Forschungsvorhaben

Erarbeitung eines Prognoseverfahrens zur Bestimmung der Schalldämmung von Holzständerwänden auf der Grundlage der Konstruktion und der verwendeten Werkstoffe

ROSENHEIM

Kurztitel: Prognoseverfahren Holzwände

Abschlussbericht November 2006

Aktenzeichen: **ift**: 310 2910
DGfH: E-2004/02
BBR: Z6-10.07.03-04.14 / II 13-80 01 04-14

Bewilligungsbescheid vom 09.06.2004

Auftraggeber:

Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e. V.

Bayerstraße 57-59
80335 München

Koordination und Förderer des Vorhabens:

Koordination durch die Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e. V.
Gefördert aus Mitteln des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung.
Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor

Ausführende Institution:

LSW Labor für Schall- ⊕ Wärmemesstechnik GmbH
das Schallschutzzentrum des **ift** Rosenheim

Leitung:

Prof. Dipl. Phys. F. Holtz

Projektbearbeitung:

Dipl. Ing. A. Rabold
Dipl. Phys. Dr. J. Hessinger
Dipl. Ing. (FH) S. Bacher
Dipl. Ing. (FH) M. Fuhrer

Leihgabe !

Bitte zurück an:

DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR
HOLZFORSCHUNG e.V.
Bayerstrasse 57-59 · D-80335 München
Telefon 089 / 51 61 70-0 · Fax 53 10 57

ROSENHEIM

1 Einleitung 1

1.1 Ausgangssituation und Motivation 1

1.2 Zielsetzung 1

1.3 Vorgehensweise 1

1.4 Literaturrecherche 2

2 Definitionen und Formeln 4

2.1 Prognose der Schalldämmung von Holzwänden 4

2.2 Physikalische Effekte 4

2.2.1 Massegesetz 4

2.2.2 Biegewellenresonanz / Koinzidenzfrequenz 6

2.2.3 Plattenschwingungen 7

2.2.4 Doppelwand-Resonanzschwingung 8

2.2.5 Auswirkung von Hohlraumdämmstoffen 9

3 Messtechnik und Durchführung 10

3.1 Normative Grundlage der Messungen 10

3.2 Ausführung der Prüfstande und Durchführung der Messungen 10

3.2.1 Schalldämmprüfstand 10

3.2.2 Prüfstand zur Messung der dynamischen Steifigkeit 11

3.2.3 Prüfstand zur Messung des Strömungswiderstands 12

3.2.4 Messung des dynamischen E-Moduls 12

4 Statistische Auswertung der Messdaten 14

4.1 Schalldämmung der Grundwand 14

4.1.1 Holzständerwand 14

4.1.2 Massivholzwand 20

4.2 Verbesserung durch Zusatzbeplankungen 21

4.3 Verbesserung durch Vorsatzschalen / Installationsebenen 24

4.4 Verbesserung durch Wärmedämmverbundsysteme 26

4.5 Verbesserung durch Außenbekleidungen 28

4.6 Verbesserung durch getrennte Ständer 32

5 Prognosemodelle 34

5.1 Berechnungsmodell mit Einzahlwerten 34

5.1.1 Eingangsgrößen und Anwendungsgrenzen 42
5.1.2 Berechnungsbeispiel 45
5.1.3 Abgleich mit Prüfergebnissen 51
5.2 Frequenzabhängige Berechnungsmodelle 52
5.2.1 Abgleich mit Originalliteratur 58
5.2.2 Abgleich mit Prüfergebnissen 59
5.2.3 Erweiterung der Modelle 61
5.2.4 Abgleich der erweiterten Modelle mit Prüfergebnissen. 68

6 Zusammenfassung und Ausblick 70

7 Quellenverzeichnis 74

8 Verzeichnis der Bezeichnungen 78

I. Ergänzende Lufschallmessungen 79

II. Materialprüfungen 110

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation und Motivation

Die für Holzwände gebräuchlichen Werkstoffe und Konstruktionsvarianten lassen sich nahezu beliebig kombinieren. Von Holzbaufirmen, Bauherrn und Planern werden aus den unterschiedlichsten Gründen gewisse Baustoffe favorisiert bzw. abgelehnt (Stichworte: Formaldehyd-Diskussion, Mineralfaser-Problematiken, radioaktive Gipsplatten, Allergiker-Haus, Einsatz nachwachsender Rohstoffe, u.ä.). Jeder Planer setzt in "seiner" Wandkonstruktion die Werkstoffe ein, die seinen Rahmenbedingungen entsprechen.

Diesen vielfältigen Ausführungsvarianten steht ein sehr begrenzter Umfang an geprüften Konstruktionen in der derzeitigen DIN 4109 inkl. Beiblatt 1 **[1]** gegenüber. Auch wenn in der zukünftigen Neufassung der DIN 4109 mehr Konstruktionen aufgeführt werden, so kann eine Beispielsammlung der Konstruktionsvielfalt des Holzbaus dennoch nicht gerecht werden.

Zudem ist es für den Planer unter Gesichtspunkten der Kostenminimierung wünschenswert, bei einer Veränderung der Konstruktion der Wand, die Auswirkung auf die bauphysikalischen Kennwerte bestimmen zu können. Beim Wärme- und Feuchteschutz ist eine Neuberechnung der Kenngrößen möglich, beim Schallschutz nur sehr bedingt oder gar nicht.

1.2 Zielsetzung

Für den Planer wäre es deshalb wünschenswert, auf ein Prognoseverfahren zugreifen zu können, mit dem die Schalldämmung der üblichsten Konstruktionsvarianten von Holzwänden mit hinreichender Genauigkeit anhand von Konstruktionsdetails und der eingesetzten Werkstoffe vorherbestimmt werden kann.

Ziel des Forschungsvorhabens ist es, ein entsprechendes Prognoseverfahren zu erarbeiten.

1.3 Vorgehensweise

In Anbetracht der vielfältigen Einflussparameter auf die Schalldämmung sowie im Hinblick auf die praktische Anwendbarkeit für den Benutzer wurde für das Prognoseverfahren zunächst ein empirisches Einzahl-Modell gewählt.

Auf Anregung aus der Arbeitsgruppe [37] wurden jedoch zusätzlich frequenzabhängige Berechnungsmodelle in die Untersuchungen mit einbezogen.

Für das empirische Einzahl-Modell wurde die Wandkonstruktion in eine Grundwand und verschiedene Zusatzmaßnahmen aufgegliedert. Die Schalldämmung der Grundwand bildet hierbei die Basis für die weitere Prognose. Verschiedene Zusatzmaßnahmen die auf die Grundwand aufgebracht werden, wurden hinsichtlich ihrer akustischen Wirksamkeit geprüft und bekamen ein jeweiliges Verbesserungsmaß zugeordnet. Als Zusatzmaßnahmen wurden angesetzt:

- Zusätzliche Beplankungen direkt auf der Grundwand
- Installationsebenen
- WDVS
- Außenbekleidung
- Ausführung eines getrennten Ständerwerks

Die frequenzabhängige Berechnung wurde ausschließlich für die Grundwand durchgeführt.

1.4 Literaturrecherche

Die Ergebnisse der Literaturrecherche zum Thema des Forschungsvorhabens werden nach den unterschiedlichen Vorgehensweisen (Einzahlmodell und frequenzabhängige Berechnung) sortiert.

Einzahlmodell

Zu empirischen Einzahlmodellen an Wänden liegt nur wenig Literatur vor. Die im Fraunhofer Informationszentrum Raum und Bau beauftragte Literaturrecherche ergab hierzu keine verwertbaren Ergebnisse. Für leichte Holzdecken wurde von Warnock und Birta [26] eine Multi-Parameter Regression durchgeführt.
Für Wände in Mauerwerksbauweise wurde von L. Weber und D. Brandstetter [17] ein empirisches Verfahren zur Verbesserung der Schalldämmung von Mauerwerkswänden durch WDV-Systeme ausgearbeitet. Beide Arbeiten wählen eine rein empirische Betrachtung der Eingangsgrößen. Die Verbesserung des WDVS in [17] wird in Abhängigkeit der Resonanzfrequenz zwischen Grundwand und WDVS beschrieben und durch empirische Korrekturglieder für die Montage der Dämmplatten, den Typ der Dämmplatten und der Schalldämmung der Trägerwand erweitert. Dieser Ansatz konnte in leicht modifizierter Form auf den Holzbau übertragen werden.

1 Einleitung

Frequenzabhängige Berechnungsmodelle

Für die frequenzabhängige Berechnung der Schalldämmung sind in der Literatur eine Vielzahl an Berechnungsmodellen zu finden. Eine wertvolle und aktuelle Übersicht bildet hierzu die Veröffentlichung von Hongisto [27], in der 17 verschiedene Berechnungsmodelle mit Messergebnissen an zweischaligen Leichtbauwänden verglichen werden. Aus den beschriebenen Berechnungsverfahren wurden 2 Verfahren ausgewählt, die in der Lage sind, die hier zu betrachtenden Leichtbauwände mit Kopplung der Wandschalen durch Holzständer zu beschreiben und nach [27] die besten Ergebnisse erbrachten.

Die Verfahren werden in Abschnitt 5.2 vorgestellt und mit eigenen Messergebnissen abgeglichen. Anhand der Erfahrungen mit dem empirischen Verfahren werden Vorschläge zur Modifikation und Erweiterung der Berechnungsmodelle gemacht.

2 Definitionen und Formeln

2.1 Prognose der Schalldämmung von Holzwänden

Zur Prognose der Schalldämmung von Holzständerwänden im Einzahlmodell soll das bewertete Schalldämm-Maß R_w ohne Schallnebenwege abgeschätzt werden. Für die frequenzabhängigen Berechnungsmodelle sind die Schalldämm-Maße R in den einzelnen Terzbändern beurteilt. Grundlage der Prognose sind Schalldämm-Maße aus Laborversuchen nach DIN EN ISO 140-3 **[2]** in Prüfständen ohne Flankenübertragung nach DIN EN ISO 140-1 **[3]**.

2.2 Physikalische Effekte

Die Schalldämmung der Wände wird neben ihrer Masse auch entscheidend bestimmt durch die Schwingungseigenschaften der Wand. Bei Luftschallanregung wird die Wand zu Schwingungen angeregt, wobei verschiedene Resonanzphänomene zu einer erhöhten Schallübertragung führen. Die verschiedenen physikalischen Effekte werden im folgenden kurz beschrieben.

2.2.1 Massegesetz

Die Abhängigkeit der Schalldämmung eines Bauteils von seiner Masse wurde bereits Anfang des 19. Jahrhunderts von Berger formuliert und bildet auch heute noch eine der wesentlichen Grundlagen zum Verständnis und zur Prognose der Schalldämmung von Bauteilen aller Art. Eine vereinfachte Ableitung ergibt folgenden Formelzusammenhang für das Schalldämm-Maß R von einschaligen Bauteilen **[5]** :

$$R = 20\log\left(\frac{2\pi \cdot f \cdot m'}{2\rho_0 c_0}\right) \quad in\ dB \tag{1}$$

Gleichung 1 : Massegesetz (Schalldämm-Maß R) für einschalige biegeweiche Bauteile

f	Frequenz in Hz
ρ_0, c_0	Dichte und Schallgeschwindigkeit von Luft in kg/m^3 bzw. m/s
m'	Masse pro Flächeneinheit der Platte in kg/m^2

2 Definitionen und Formeln

Eine rein qualitative Diskussion dieser Formel zeigt, dass die Schalldämmung eines einschaligen Bauteils sehr stark von seiner Masse abhängt und bei Masseverdopplung mit einer Verbesserung der Schalldämmung um 6 dB zu Buche schlägt. Weiterhin wird der qualitative Frequenzverlauf vieler Schalldämmkurven klar. Mit abnehmender Frequenz reduziert sich die Schalldämmung, wobei ein Abfall von 6 dB pro Oktav nach obiger Gleichung erwartet wird.

Das Massegesetz stellt den einfachsten physikalischen Effekt bei der Beurteilung der Schalldämmung dar. Andere physikalische Effekte die in den folgenden Unterabschnitten beschrieben werden, führen zu Verbesserungen bzw. Verschlechterungen in der Schalldämmung, siehe auch Abbildung 1.

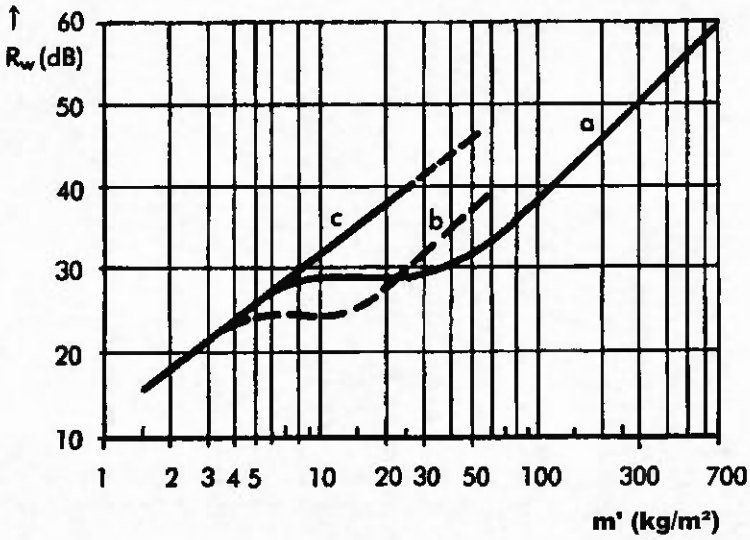


Abbildung 1 :
Massegesetz des bewerteten Schalldämm-Maßes R_w als Funktion der flächenbezogenen Masse m' in kg/m^2.
a) Kurve für Gipsbaustoffe, Beton, Mauerwerk
b) Kurve für Holz- und Holzwerkstoffe
c) Kurve für biegeweiche Materialien, z.B. Stahlblech bis 2 mm Dicke

2.2.2 Biegewellenresonanz / Koinzidenzfrequenz

Biegeschwingungen sind Körperschallwellen bei denen die Bewegung im wesentlichen senkrecht zur Plattenebene erfolgt. Biegewellen werden als freie fortschreitende Biegewellen bezeichnet wenn sie sich von einer Anregungsstelle aus ungehindert ausbreiten können. Bei Überlagerung mit reflektierten Biegewellen in begrenzten Platten können sich Plattenschwingungen (siehe Abschnitt 2.2.3) ausbilden.

Erzwungene Biegeschwingungen werden durch eine gleichmäßige Luftschallanregung über die gesamte Fläche hervorgerufen, wobei der Einfallswinkel des Luftschalls für die Anregung eine große Rolle spielt. Im diffusen Schallfeld sind alle Schalleinfallswinkel von 0° bis 90° mehr oder weniger gleichmäßig vertreten. Durch die Winkelabhängigkeit des Anregungsmechanismus kann die Anregung der erzwungen Biegeschwingung nur oberhalb einer Koinzidenzfrequenz f_g erfolgen, siehe Gleichung 2 und [6], [5].

$$f_g = \frac{c_0^2}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{m'}{B}} \quad in\,Hz \quad mit: \quad B = \frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1-\mu^2)} \quad in\,N \cdot m \qquad (2)$$

mit $\mu = 0$ und $c_0 = 343$ m/s folgt:

$$f_g \approx \frac{64000}{h} \cdot \sqrt{\frac{m'}{h \cdot E}} \quad in\,Hz$$

Gleichung 2 : Koinzidenzfrequenz f_g einer Platte

c_0	Schallgeschwindigkeit in Luft in m/s (c_0 = 343 m/s)
m'	Masse pro Flächeneinheit der Platte in kg/m^2
B	Biegesteife der Platte in N·m
h	Dicke der Platte in m
E	dyn. E-Modul der Platte in N/m^2
μ	Querkontraktionszahl der Platte

Anmerkung:

In den Prognosemodellen (Abschnitt 5) wurde die Koinzidenzfrequenz mit der vereinfachten Formulierung von Gleichung 2 berechnet. Die Vernachlässigung der für Plattenwerkstoffe meist unbekannten Querkontraktionszahl führt hierbei zu einem nicht unerheblichen Fehler, der dadurch eliminiert werden konnte, dass der dynamische E-Modul der Platte ebenso nach Gleichung 2 und der gemessenen Koinzidenzfrequenz (siehe Abschnitt 3.2.4) ermittelt wurde. Die Berechnung der Koinzidenzfrequenz in den Prognosemodellen entspricht dadurch also nur einer Umrechnung der gemessenen Koinzidenzfrequenz in Abhängigkeit der Plattendicke

2.2.3 Plattenschwingungen

Plattenförmige Baustoffe bilden als Beplankungen einen Grundbestandteil von derzeit üblichen Holzständerwänden. Diese können zu unterschiedlichen Schwingungsformen / Eigenschwingungen angeregt werden. Bei „Scheibenschwingungen" schwingt die Wand als ganzes Bauteil, wobei sich Grund- und Oberschwingungen ausbilden. Bei Plattenschwingungen im Gefachbereich schwingen die jeweiligen Platten zwischen den Ständern. Auch hier bilden sich Grund- und Oberschwingungen aus, wobei die Knotenlinien sowohl horizontal als auch vertikal verlaufen. Beispiele für diese Schwingungen in Holzständerwänden werden in **[7]** und **[8]** dargestellt.

Für den Fall von Platten die an den Rändern nur aufgestützt sind, können die Eigenfrequenzen der Grund- und Oberschwingungen der Plattenschwingungen im Gefachbereich nach Gleichung 3 **[9]** berechnet werden. Für reale Holzständerwände kann diese Formel nur bedingt hergenommen werden, da durch die Verschraubung, Verklammerung oder Verleimung der Beplankungen auf den Ständern die Platten eher als fest eingespannt angesehen werden müssen. Für diese Situation werden in **[5]** Näherungsangaben für die Resonanzfrequenzen gemacht. Es ist daher zu erwarten, dass die Art der Befestigung auch Auswirkung auf das Schwingungsverhalten hat. Genauere Untersuchungen hierzu liegen aber noch nicht vor.

$$f_{n,m} = \frac{c_0^2}{4} \cdot \frac{1}{f_g} \cdot \left[\left(\frac{n}{b}\right)^2 + \left(\frac{m}{h}\right)^2 \right] \quad in\ Hz \tag{3}$$

Gleichung 3 : Eigenfrequenz Plattenschwingung mit gestützten Rändern

h, b	Höhe bzw. Breite (Rastermaß der Ständer) in m
f_g	Koinzidenzfrequenz des Plattenmaterials in Hz
c_0	Schallgeschwindigkeit in Luft in m/s
n, m	1, 2, 3, ... (1. bis x-te Eigenmode)

$$f_{1,1} \approx \frac{\gamma \cdot 10^3}{h^2 \cdot f_g} \cdot \quad in\ Hz \tag{4}$$

$$\gamma \approx 72{,}726\left(\frac{h}{b}\right)^2 - 41{,}63\left(\frac{h}{b}\right) + 78{,}508$$

Gleichung 4 : Näherungsformel für die 1. Eigenfrequenz von Plattenschwingung mit eingespannten Rändern nach **[5]**

h, b	Höhe bzw. Breite (Rastermaß der Ständer) in m, mit h > b
f_g	Koinzidenzfrequenz des Plattenmaterials in Hz
γ	Faktor für die Seitenverhältnisse, Formel interpoliert für Einzelwerte nach **[5]**

2.2.4 Doppelwand-Resonanzschwingung

Holzständerwände können akustisch als mehrschalige Bauteile betrachtet werden. Mehrschalige Bauteile können zu Doppelwand-Schwingungen angeregt werden. Diese werden physikalisch durch ein Masse-Feder-Masse-Modell beschrieben, in dem die beiden Schalen über eine Feder miteinander gekoppelt werden. Zur Beschreibung der Doppelwand-Resonanzschwingung werden als Parameter in der Hauptsache die flächenbezogenen Massen der Schalen sowie die Federwirkung der Dämm- bzw. Luftschicht (dynamische Steifigkeit s') benötigt. Aus diesen Parametern kann die Lage der Doppelwand-Resonanzfrequenz f_r berechnet werden. Falls die Kopplung zwischen den Schalen über eine Luftschicht oder lose eingelegten Dämmstoff erfolgt, so kann die dynamische Steifigkeit der Luft angesetzt werden und die Formel mit dem Schalenabstand als alternativem Parameter umgeschrieben werden. Bei einem auf press eingebrachten Dämmstoff erfolgt die Kopplung zwischen den beiden Schalen direkt über diesen Dämmstoff. Für eine genaue Beschreibung muss in diesem Fall die dynamische Steifigkeit s' dieses Dämmstoffs bekannt sein.

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{s' \cdot \left(\frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2} \right)} \quad in\ Hz \tag{5}$$

bzw:

$$f_r = 1900 \sqrt{\frac{1}{d} \cdot \left(\frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2} \right)} \quad in\ Hz$$

Gleichung 5 : Doppelwand-Resonanzfrequenz

s'	dynamische Steifigkeit des Dämmstoffes bzw. der Luftschicht in N/m^3
m'_1, m'_2	flächenbezogene Massen der Schalen in kg/m^2
d	Dicke der Luftschicht in mm

Die akustische Wirkung der Doppelwandresonanz führt dazu, dass bei der Resonanzfrequenz f_r die Schalldämmung der zweischaligen Konstruktion noch niedriger ist als die der einschaligen Konstruktion bei gleicher Gesamtmasse. Sie verbessert sich dann aber drastisch mit zunehmender Frequenz (frequenzabhängige Verbesserung der Schalldämmung theoretisch mit 18 dB pro Oktav). Die Verbesserung der Schalldämmung durch diesen starken Anstieg kommt bei den Holzständerwänden allerdings nicht voll zum Tragen, da die beiden Schalen über das Ständerwerk, das mithin eine konstruktive Schallbrücke darstellt, sehr stark miteinander gekoppelt sind. Das Maß der Kopplung wird auch durch die Art der Befestigungsmittel beeinflusst.

Da die akustisch wirksamen Schalen nicht immer klar und eindeutig zu bestimmen sind, wurden für die vorliegende Studie für den jeweiligen Anwendungsfall Definitionen im Abschnitt 5.1 festgelegt.

2.2.5 Auswirkung von Hohlraumdämmstoffen

In Hohlräumen von Holzständerwänden können sich Dickenresonanzen ausbilden die zu einer Verschlechterung der Schalldämmung führen. Daher werden Holzständerwände in der Regel aus akustischer Sicht mit Faserdämmstoffen ausgefüllt. Um die akustische Wirkung der Faserdämmstoffe zu beschreiben wird der längenbezogene Strömungswiderstand r des Materials bestimmt und angegeben. Als Grenzwert für die Eignung des Materials wird ein Wert von $r \geq 5\ kN \cdot s/m^4$ angegeben [1].

Für die Wirkung der Faserdämmstoffe als Hohlraumabsorber ist es ausreichend wenn die Dämmstoffe lose eingelegt werden. Wird der Dämmstoff auf press in den Hohlraum eingebracht oder vollvolumig eingeblasen, so stellt er in aller Regel eine zusätzliche Kopplung zwischen den beiden Schalen dar. Bei druckfesten Faserdämmstoffen in Plattenform sollte daher immer darauf geachtet werden, dass zwischen Dämmstoff und Beplankung eine ausreichende und entkoppelnde Luftschicht verbleibt.

3 Messtechnik und Durchführung

3.1 Normative Grundlage der Messungen

Die Messung und Bewertung der Luftschalldämmung wurde nach den derzeit gültigen deutschen und internationalen Messnormen durchgeführt. Zusätzlich wurden die Materialeigenschaften der eingesetzten Materialien (Beplankungen und Dämmstoffe) untersucht. Hierzu wurden falls vorhanden eingeführte deutsche und internationale Normen herangezogen. Diese Mess- und Auswertenormen sind im Einzelnen in nachstehender Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1 : Mess- und Bewertungsnormen

	Norm
Prüfstände für Schallmessungen an Decken und Wänden	DIN EN ISO 140-1 **[3]**
Messung der Luftschalldämmung von Decken und Wänden im Labor	DIN EN ISO 140-3 **[2]**
Bewertung der Luftschalldämmung	DIN EN ISO 717-1 **[11]**
Messung der dynamischen Steifigkeit	DIN EN 29052-1 **[12]**
Messung des Strömungswiderstands	DIN EN 29053 **[13]**
Messung des dynamischen E-Moduls	aus Schalldämmkurve nach DIN EN ISO 140-3

Bei der Interpretation von Fremdprüfzeugnissen oder bei älteren Messungen wurde für die dynamische Steifigkeit, den Strömungswiderstand und den dynamischen E-Modul entweder der im Prüfbericht angegebene Wert oder eine Herstellerangabe angesetzt.

