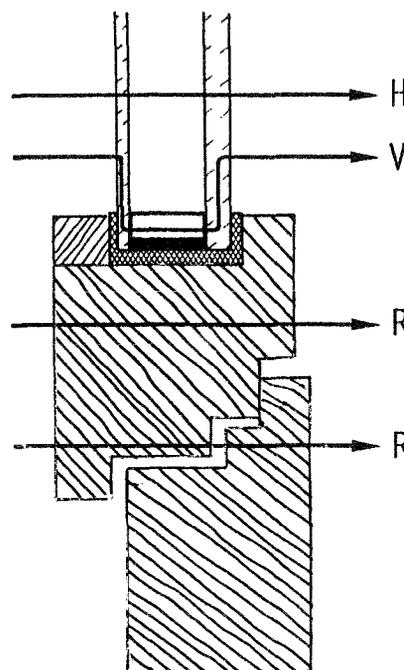


Bild 16: Vergleich der Schalldämmung eines Fensters mit Isolierglasscheibe 8/12/4 mm, gasgefüllt (Kurve a) mit der eines Fensters mit 8 mm dicker Einfachscheibe (Kurve b)

Darstellung der verschiedenen Übertragungswege über den Schebenhohlraum (H), über die Scheibenrandverbindung (V) und über den Fensterrahmen (R)

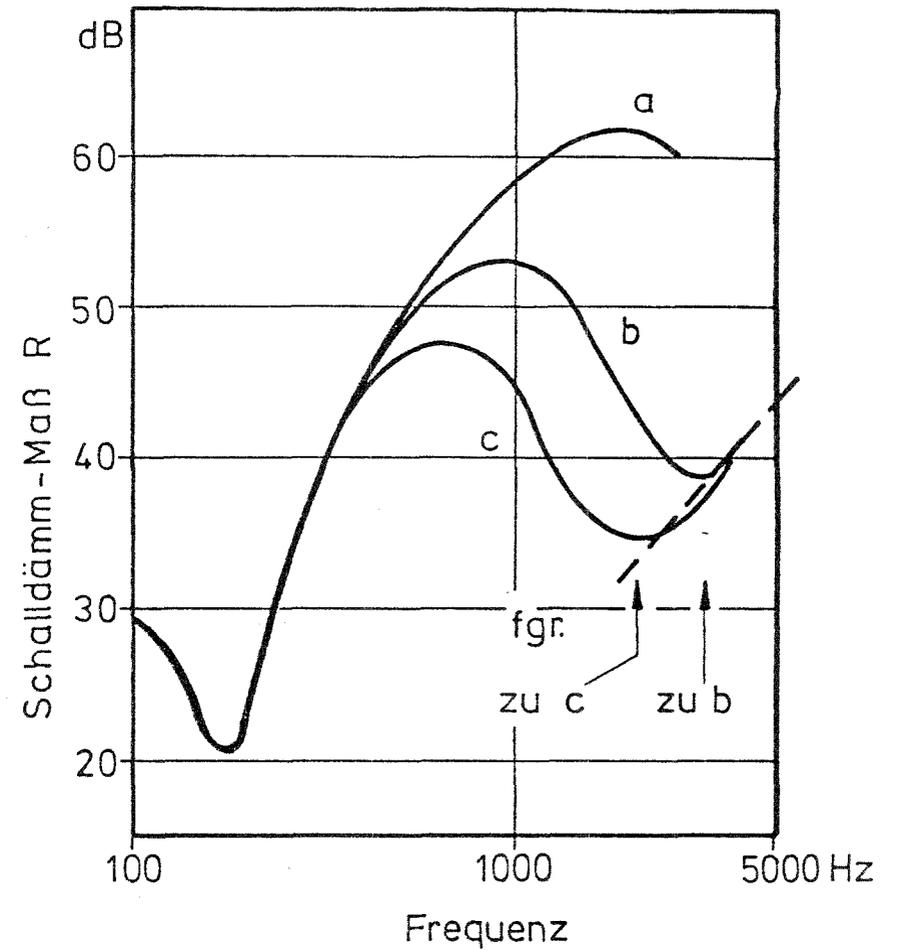
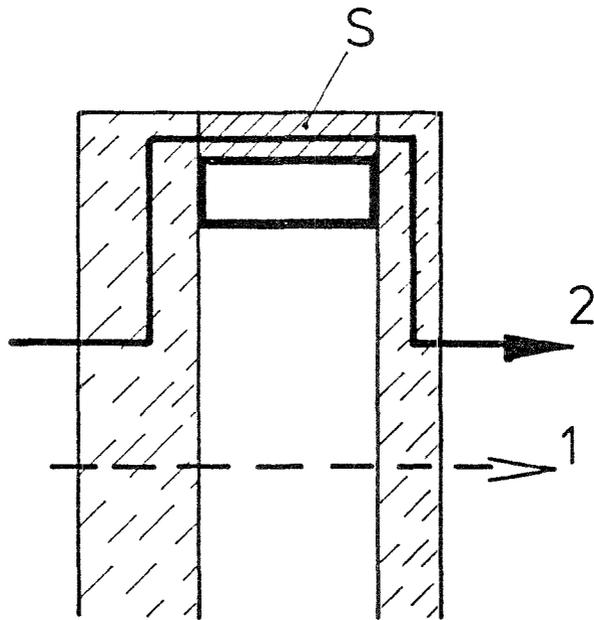