3.2 Ausführung der Prüfstande und Durchführung der Messungen

3.2.1 Schalldämmprüfstand

Bei diesem Vorhaben wurden Messergebnisse aus verschiedenen Wandprüfständen des ift-Rosenheim bzw. der LSW GmbH verwertet, wobei die jeweiligen Wandprüfstände als nebenwegsfreier Prüfstand nach DIN EN ISO 140-01 einge-

richtet waren. Eine Skizze des Prüfstands V-Wand, in dem die zusätzlichen Messungen für dieses Projekt durchgeführt worden sind ist in Abbildung 2 dargestellt. Die Prüfstände sind jeweils in Mauerwerksbauweise mit durchgehender Trennfuge ausgeführt.

Tabelle 2 : Prüfstände des ift-Rosenheim / LSW GmbH

Bezeichnung	Raumvolumina (Senderaum / Empfangsraum)	Prüföffnung (Höhe × Breite)	Maximalschalldämmung
K-Wand	69 m^3 / 62 m^3	2,64 m × 3,23 m	
T-Wand	75 m^3 / 63 m^3	3,11 m × 4,37 m	
V-Wand	105 m^3 / 63 m^3	2,69 m × 4,41 m	75 dB
Z-Wand	101 m^3 / 67,5 m^3	2,65 m × 3,37 m	
Ift Prüfstand	112,7 m^3 / 101,3 m^3	2,78 m × 4,15 m	

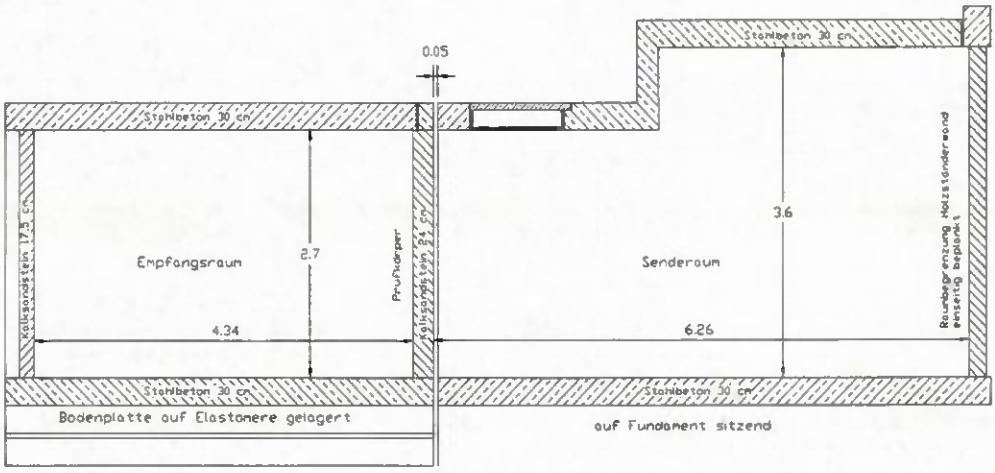


Abbildung 2 : Skizze des Wandprüfstands V-Wand.
Senderaumvolumen V_S = 105 m³
Empfangsraumvolumen V_E = 63 m³
Trennfläche S = 11,86 m²

3.2.2 Prüfstand zur Messung der dynamischen Steifigkeit

Um Dämmplatten hinsichtlich ihrer elastischen Eigenschaften zu kennzeichnen wurde die dynamische Steifigkeit der untersuchten Dämmplatten nach DIN EN 29052-1 gemessen. Der Prüfstand nach DIN EN 29052-1 ist zwar eigentlich für Untersuchungen an Trittschalldämmplatten ausgelegt, jedoch gibt es keine normativ geregelte Messvorschrift für Dämmplatten die als WDVS auf Holzständer-

wänden eingesetzt werden. Bei der Interpretation der Messergebnisse muss daher berücksichtigt werden, dass die geprüfte Situation (Auflagermasse / Zusammendrückung der Dämmplatte) nicht repräsentativ für die Einbausituation in einer Wand ist.

Der eingesetzte Aufbau und die Durchführung der Messung entspricht der in Bild 1 der DIN EN 29052-1 beschriebenen Prüfanordnung mit einer Grundplatte von 8 kg Gewicht. Die Probekörperabmessungen der Dämmplatten entsprechen den Normvorgaben, d.h. 20 cm × 20 cm. Die Dicke der Dämmstoffe entspricht den gelieferten Dämmstoffdicken. Die Schwingungsanregung erfolgte über Shaker bzw. alternativ über einen „Gummiball". Die Messung der Resonanzfrequenz erfolgte über Schwingungsaufnehmer und ein Mehrkanalechtzeitanalysator mit FFT-Funktion. Aus den gemessenen Resonanzfrequenzen wurde die dynamische Steifigkeit, falls erforderlich noch mit Korrektur der dynamischen Steifigkeit des eingeschlossenen Gases, ermittelt.

$$s'_t = 4 \cdot \pi^2 \cdot m'_t \cdot f_r^2 \quad in \frac{N}{m^3} \tag{6}$$

Gleichung 6 : Messgleichungen zur Bestimmung der dynamischen Steifigkeit.

s'_t dynamische Steifigkeit in N/m^3

f_r Resonanzfrequenz in Hz

m'_t Gesamtmasse pro Flächeneinheit der Prüfanordnung in kg/m^2

3.2.3 Prüfstand zur Messung des Strömungswiderstands

Die Messung des Strömungswiderstands erfolgte nach DIN EN 29053 wobei ein Luftgleichstromverfahren eingesetzt wurde. Die Probenabmessungen entsprechen denen der Prüfung der dynamischen Steifigkeit, d.h. 20 cm × 20 cm × Dämmstoffdicke. Es wurde der Luftdurchgang senkrecht zur Plattenebene gemessen.

3.2.4 Messung des dynamischen E-Moduls

Der dynamische E-Modul und der innere Verlustfaktor sind kennzeichnende Größen zur Charakterisierung der Plattenschwingungen der eingesetzten Beplankungen. Der dynamische E-Modul wurde über die Koinzidenzfrequenz f_g ermittelt. Hierzu wurden die Plattenmaterialien über ein Holzständerwerk in einen Schalldämmprüfstand nach DIN EN ISO 140-1 eingebaut. Das Schalldämm-Maß R wurde einmal nach DIN EN ISO 140-3 mittels Terzbandanalyse gemessen und die Koinzidenzfrequenz f_g aus dem Minimum der Schalldämmkurve im Einbruch

3 Messtechnik und Durchführung

ermittelt, siehe als Beispiel Abbildung 3. Da die Frequenzanalyse in Terzbändern sehr grob ist wurde parallel eine Messung der Schalldruckpegel mit einer FFT-Analyse durchgeführt und die Koinzidenzfrequenz f_g wiederum aus dem Minimum der Schalldämmkurve ermittelt. Die Auswertung des E-Moduls erfolgt dann nach Gleichung 2 mit $\mu = 0$ (siehe hierzu auch die Anmerkung bei Gleichung 2).

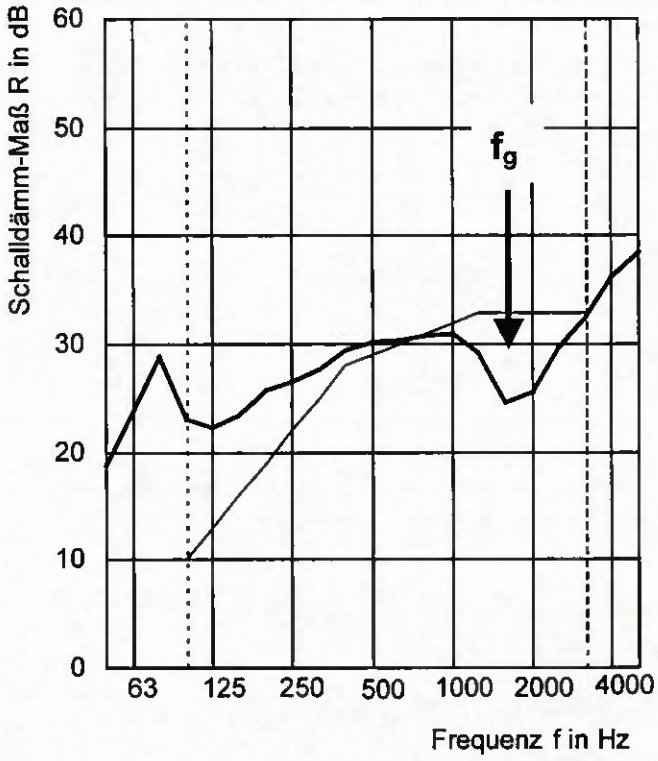


Abbildung 3:
Beispiel zur Ermittlung der Koinzidenzfrequenz aus der Schalldämmkurve von 18 mm Gipskartonplatten (auf Holzständerwerk verschraubt) gemessen im Wandprüfstand nach DIN EN ISO 140-1.
Die Koinzidenzfrequenz f_g gemessen in Terzbändern beträgt 1600 Hz bis 2000 Hz. Eine genauere Analyse mittels FFT ergab einen Wert von f_g = 1740 Hz.

4 Statistische Auswertung der Messdaten für das Einzahlmodell

Die statistische Auswertung der Messdaten wird separat für die Grundwand sowie für Zusatzmaßnahmen wie z.B. zusätzliche Beplankungen, Vorsatzschalen, WDVS etc. geführt. Als Grundwand wird sowohl eine Holzständerwand mit beidseitiger Beplankung (mit oder ohne Hohlraumabsorption) als auch eine Massivholzwand betrachtet. Die Daten stammen aus dem Archiv der LSW GmbH bzw. **ift**-Rosenheim oder aus Prüfberichten von anderen deutschen Prüfinstituten.

4.1 Schalldämmung der Grundwand

4.1.1 Holzständerwand

Die Schalldämmung (d.h. das bewertete Schalldämm-Maß) der Holzständer-Grundwand wird durch die in Abschnitt 2.2 beschriebenen physikalischen Effekte bestimmt und beeinflusst. Zur Abschätzung der einzelnen Effekte wird im Folgenden die Korrelation zwischen der Schalldämmung der Grundwand und den die Schalldämmung bestimmenden Parametern dargestellt:

a) Abhängigkeit vom Schalldämm-Maß und der Koinzidenzfrequenz der Wandbeplankung

b) Abhängigkeit von der Resonanzfrequenz der ersten Plattenschwingung

c) Abhängigkeit vom Schalenabstand

d) Abhängigkeit von der Dämmstoffdicke im Hohlraum

Die nachfolgend dargestellten Abbildung 4 bis Abbildung 6 dienen hauptsächlich der Illustration der Effekte und stellen nur einen Teil der Eingangsdaten für das Prognosemodell dar.

<u>Zu a)</u>

Die Abhängigkeit vom Schalldämm-Maß und der Koinzidenzfrequenz der Wandbeplankung wird in Abbildung 4 dargestellt. Die Abhängigkeit von der Beplankungsmasse geht hierbei implizit über das bewertete Schalldämm-Maß R_w der Beplankungen ein. Wie zu erwarten steigt die Schalldämmung bei Erhöhung der Plattenmasse (d.h. bei Erhöhung des bewerteten Schalldämm-Maßes R_w der Beplankung) deutlich an.

4 Statistische Auswertung der Messdaten für das Einzahlmodell

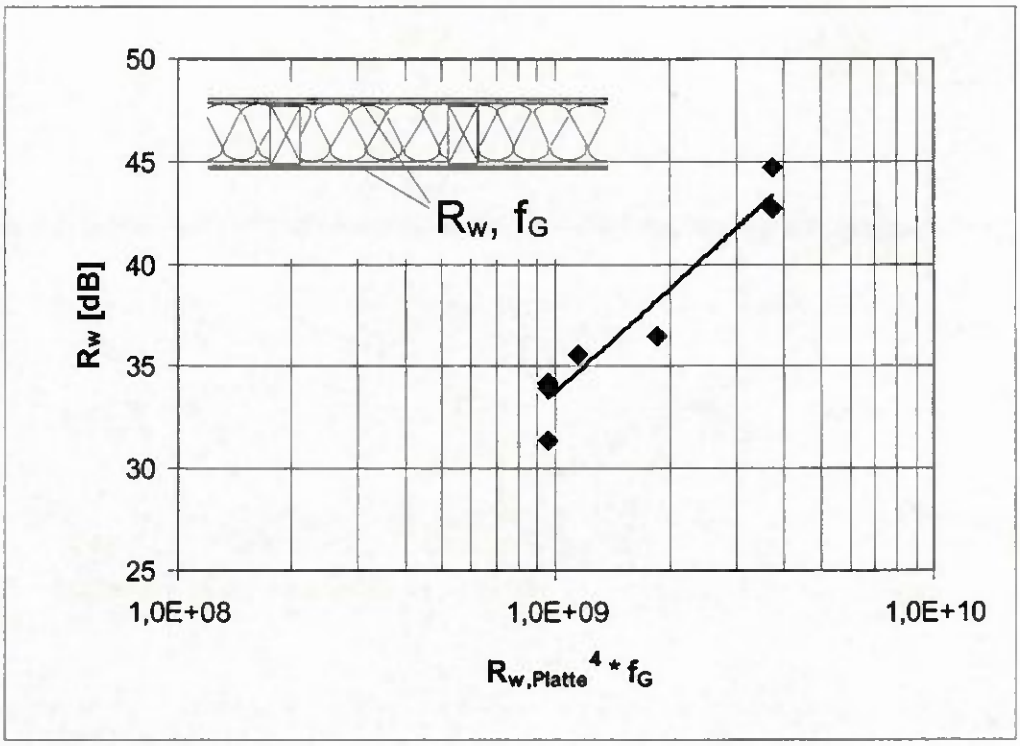


Abbildung 4:
Abhängigkeit der Schalldämmung (bewertetes Schalldämm-Maß R_w) einer symmetrisch beplankten Holzständerwand von der Lage der Koinzidenzfrequenz (f_g) und der Schalldämmung der Wandbeplankungen (R_w). Variiert wurden die Beplankungsmaterialien.

Zu b)

Die niederfrequente Schalldämmung von Holzständerwänden wird auch von den Plattenschwingungen der Beplankungen bestimmt. Die Eigenfrequenzen dieser Plattenschwingungen können u.a. durch den Ständerabstand variiert werden. Die hieraus resultierenden Änderungen in der Schalldämmung sind in Abbildung 5 als Funktion der Frequenz der ersten Platteneigenschwingung dargestellt. Wie zu erwarten verschlechtert sich das bewertete Schalldämm-Maß wenn die Eigenfrequenz der Plattenschwingung nach oben und damit in den bewertungsrelevanten Bereich geschoben wird.

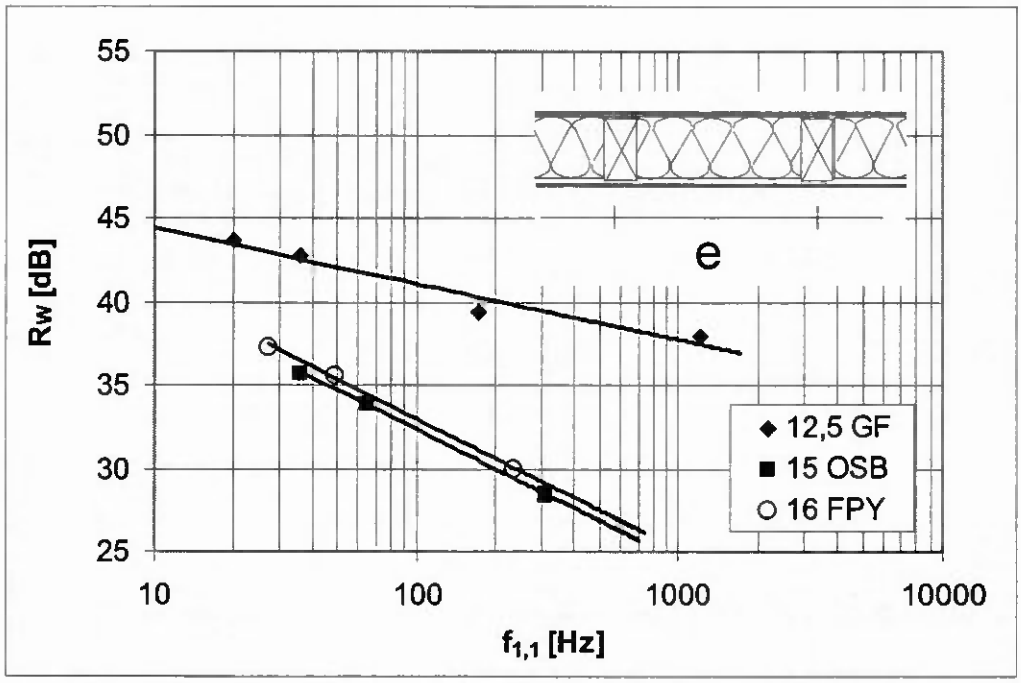


Abbildung 5:
Abhängigkeit der Schalldämmung (bewertetes Schalldämm-Maß R_w) einer symmetrisch beplankten Holzständerwand von der Lage der ersten Platteneigenmode ($f_{1,1}$). Variiert wurde das Ständerraster und die Beplankungsmaterialien.

Zu c)

Der Einfluss der Doppelwandschwingung auf das bewertete Schalldämm-Maß wird in Abbildung 6 dokumentiert. Eine Erhöhung des Schalenabstands führt zu einer Reduzierung der Resonanzfrequenz f_r was wiederum wegen des starken Anstiegs in der Schalldämmung oberhalb von f_r zu einer Verbesserung im bewerteten Schalldämm-Maß führt. Die Auswertung in Abbildung 6 zeigt allerdings, dass dieser Effekt durch die Kopplung der Schalen über das Ständerwerk deutlich geringer ausfällt als bei der Montage von zwei freistehenden Schalen.

4 Statistische Auswertung der Messdaten für das Einzahlmodell

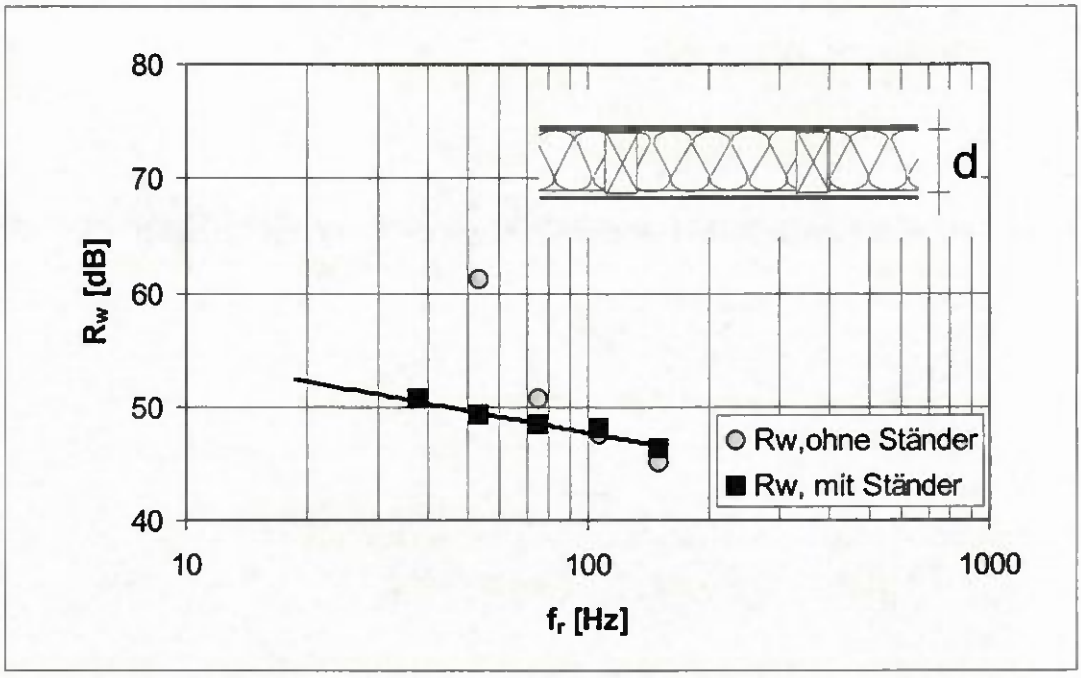


Abbildung 6:
Abhängigkeit der Schalldämmung (bewertetes Schalldämm-Maß R_w) einer symmetrisch beplankten Holzständerwand von der Lage der Doppelwandresonanz (f_r). Variiert wurde der Schalenabstand d. [20]

Zu d)

Um den Einfluss der Dämmstoffdicke zu berücksichtigen werden die Wände in verschiedene Bereiche zusammengefasst:

- Wände ohne Dämmung
- Wände mit Dämmstoffdicken 40[1] mm ≤ d ≤ 100 mm
- Wände mit Dämmstoffdicken 101 mm ≤ d ≤ 140 mm
- Wände mit Dämmstoffdicken 141 mm ≤ d ≤ 300 mm

Es wurden jeweils nur Wände mit Dämmung aus Faserdämmstoffen ausgewertet, wobei zwischen den unterschiedlichen Dämmstoffen keine Unterscheidung gemacht wurde. Bei der Analyse wurde vorausgesetzt, dass durch die eingebrachten Dämmstoffe keine direkte Kopplung der Wandschalen erfolgt. Holzständerwände bei denen die Hohlraumdämmung auf press zu den Wandschalen eingebracht wird, werden durch dieses Prognosemodell nicht erfasst.

Ein Sonderfall stellen Holzständerwände mit Hohlraumdämmung und einem Ständerraster < 400 mm dar. Hier wird die Schalldämmung so stark durch den

[1] Wände mit Dämmstoffdicken 1 mm ≤ d < 40 mm und d > 300 mm waren nicht im Archiv enthalten

akustischen Kurzschluss über die Holzständer geprägt, dass die Hohlraumdämmung im Gefach nahezu unwirksam wird und diese Wand sich eher wie eine ungefüllte Wand verhält.

Die Analyse der Daten in Abbildung 7 illustriert die deutliche Abhängigkeit der Schalldämmung von der Dämmstoffdicke. Da dieser Effekt nicht alleine auf der schallabsorbierenden Wirkung der Hohlraumdämmung beruht, sondern auch, zumindest bei den schwereren Dämmstoffen, auf der hierdurch eingebrachten Zusatzmasse, werden für die Prognose Korrektursummanden für Dämmstoffdicke und Rohdichte eingeführt.

Kombination der Einflussparameter

Als kennzeichnende Größe für die Schalldämmung der Grundwand wurde das bewertete Schalldämm-Maß $R_{w,0}$ herangezogen.

Bei der graphischen Auswertung der Schalldämmung der Holzständer-Grundwand wurde für die x-Koordinate eine charakteristische Funktion angesetzt, welche die für die Schalldämmung maßgebenden Grundgrößen beinhaltet. Die charakteristische Funktion x wurde auf empirischer Basis erarbeitet um einen möglichst linearen Verlauf des Diagramms zu ergeben.

Diese Grundgrößen sind:

Das Schalldämm-Maß $R_{w,Platte}$ zur Beschreibung der Schalldämmung des Beplankungsmaterials, die Eingangsdaten hierzu wurden ermittelt aus Tabellenwerken [15] oder aus Messwerten an Plattenwerkstoffen [16].

f_g die Koinzidenzfrequenz

f_r die Eigenfrequenz der Doppelwandschwingung

$f_{1,1,Platte}$ die Resonanzfrequenz der Platten-Grundschwingung

$K_{Montage}$ ein Korrekturparameter zur Berücksichtigung des Einflusses der Art der Befestigungsmittel der Beplankung (Schrauben, Klammern, Leim)

$K_{Wandhöhe}$ Korrekturparameter zur Berücksichtigung der Wandhöhe

K_{sym} Korrekturparameter zur Unterscheidung von symmetrischen und asymmetrischen Grundwandaufbauten

Bei einer asymmetrischen Beplankung wurde für die Ermittlung der charakteristischen Funktion auf der x-Achse der Mittelwert der Grundgrößen verwendet.