Bild 17: Begrenzung des Schalldämm-Maßes von Isolierglasscheiben mit Gasfüllung durch die Übertragung auf dem Weg 2 über die Randverbindung S

Diagramm zeigt Beispiel für die Wirkung der Randverbindung

- a : ohne Randverbindung
- b : mit Randverbindung, zweite Scheibe 4 mm dick (Grenzfrequenz 3000 Hz)
- c : mit Randverbindung, zweite Scheibe 6 mm dick (Grenzfrequenz 2000 Hz)
erste Scheibe 8 mm dick; Hohlraum 12 mm, mit Gas gefüllt

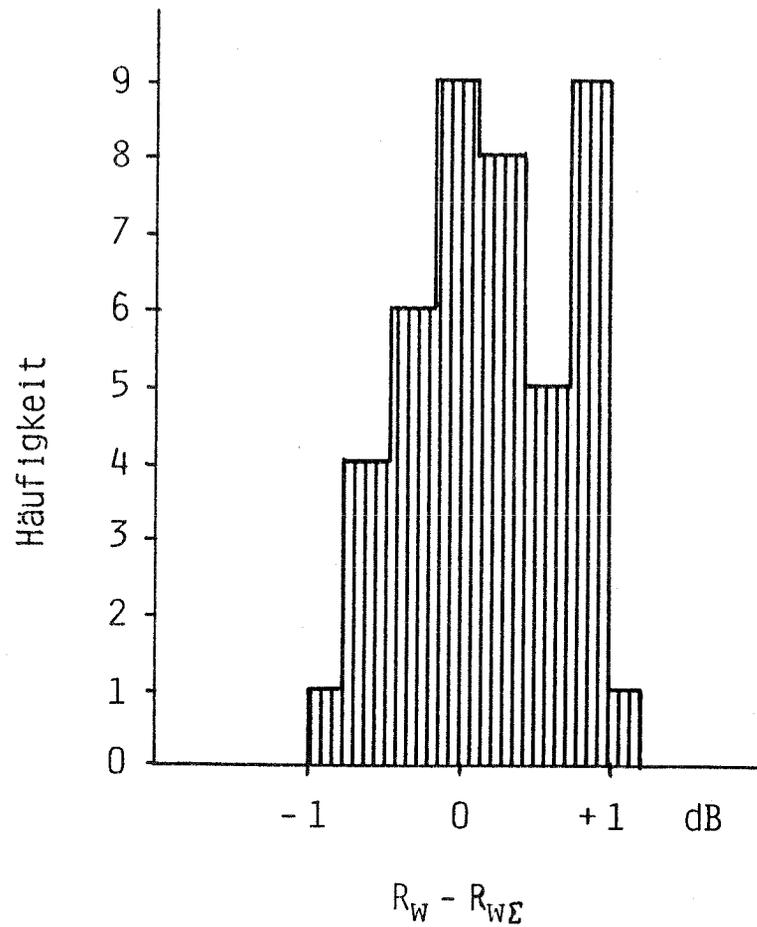


Bild 18: Häufigkeitsverteilung der Abweichung von $R_{W\Sigma}$ nach Beziehung (12) von dem unmittelbar nach DIN 52 210, Teil 4 bestimmten bewerteten Schalldämm-Maß R_W überprüft an den gemessenen Schalldämmwerten R von 43 stark verschiedenen Fenstern

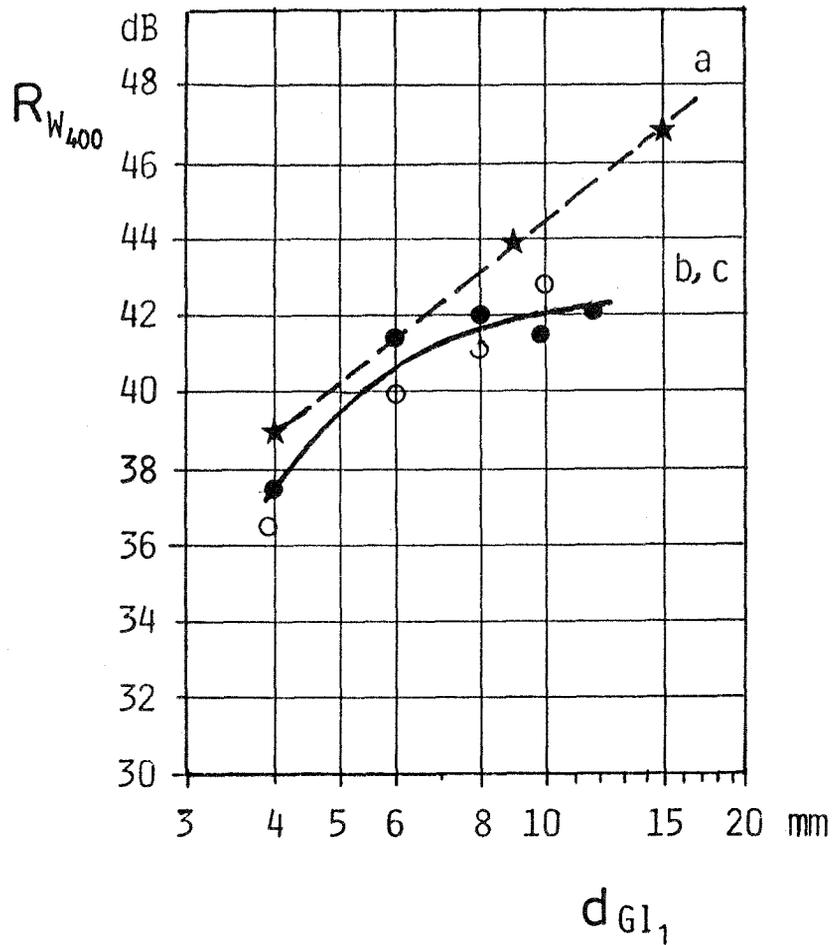


Bild 19: Bewertetes Schalldämm-Maß R_{W400} als Maß für die Schallübertragung über den Scheibenhohlraum bei Fenstern mit gasgefüllten Isolierglasscheiben, abhängig von der Dicke d_{Gl_1} der ersten Scheibe

- a ★ Fenster mit Einzelscheiben (zum Vergleich)
- b ● Fenster mit Isolierglas
- c ○ Isolierglasscheiben