Die Schalldämmung der Grundwand wurde in Abhängigkeit von dem Parameter „$x_{Grundwand}$", siehe Gleichung 7, angefittet, die Fitkurven für die verschiedenen Dämmstoffdicken wurden in Abbildung 7 jeweils miteingezeichnet.

4 Statistische Auswertung der Messdaten für das Einzahlmodell

Einen Sonderfall bilden Wandsysteme bei denen WDVS aus Holzweichfaserplatten direkt auf dem Ständerwerk montiert werden. Durch die fehlende äußere Beplankung lässt sich die Grundwand durch die oben gezeigten Zusammenhänge nur unbefriedigend beschreiben. Da die Schalldämmung dieses Grundwandtyps einen relativ engen Schwankungsbereich aufweist, wurde hierzu der Mittelwert der geprüften Wandaufbauten angesetzt.(Details siehe Abschnitt 5.1)

$$x_{Grundwand} = 10 \log\left(\frac{R^4_{w,Platte} \cdot f_g}{\sqrt{f_{1,1} \cdot f_r}}\right) in\ dB \qquad (7)$$

Gleichung 7 : charakteristische Funktion $x_{Grundwand}$ zur Beschreibung des Einflusses der Grundgrößen auf die Schalldämmung der Grundwand mit

$R_{w,Platte}$	Schalldämm-Maß der Beplankung in dB
f_g	Koinzidenzfrequenz in Hz
$f_{1,1}$	Resonanzfrequenz der Platten-Grundschwingung in Hz
f_r	Doppelwand-Resonanzfrequenz in Hz

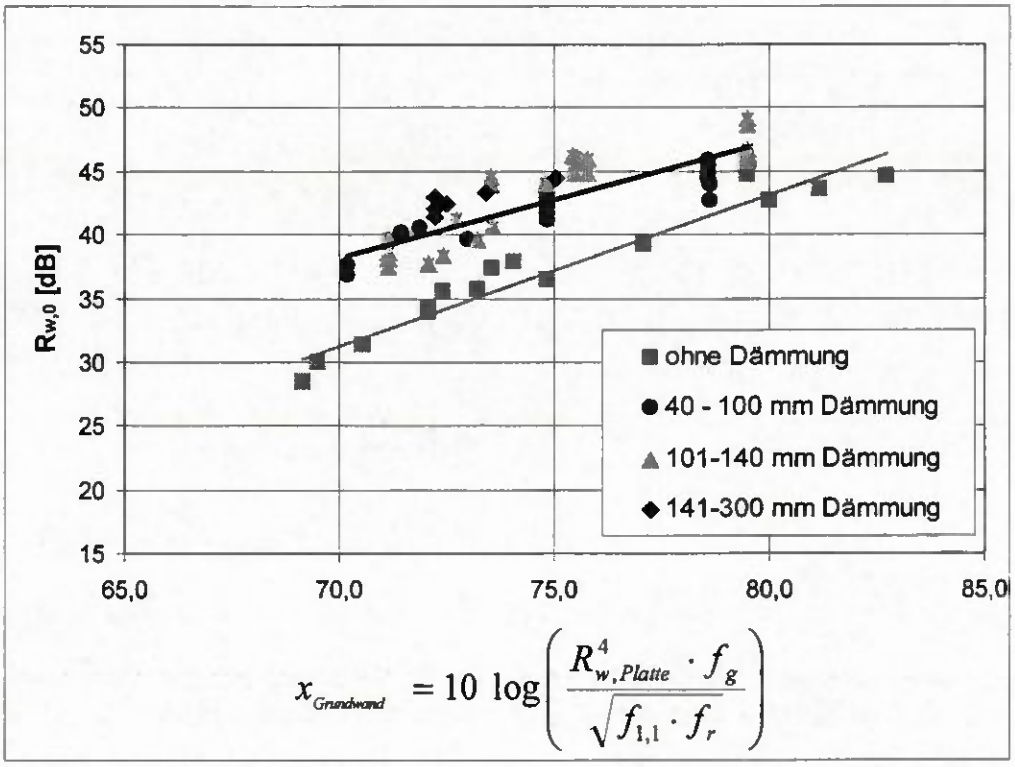


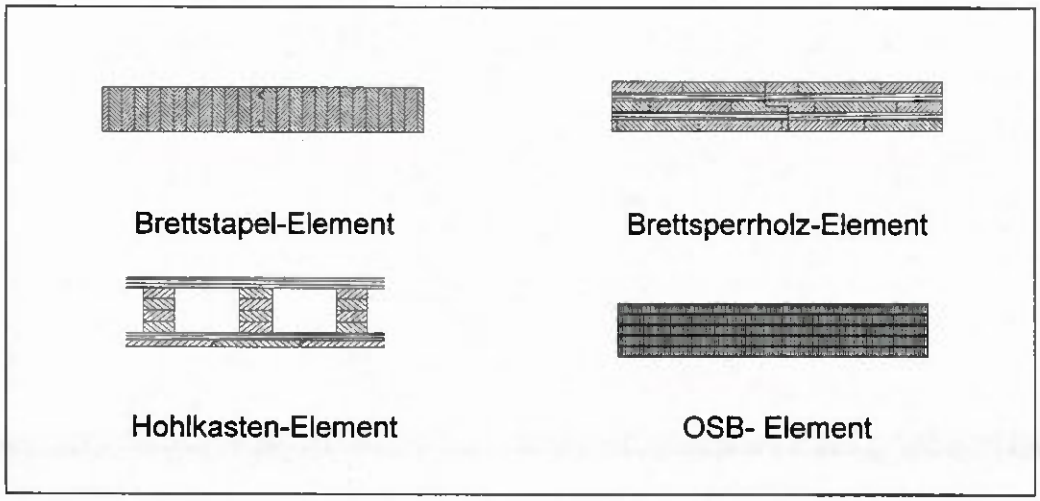
Abbildung 7:
Abhängigkeit der Schalldämmung (bewertetes Schalldämm-Maß R_w) der Grundwand von der charakteristischen Funktion $x_{Grundwand}$ und der Dämmstoffdicke

4.1.2 Massivholzwände und ähnliche Konstruktionen

Massivholzwände und ähnliche Konstruktionen unterscheiden sich von Ihrem Konstruktionsprinzip sehr stark von den oben beschriebenen Holzständerwänden. Typischerweise werden die in Tabelle 3 beschriebenen Konstruktionen eingesetzt.

Aus der Konstruktionsweise leitet sich ab, dass bei dichten Elementfugen die flächenbezogene Masse des Holzelements die schalltechnisch bestimmende Größe darstellt. Für die Prognose der Schalldämmung einschaliger Massivwände und Decken hat sich für DIN 4109 Beiblatt 1 das Konzept eines empirischen Massegesetzes bewährt und dieses wird hier auf die Situation bei den Massivholzwänden angewendet. Literaturwerte für ein Massegesetz bei Holzbauteilen wurden schon von Gösele, siehe z.B. [19], angegeben. Es konnte bereits nachgewiesen werden, siehe [18], dass diese Werte die Messungen an verschiedensten Massivholzkonstruktionen gut wiederspiegeln, siehe Abbildung 8. Für die Anwendung auf das Prognoseverfahren wird daher ein empirisches Massegesetz für die Ermittlung der Schalldämmung einer Massivholz-Grundwand herangezogen.

Tabelle 3: Beispiele für Massivholzelemente u.ä.



4 Statistische Auswertung der Messdaten für das Einzahlmodell

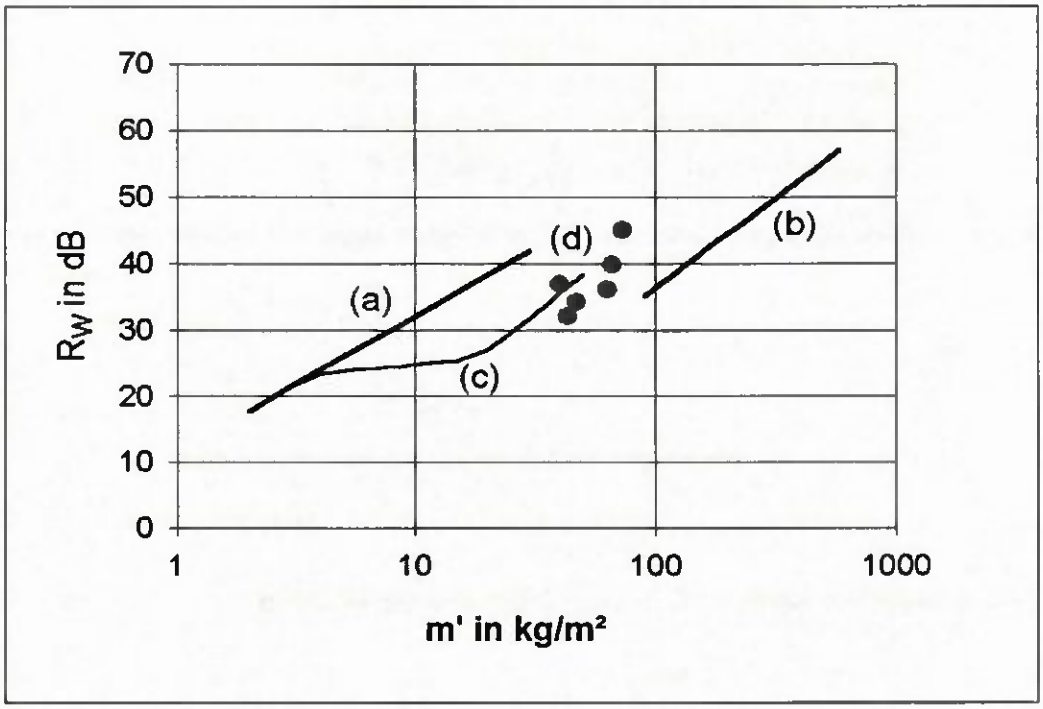


Abbildung 8: Massegesetz für einschalige Massivholzkonstruktionen, aus [18]:
a) ideal biegeweiche Wand
b) Beton und Mauerwerkswände nach DIN 4109 Beiblatt 1
c) Holz- und Holzwerkstoffplatten nach [19]
d) Messwerte von unterschiedlichen Massivholzwänden

4.2 Verbesserung durch Zusatzbeplankungen

Bei der Beurteilung der Verbesserungen durch Zusatzbeplankungen sind neben den Effekten durch die Masseerhöhung, auch das Schwingungsverhalten des zusätzlichen Plattenmaterials und der Befestigung der Platten zu berücksichtigen.

Die Verbesserung der Schalldämmung durch Zusatzbeplankungen in Abhängigkeit vom Verhältnis der Resonanzfrequenzen der Platten-Grundschwingung wird in Abbildung 10 dargestellt. Bei Aufbringung von gleichem Plattenmaterial verstärken sich die resonanten Schallübertragungen durch die Plattenschwingungen. Bei unterschiedlichem Plattenmaterial reduziert sich diese Schallübertragung in gleichem Maße mit der Verstimmung der Eigenfrequenzen der Platten, siehe Abbildung 9. Die Abhängigkeit der Schalldämmung (in Form eines Verbesserungsmaßes ΔR_w) von den Resonanzfrequenzen der Plattenschwingung $f_{1,1}$ von Grundwand- und Zusatzbeplankung wird in Abbildung 10 dargestellt.

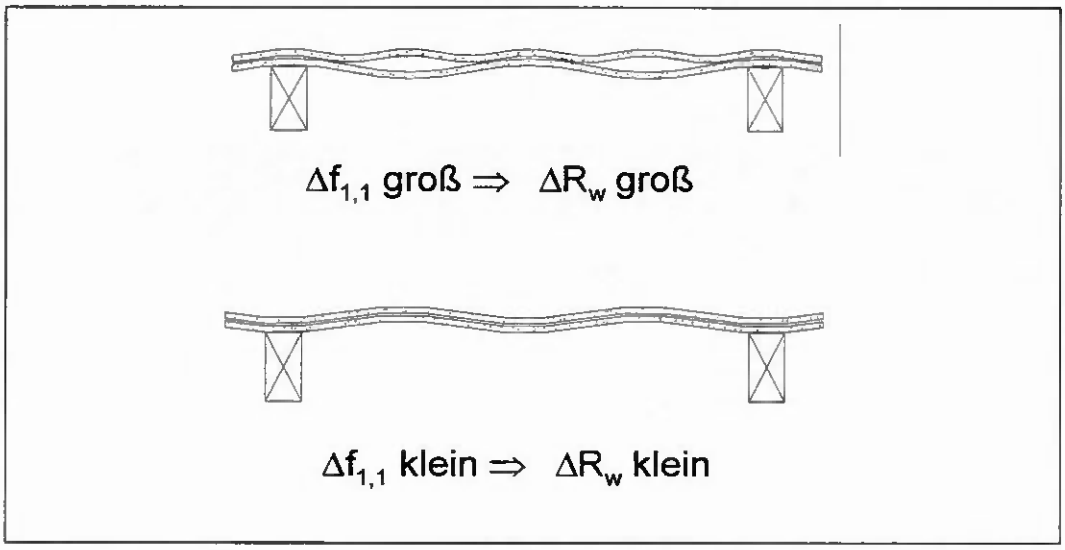


Abbildung 9:
Prinzipdarstellung zum Effekt der Verstimmung der Eigenfrequenzen der Plattenschwingungen.

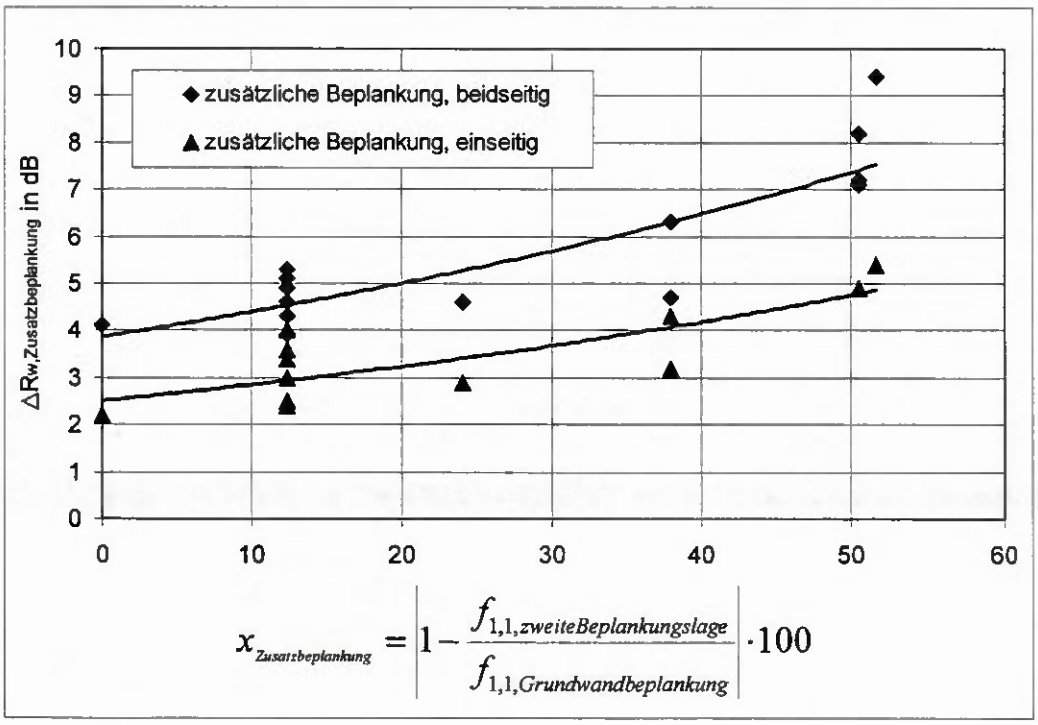


Abbildung 10:
Abhängigkeit der Verbesserung der Schalldämmung ($\Delta R_{w,Zusatzbeplankung}$) durch zusätzliche Beplankungen auf der Grundwand in Abhängigkeit von der prozentualen Verschiebung der Platten-Grundschwingung $f_{1,1}$ der Beplankungen

4 Statistische Auswertung der Messdaten für das Einzahlmodell

ROSENHEIM

Kombination der Einflussparameter

Als kennzeichnende Größe für die akustische Wirksamkeit der Zusatzbeplankung wurde ein Verbesserungsmaß $\Delta R_{w,Zusatzbeplankung}$ nach Gleichung 8 definiert.

$$\Delta R_{w,Zusatzbeplankung} = R_{w,Grundwand\ mit\ Zusatzbeplankung} - R_{w,0} \qquad (8)$$

Gleichung 8 : Verbesserungsmaß $\Delta R_{w,Zusatzbeplankung}$ für die akustische Wirksamkeit einer Zusatzbeplankung auf einer Holzständerwand:

$R_{w,Grundwand\ mit\ Zusatzbeplankung}$: Schalldämmung der Grundwand mit Zusatzbeplankung

$R_{w,0}$: Schalldämmung der Grundwand

Die Schalldämmung der Grundwand wurde in Abhängigkeit von dem Parameter „$x_{Zusatzbeplankung}$", siehe Gleichung 9, angefittet, die Fitkurven für einseitige und zweiseitige Zusatzbeplankung wurden in Abbildung 10 dargestellt.

$$x_{Zusatzbeplankung} = \left| 1 - \frac{f_{1,1,zweiteBeplankungslage}}{f_{1,1,Grundwandbeplankung}} \right| \cdot 100 \qquad (9)$$

Gleichung 9 : charakteristische Funktion $x_{Zusatzbeplankung}$ zur Beschreibung des Einflusses einer Zusatzbeplankung auf die Schalldämmung der Grundwand mit

$f_{1,1,zweite\ Beplankungslage}$ die Resonanzfrequenz der Platten-Grundschwingung der Zusatzbeplankung in Hz

$f_{1,1,Grundwandbeplankung}$ die Resonanzfrequenz der Platten-Grundschwingung der Grundwandbeplankung in Hz

Die Analyse der Abhängigkeit der Schalldämmung von der Zusatzmasse und der Befestigung der Zusatzbeplankung hat ergeben, dass durch eine separate Erfassung keine Genauigkeitssteigerung erfolgt. Die Effekte durch diese Eigenschaften werden daher implizit durch den empirischen Korrekturterm $\Delta R_{w,Zusatzbeplankung}$ in Abhängigkeit der Platteneigenfrequenzen beschrieben.

4.3 Verbesserung durch Vorsatzschalen / Installationsebenen

Bei der Beurteilung der Verbesserung der Schalldämmung durch Installationsebenen sind verschiedene Eigenschaften zu berücksichtigen :

a) Doppelwandresonanz zwischen Grundwand und Vorsatzschale
b) Plattenschwingungen von Grundwand und Vorsatzschale
c) Typ und Füllgrad der Hohlraumdämmung
d) Montage mit Lattung / Federschiene
e) Schalldämmniveau der Grundwand

Zu a)
Die Schalldämmung der Wandkonstruktion wird durch die Effekte der Doppelwandschwingung zwischen Installationsebene und Grundwand sowie innerhalb der Grundwand beeinflusst. Der kennzeichnende Parameter hierfür ist die Doppelwand-Resonanzfrequenz $f_{r,Install}$ (zwischen Installationsebene und Grundwand) bzw. $f_{r,Grundwand}$ (innerhalb der Grundwand). Die Resonanzfrequenzen werden nach Gleichung 5 berechnet, wobei für die Berechnung von $f_{r,Install}$ die Masse der inneren Beplankung der Grundwand angesetzt wird.

Zu b)
Wie schon bei der Diskussion der Zusatzbeplankung beschrieben macht sich eine Verstimmung der Plattenschwingungen der Beplankungen von Installationsebene und Grundwand positiv hinsichtlich der Schalldämmung bemerkbar. Die Schwingungseigenschaften der Beplankungsmaterialien wird über deren Resonanzfrequenz $f_{1,1,Install}$ (für die Beplankung der Installationsebene) und $f_{1,1,Grundwand}$ (für die letzte Beplankung der Grundwand) beschrieben.

Zu c)
Eine Füllung des Hohlraums der Installationsebene wirkt sich wie in Abschnitt 2.2.5 beschrieben auf die Schalldämmung der Konstruktion aus. Die Berücksichtigung im Prognoseverfahren erfolgt über separate Ausgleichskurven.

Zu d)
Durch eine Montage der Installationsebene über Federschienen wird die Schallbrücke durch die Traglattung unterbrochen und dadurch eine Verbesserung der Schalldämmung erreicht. Es hat sich gezeigt, dass die Beurteilung im Prognoseverfahren über einen pauschalen Aufschlag zu einer ausreichenden Genauigkeit führt.

Zu e)
Das Schalldämmniveau der Grundwand, ausgedrückt als bewertetes Schalldämm-Maß $R_{w,0}$, beeinflusst die Verbesserung der Schalldämmung, da sich eine niederschalldämmende Grundwand einfacher durch eine Installationsebene schalltechnisch aufrüsten lässt als eine hochschalldämmende Variante.

4 Statistische Auswertung der Messdaten für das Einzahlmodell

ROSENHEIM

Kombination der Einflussparameter

Als kennzeichnende Größe für die akustische Wirksamkeit der Installationsebene wurde ein Verbesserungsmaß $\Delta R_{w,Installationsebene}$ nach Gleichung 10 definiert.

$$\Delta R_{w,Installationsebene} = R_{w,Grundwand\ mit\ Installationsebene} - R_{w,0} \qquad (10)$$

Gleichung 10 : Verbesserungsmaß $\Delta R_{w,Installationsebene}$ für die akustische Wirksamkeit einer Installationsebene auf einer Holzwand:

$R_{w,Grundwand\ mit\ Installationsebene}$: Schalldämmung der Grundwand mit Installationsebene

$R_{w,0}$: Schalldämmung der Grundwand

Bei der graphischen Auswertung der Verbesserung der Schalldämmung durch die Installationsebene wurde für die x-Koordinate eine charakteristische Funktion angesetzt, welche die für die Schalldämmung maßgebenden Grundgrößen nämlich die Eigenfrequenzen der Doppelwandschwingungen $f_{r,Install}$ und $f_{r,Grundwand}$, die Resonanzfrequenz der Platten-Grundschwingungen $f_{1,1,Install}$ und $f_{1,1,Grundwand}$.

Die charakteristische Funktion $x_{Installationsebene}$ wird in Gleichung 11 angegeben.

$$x_{Installationsebene} = \Delta f_r^2 \cdot \log \frac{f_{1,1,Grundwand}}{f_{1,1,Install}} \quad in\ Hz^2 \qquad (11)$$

Gleichung 11 : charakteristische Funktion $x_{Installationsebene}$ zur Beschreibung des Einflusses der Grundgrößen auf die Verbesserung der Schalldämmung durch die Installationsebene mit

Δf_r	Differenz der Doppelwand-Resonanzfrequenzen in Hz $\Delta f_r = f_{r,Grundwand} - f_{r,Install}$
$f_{r,Grundwand}$	Doppelwand-Resonanzfrequenz der Grundwand in Hz
$f_{r,Install}$	Doppelwand-Resonanzfrequenz der Installationsebene in Hz
$f_{1,1,Install}$	Resonanzfrequenz der Platten-Grundschwingung der Installationsebene in Hz
$f_{1,1,Grundwand}$	Resonanzfrequenz der Platten-Grundschwingung der inneren Beplankung der Grundwand in Hz

4.4 Verbesserung durch Wärmedämmverbundsysteme

Die Wirkungsweise von Wärmedämmverbundsystemen (WDVS) auf Beton- und Mauerwerkswänden ist in der letzten Zeit intensiv untersucht worden, siehe [17]. Hier wurde festgestellt, dass sehr viele Parameter die Schalldämmung solcher Systeme beeinflussen. Die gleichen Einflussparameter sind auch für die Anwendung eines WDVS auf einer Holzwand zu erwarten:

a) Doppelwandresonanz zwischen Putzschicht und Grundwand
b) Material des WDVS
c) Montage des WDVS
d) Schalldämmniveau und Art der Grundwand

Zu a)

Als grundlegend charakteristischer Parameter für die akustische Wirksamkeit eines WDVS hat sich die Resonanzfrequenz $f_{r,WDVS}$ des Masse-Feder-Masse-Systems bestehend aus Grundwand – Wärmedämmung – Putzschicht herausgestellt. Diese Resonanzfrequenz wird nach Gleichung 5 berechnet, wobei bei der Grundwand nur die Masse der äußeren Beplankung eingeht. Die Abhängigkeit der Verbesserung des Schalldämm-Maßes $\Delta R_{w,WDVS}$ von der Resonanzfrequenz $f_{r,WDVS}$ ist in Abbildung 11 dargestellt. Die Kurve ähnelt vom Verlauf den Ergebnissen aus dem Projekt für die Beton- und Mauerwerkswände, siehe [17].