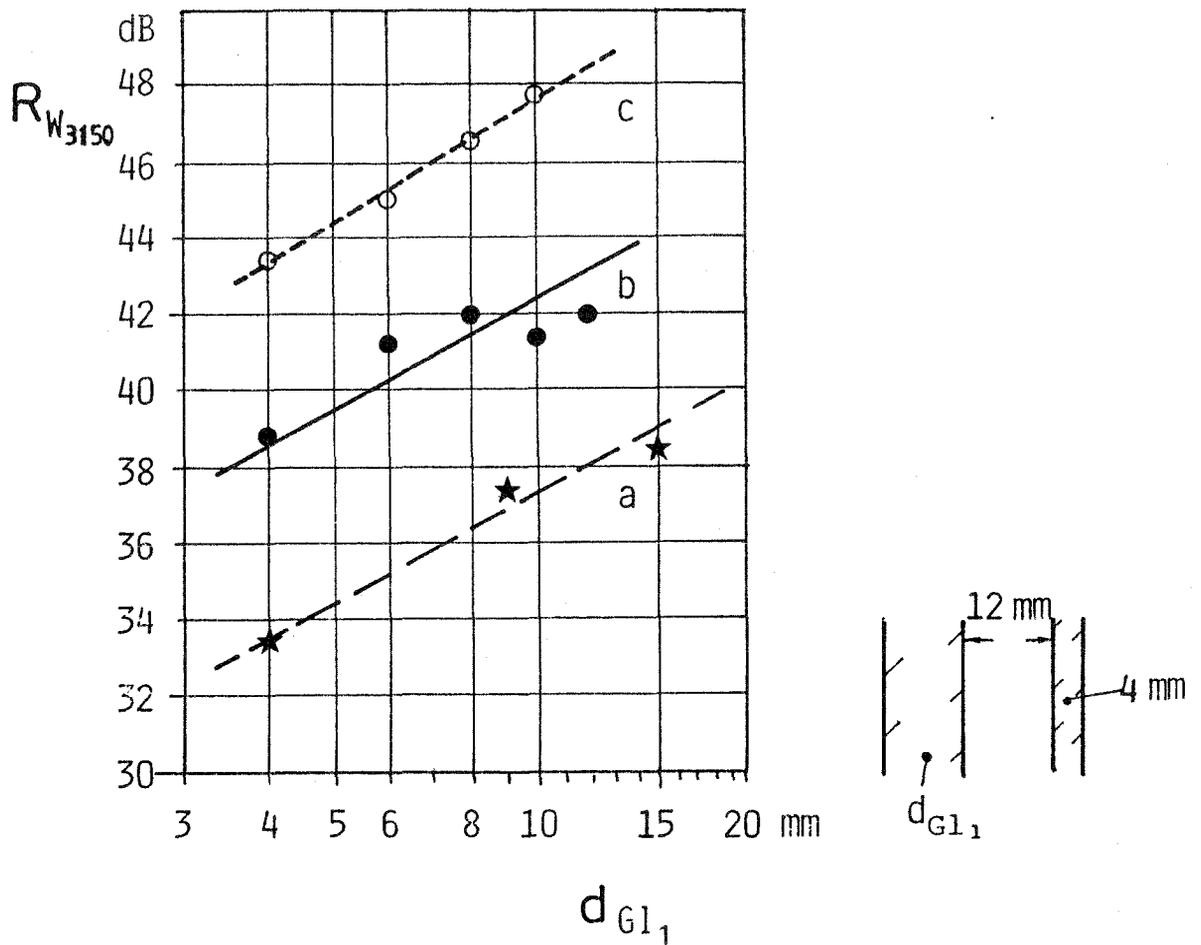


Bild 20: Bewertetes Schalldämm-Maß R_{W3150} als Maß für die Übertragung über die Scheibenverbindung V (siehe Bild 16) bei Fenstern mit gasgefüllten Isolierglasscheiben, abhängig von der Dicke d_{Gl_1} der ersten Scheibe

- a ★ Fenster mit Einzelscheiben (zum Vergleich)
- b ● Fenster mit Isolierglas
- c ○ Isolierglasscheiben

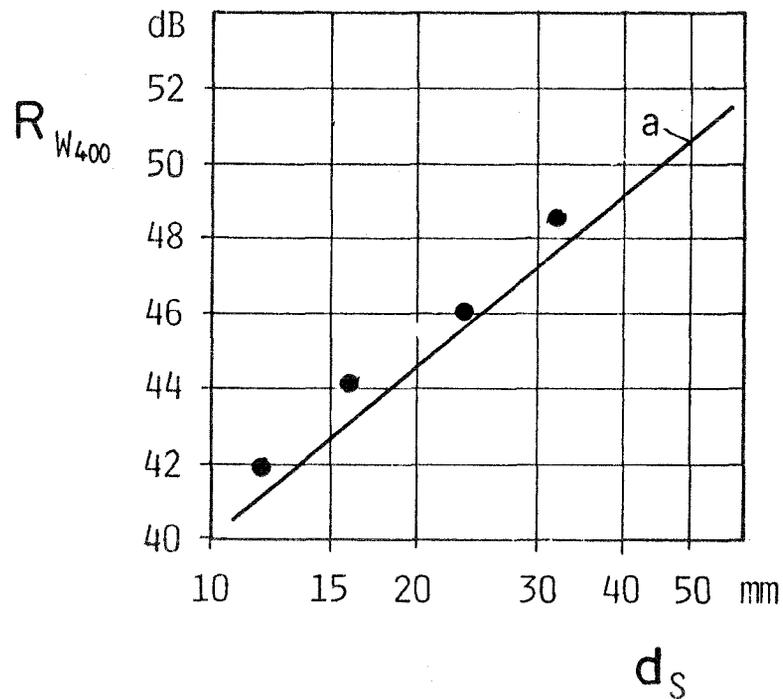
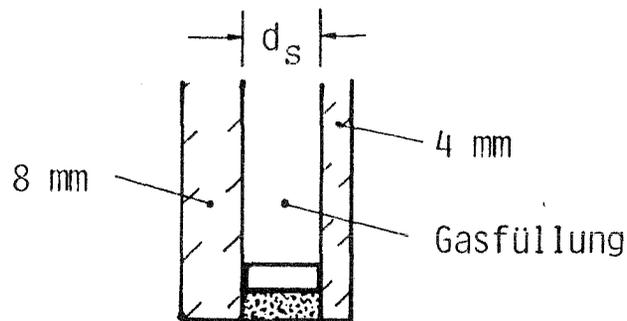


Bild 21: Einfluß des Scheibenabstandes d_s auf das Schalldämm-Maß R_{W400} von Fenstern mit oben dargestellten Isolierglasscheiben mit Gasfüllung

a: Rechnung mit Beziehung (9) für R_W für Scheiben mit Gasfüllung

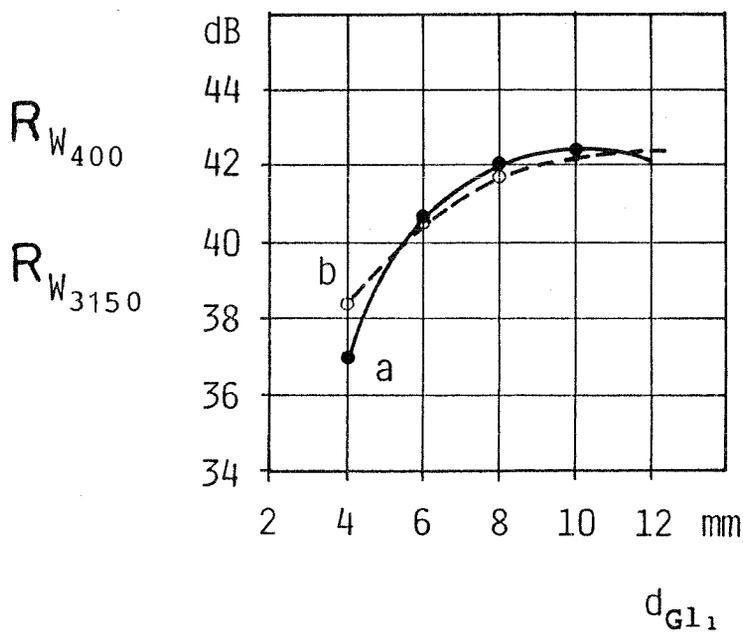
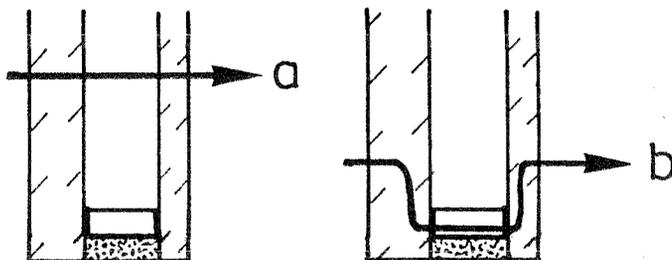


Bild 22: Vergleich der R_{W400} - und R_{W3150} - Werte von Bild 19 und 20, abhängig von der Dicke d_{G1} der ersten, dickeren Scheibe

- a: R_{W400} (herrührend von Übertragung über Schebenhohlraum)
- b: R_{W3150} (herrührend von Körperschallübertragung über Rand)