Zu b)

Das Material des eingesetzten WDVS prägt über die Materialeigenschaften stark die mögliche Verbesserung der Schalldämmung durch das System. Hier sind zu erwähnen die innere Reibung der Dämmplatten sowie bei Faserdämmstoffen deren Strömungswiderstand. Für das Prognoseverfahren wurden Ergebnisse aus Messungen an WDVS aus EPS (elastifiziert und nicht elastifiziert) sowie aus Faserdämmstoffen (Mineralfaser und Holzweichfaser) ausgewertet. Die Unterscheidung der Dämmstoffe erfolgt durch einen Korrekturterm $K_{Dämmstofftyp}$ der für jede einzelne Dämmstoffart separat angegeben wird. Eine Berücksichtigung des Strömungswiderstands bei Faserdämmstoffen erfolgt im Rahmen des Prognosemodels nicht, da hierzu keine ausreichende statistische Sicherheit vorhanden war und die Eigenschaften implizit über den Korrekturterm $K_{Dämmstofftyp}$ abgedeckt werden.

Zu c)

Bei der Montage des WDVS ist entscheidend wie stark die Wärmedämmung an der Grundwand angekoppelt d.h. befestigt wird. Hier wird unterschieden ob die Wärmedämmung vollflächig oder punktweise (≤ 10% der Plattenfläche) verklebt wird und ob die Montage mit Anpressdruck (Dübel, Spezialschrauben) erfolgt oder nicht.

Einen Sonderfall stellt die Montage von Holzweichfaserplatten direkt auf dem Ständerwerk einer Holzständerwand dar. Für diesen Fall wurde eine separate Bestimmungsgleichung von $\Delta R_{w,WDVS}$ angesetzt.

Zu d)

Auch beim WDVS beeinflusst das Schalldämmniveau der Grundwand, ausgedrückt als bewertetes Schalldämm-Maß $R_{w,0}$, die Verbesserung der Schalldämmung, da sich eine niederschalldämmende Grundwand einfacher durch ein WDVS schalltechnisch aufrüsten lässt als eine hochschalldämmende Variante. Hierbei werden auch die zuvor berechneten Verbesserungen ($\Delta R_{w,i}$) durch Zusatzbeplankungen oder Installationsebenen berücksichtigt.

Darüber hinaus spielt auch die Konstruktionsweise der Holzwand eine Rolle, da sich eine Massivholzwand schalltechnisch anders verhält als eine Holzständerwand. Daher werden für Massivholzwände separate Formelzusammenhänge angegeben.

Kombination der Einflussparameter

Als kennzeichnende Größe für die akustische Wirksamkeit des WDVS wurde ein Verbesserungsmaß $\Delta R_{w,WDVS}$ nach Gleichung 12 definiert.

$$\Delta R_{w,WDVS} = R_{w,\text{Grundwand mit WDVS}} - R_{w,0} \qquad (12)$$

Gleichung 12 : Verbesserungsmaß $\Delta R_{w,WDVS}$ für die akustische Wirksamkeit eines WDVS auf einer Holzwand:

$R_{w,\text{Grundwand mit WDVS}}$: Schalldämmung der Grundwand mit WDVS

$R_{w,0}$: Schalldämmung der Grundwand

Bei der graphischen Auswertung der Verbesserung der Schalldämmung durch das WDVS werden als bestimmende Kenngrößen die Eigenfrequenzen der Doppelwandschwingungen $f_{r,WDVS}$ angesetzt. Korrekturterme beschreiben den Einfluss von Grundwand + Zusatzmaßnahme, Dämmstofftyp und Montageeigenschaften.

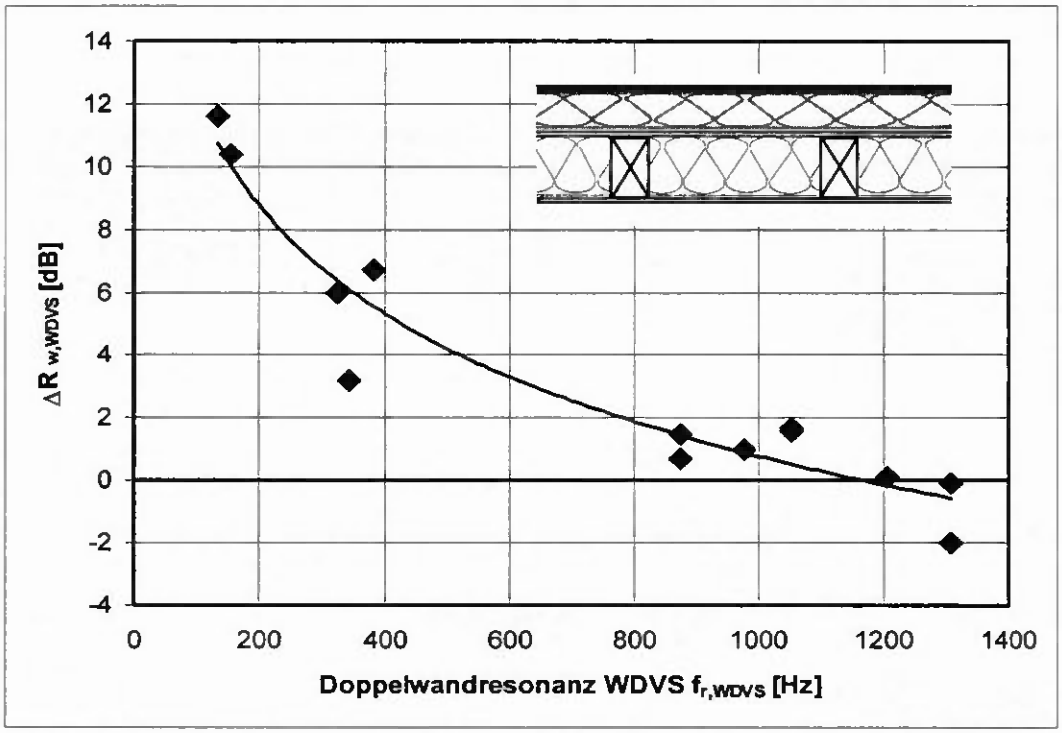


Abbildung 11:
Abhängigkeit der Verbesserung der Schalldämmung (ΔR_w) durch Wärmedämmverbundsysteme (Faserdämmstoffe und PS) auf der Grundwand (Holzständerwand) in Abhängigkeit von der Doppelwandresonanz f_r zwischen Grundwand und WDVS.

4.5 Verbesserung durch Außenbekleidungen

Außenbekleidungen aus Holz dienen dem Wetterschutz der Konstruktion. Zur Beurteilung der akustischen Wirksamkeit dieser Konstruktionen wurden Messungen an Holzwänden mit einer Wetterschutzverkleidung als Stülpschalung bzw. Boden-Deckelschalung oder wetterfesten Holzwerkstoffplatten analysiert (Quelle: LSW Archiv). Zum Teil sind diese Verkleidungen direkt auf der Grundwand befestigt, zum Teil wurden sie über eine zusätzliche Außenwärmedämmung mit der Grundwand verschraubt. Folgende Einflussparameter wurden für die Anwendung einer Außenbekleidung auf einer Holzwand angesetzt:

a) Doppelwandresonanz zwischen Außenbekleidung und Grundwand
b) Abhängigkeit von der Masse der Außenbekleidung
c) Montage der Außenbekleidung
d) Fugendichtheit der Außenbekleidung
e) Schalldämmniveau und Art der Grundwand

4 Statistische Auswertung der Messdaten für das Einzahlmodell

Zu a)

Als grundlegend charakteristischer Parameter für die akustische Wirksamkeit einer Außenverkleidung wurde wie beim WDVS die Resonanzfrequenz $f_{r,Außenbekleidung}$ des Doppelwand-Systems bestehend aus Grundwand und Außenbekleidung festgelegt. Diese Resonanzfrequenz wird nach Gleichung 5 berechnet, wobei bei der Grundwand nur die Masse der Beplankung eingeht. Die Abhängigkeit der Verbesserung des Schalldämm-Maßes $\Delta R_{w,Außenbekleidung}$ von der Resonanzfrequenz $f_{r,Außenbekleidung}$ ist über den charakteristischen Parameter $x_{außenbekleidung}$ in Abbildung 12 dargestellt.

Zu b)

Die Zusatzmasse der Beplankungen der Außenbekleidung trägt auf Grund der Masseerhöhung zur Verbesserung der Schalldämmung bei, so dass die flächenbezogene Zusatzmasse der Beplankung $m'_{Außenbekleidung}$ über den charakteristischen Parameter $x_{außenbekleidung}$ in das Prognoseverfahren einfließt.

Zu c)

Bei der Montage der Außenbekleidung wird vorausgesetzt, dass diese über eine Lattung an der Grundwand befestigt wird. Für die Prognose ist zu unterscheiden ob die Verschraubung über eine zusätzliche Außenwärmedämmung erfolgt und ob eine Verschraubung mit oder ohne Anpressdruck erfolgt. Für die Montage von Außenbekleidungen über eine zusätzliche Außenwärmedämmung auf einer Holzständerwand lagen nicht genug Messdaten vor, so dass für dieses Konstruktionsprinzip keine Prognosewerte angegeben werden können. Die Art der Montage geht über einen Korrekturterm $K_{Montage}$ in das Prognoseverfahren ein.

Zu d)

Die Luftdichtheit bzw. Hinterlüftung der Außenbekleidung kann die Schalldämmung der Konstruktion beeinflussen. Aufgrund der vorliegenden Messungen kann dieser Einfluss jedoch nicht quantitativ dargestellt werden. Daher wird als Voraussetzung für das Prognoseverfahren nur festgeschrieben, dass eine Luftdichtheit bzw. Hinterlüftung der Außenbekleidung entsprechend einer üblichen Bauweise vorgegeben ist.

Zu e)

Wie bei allen anderen Verkleidungen beeinflusst auch bei der Außenbekleidung das Schalldämmniveau der Grundwand, ausgedrückt als bewertetes Schalldämm-Maß $R_{w,0}$, die Verbesserung der Schalldämmung. Hierbei werden auch die zuvor berechneten Verbesserungen ($\Delta R_{w,i}$) durch Zusatzbeplankungen oder Installationsebenen berücksichtigt.

Der Einfluss der Grundwand auf die Verbesserung der Schalldämmung wird in Form eines Korrekturterms $K_{R,w,0}$ angesetzt.

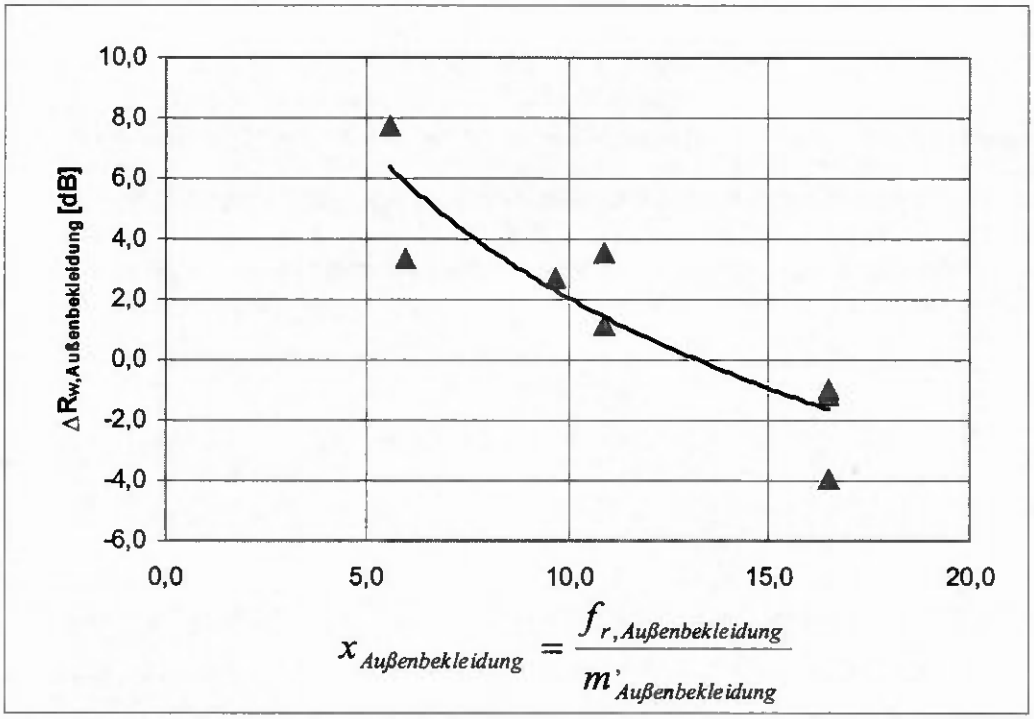


Abbildung 12:
Abhängigkeit der Verbesserung der Schalldämmung ($\Delta R_{w,Außenbekleidung}$) durch Außenbekleidungen auf der Grundwand in Abhängigkeit von der Doppelwandresonanz f_r und der flächenbezogenen Masse der Außenbekleidung $m'_{Außenbekleidung}$

4 Statistische Auswertung der Messdaten für das Einzahlmodell

ROSENHEIM

Kombination der Einflussparameter

Als kennzeichnende Größe für die akustische Wirksamkeit der Außenbekleidung wurde ein Verbesserungsmaß $\Delta R_{w,Außenbekleidung}$ nach Gleichung 13 definiert.

$$\Delta R_{w,Außenbekleidung} = R_{w,Grundwand\ mit\ Außenbekleidung} - R_{w,0} \qquad (13)$$

Gleichung 13 : Verbesserungsmaß $\Delta R_{w,Außenbekleidung}$ für die akustische Wirksamkeit einer Außenbekleidung auf einer Holzwand:

$R_{w,Grundwand\ mit\ Außenbekleidung}$: Schalldämmung der Grundwand mit Außenbekleidung

$R_{w,0}$: Schalldämmung der Grundwand

Bei der graphischen Auswertung der Verbesserung der Schalldämmung durch die Außenbekleidung wurde für die x-Koordinate eine charakteristische Funktion angesetzt, welche die für die Schalldämmung maßgebenden Grundgrößen nämlich die Eigenfrequenzen der Doppelwandschwingungen $f_{r,Außenbekleidung}$ und die flächenbezogene Masse der Beplankung der Außenbekleidung $m'_{Außenbekleidung}$ beinhaltet (siehe Gleichung 14). Die Abhängigkeit der Verbesserung in der Schalldämmung von dem charakteristischen Parameter $x_{Außenbekleidung}$ wird in Abbildung 12 dargestellt.

$$x_{Außenbekleidung} = \frac{f_{r,Außenbekleidung}}{m'_{Außenbekleidung}} \quad in\ \frac{Hz \cdot m^2}{kg} \qquad (14)$$

Gleichung 14 : charakteristische Funktion $x_{Außenbekleidung}$ zur Beschreibung des Einflusses der Grundgrößen auf die Verbesserung der Schalldämmung durch die Außenbekleidung mit

$f_{r,Außenbekleidung}$ Doppelwand-Resonanzfrequenz der Außenbekleidung in Hz

$m'_{Außenbekleidung}$ flächenbezogene Masse der Beplankung der Außenbekleidung in kg/m^2

4.6 Verbesserung durch getrennte Ständer

Bei herkömmlichen Holzständerwänden stellt das Ständerwerk durch die Kopplung der beiden Schalen eine starke Schallbrücke dar. Diese Schallbrücke kann reduziert werden, indem die Ständer getrennt werden. In Bezug auf die Praxistauglichkeit ist allerdings zu berücksichtigen, dass Schwelle und Rähm jeweils durchlaufend, d.h. ungetrennt ausgeführt werden.

Als kennzeichnende Größe für die akustische Wirksamkeit einer Trennung des Ständerwerks wurde ein Verbesserungsmaß $\Delta R_{w,\text{getrennte Ständer}}$ nach Gleichung 15 definiert.

$$\Delta R_{w,\text{getrennte Ständer}} = R_{w,\text{ getrennte Ständer}} - R_{w,\text{ durchgehende Ständer}} \qquad (15)$$

Gleichung 15 : Verbesserungsmaß $\Delta R_{w,\text{getrennte Ständer}}$ für die akustische Wirksamkeit einer Trennung des Ständerwerks bei einer Holzwand:

$R_{w,\text{ getrennte Ständer}}$: Schalldämmung der Wand mit getrenntem Ständern

$R_{w,\text{ durchgehende Ständer}}$: Schalldämmung der Wand mit durchgehenden Ständern

Bei der graphischen Auswertung der Verbesserung der Schalldämmung durch die Trennung des Ständerwerks wurde für die x-Koordinate eine charakteristische Funktion angesetzt, welche die für die Schalldämmung maßgebenden Grundgrößen nämlich die Eigenfrequenzen der Doppelwandschwingungen $f_{r,\text{Grundwand}}$ und die Schalldämmung der Grundwand mit ungetrenntem Ständerwerk $R_{w,\text{ durchgehende Ständer}}$ beinhaltet. Die charakteristische Funktion $x_{\text{getrennte Ständer}}$ wird in Gleichung 16 angegeben. Die Abhängigkeit der Verbesserung in der Schalldämmung von dem charakteristischen Parameter $x_{\text{getrennte Ständer}}$ wird in Abbildung 13 dargestellt.

$$x_{\text{getrennte Ständer}} = \log\left(\frac{f_{r,Grundwand}}{Hz}\right) \cdot R_{w,durchgehen\,de\,Ständer} \;\; in\ dB \qquad (16)$$

Gleichung 16 : charakteristische Funktion $x_{\text{getrennte Ständer}}$ zur Beschreibung des Einflusses der Grundgrößen auf die Verbesserung der Schalldämmung durch ein getrenntes Ständerwerk.

4 Statistische Auswertung der Messdaten für das Einzahlmodell

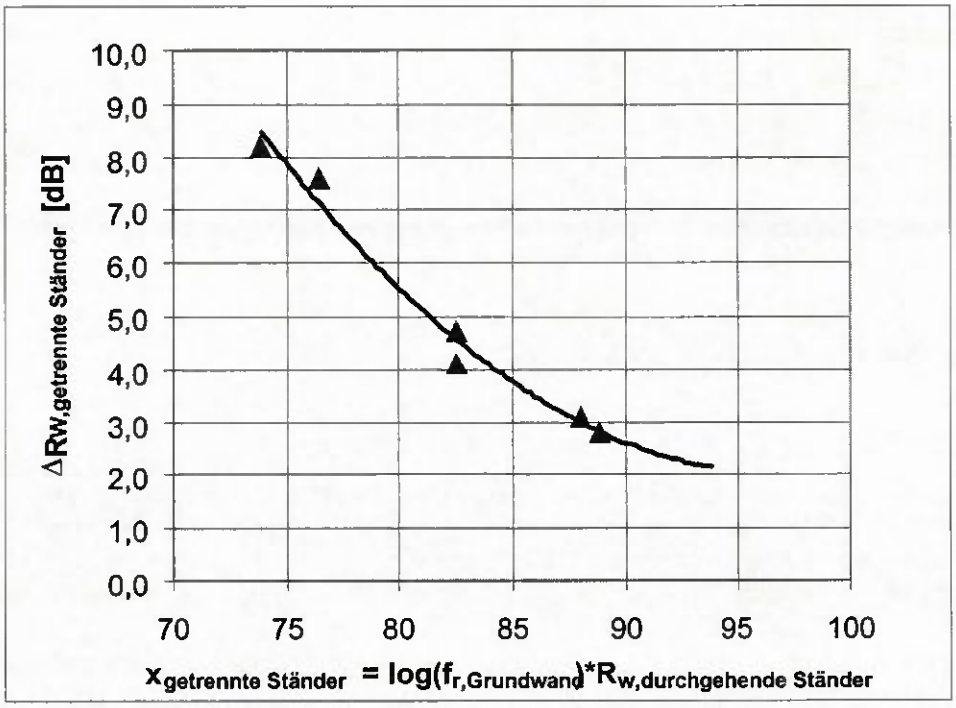


Abbildung 13:
Abhängigkeit der Verbesserung der Schalldämmung ($\Delta R_{w,getrennte\ Ständer}$) durch Trennung des Ständerwerks in Abhängigkeit von der Schalldämmung der Wand mit durchgehenden Ständern R_w und der Doppelwandresonanz der Grundwand f_r

5 Prognosemodelle

Nachfolgend werden verschiedene Verfahren zur Prognose der Schalldämmung von Holzständerwänden vorgestellt. In Abschnitt 5.1 wird die statistische Auswertung der Messdaten (Abschnitt 4) zu einem empirischen Prognoseverfahren mit Einzahlwerten zusammengefasst und die Berechnung mit den Ergebnissen der Messung abgeglichen. Abschnitt 5.2 behandelt frequenzabhängige Prognosemodelle.

5.1 Berechnungsmodell mit Einzahlwerten

Die Vorgehensweise und Voraussetzungen des Verfahrens sind wie folgt:

1.) Die Schalldämmung der Grundwand $R_{w,0}$ wird für Holzständerwände entsprechend Abbildung 7 ermittelt. Die Grundwand wird hierbei als Holzständerwand mit jeweils einlagiger Beplankung auf beiden Seiten angesetzt. In die Prognose der Schalldämmung der Grundwand gehen als Parameter die Schalldämmung der Plattenmaterialien, die Resonanzfrequenzen der verschiedenen Eigenschwingungen (Biegewellenresonanz, Doppelwandresonanz, Plattenschwingung), die Stärke des Hohlraumdämmstoffs und Korrekturparameter für verschiedenen Befestigungsmittel und Raumhöhen ein. Für Massivholzwände und ähnliche Konstruktionen wird $R_{w,0}$ nach Abbildung 8. in Abhängigkeit des Flächengewichts ermittelt.

2.) Zusätzliche Beplankungen, Installationsebenen, Außenbekleidungen, WDVS und getrennte Ständer werden über jeweilige Verbesserungsmaße $\Delta R_{w,j}$ beschrieben. Die Berechnung dieser Verbesserungsmaße sollte in der unten angegebenen Reihenfolgen durchgeführt werden, da z.T. die Verbesserungsmaße des vorhergehenden Berechnungsschrittes benötigt werden.