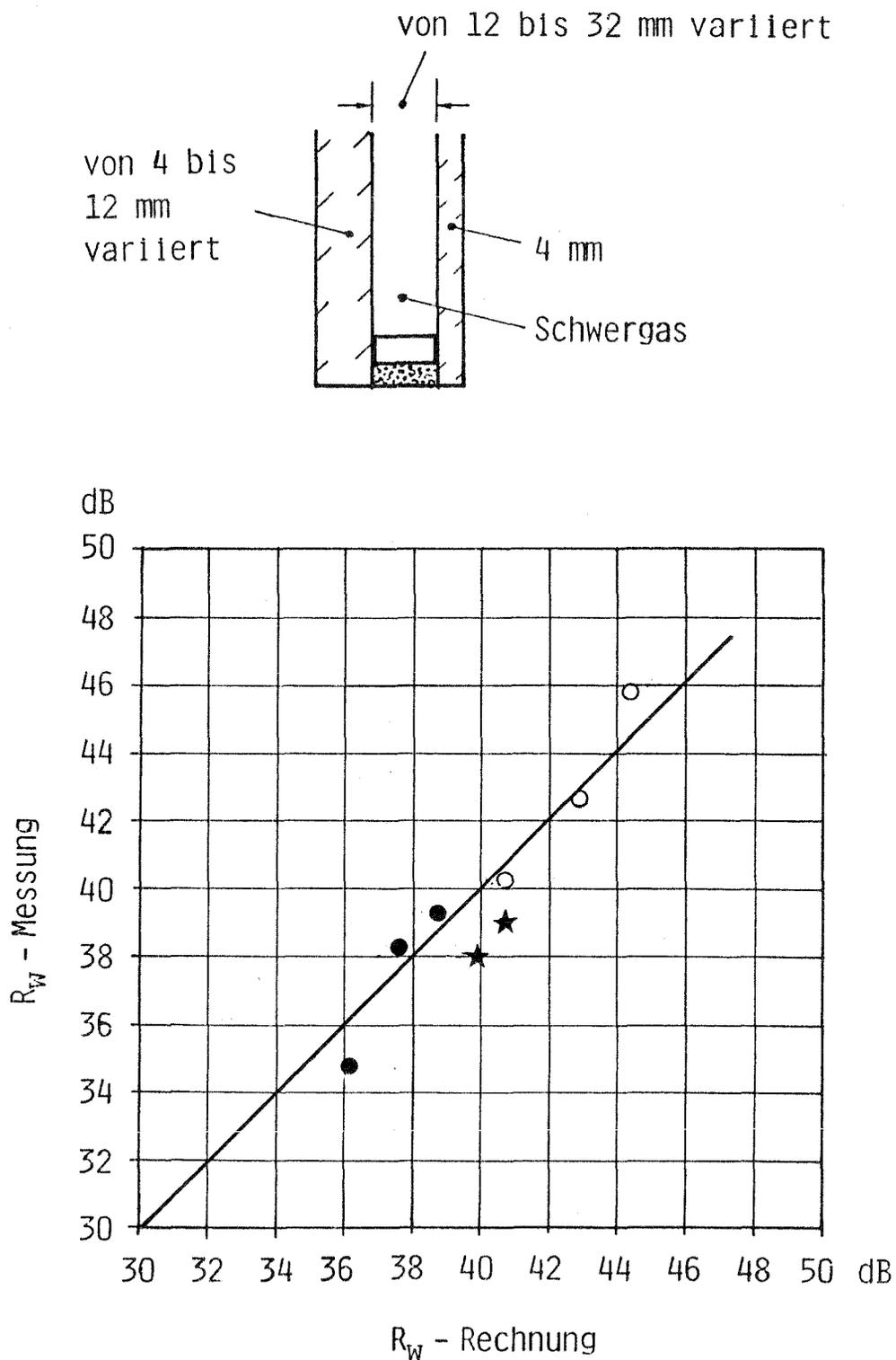
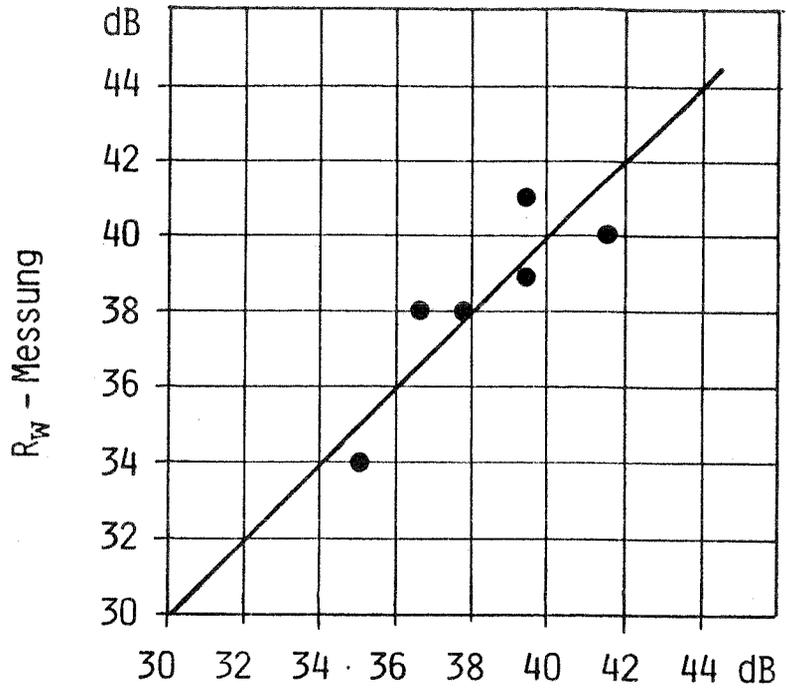