Für die Schalldämmung der gesamten Wandkonstruktion ergibt sich:

$$R_w = R_{w,0} + \sum_j \Delta R_{w,j} \qquad (17)$$

Gleichung 17 : Prognosegleichungen zur Ermittlung der Schalldämmung der Wandkonstruktion aus der Schalldämmung der Grundwand $R_{w,0}$ und der Verbesserungsmaße $\Delta R_{w,j}$ für die verschiedenen Zusatzmaßnahmen:
j = 1: Zusatzbeplankung
j = 2: Installationsebene
j = 3: WDVS
j = 4: Außenbekleidung
j = 5: getrenntes Ständerwerk

5 Prognosemodelle

ROSENHEIM

$R_{w,0}$: Schalldämmung der Grundwand

Grundwand mit Vollholzständern oder Stegträgern **ohne** Hohlraumdämmstoff, oder mit Hohlraumdämmstoff und Ständerraster < 400 mm:

$$R_{w,0} = 1{,}19x - 52{,}06 + K_{sym} + K_{\Delta fg} + K_{Montage} + K_{Wandtyp} + K_{Wandhöhe} \; [dB]$$

Grundwand mit Vollholzständern oder Stegträgern **mit** Hohlraumdämmstoff und Ständerraster ≥ 400 mm:

$$R_{w,0} = 0{,}91x - 25{,}6 + K_{sym} + K_{\Delta fg} + K_{Montage} + K_{Wandtyp} + K_{Wandhöhe} + K_{Dämmstoffdicke} + K_{Dämmstoffmasse} \; [dB]$$

Grundwand mit Vollholzständern oder Stegträgern **mit** Hohlraumdämmstoff und direkt auf dem Ständer montierten HWF-Platten (für WDVS):

$$R_{w,0} = 41 + K_{Wandtyp} + K_{Wandhöhe} \; [dB]$$

Grundwand aus Massivholzelement u.ä.:

$$R_{w,0} = 32{,}05 \log(m'_{Wandplatte}) - 18{,}68 + K_{Wandtyp} \; [dB]$$

mit:

$$x = 10 \log \frac{R^4_{w,Platte} \cdot f_g}{\sqrt{f_{1,1} \cdot f_r}} \quad [dB]$$

$$K_{sym} = \begin{cases} 0 \; dB & \text{für symmetrische Wände} \\ 0{,}5 \; dB & \text{für asymmetrische Wände} \end{cases}$$

$$K_{\Delta fg} = \begin{cases} 0 \; dB & \text{für } f_{g,max} / f_{g,min} < 1{,}2 \\ 1{,}5 \; dB & \text{für } f_{g,max} / f_{g,min} \geq 1{,}2 \text{ und } f_{g,min} < 2000 \text{ Hz} \end{cases}$$

$$K_{Montage} = \begin{cases} -3 \; dB & \text{Wenn eine o. beide Beplankungen verleimt sind} \\ -2 \; dB & \text{Wenn beide Beplankungen geklammert sind} \\ -1 \; dB & \text{Wenn eine Beplankungen geklammert ist} \end{cases}$$

$$K_{Wandtyp} = \begin{cases} -2 \; dB & \text{für verleimte großformatige Massivholzelemente u.ä.} \\ -1{,}5 \; dB & \text{für Stegträger} \\ 0 \; dB & \text{sonst} \end{cases}$$

$$K_{Dämmstoffdicke} = \begin{cases} -1\ dB & \text{für } d_{Dämmstoff} = 40 - 100\ mm \\ 0{,}3\ dB & \text{für } d_{Dämmstoff} = 101 - 140\ mm \\ 3\ dB & \text{für } d_{Dämmstoff} = 141 - 300\ mm \end{cases}$$

$$K_{Dämmstoffmasse} = \begin{cases} 0\ dB & \text{für } \rho_{Dämmstoff} \leq 140\ kg/m^3 \\ 1{,}5 * d_{Däm.}/160\ dB & \text{für } \rho_{Dämmstoff} > 140\ kg/m^3 \text{ und } d_{Dämmstoff} < 200\ mm \end{cases}$$

$$K_{Wandhöhe} = \begin{cases} 0\ dB & \text{für Wandhöhen} < 3{,}0\ m \\ -1{,}5\ dB & \text{für Wandhöhen} \geq 3{,}0\ m \end{cases}$$

Hierbei bedeuten:

$R_{w,Platte}$	Bewertetes Schalldämm-Maß der Wandbeplankungen in dB (bei asymmetrischer Beplankung Mittelwert)
f_g	Koinzidenzfrequenz nach Gleichung 2 in Hz (bei asymmetrischer Beplankung Mittelwert)
$f_{1,1}$	1. Platteneigenfrequenz nach Gleichung 3 in Hz (bei asymmetrischer Beplankung Mittelwert)
f_r	Doppelwandresonanz nach Gleichung 5 in Hz mit m'_1 = m' der inneren Beplankung in kg/m² m'_2 = m' der äußeren Beplankung in kg/m² d = Schalenabstand der Beplankungen in mm
$m'_{Wandplatte}$	Flächenbezogene Masse der tragenden Wandplatte in kg/m² inkl. aller direkt auf der tragenden Platte montierten Zusatzbeplankungen

Gleichung 18 : Prognosegleichungen zur Ermittlung der Schalldämmung der Grundwand $R_{w,0}$

ift ROSENHEIM

$\Delta R_{w,Zusatzbeplankung}$: Verbesserung der Schalldämmung durch zusätzliche Beplankungen bei Holzständerwänden

Einseitige Zusatzbeplankung:

$$\Delta R_{w,Zusatzbeplankung} = 2{,}51 * e^{0{,}0128x} + K_{R,w,0} + K_{3.Lage} \quad [dB]$$

Beidseitige Zusatzbeplankung:

$$\Delta R_{w,Zusatzbeplankung} = 3{,}87 * e^{0{,}0129x} + K_{R,w,0} + K_{3.Lage} \quad [dB]$$

mit:

$$x = \left| 1 - \frac{f_{1,1,Zusatzbeplankung}}{f_{1,1,Grundwand}} \right| \cdot 100; \qquad \max \quad x = 50$$

$$K_{R,w,0} = \begin{cases} 3{,}4\ dB & \text{für} \quad R_{w,0} < 30\ \text{dB} \\ -0{,}25 * R_{w,0} + 10{,}82\ dB & \text{für} \quad 30\ \text{dB} \leq R_{w,0} \leq 50\ \text{dB} \\ -1{,}6\ dB & \text{für} \quad R_{w,0} > 50\ \text{dB} \end{cases}$$

$$K_{3.Lage} = \begin{cases} 2{,}5\ dB & \text{Bei einseitig dreilagiger Beplankung} \\ 0\ dB & \text{sonst} \end{cases}$$

Hierbei bedeuten:

$R_{w,0}$	Bewertetes Schalldämm-Maß der Grundkonstruktion in dB
$f_{1,1,Grundwand}$	1. Platteneigenfrequenz nach Gleichung 3 in Hz für die Beplankung der Grundwand
$f_{1,1,Zusatzbeplankung}$	1. Platteneigenfrequenz nach Gleichung 3 in Hz für die zusätzliche Beplankung

Gleichung 19 : Prognosegleichungen zur Ermittlung der Verbesserung durch zusätzliche Beplankungen $\Delta R_{w,Zusatzbeplankung}$

$\Delta R_{w,Installationsebene}$: **Verbesserung der Schalldämmung durch Installationsebenen (Vorsatzschalen)**

Installationsebenen **ohne** Hohlraumdämmung (auf Holzständerwänden) :

$$\Delta R_{w,Installationsebene} = 0{,}0003x + 1{,}33 + K_{R,w,0} + K_{FS} + K_{2.Lage} \quad [dB]$$

Installationsebenen **mit** Hohlraumdämmung (auf Holzständerwänden) :

$$\Delta R_{w,Installationsebene} = 0{,}0003x + 4{,}83 + K_{R,w,0} + K_{FS} + K_{2.Lage} \quad [dB]$$

Installationsebenen **mit** Hohlraumdämmung (auf Massivholzelementen u.ä.) :

$$\Delta R_{w,Installationsebene} = -22{,}93 * \log(f_{r,Install}) + 69{,}31 - 0{,}5 * R_{w,0} \quad [dB]$$

mit:

$$x = \Delta f_r^2 \cdot \log \frac{f_{1,1,Grundwand}}{f_{1,1,Install}} \quad [Hz^2]$$

$$K_{R,w,0} = \begin{cases} 3{,}4\ dB & \text{für} \quad R_{w,0} < 30\ dB \\ 0{,}3 * R_{w,0} + 12{,}36\ dB & \text{für} \quad 30\ \text{dB} \leq R_{w,0} \leq 50\ dB \\ -1{,}7\ dB & \text{für} \quad R_{w,0} > 50\ dB \end{cases}$$

$$K_{FS} = \begin{cases} 5\ dB & \text{Wenn die Installationsebene mit Federschienen montiert ist} \\ 0\ dB & \text{sonst} \end{cases}$$

$$K_{2.Lage} = \begin{cases} 2{,}5\ dB & \text{Bei doppelter Beplankung der Installationsebene} \\ 0\ dB & \text{sonst} \end{cases}$$

Hierbei bedeuten:

$R_{w,0}$	Bewertetes Schalldämm-Maß der Grundkonstruktion
$f_{1,1}$	1. Platteneigenfrequenz nach Gleichung 3 in Hz für: - die (erste) Beplankung der Installationsebene - die (letzte) Beplankung der Grundwand
f_r	Doppelwandresonanz nach Gleichung 5 in Hz für: - die Installationsebene ($m'_{Bepl.Install}$; $m'_{Bepl.Grundwand\ innen}$) - die Grundwand ($m'_{Bepl.Grundwand\ innen}$; $m'_{Bepl.Grundwand\ außen}$)
Δf_r	Differenz der Doppelwandresonanzen: $\Delta f_r = f_{r,Grundwand} - f_{r,Installationsebene}$

Gleichung 20 : Prognosegleichungen zur Ermittlung der Verbesserung durch Installationsebenen $\Delta R_{w,Installationsebene}$

ROSENHEIM

$\Delta R_{w,WDVS}$: Verbesserung der Schalldämmung durch Wärmedämmverbundsysteme

WDVS auf äußerer Beplankung montiert (bei Holzständerwänden) :

$$\Delta R_{w,WDVS} = -11{,}5 * log(f_{r,WDVS}) + 33 + K_{R,w,0} + K_{Dämmstofftyp} + K_{Montage} \quad [dB]$$

WDVS aus HWF direkt auf dem Ständer montiert (bei Holzständerwänden) :

$$\Delta R_{w,WDVS} = -5{,}18 * log(s') + 10{,}52 + K_{R,w,0} + K_{Montage} \quad [dB]$$

WDVS aus HWF oder MF auf Massivholzelement u.ä.:

$$\Delta R_{w,WDVS} = -34{,}8 * log(f_{r,WDVS}) + 87{,}08 + K_{R,w,0} + K_{Montage} \quad [dB]$$

mit:

$$K_{R,w,0} = \begin{cases} -0{,}68(R_{w,0} + \Delta R_{w,i}) + 30{,}64\ dB & \text{für WDVS auf äußerer Bepl.} \\ -0{,}18(R_{w,0} + \Delta R_{w,i}) + 8{,}23\ dB & \text{für WDVS direkt auf Ständer} \\ -0{,}16(R_{w,0} + \Delta R_{w,i}) + 5{,}72\ dB & \text{für WDVS auf Massivholzelement u.ä.} \end{cases}$$

$mit\ -3\ dB < K_{R,w,0} < 3\ dB$

$$K_{Dämmstofftyp} = \begin{cases} -4\ dB & \text{für WDVS aus elastifiziertem EPS} \\ -2\ dB & \text{für WDVS aus EPS} \\ 0\ dB & \text{für WDVS aus MF} \\ 1\ dB & \text{für WDVS aus HWF} \end{cases}$$

$$K_{Montage} = \begin{cases} 0\ dB & \text{Bei vollflächiger Verklebung} \\ 3\ dB & \text{Bei punktweiser Verklebung} \\ 3\ dB & \text{Bei Verschraubung ohne Anpressdruck} \end{cases}$$

Hierbei bedeuten:

$R_{w,0}$	Bewertetes Schalldämm-Maß der Grundkonstruktion
$\Delta R_{w,i}$	Verbesserungsmaße durch Zusatzbeplankungen oder Installationsebenen in dB
$f_{r,WDVS}$	Doppelwandresonanz nach Gleichung 5 in Hz für das WDVS auf der Grundwand
s'	Dynamische Steifigkeit der WDVS-Dämmplatten in MN/m³

Gleichung 21 : Prognosegleichungen zur Ermittlung der Verbesserung durch Wärmedämmverbundsysteme $\Delta R_{w,WDVS}$

$\Delta R_{w,Außenbekleidung}$: **Verbesserung der Schalldämmung durch Außenbekleidungen**

Außenbekleidung auf äußerer Beplankung montiert (bei Holzständerwänden) :

$$\Delta R_{w,Außenbekleidung} = -17\ log(x_{Außenbekleidung}) + 19 + K_{Rw,0}\ [dB]$$

Außenbekleidung auf Massivholzelement u.ä. montiert :

$$\Delta R_{w,Außenbekleidung} = 0{,}0002(d_{Dämmung})^2 + 0{,}12 * d_{Dämmung} + 2 + K_{Rw,0} + K_{Montage}\ [dB]$$

mit:

$$x = \frac{f_{r,Außenbekleidung}}{m'_{Außenbekleidung}} \quad [\tfrac{m \cdot Hz}{kg}] \quad 5 \le x \le 17$$

$$K_{R,w,0} = \begin{cases} -0{,}3(R_{w,0} + \Delta R_{w,i}) + 14{,}81\ dB & \text{für Außenbekleidung auf Ständerwerk} \\ -5\ dB & \text{für Außenbekleidung auf Massivholzelement u.ä. mit Installationsebene} \end{cases}$$

$$K_{Montage} = \begin{cases} -2\ dB & \text{Bei Verschraubung mit Anpressdruck} \\ 0\ dB & \text{sonst} \end{cases}$$

Hierbei bedeuten:

$R_{w,0}$	Bewertetes Schalldämm-Maß der Grundkonstruktion in dB
$\Delta R_{w,i}$	Verbesserungsmaße durch Zusatzbeplankungen oder Installationsebene in dB
$f_{r,Außenbekleidung}$	Doppelwandresonanz nach Gleichung 5 in Hz für die Außenbekleidung ($m'_{Außenbekleidung}$; $m'_{Außenbepl.Grundwand}$)
$d_{Dämmung}$	Dicke der Dämmschicht zwischen Außenbekleidung und Grundwand

Gleichung 22 : Prognosegleichungen zur Ermittlung der Verbesserung durch Außenbekleidungen $\Delta R_{w,Außenbekleidung}$

ROSENHEIM

$\Delta R_{w,getrennte\ Ständer}$: Verbesserung der Schalldämmung durch getrennte Ständer

Ständer getrennt (Schwelle und Rähm durchgehend) :

$$\Delta R_{w,getrennte\ Ständer} = -0{,}0024x^2 + 0{,}083x + 14{,}98\ [dB]$$

mit:

$$x = log(f_{r,Grundwand}) * R_{w,durchgehende\ Ständer}$$

Hierbei bedeuten:

f_r	Doppelwandresonanz nach Gleichung 5 in Hz für: die Grundwand ($\Sigma\ m'_{Bepl.Grundwand\ innen}$; $\Sigma\ m'_{Bepl.Grundwand\ außen}$)
$R_{w,durchgehende\ Ständer}$	Bewertetes Schalldämm-Maß der Wandkonstruktion mit durchgehendem Ständer in dB

Gleichung 23 : Prognosegleichungen zur Ermittlung der Verbesserung durch getrennte Ständer $\Delta R_{w,getrennte\ Ständer}$

5.1.1 Eingangsgrößen und Anwendungsgrenzen

Das rein empirische Verfahren erfordert eine enge Eingrenzung der Anwendungsmöglichkeiten auf die untersuchten Konstruktionsvarianten. Die im Prognoseverfahren berücksichtigten Plattenmaterialien können Tabelle 4 und Tabelle 5 entnommen werden. Für die konstruktiven Parameter wurden folgende Anwendungsgrenzen festgelegt:

- Grundwand

Wandhöhe	2,50 m – 3,50 m	
Tragwerk	Holzständer	80 mm – 240 mm
	Stegträger	195 mm – 300 mm
	Achsabstand	300 mm – 1250 mm
	Massivholzplatten	80 mm – 140 mm
	Holzwerkstoffplatten	80 mm – 100 mm
Hohlraumdämmung	Faserdämmstoff, $r \geq 5$ kN*s/m^4	
Beplankung	beidseitig eine Lage nach Tabelle 5	
Montage	geschraubt, geklammert, geleimt	

- Zusatzbeplankungen

Beplankung	1 – 2[2)] Lagen nach Tabelle 5
Montage	geschraubt oder geklammert

- Installationsebene

Typ	einseitige Installationsebene
Befestigung	Lattung, Vierkantholz oder Federschiene auf der Grundwand verschraubt
Tiefe	27 mm $\leq$ d $\leq$ 80 mm
Beplankung	1 – 2 Lagen nach Tabelle 5
Montage	geschraubt, geklammert
Hohlraumdämmung	Faserdämmstoff, $r \geq 5$ kN*s/m^4

- WDVS

Typ	Holzweichfaser- Mineralfaser- oder Polystyroldämmplatten
Montage	vollflächig geklebt, punktweise geklebt ($\leq$ 10% der

[2)] Eine zweilagige Zusatzbeplankung (also inklusive Grundwandbeplankung 3 Beplankungslagen) ist nur auf einer Wandseite zulässig

	Plattenfläche), geklammert, geschraubt ohne Anpressdruck mit Spezialschrauben
Putz	4 – 10 mm Dicke, Rohdichte 1000 – 2000 kg/m³

- Außenbekleidung

Typ	Boden-Deckel- , Stülpschalung oder wetterfeste Holzwerkstoffplatten auf Konterlattung. Leistenschalungen mit Sichtfugen werden nicht berücksichtigt. Zusätzliche Außendämmungen werden nur bei Massivholzwänden berücksichtigt
Tiefe	30 – 80 mm Abstand zur Grundwand bzw. Außendämmung
Montage	geschraubt, genagelt oder geklammert

- getrennte Ständer

Typ	Ständer vollständig getrennt, Schwelle und Rähm durchlaufend
Anwendung	primär für Außenwände. Bei Wohnungstrennwänden war keine ausreichende Überprüfung möglich. Haustrennwände werden derzeit noch nicht erfasst.

Tabelle 4 : Berücksichtigte Dämmplatten für WDVS

Produktbeschreibung	d in	Anzahl	ρ in	s' in
	mm	n	kg/m³	MN/m³
Holzweichfaser Wärmedämmplatten für WDVS im Nassverfahren hergestellt	40	1	248	64
	60	3	177 ... 221	35 ... 47
	100	2	182 ... 195	21 ... 23
Mineralfaser WDVS-Lamelle	60	1	84	163
	100	1	77	84
Polystyrol WDVS Platten nicht elastifiziert	60	2	13	58 ... 92
	100	1	15	26
Polystyrol WDVS Platten elastifiziert	40			24[1)]
	60			16[1)]
	80			12[1)]

[1)] Herstellerangaben

Tabelle 5 : Berücksichtigte Plattenmaterialien

Plattenmaterial	Dicken	Rohdichten	E_{dyn}	$R_{w,Platte}$
Gipsfaserplatten	10 mm - 15 mm	1150 kg/m³	3558 MN/m² n = 4 σ = 516 MN/m²	33,0 dB n = 5 σ = 1,2 dB
Gipskartonbauplatten	9,5 mm -20 mm	703 kg/m³	2333 MN/m² n = 3 σ = 58 MN/m²	28,5 dB
Spanplatten	10 mm – 19 mm	670 kg/m³	2281 MN/m² n = 5 σ = 167 MN/m²	25,8 dB n = 5 σ = 2,1 dB
Zementgebundene Spanplatten	10 mm –16 mm	1250 kg/m³	6196 MN/m² n = 5 σ = 1071 MN/m²	32,6 dB n = 4 σ = 1,2 dB
OSB- Flachpressplatten	10 mm –19 mm	600 kg/m³	3242 MN/m² n = 5 σ = 739 MN/m²	26,2 dB n = 8 σ = 2,1 dB
Bau-Furniersperrholz	12 mm	580 kg/m³	3300 MN/m²	26,9 dB
Holzweichfaserdämmplatten	10 mm – 22 mm	320 kg/m³	157 MN/m² n = 5 σ = 57 MN/m²	26,2 dB n = 5 σ = 1,8 dB
Gipskartonfeuerschutzplatten	12,5 mm – 18 mm	880 kg/m³	3383 MN/m² n = 4 σ = 570 MN/m²	31,8 dB n = 6 σ = 2,8 dB
Mitteldichte Holzfaserplatten (MDF / DWD)	10 mm – 19 mm	550 kg/m³	1184 MN/m² n = 3 σ = 409 MN/m²	28,5 dB n = 2 σ = 0,7 dB

Herkunft und Genauigkeit der Daten:

Rohdichte — Die Daten für die Holzwerkstoffe wurden aus den Mittelwerte der in [21] angegebenen Spannweite ermittelt und mit eigenen Messungen verglichen Für die Gipswerkstoffe wurden Hersteller angaben mit Untersuchungen von [38] und eigenen Messungen verglichen

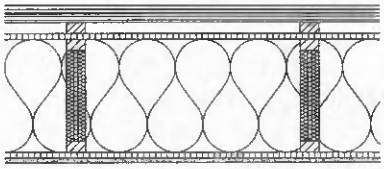
E_{dyn} — Der dynamische E-Modul wurde nach Abschnitt 3.2.4 und Gleichung 2 ermittelt. Angabe als Mittelwert mit Anzahl Messungen n und Standardabweichung σ und Zur Genauigkeit siehe Anmerkung Seite 6.

$R_{w,Platte}$ — Die angegebenen Mittelwerte für das bewertete Schalldämm-Maß beruhen auf eigenen Messungen und Literaturangaben [38], [20] über Messungen in verschiedenen Prüfständen (Wand-, Tür-, Fensterprüfstand) mit unterschiedlichen Montage. Angabe als Mittelwert mit Anzahl Messungen n und Standardabweichung σ.