Bild 23: Vergleich des bewerteten Schalldämm-Maßes von Rechnung und Messung bei Fenstern mit gasgefüllten Isolierglasscheiben

- jeweils Mittelwert über mehr als 10 Fenster
- Scheibenabstand >12 mm
- ★ Scheibendicke d_{Gl_1} 10 und 12 mm

Rechnung nach
(14)
abzüglich 1 dB
für Fenster mit
gasgefüllten Iso-
lierglasscheiben



Rechnung nach
(16)
für Fenster mit
luftgefüllten Iso-
lierglasscheiben

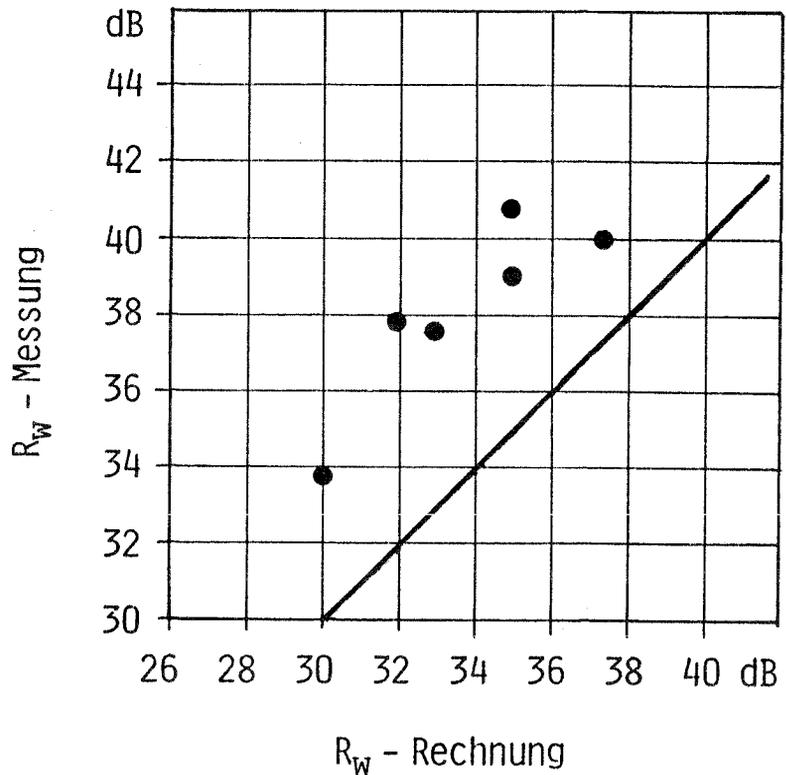


Bild 24: Vergleich der gemessenen Werte von R_w für Fenster mit luftgefüllten Isolierglasscheiben mit Rechenwerten nach (16) bzw. (14)

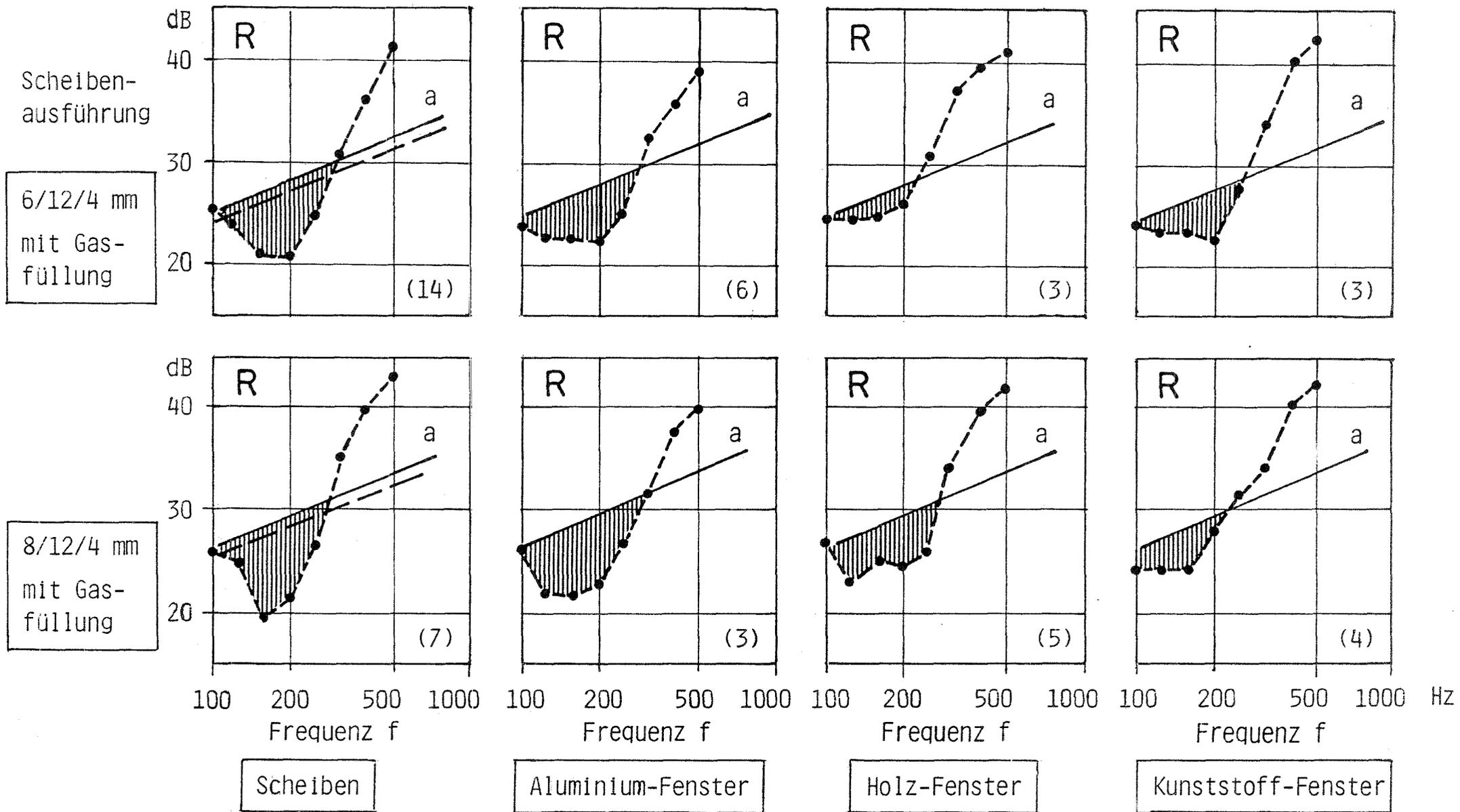


Bild 25: Ausbildung der Doppelscheiben-Resonanz abhängig vom Rahmen-Material der Fenster
 Klammerwerte (...) in Diagrammen geben die Zahl der Fenster an, über die gemittelt worden ist

a : Fenster mit 6 mm bzw. 8 mm Einzelscheibe (für Scheibe gestrichelte Linie)