5.1.2 Berechnungsbeispiel

Eingangsdaten

Skizze und Beschreibung



22 mm	Stülpschalung, Fichte, m' ≈ 9,9 kg/m²
30 mm	Lattung (30x50mm), vertikal, e ≈ 625 mm
15 mm	MDF, geschraubt, m' ≈ 8,3 kg/m²
300 mm	Stegträger, e ≈ 62,5 cm mit
300 mm	Mineralfaserdämmung, ρ ≈ 17 kg/m³
15 mm	OSB, geschraubt, m' ≈ 9,0 kg/m²
12,5 mm	GKB, geschraubt, m' ≈ 8,8 kg/m²

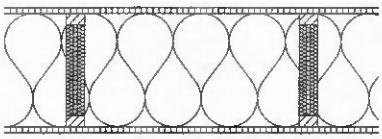
Wandhöhe: 2,68 m

Messergebnis: R_w = 48 dB

Materialdaten (nach Tabelle 5):

Plattenmaterial	Dicke	Dichte	E_{dyn}	$R_{w,Platte}$
OSB-Flachpressplatte	15 mm	600 kg/m³	3242 MN/m²	26,2 dB
Mitteldichte Holzfaserplatte (MDF)	15 mm	550 kg/m³	1184 MN/m²	28,5 dB
Gipskartonbauplatte	12,5 mm	703 kg/m³	2333 MN/m²	28,5 dB

1. Berechnungsschritt: Schalldämmung der Grundwand



15 mm	**MDF, geschraubt, m' ≈ 8,3 kg/m²**
300 mm	Stegträger, e ≈ 62,5 cm mit
300 mm	Mineralfaserdämmung, ρ ≈ 17 kg/m³
15 mm	**OSB, geschraubt, m' ≈ 9,0 kg/m²**

a.1: bewertetes Schalldämm-Maß der Wandbeplankungen (Grundwand)

$$R_{w,Platte} = 0{,}5*(R_{w,OSB} + R_{w,MDF}) = 0{,}5*(26{,}2 + 28{,}5) = 27{,}4\ dB$$

a.2: Koinzidenzfrequenz der Wandbeplankungen

$$f_g = 0{,}5*(f_{g,OSB} + f_{g,MDF}) = 0{,}5*(1836 + 2908) = 2372\ Hz$$

$$f_{g,OSB} = \frac{64000}{d_{OSB}}\sqrt{\frac{\rho_{OSB}}{E_{dyn,OSB}\cdot 10^6}} = \frac{64000}{0{,}015}\sqrt{\frac{600}{3242\cdot 10^6}} = 1836\ Hz$$

$$f_{g,MDF} = \frac{64000}{d_{MDF}}\sqrt{\frac{\rho_{MDF}}{E_{dyn,MDF}\cdot 10^6}} = \frac{64000}{0{,}015}\sqrt{\frac{550}{1184\cdot 10^6}} = 2908\ Hz$$

a.3: Erste Eigenfrequenz der Wandbeplankungen

$$f_{1,1} = 0{,}5*(f_{1,1,OSB} + f_{1,1,MDF}) = 0{,}5*(43{,}2 + 27{,}3) = 35{,}3\ Hz$$

$$f_{n,m} = \frac{c_0^2}{4}\cdot\frac{1}{f_g}\cdot\left[\left(\frac{n}{b}\right)^2 + \left(\frac{m}{h}\right)^2\right]$$

$$f_{1,1,OSB} = \frac{343^2}{4}\cdot\frac{1}{1836}\cdot\left[\left(\frac{1}{0{,}625}\right)^2 + \left(\frac{1}{2{,}68}\right)^2\right] = 43{,}2\ Hz$$

$$f_{1,1,MDF} = \frac{343^2}{4}\cdot\frac{1}{2908}\cdot\left[\left(\frac{1}{0{,}625}\right)^2 + \left(\frac{1}{2{,}68}\right)^2\right] = 27{,}3\ Hz$$

a.4: Doppelwandresonanz der Grundwand

$$f_r = 1900\sqrt{\frac{1}{d}\cdot\left(\frac{1}{m'_1}+\frac{1}{m'_2}\right)} = 1900\sqrt{\frac{1}{300}\cdot\left(\frac{1}{8{,}3}+\frac{1}{9{,}0}\right)} = 52{,}8\ Hz$$

a.5: bewertetes Schalldämm-Maß der Grundwand

$$x_{Grundwand} = 10\log\frac{R^4_{w,Platte}\cdot f_g}{\sqrt{f_{1,1}\cdot f_r}} = 10\log\frac{27{,}4^4 * 2372}{\sqrt{35{,}3 * 52{,}8}} = 74{,}9$$

K_{sym} = 0,5 *dB* *für asymmetrische Wandbeplankung*

$K_{\Delta fg}$ = 1,5 *dB* *für* $f_{g,MDF} / f_{g,OSB}$ = 2908 / 1836 = 1,6 ≥ 1,2 *und* $f_{g,min}$ < 2000 *Hz*

$K_{Montage}$ = 0 *dB* *da beide Beplankungen geschraubt sind*

$K_{Wandtyp}$ = -1,5 *dB* *für Stegträger*

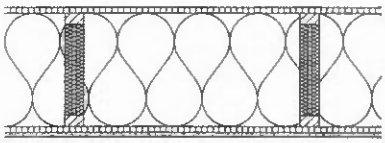
$K_{Dämmstoffdicke}$ = 3 *dB* *für* $d_{Dämmstoff}$ = 141 – 300 *mm*

$K_{Dämmstoffmasse}$ = 0 *dB* *für* $m'_{Dämmstoff} \leq 140\ kg/m^3$

$K_{Wandhöhe}$ = 0 *dB* *für Wandhöhen* < 3,0 *m*

$$\begin{aligned} R_{w,0} &= 0{,}91 x_{Grundwand} - 25{,}6 + K_{sym} + K_{\Delta fg} + K_{Montage} + K_{Wandtyp} \\ &\quad + K_{Wandhöhe} + K_{Dämmstoffdicke} + K_{Dämmstoffmasse} \\ &= 0{,}91*74{,}9 - 25{,}6 + 0{,}5 + 1{,}5 + 0 - 1{,}5 + 0 + 3{,}0 + 0 \\ &= \mathbf{46{,}1\ dB} \end{aligned}$$

2. Berechnungsschritt: Verbesserung durch Zusatzbeplankung



15 mm	MDF, geschraubt, m' ≈ 8,3 kg/m²
300 mm	Stegträger, e ≈ 62,5 cm mit
300 mm	Mineralfaserdämmung, ρ ≈ 17 kg/m³
15 mm	OSB, geschraubt, m' ≈ 9,0 kg/m²
12,5 mm	**GKB, geschraubt, m' ≈ 8,8 kg/m²**

b.1: Koinzidenzfrequenz und erste Eigenfrequenz der Zusatzbeplankung

$$f_{g,GKB} = \frac{64000}{0{,}0125}\sqrt{\frac{703}{2333 \cdot 10^6}} = 2811\ Hz$$

$$f_{1,1,GKB} = \frac{343^2}{4} \cdot \frac{1}{2811} \cdot \left[\left(\frac{1}{0{,}625}\right)^2 + \left(\frac{1}{2{,}68}\right)^2\right] = 28{,}2\ Hz$$

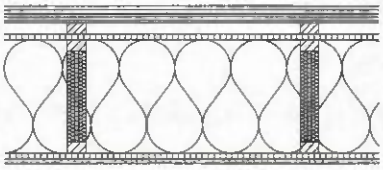
b.2: Verbesserung durch Zusatzbeplankung

$$x_{Zusatzbeplankung} = \left|1 - \frac{f_{1,1,GKB}}{f_{1,1,OSB}}\right| \cdot 100 = \left|1 - \frac{28{,}2}{43{,}2}\right| \cdot 100 = 34{,}7$$

$$K_{R,w,0} = -0{,}25 * R_{w,0} + 10{,}82\ dB = -0{,}25 * 46{,}1 + 10{,}82 = -0{,}7\ dB$$

$$\begin{aligned} \Delta R_{w,Zusatzbeplankung} &= 2{,}51 * e^{0{,}0128 x_{Zusatzbeplankung}} + K_{R,w,0} + K_{3.Lage} \\ &= 2{,}51 * e^{0{,}0128 * 34{,}7} - 0{,}7 + 0 \\ &= \mathbf{3{,}2\ dB} \end{aligned}$$

3. Berechnungsschritt: Verbesserung durch Außenbekleidung



22 mm	**Stülpschalung, Fichte, m' ≈ 9,9 kg/m²**
30 mm	**Lattung, vertikal, e ≈ 625 mm**
15 mm	MDF, geschraubt, m' ≈ 8,3 kg/m²
300 mm	Stegträger, e ≈ 62,5 cm mit
300 mm	Mineralfaserdämmung, ρ ≈ 17 kg/m³
15 mm	OSB, geschraubt, m' ≈ 9,0 kg/m²
12,5 mm	GKB, geschraubt, m' ≈ 8,8 kg/m²

c.1: Doppelwandresonanz zwischen Außenbekleidung und Grundwand

$$f_r = 1900\sqrt{\frac{1}{d}\cdot\left(\frac{1}{m'_{Grundwandbeplankungen}} + \frac{1}{m'_{Außenbekleidung}}\right)}$$

$$= 1900\sqrt{\frac{1}{30}\cdot\left(\frac{1}{8{,}3} + \frac{1}{9{,}9}\right)} = 163{,}3\ Hz$$

c.2: Verbesserung durch Außenbekleidung

$$x_{Außenbekleidung} = \frac{f_{r,Außenbekleidung}}{m'_{Außenbekleidung}} \qquad 5 \le x \le 17$$

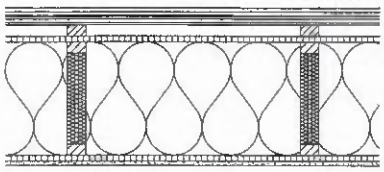
$$x_{Außenbekleidung} = \frac{163{,}3}{9{,}9} = 16{,}5$$

$$K_{R,w,0} = -0{,}3*(R_{w,0} + \Delta R_{w,Zusatzbeplankung}) + 14{,}81\ dB$$
$$= -0{,}3*(46{,}1 + 3{,}2) + 14{,}81 = 0\ dB$$

$$\Delta R_{w,Außenbekleidung} = -17 log(x_{Außenbekleidung}) + 19 + K_{Rw,0}$$
$$= -17\ log(16{,}5) + 19 + 0$$
$$= \mathbf{-1{,}7\ dB}$$

4. Berechnungsschritt: Aufsummierung der Teilergebnisse

Bewertetes Schalldämm-Maß der Gesamtwand



$$R_w = R_{w,0} + \sum_j \Delta R_{w,j}$$

$$R_w = R_{w,0} + \Delta R_{w,Zusatzbeplankung} + \Delta R_{w,Außenbekleidung}$$

$$R_w = 46{,}1 + 3{,}2 - 1{,}7 = \underline{\underline{47\ dB}}$$

5.1.3 Abgleich mit Prüfergebnissen

Für die untersuchten Wandkonstruktionen wurden die Abweichungen zwischen Berechnung und Messung in Abbildung 14 dargestellt. Es zeigt sich, dass die Abweichungen mit einer Standardabweichung von 1,9 dB in dem üblichen Bereich der bauakustischen Unsicherheiten liegt. Damit ist eine für ein bauakustisches Prognoseverfahren ausreichende Genauigkeit zu erwarten.

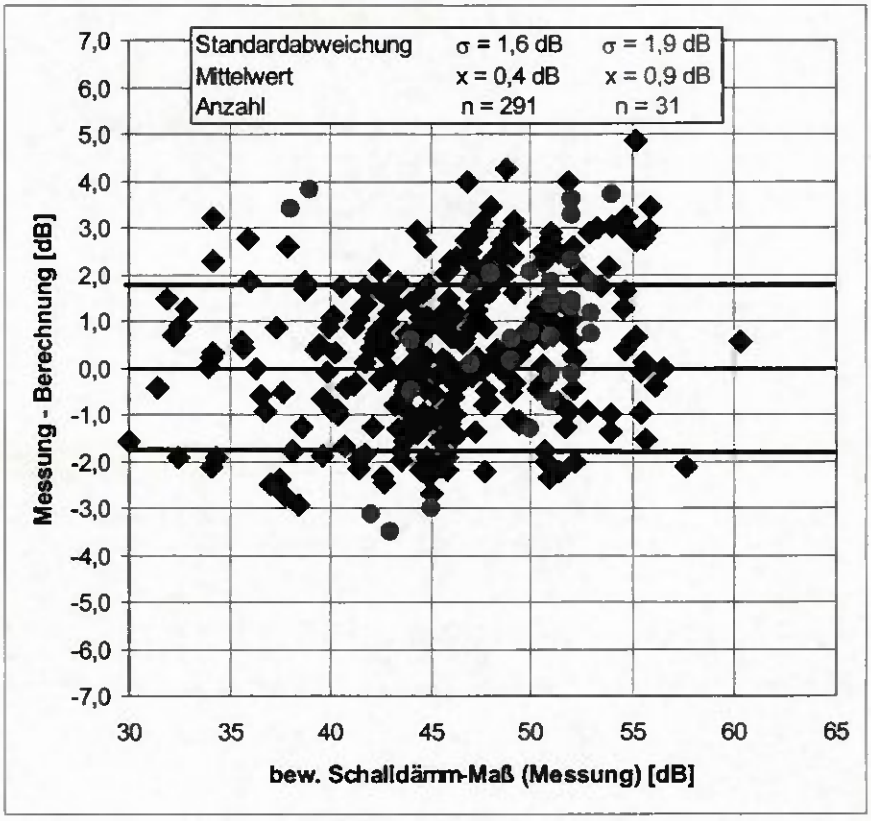


Abbildung 14: Abweichungen zwischen berechneter und gemessener Schalldämmung (bewertetes Schalldämm-Maß R_w) für die prognostizierten Wände:
Rauten: Wandaufbauten aus der LSW-Datenbank, die für die Entwicklung des Verfahrens benutzt wurden (Anzahl n = 291, mittlere Abweichung x = 0,4 dB, Standardabweichung s = 1,6 dB).
Kreise: Wandaufbauten anderer Prüfinstitute entnommen aus www.dataholz.com (Anzahl n = 31, mittlere Abweichung x = 0,9 dB, Standardabweichung s = 1,9 dB).

5.2 Frequenzabhängige Berechnungsmodelle

Nachfolgend werden frequenzabhängige Berechnungsmodelle für zweischalige Wände vorgestellt. Die Auswahl der Modelle beruht auf einer Arbeit von Hongisto [27], der 17 verschiedene Berechnungsmodelle für 4 verschiedene Gruppen von zweischaligen Leichtbauwänden mit Messergebnissen vergleicht:

Gruppe 1:	Doppelwand **ohne** Kopplung durch Ständer und **ohne** Hohlraumdämmung
Gruppe 2:	Doppelwand **ohne** Kopplung durch Ständer und **mit** Hohlraumdämmung
Gruppe 3:	Doppelwand mit Kopplung durch **Holzständer** und **mit** Hohlraumdämmung
Gruppe 4:	Doppelwand mit Kopplung durch **Metallständer** und **mit** Hohlraumdämmung

Aus den Berechnungsmodellen wurden die Verfahren nach Sharp [24] und nach Davy [22],[23] ausgewählt, die für die Gruppe 3 die geringsten Abweichungen im bewerteten Schalldämm-Maß zwischen Berechnung und Messung aufwiesen ($\sigma_{Rw} \approx 4$ dB).

Berechnung nach Sharp

Die Berechnung der Schalldämmung von Doppelwänden nach Sharp [24] basiert auf Arbeiten von Cremer [33], Sewell [28], Josse u. Lamure [29], London [35] und Heckel [34]

Für die Berechnung der Doppelwand unterscheidet Sharp 2 Frequenzbereiche:

Bereich 1:	$f \leq f_r$	unterhalb der Doppelwandresonanz siehe Gl. (24)
Bereich 2:	$f > f_r$	oberhalb der Doppelwandresonanz siehe Gl. (25)

Unterhalb der Doppelwandresonanz wird angenommen, dass die komplette Wand als homogene Platte (mit der Gesamtmasse der Wandbeplankungen) schwingt. Die Berechnung nach Gleichung 24 basiert auf [29] und ergibt eine Steigung der Schalldämmung um 6 dB/Oktave. Die flächenbezogene Masse berechnet sich hierbei aus:

$$m' = m_{1+2} = m_{Beplankung1} + m_{Beplankung2}$$

Oberhalb der Doppelwandresonanz wird zwischen Wänden ohne Kopplung durch Holzständer und solchen mit Kopplung unterschieden. Für die vorliegende Untersuchung ist die Diskussion der Doppelwand ohne Kopplung nicht von Interesse. Daher wird für die Formulierung der Berechnung ohne Ständer auf [24] verwiesen.

5 Prognosemodelle

Die Berechnung der Schalldämmung von Doppelwänden mit Kopplung basiert auf [35] (Gefach) und [34] (Ständer). Oberhalb der Doppelwandresonanz wird zunächst die für eine Doppelwand typische Steigung von 18 dB/Oktave prognostiziert, bis die Schalldämmung durch die Körperschallübertragung der Ständer begrenzt wird. Ab dieser Frequenz steigt die Schalldämmung parallel zum Massegesetz mit 6 dB/Oktave. Die Berechnung wird in Gleichung 25 zusammen gefasst. Zur Illustration des Verfahrens siehe auch Abbildung 15

$$R(f) = \begin{cases} 20\log\left(\dfrac{2\pi f \cdot m'}{3{,}8 \cdot \rho_0 \cdot c_0}\right) & \text{für} \quad f < 0{,}5\, f_g \\ 20\log\left(\dfrac{\pi\, f\, m'}{c_0\, \rho_0}\right) + 10\log\left(\dfrac{2\eta\, f}{\pi\, f_g}\right) & \text{für} \quad f > f_g \end{cases} \tag{24}$$

Gleichung 24 : Schalldämm-Maß R in Abhängigkeit der Frequenz f für Einfachwände mit

f_g Koinzidenzfrequenz in Hz nach Gleichung 2
m' flächenbezogene Masse der Einfachwand in kg/m²
ρ_0, c_0 Dichte und Schallgeschwindigkeit von Luft in kg/m³ bzw. m/s
η Verlustfaktor der Beplankung

Im Bereich zwischen 0,5 f_g und f_g nimmt Sharp eine geradlinige Verbindung an.

$$R(f) = \min \begin{cases} R_1 + R_2 + 20\log(f\, d) \\ 20\log\left(\dfrac{2\pi f \cdot m'_{1+2}}{3{,}8 \cdot \rho_0 \cdot c_0}\right) + \Delta R \end{cases} \quad \text{für} \quad f > f_r \tag{25}$$

mit :

$$\Delta R = 10\log(b\, f_{g,2}) + 20\log\left(\frac{m_1}{m_1 + m_2}\right) - 18\,dB$$

$$f_r = 113\sqrt{\frac{m'_1 + m'_2}{2\, d\, m'_1\, m'_2}}$$

Gleichung 25 : Schalldämmung R in Abhängigkeit der Frequenz f einer gedämmten Doppelwand **mit Kopplung** durch Ständer

f_r Doppelwandresonanz in Hz
b Achsabstand der Ständer
$f_{g,2}$ die **höhere** Koinzidenzfrequenz der Wandbeplankungen in Hz
m'_1 flächenbezogene Massen der Wandbeplankungen 1 und 2 in kg/m2
m'_{1+2} Summe der flächenbezogenen Massen der Wandbeplankungen in kg/m2
d lichter Abstand der Wandbeplankungen in m
R_1, R_2 Schalldämmung der Beplankung 1 bzw. 2

Anmerkung zur Nummerierung der Platten:

Bei asymmetrischen Beplankungen ist die Nummerierung der Platten so durchzuführen, dass die Platte mit der höheren Koinzidenzfrequenz die Nummer 2 erhält.

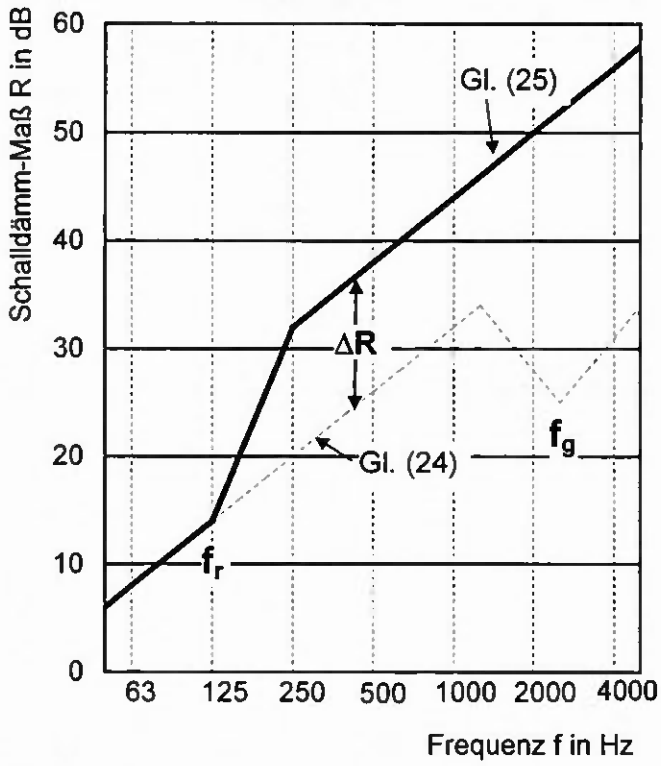


Abbildung 15:
Prinzipieller Verlauf der berechneten Schalldämmung einer Doppelwand nach Sharp [24] mit Kopplung
Hierbei bedeuten:

f_r	Doppelwandresonanz
f_g	Koinzidenzfrequenz
ΔR	Verbesserung der Schalldämmung gegenüber dem Massegesetz
- - - -	Einfachwand nach Gleichung 24 (mit $m' = m_1+m_2$)
——	Doppelwand mit Ständer nach Gleichung 25.

5 Prognosemodelle

Berechnung nach Davy

Davy gibt in [22] unter Berücksichtigung weiterer Arbeiten [28],[31],[34] eine Weiterentwicklung des Verfahrens nach Sharp an, indem er die Schallübertragung oberhalb der Doppelwandresonanz strikt in den Pfad durch das Gefach und den Pfad über den Ständer unterteilt. Die Schalldämmung der Wand errechnet sich aus der Summe der einzelnen Schalltransmissionsgrade:

$$R(f) = -10\log(\tau) \qquad \text{für} \quad f < f_r$$
$$R(f) = -10\log(\tau_a + \tau_s) \qquad \text{für} \quad f > f_r \tag{26}$$

Gleichung 26 : Schalldämmung R in Abhängigkeit der Frequenz f aus den Schalltransmissionsgraden τ, τ_a (Gefach) und τ_s (Ständer)

Der Schalltransmissionsgrad τ der kompletten Wand berechnet sich unterhalb der Doppelwandresonanz nach Gleichung 27 in der der begrenzende Schalleinfallswinkel θ_l nach [28] berücksichtigt wird.

Oberhalb der Doppelwandresonanz wird die Schalltransmission τ_a durch das Gefach in 2 Frequenzbereiche eingeteilt:

Bereich 1: $f_r < f < f_g$ (Doppelwandresonanz bis Koinzidenzfrequenz)

Bereich 2: $f \geq f_g$ (oberhalb der Koinzidenzfrequenz)

Für den Frequenzbereich zwischen der Doppelwandresonanz und der kleineren Koinzidenzfrequenz wird zusätzlich die Schallabsorption der Hohlraumdämmung berücksichtigt (siehe Gleichung 28)

Oberhalb der Koinzidenzfrequenz berechnet sich die Schalltransmission nach Gleichung 29.

Die Formulierung für die Schalltransmission durch den Ständer τ_s basiert auf [24],[31] und [34]. Durch die Berücksichtigung der Kopplungssteifigkeit des Ständers können unterschiedliche Ständertypen (Holzständer, Metallständer) berücksichtigt werden. Die Berechnung erfolgt nach Gleichung 30.

$$\tau(f) = \frac{1}{a^2}\ln\left(\frac{1+a^2}{1+a^2\cos^2\theta_l}\right) \qquad \textit{für} \quad f < f_r \qquad (27)$$

mit :

$$a = \frac{2\pi f(m_1+m_2)}{2\rho_0 c_0}$$

$$f_r = \frac{c_0}{2\pi}\sqrt{\frac{\rho_0(m_1+m_2)}{d\cdot m_1 m_2}}$$

$$\cos^2\theta_l = \frac{\lambda}{2\pi\sqrt{A}}$$

Gleichung 27 : Schalltransmissionsgrad τ für die Doppelwand unterhalb der Doppelwand-resonanz f_r

f	Frequenz in Hz
m'_1, m'_2	flächenbezogene Massen der Beplankungen in kg/m²
ρ_0, c_0	Dichte und Schallgeschwindigkeit von Luft in kg/m³ bzw. m/s
d	lichter Abstand der Wandbeplankungen in m
A	Fläche der Wand in m²
λ	Wellenlänge in m: $\lambda = c_0/f$

$$\tau_a(f) = \frac{1-\cos^2\theta_l}{(q+p\cdot\cos^2\theta_l)(q+p)} \qquad \textit{für} \quad f_r < f < f_g \qquad (28)$$

mit :

$$q = \frac{1}{2}\left(\frac{m_2}{m_1}+\frac{m_1}{m_2}\right)$$

$$p = a_1\, a_2\, \alpha$$

$$a_i = \frac{2\,\pi\, f\, m_i}{2\rho_0 c_0}\left[1-\left(\frac{f}{f_{g,i}}\right)^2\right]$$

Gleichung 28 : Schalltransmissionsgrad τ_a für das Gefach im Frequenzbereich zwischen der Doppelwandresonanz f_r und der *Koinzidenzfrequenz* f_g

f	Frequenz in Hz
m'_1, m'_2	flächenbezogene Massen der Beplankungen in kg/m²
ρ_0, c_0	Dichte und Schallgeschwindigkeit von Luft in kg/m³ bzw. m/s
$\cos^2\theta_l$	nach Gleichung 27
α	Schallabsorptionsgrad der Hohlraumdämmung

5 Prognosemodelle

$$\tau_a(f) = \frac{\pi\,(\xi_1 + \xi_2)\,n}{4\,B_1^2\,B_2^2\,\eta_1\,\eta_2\,\xi_1\,\xi_2\,(n^2 + v^2)\,\alpha^2} \qquad \textit{für} \quad f > f_g \tag{29}$$

mit :

$$B_i = \frac{2\,\pi\,f\,m_i}{2\,\rho_0\,c_0}$$

$$\xi_i = \sqrt{\frac{f}{f_{g,i}}}$$

$$n = \eta_1\,\xi_2 + \eta_2\,\xi_1$$

$$v = 4\,(\eta_1 - \eta_2)$$

Gleichung 29 : Schalltransmissionsgrad τ_a für das Gefach in Abhängigkeit der Frequenz f oberhalb der *Koinzidenzfrequenz* f_g

f	Frequenz in Hz
α	Schallabsorptionsgrad der Hohlraumdämmung
ρ_0, c_0	Dichte und Schallgeschwindigkeit von Luft in kg/m³ bzw. m/s
m'_i	flächenbezogene Massen der Beplankungen in kg/m²
η_1, η_2	Verlustfaktoren der Beplankungen ($\eta_i = \eta_{int} + \eta_{Strahlung}$)

$$\tau_s(f) = \frac{64\,\rho_0^2\,c_0^3\,D}{\left[g^2 + (4\,(2\pi f)^{1,5}\,m_1\,m_2\,c_0\,C_M - g)^2\right]b\,(2\pi f)^2} \qquad \textit{für} \quad f > f_r \tag{30}$$

mit :

$$g = m_1\sqrt{2\pi f_{g,2}} + m_2\sqrt{2\pi f_{g,1}} \qquad f_{g,1} \le f_{g,2}$$

$$D = (1 + e_1)(1 + r_2)$$

$$e_i = \frac{\pi\,f_{g,i}\,\sigma_i}{4\,f\,\eta_{i\ \ 1}}$$

$$r_i = \frac{\sigma_i}{2\eta_i}\sqrt{\frac{f_{g,i}}{f}}$$

Gleichung 30 : Schalltransmissionsgrad τ_s für die Übertragung durch den Ständer in Abhängigkeit der Frequenz f

f	Frequenz in Hz
ρ_0, c_0	Dichte und Schallgeschwindigkeit von Luft in kg/m³ bzw. m/s
m'_i	flächenbezogene Massen der Beplankungen in kg/m²
η_1, η_2	Verlustfaktoren der Beplankungen ($\eta_i = \eta_{intern} + \eta_{Strahlung}$)
f_g	Koinzidenzfrequenz in Hz
C_M	Inverse Kopplungssteifigkeit des (Holz-)Ständers in m²/N
σ_i	Abstrahlgrad

5.2.1 Abgleich mit Originalliteratur

Zunächst wurde die korrekte Eingabe der Berechnungsformeln anhand eines Berechnungsbeispiels aus der Originalliteratur überprüft. Der Vergleich ist in Abbildung 16 dargestellt.

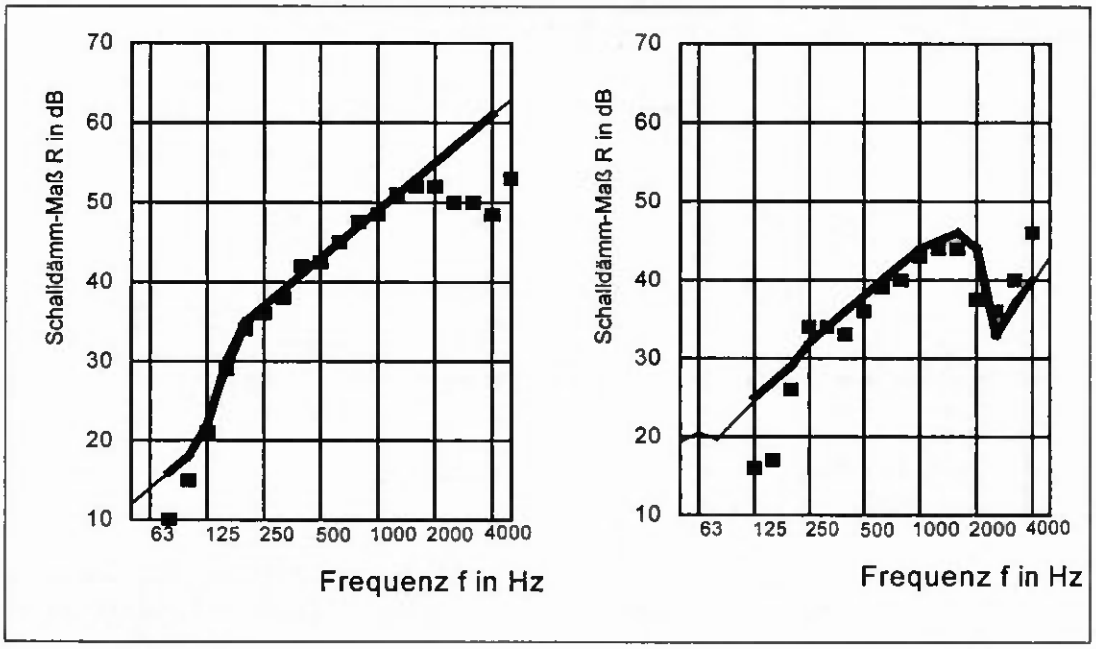


Abbildung 16:
Verifizierung der programmierten Berechnungsformeln an einem Berechnungsbeispiel aus der Originalliteratur. Links die Berechnung nach Sharp [24]. Rechts die Berechnung nach Davy [23].

▪ ▪ ▪ Messwerte aus der Originalliteratur
—— Berechnung in der Originalliteratur
—— eigene Berechnung

Die für diesen Abgleich verwendeten Eingangsdaten aus der Originalliteratur können Tabelle 6 entnommen werden. Die fehlenden Angaben zur Hohlraumtiefe und den Koinzidenzfrequenzen wurden aus den Einbrüchen der berechneten Kurven ermittelt.

Für die Berechnung nach Davy wurde der Abstrahlgrad σ_l nach DIN EN 12354-01 [4] frequenzabhängig berechnet und nach oben auf 1 beschränkt ($\sigma_l \leq 1{,}0$). Der Verlustfaktor η_l wurde - wie in der Originalliteratur - als konstanter Wert über der Frequenz angenommen.

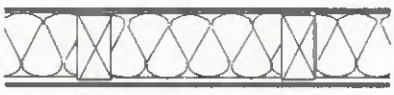
Tabelle 6 : Eingangsdaten für den Abgleich mit der Berechnung aus der Originalliteratur

Berechnung nach [24]:				Berechnung nach [23]:			
m_1	= 12,6 kg/m²	m_2	= 7,3 kg/m²	m_1	= 12,8 kg/m²	m_2	= 12,8 kg/m²
$f_{g,2}$	= 4000 Hz			$f_{g,1}$	= 2500 Hz (fehlt)	$f_{g,2}$	= 2500 Hz (fehlt)
b	= 0,61 m			b	= 0,40 m		
d	= 0,12 m (fehlt)			d	= 0,1 m (fehlt)		
				η_1	= 0,4 (const.)	η_2	= 0,4 (const.)
				α	= 1		
				C_M	= 0	A	= 2,44 x 3,05 m²

5.2.2 Abgleich mit Prüfergebnissen

Um eine Aussage über die Genauigkeit der Verfahren zu erhalten wurden die Berechnungen für 96 Grundwände aus der LSW - Datenbank durchgeführt. Eine Darstellung dieser Grundwände mit der Angaben zur Variationsbreite ist in Tabelle 7 angegeben.

Tabelle 7 : Grundwände mit Angaben zur Variationsbreite der Konstruktion



9,5 ... 16 mm	Gips- o. Holzwerkstoffplatte
60 ... 160 mm	Holzständer, e = 155...1250 mm
0 ... 160 mm	Hohlraumdämmung
9,5 ... 16 mm	Gips- o. Holzwerkstoffplatte

Für die Berechnung nach Sharp konnten nur Wände mit Hohlraumdämmung berechnet werden (n = 77), da das Berechnungsmodell von einem absorbierenden Hohlraum ausgeht.

Bei der Berechnung nach Davy wurde für Wandaufbauten mit Hohlraumdämmung α = 1 gesetzt; für Wandaufbauten ohne Hohlraumdämmung α = 0,2.
Die Materialdaten für die Beplankungen wurden Tabelle 5 entnommen. Als interner Verlustfaktor wurde η_{int} = 0,01 angesetzt. Die Berechnung des Gesamtverlustfaktors aus dem inneren Verlustfaktor und den Strahlungsverlusten ($\eta_i = \eta_{int} + \eta_{Strahlung}$) erfolgte bei diesem Vergleich jedoch frequenzabhängig nach DIN EN 12354-01 [4]. Die Holzständer wurden wie in [23] vorgeschlagen als steif angesetzt (C_M = 0).

Die Differenzen zwischen Messung und Berechnung sind in Abbildung 17 dargestellt.

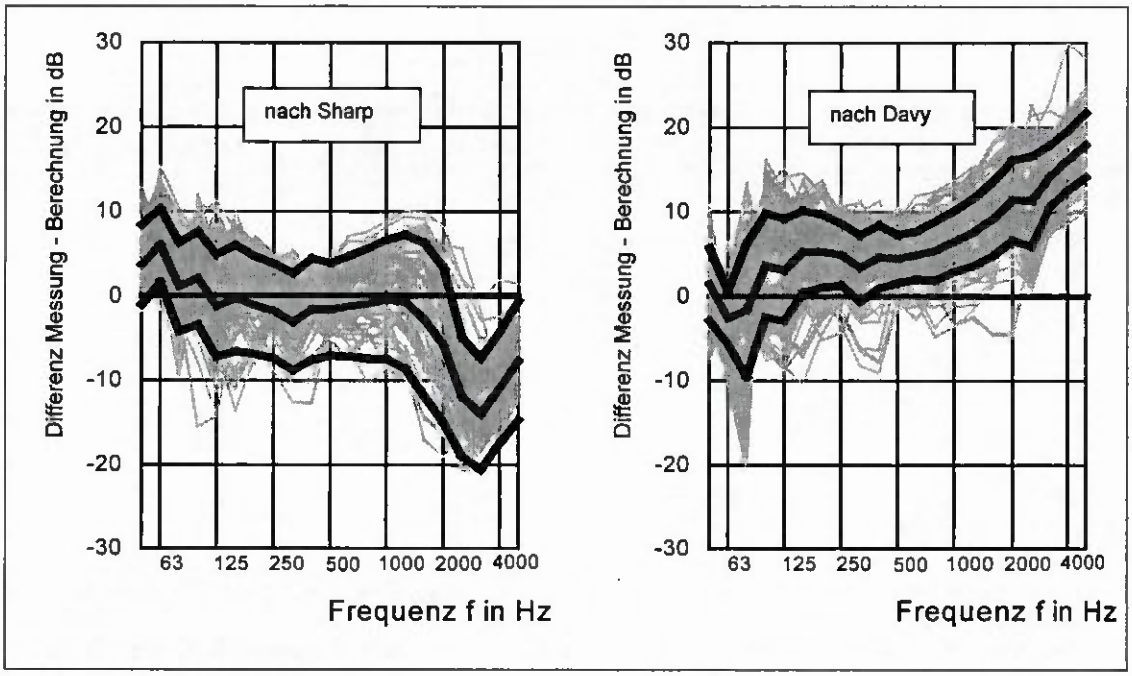


Abbildung 17:
Frequenzabhängige Differenz zwischen der berechneten Schalldämmung und den Messwerten.
—— Frequenzabhängiger Mittelwert
—— Frequenzabhängiger Mittelwert +/- Standardabweichung

Berechnung nach Sharp [24]		Berechnung nach Davy [22], [23].	
Anzahl	n = 77	Anzahl	n = 96
mittlere Abweichung	x_{Rw} = -1dB,	mittlere Abweichung	x_{Rw} = 6 dB
Standardabweichung	σ_{Rw} = 3,0 dB	Standardabweichung	σ_{Rw} = 3,0 dB

Beide Modelle weisen beträchtliche Abweichungen – sowohl frequenzabhängig als auch im Einzahlwert (R_w) auf. Die Standardabweichung der Einzahlwerte liegt ungefähr in der gleichen Größe wie bei den Untersuchungen von Hongisto [27] ($\sigma_{Rw} \approx 4$ dB). Die frequenzabhängigen Abweichungen der Berechnung nach Sharp weist im Frequenzbereich von 50 – 100 Hz positive Abweichungen auf (Berechnung zu konservativ) im Bereich der ersten Platteneigenfrequenzen haben beide Modelle negative Abweichungen zwischen - 10 und - 20 dB (Berechnung zu optimistisch). Im Bereich der Koinzidenzfrequenz ist das Modell von Sharp ungültig. Das Modell nach Davy weist ab ca. 500 Hz einen systematischen Anstieg der Abweichung auf. Eine bessere Übereinstimmung der Berechnung nach Davy im oberen Frequenzbereich lässt sich nur durch eine Anhebung der Materialdämpfung auf unrealistisch hohe Werte (η_{int} = 0,04 – 0,1) oder durch eine Herabsetzung der Kopplungssteifigkeit durch den Ständer ($\Rightarrow C_M > 0$) erzwingen.

5.2.3 Erweiterung der Modelle

Für die Erweiterung der beiden Berechnungsmodelle kann auf verschiedene Vorschläge aus der Literatur zurückgegriffen werden [25],[30],[31].
nachfolgend werden die einzelnen Vorschläge aufgegriffen und in die Modelle integriert.

Erweiterung der Berechnung nach Sharp

a) Berücksichtigung der erzwungenen Schwingung für die niederfrequente Schalldämmung

Ballagh schlägt in [25] vor, das Massegesetz nach Gleichung 24 für f < 200 Hz um den Anteil der erzwungenen Schwingung zu ergänzen. Hierzu leitet er nach Sewell [28] ein ΔR ab das zum Schalldämm-Maß R der Einfachwand zu addieren ist.
In der Summe ergibt sich ein Zusammenhang, der der Berechnung der Einfachwand nach DIN EN 12354-01 [4] entspricht, in der die Ansätze von Sewell und Josse, Lamure [29] vereint werden (Zur Formulierung siehe [4], Anhang B). Der Einfluss der erzwungenen Schwingung wird in Abbildung 18 für eine einseitige Beplankung auf einem Ständerwerk gezeigt.

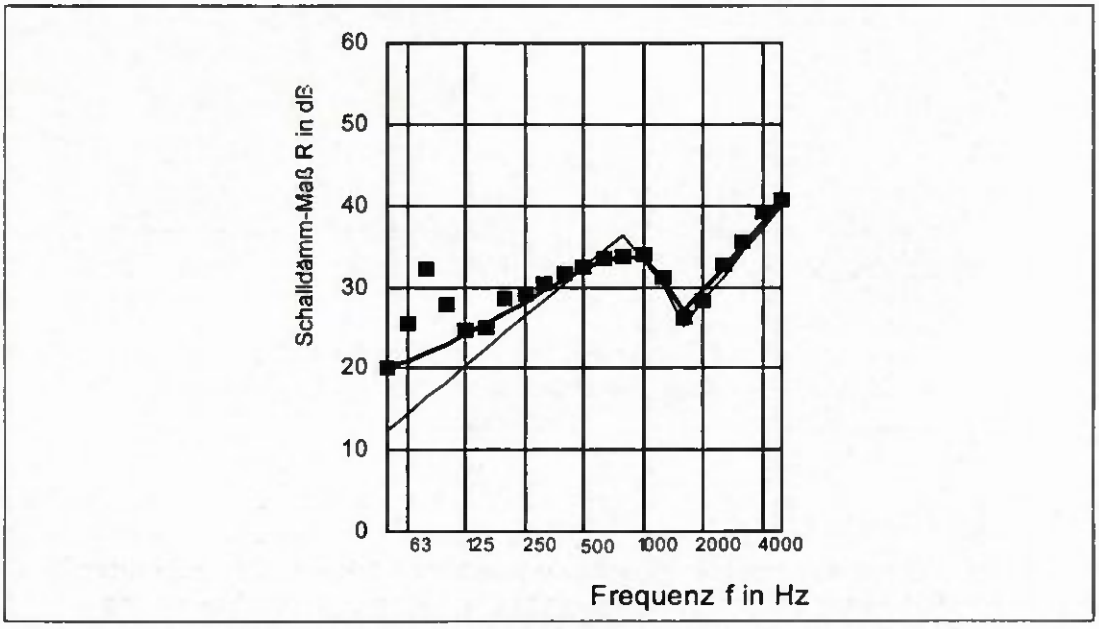


Abbildung 18:
Berechnung der Schalldämmung einer Wandbeplankung (16 m Zementgebundene Spanplatte, m' 21 kg/m², f_g = 1660 Hz) auf Holzständern (Achsabstand 0,625 m)
■ ■ ■ Messwerte
—— Berechnung nach Gleichung 24
—— Berechnung nach DIN EN 12354-01 [4]

Um die Schalldämmung der Doppelwand (unterhalb der Doppelwandresonanz) aus den Schalldämm-Maßen R_i der Einzelplatten berechnen zu können wird folgende Umformung gewählt:

$$
\begin{aligned}
R(f) &= 20\log\left(\frac{2\pi f \cdot m'_{1+2}}{3{,}8 \cdot \rho_0 \cdot c_0}\right) \\
&= 20\log\left(\frac{2\pi f \cdot m'_{1+2}\sqrt{m'_1\, m'_2}}{3{,}8 \cdot \rho_0 \cdot c_0 \cdot m'_{1+2}}\right) + 20\log\left(\frac{m'_{1+2}}{\sqrt{m'_1\, m'_2}}\right) \\
&= 10\log\left(\frac{2\pi f \cdot m'_1}{3{,}8 \cdot \rho_0 \cdot c_0 \cdot}\right) + 10\log\left(\frac{2\pi f \cdot m'_2}{3{,}8 \cdot \rho_0 \cdot c_0}\right) + 20\log\left(\frac{m'_{1+2}}{\sqrt{m'_1 \cdot m'_2}}\right) \\
&= 0{,}5R_1 + 0{,}5R_2 + 20\log\left(\frac{m'_{1+2}}{\sqrt{m'_1 \cdot m'_2}}\right)
\end{aligned}
\tag{31}
$$

Gleichung 31 : Berechnung der Schalldämmung der Doppelwand unterhalb der Doppelwandresonanz aus den Schalldämm-Maßen R_i der Einzelplatten

Um der Einfluss der erzwungenen Schwingung zu erfassen kann für R_i nun näherungsweise das Schalldämm-Maß der Einzelplatte nach DIN EN 12354-01 eingesetzt werden.

b) Berücksichtigung des Koinzidenzfrequenzeinbruchs im Kurvenverlauf

Für den Einbruch der Koinzidenzfrequenz macht Bies [30] einen empirischen Ansatz aus dem Verlustfaktor der Platte und der Unterscheidung zwischen symmetrischen Wandaufbauten ($f_{g1} = f_{g2}$) oder asymmetrischen ($f_{g1} \neq f_{g2}$) Wandaufbauten.

Alternativ kann die in Gleichung 31 gewonnene Beziehung in Gleichung 25 eingesetzt werden, um eine Aussage der Schalldämmung im Bereich der Koinzidenzfrequenz zu erhalten. Dies wurde in umgesetzt.

c) Berücksichtigung der Hohlraumdämmung

Das Modell nach Sharp geht von einem ideal absorbierendem Hohlraum aus. Für leere Hohlräume bei Ständerwänden schlägt Bies [30] vor die Verbesserung durch die Doppelwand $\Delta R = 0$ zu setzen. Ballagh [25] modifiziert Sharps Formulierung für die Doppelwand **ohne** Kopplung mit einem Ansatz von Fahy [31] der den Real- und Imaginärteil des Ausbreitungskoeffizienten zur Berücksichtigung der Absorption im Hohlraum verwendet. Der Ansatz von Fahy wird sinngemäß für die Berechnung der Ständerwand in Gleichung 32 übernommen. Die Auswirkung der Ergänzung wird in Abbildung 19 dargestellt.

5 Prognosemodelle

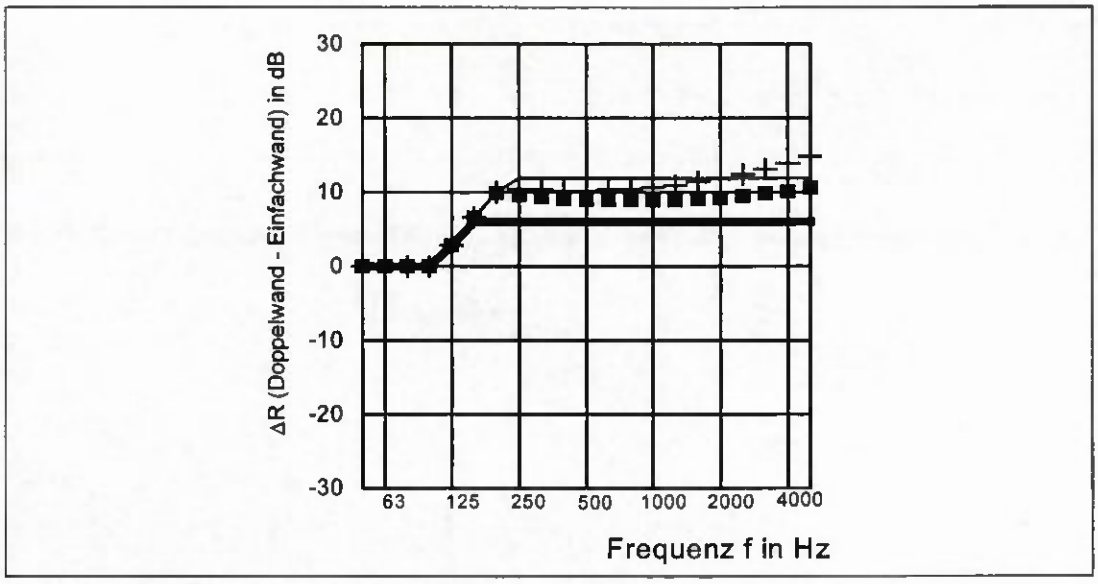


Abbildung 19:
Frequenzabhängige Verbesserung der Schalldämmung ΔR einer Doppelwand gegenüber einer gleich schweren Einfachwand; am Beispiel einer Holzständerwand mit 100 mm Ständertiefe und variabler Dämmstoffdicke

—— Ursprüngliche Berechnung nach [24] bzw. Gleichung 25
—— Berechnung nach Gleichung 32 Hohlraum leer
▪ ▪ ▪ Berechnung nach Gleichung 32 Hohlraum mit 50 mm Dämmstoff
+ + + Berechnung nach Gleichung 32 Hohlraum mit 100 mm Dämmstoff

d) Berücksichtigung der 1. Platteneigenfrequenz

Die Formulierung nach Sharp geht davon aus, dass die modale Kopplung der Wandbeplankungen durch den hochabsorbierendem Hohlraum vernachlässigbar wird. Der Einfluss der Platteneigenfrequenzen auf die Schalldämmung einer Ständerwand ist jedoch beträchtlich, wie in Abschnitt 4.1.1 gezeigt wurde. Abbildung 21 zeigt die Schalldämmung von zwei gedämmten Holzständerwänden, die sich nur im Achsabstand der Ständer unterscheiden. Der Einbruch der ersten Platteneigenfrequenz ist deutlich zu erkennen und stimmt gut mit der Berechnung nach Gleichung 4 überein.

Die Doppelwandresonanz der Wand (rechnerisch bei 69 Hz) ist bei der linken Abbildung nicht zu erkennen. Im rechten Bild zeigt sich hingegen der erwartete Einbruch und die darauffolgende Steigung mit ca. 18 dB/Oktave.

Bedenkt man, dass für die Doppelwandresonanz und die 1. Platteneigenfrequenz die gleiche Schwingungsform zu erwarten ist, so ist es nicht verwunderlich, dass die Doppelwandresonanz nur schwach ausgeprägt ist, solange die 1. Platteneigenfrequenz oberhalb der Doppelwandresonanz liegt.

Für die Berechnungsmodelle heißt dies, dass der Anstieg mit 18 dB/Oktave erst oberhalb der höheren der beiden Resonanzfrequenzen (Doppelwand- oder 1. Platteneigenfrequenz) zu erwarten ist.

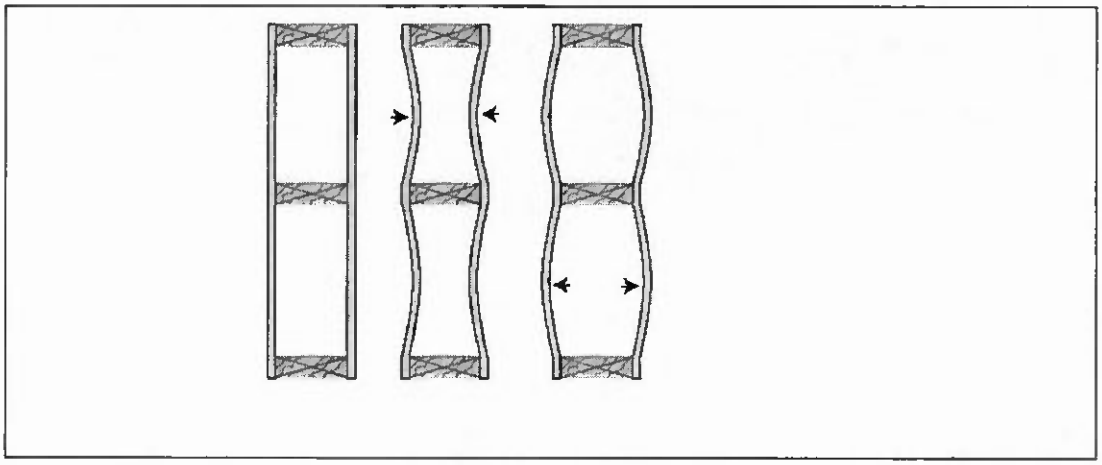


Abbildung 20:
Schwingungsform der Wandbeplankung einer Holzständerwand bei der 1. Platteneigenfrequenz und der Doppelwandresonanz.

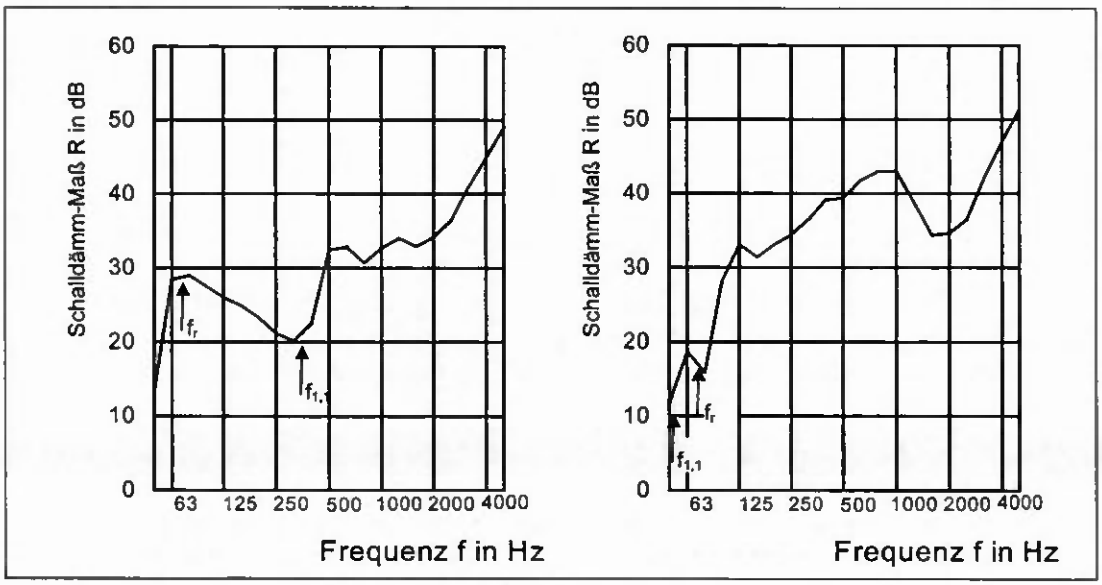


Abbildung 21:
Schalldämmung einer Holzständerwand (160 mm Ständerwerk mit 140 mm Hohlraumdämmung) beidseitig mit 15 mm OSB beplankt. Doppelwandresonanz f_r = 69 Hz nach (32) Achsabstand der Ständer variabel

linke Seite:
Achsabstand b = 313 mm
1. Platteneigenfrequenz $f_{1,1}$ = 383 Hz

rechte Seite:
Achsabstand b = 815 mm
1. Platteneigenfrequenz $f_{1,1}$ = 53 Hz

5 Prognosemodelle

Zusammenfassung der Punkte a) – d):

(32)

$$R(f) = \frac{R_1 + R_2}{2} + 20\log(\frac{m'_{1+2}}{\sqrt{m'_1 \cdot m'_2}}) \qquad \text{für} \quad f < \sqrt{2} f_{res}$$

$$R(f) = \min \begin{cases} R_1 + R_2 + 20\log(f\,d) \\ \frac{R_1 + R_2}{2} + 20\log(\frac{m'_{1+2}}{\sqrt{m'_1 \cdot m'_2}}) + \Delta R \end{cases} \qquad \text{für} \quad f \geq \sqrt{2} f_{res}$$

mit :

$$\Delta R = 10\log(b\, f_{g,2}) + 20\log(\frac{m_1}{m_{1+2}}) - 18 - 6dB + 8{,}6\alpha d_D + 20\log(\frac{\beta}{k})$$

$$f_{res} = \max \begin{cases} f_r = \frac{c_0}{2\pi}\sqrt{\frac{1{,}8 \cdot \rho_0 (m_1 + m_2)}{d \cdot m_1 m_2}} \\ f_{1,1} = \frac{\gamma \cdot 10^3}{h^2 \cdot f_{g,1}} \end{cases}$$

$$\alpha = 0{,}098\, f^{0{,}542}$$

$$\beta = \begin{cases} (1 + 19{,}05\, f^{-0{,}705}) \cdot k & \text{für } d_D > 0 \\ k & \text{für } d_D = 0 \end{cases}$$

$$\gamma = 72{,}726(\frac{h}{b})^2 - 41{,}63(\frac{h}{b}) + 78{,}508$$

Gleichung 32 : Schalldämmung R in Abhängigkeit der Frequenz f einer gedämmten Doppelwand **mit Kopplung** durch Ständer, erweitertes Modell von Sharp

R_i	frequenzabhängiges Schalldämm-Maß der einzelnen Wandbeplankungen berechnet nach EN 12354-01
ΔR	Verbesserung der Doppelwand gegenüber der (gleichschweren) Einfachwand
b	Achsabstand der Ständer
$f_{g,2}$	die **höhere** Koinzidenzfrequenz der Wandbeplankungen in Hz
m'_i	flächenbezogene Massen der Wandbeplankungen 1 und 2 in kg/m²
m'_{1+2}	Summe der flächenbezogenen Massen der Wandbeplankungen in kg/m2
d	lichter Abstand der Wandbeplankungen in m
d_D	Dicke des Hohlraumdämmstoffes in m
f_{res}	Resonanzfrequenz, ab der die 18 dB/Oktave Steigung einsetzt. Definiert als Maximum der Doppelwandresonanz oder der 1. Platteneigenfrequenz in Hz nach [5]
ρ_0, c_0	Dichte und Schallgeschwindigkeit von Luft in kg/m³ bzw. m/s
k	Wellenzahl
$-6\,dB + 8{,}6\,\alpha d_D + 20\log(\beta/k)$	Anteil der Hohlraumdämmung in Anlehnung an [31]
α,β	Real- und Imaginärteil des Ausbreitungskoeffizienten für Hohlraumdämmstoffe Zahlenwerte nach [32] für übliche Hohlraumdämmstoffe berechnet

Erweiterung der Berechnung nach Davy

a) Berücksichtigung der Steifigkeit des Ständers

Abbildung 17 zeigt ab ca. 500 Hz einen deutlichen Anstieg der Differenzen zwischen der Messung und der Berechnung der Schalldämmung. Unterscheidet man bei diesen Differenzkurven nach der Befestigungsart der Wandbeplankung auf den Holzständern, so ergibt sich der in Abbildung 22 dargestellte Zusammenhang.

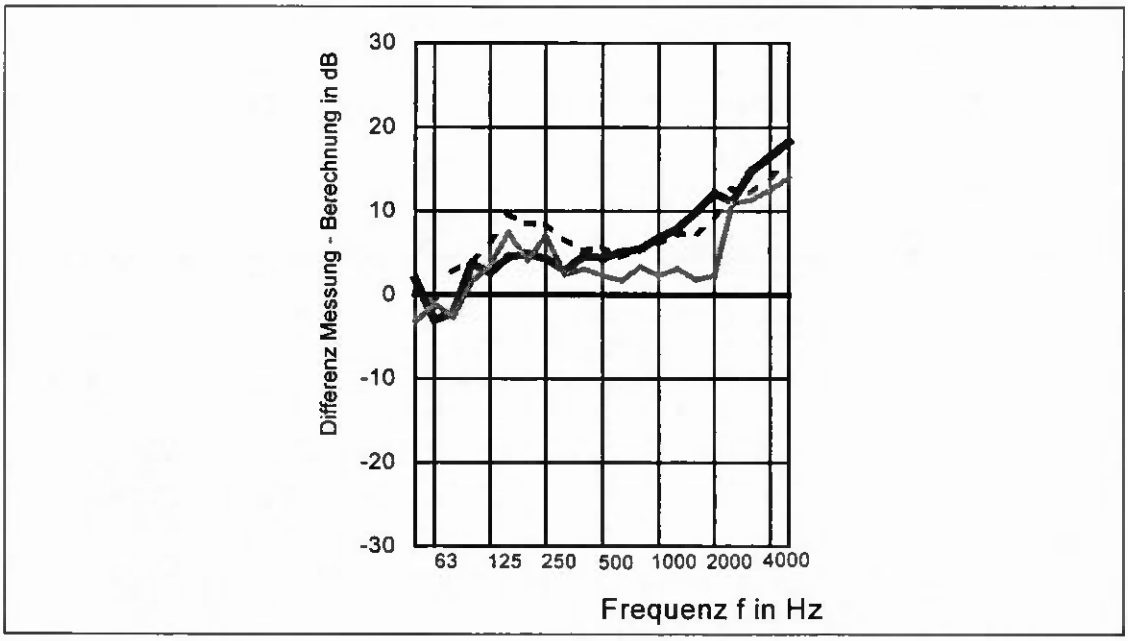


Abbildung 22:
Frequenzabhängige Differenz zwischen der berechneten Schalldämmung und den Messwerten für 96 Wandaufbauten; unterteilt nach Art der Verbindung zwischen Beplankung und Holzständer.
— Beplankung auf Ständer geschraubt n = 80
- - - Beplankung auf Ständer geklammert n = 12
— Beplankung mit Ständer verleimt n = 4

Interpretiert man den Holzständer als Feder, der die Beplankungsmassen koppelt, so kann man für einen z.B. 10 cm tiefen Ständer (Nadelholz) seine dynamische Steifigkeit mit Zahlenwerten nach DIN EN 338 abschätzen mit:

$$s' \approx E_z/d \approx E_x/30d \approx 11\,000/3 = 3\,670 \text{ MN/m}^3$$

Die auf die Ständerfläche konzentrierten Massen einer Beplankung mit 7 kg/m² ergeben sich bei einem Achsabstand von 62,5 cm und einer Ständerbreite von 6 cm zu:

$$m'_{eq} \approx m' \, e/b \approx 7 * 0{,}625/0{,}06 = 73 \text{ kg/m}^2$$

Die Resonanzfrequenz (Platte/Ständer/Platte) ergibt sich somit zu:

$$f_r = 1600 \text{ Hz}$$

Oberhalb von 1600 Hz ist also eine geringere Kopplung der Beplankungen durch den Ständer zu erwarten. Bei den Differenzkurven trifft dies nur für die starre Verleimung der Wandbeplankung mit dem Ständer zu. Die punktuelle, und weniger steife Befestigung durch Schrauben oder Klammern setzt die Gesamtsteifigkeit der Kopplung zwischen den Wandbeplankungen weiter herab.

Aus diesen Erkenntnissen heraus wird die inverse Kopplungssteifigkeit C_M des Ständers für verleimte Beplankungen ermittelt aus:

$$C_M = (E_z * b_{Ständer}/d_{Ständer})^{-1} = (370*10^6*0{,}06/d_{Ständer})^{-1}$$

Zur Berücksichtigung der geringeren Kopplungssteifigkeit bei geschraubten oder geklammerten Beplankungen wurde C_M dort mit dem Faktor 10 multipliziert.

c) Berücksichtigung der 1. Platteneigenfrequenz

Für die Berücksichtigung der Platteneigenfrequenzen wurden die selben Maßnahmen ergriffen, wie bei der Berechnung nach Sharp.

d) Berücksichtigung des Gesamtverlustfaktors

Beim Gesamtverlustfaktor einer Holzständerwand spielen die Verluste über den Wandanschluss zum Baukörper eine nicht zu vernachlässigende Rolle. Messungen des Gesamtverlustfaktor an Holzständerwänden im Labor und am Bau durch Schumacher und Saß [36] zeigten, dass die geringen Differenzen der Körperschallnachhallzeit zwischen Prüfstand und Bausituation eine Umrechnung der Schalldämmung zwar überflüssig machen, als Absolutwerte sind sie jedoch im Berechnungsmodell zu berücksichtigen.
Der Gesamtverlustfaktor wurde für die Berechnung wie folgt berechnet:

$$\eta_{tot} = \eta_{intern} + \eta_{Strahlung} + \eta_{Rand}$$

Als interne Verluste wurde $\eta_{intern} = 0{,}01 - 0{,}02$ angenommen
Die Strahlungsverluste $\eta_{Strahlung}$ wurden nach DIN EN 12354-01 [4] berechnet
Die Randverluste wurden aus der Körperschallnachhallzeit in Abbildung 23 nach nach Abzug von $\eta_{intern} + \eta_{Strahlung}$ ermittelt. Der Gesamtverlustfaktor wurde für beide Verfahren verwendet.

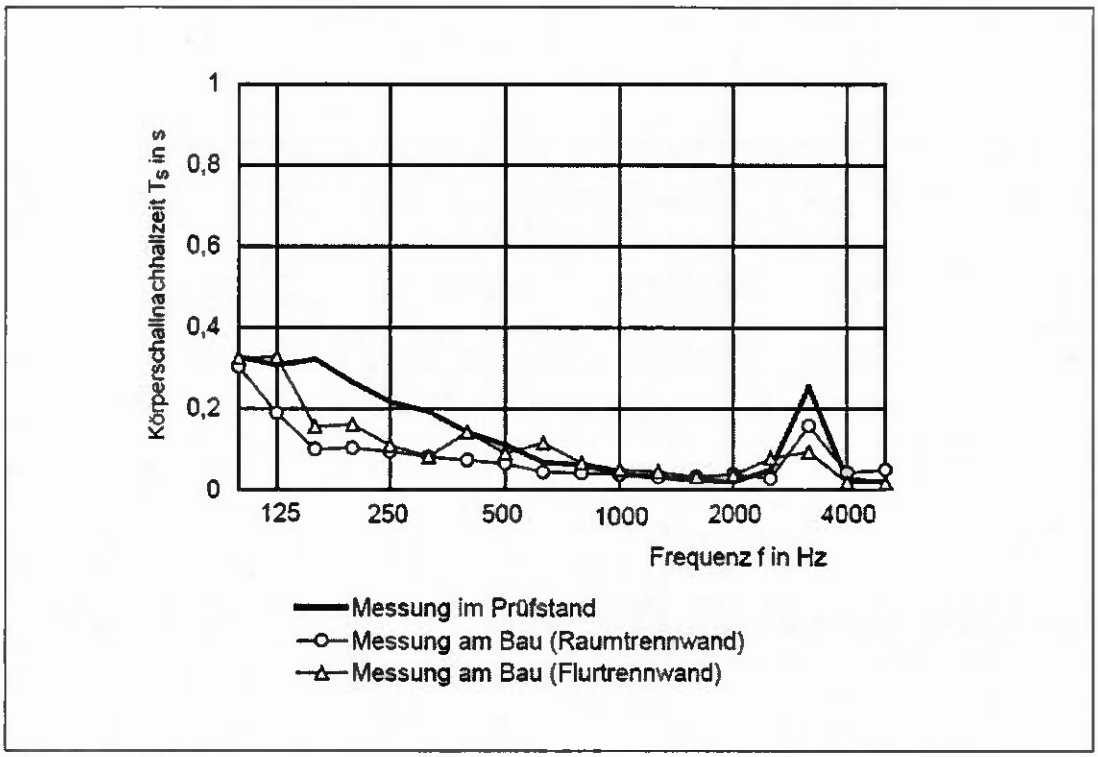


Abbildung 23:
Körperschallnachhallzeiten von Holzständerwänden im Prüfstand und am Bau nach [36]

5.2.4 Abgleich der erweiterten Modelle mit Prüfergebnissen.

Abschließend wurden die erweiterten Berechnungsverfahren erneut mit den 96 Messergebnissen für die Grundwände abgeglichen. Die Berechnungen erfolgten analog zu Abschnitt 5.2.2 mit den zuvor beschriebenen Veränderungen im Verfahren und den Eingangsgrößen. Abbildung 24 zeigt die frequenzabhängigen Differenzen zwischen der Berechnung und den Prüfergebnissen.

Die mittleren Abweichungen zwischen der Berechnung und der Messung konnten durch die Erweiterung der Modelle deutlich reduziert werden. Die Standardabweichung im bewerteten Schalldämm- Maß der erweiterten Modelle beträgt bei dem Modell nach Sharp σ_{Rw} = 2,4 dB bei einer mittleren Abweichung von x_{Rw} = 0,2 dB. Bei dem modifizierten Modell nach Davy beträgt die Standardabweichung σ_{Rw} = 2,7 dB bei einer mittleren Abweichung von x_{Rw} = 2,3 dB.

Unbefriedigend ist nach wie vor die Beschreibung der Resonanzeinbrüche durch die modale Kopplung zwischen den Wandbeplankungen. Insbesondere für Wandbeplankungen aus Holzwerkstoffplatten mit einem hohen E-Modul und eher geringerer Dämpfung wäre ein Modell erforderlich, das die modale Kopplung berücksichtigt (siehe hierzu Abbildung 25).

5 Prognosemodelle

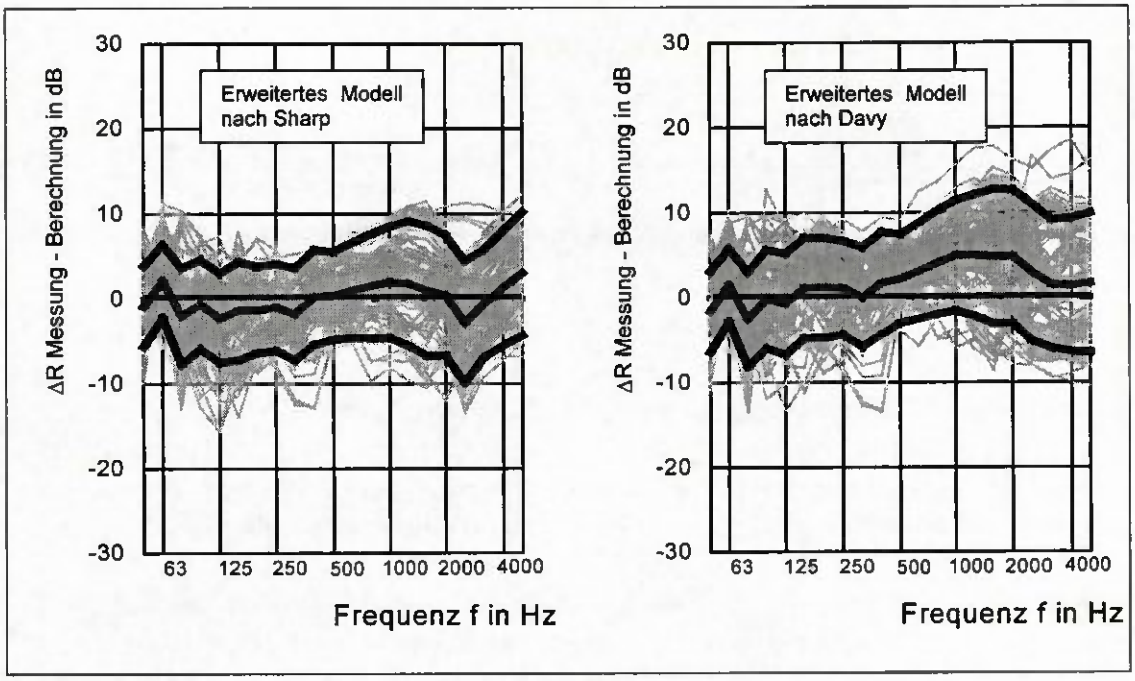


Abbildung 24:
Frequenzabhängige Differenz zwischen der Berechnung und den Messwerten.
—— Frequenzabhängiger Mittelwert
—— Frequenzabhängiger Mittelwert +/- Standardabweichung

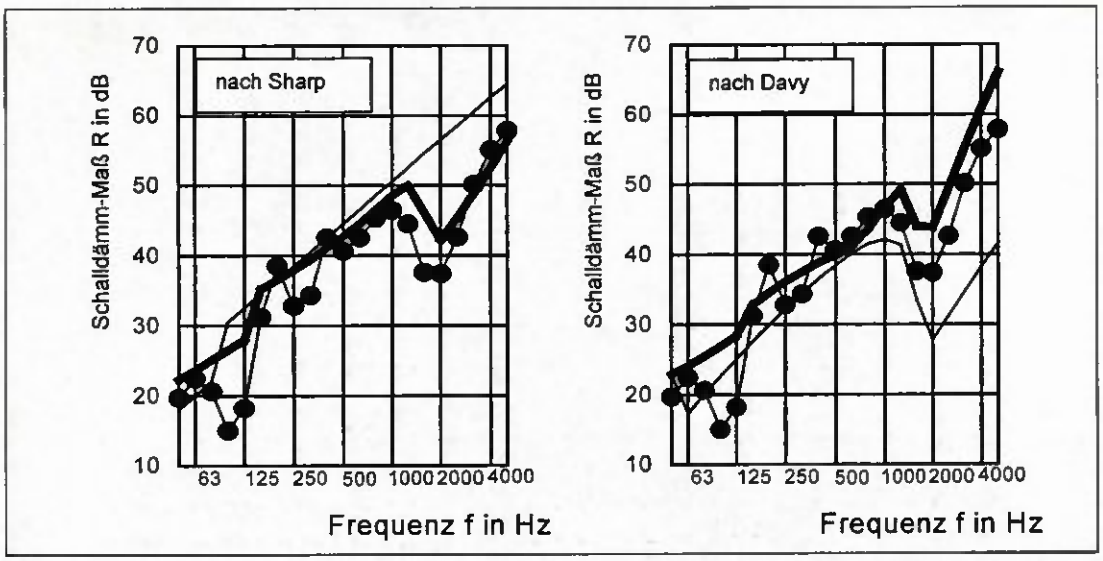


Abbildung 25:
Vergleich der Berechnungsmodelle für eine gedämmte Holzständerwand (d=100 mm, Achsabstand 0,625 m) mit Wandbeplankungen aus 16 mm zementgeb. Spanplatten
■ ■ ■ Messwerte
—— ursprüngliche Berechnung
—— erweiterte Berechnung

6 Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung

Der Schwerpunkt dieses Forschungsvorhabens lag in der Entwicklung bzw. Weiterentwicklung eines Modells für die Prognose der Schalldämmung von Holzständerwänden. Auf Anregung aus der begleitenden Arbeitsgruppe wurden neben dem Empirischen Einzahlmodell auch frequenzabhängige Berechnungsmodelle aus der Literatur behandelt.

Entwicklung eines Empirischen Einzahlmodels zur Prognose der Schalldämmung

Auf Basis der Analyse von Messungen im Archiv des **ift** Schallschutzzentrums konnten die Einflussparameter auf die Schalldämmung der Wandkonstruktionen ermittelt werden. Vorhandene Lücken im Archiv des **ift** Schallschutzzentrums wurden durch Zusatzmessungen ergänzt.

Zur Analyse der Schalldämmung wurden die z.T. komplexen Wandkonstruktionen in funktionale Schichten aufgeteilt, denen ein Schalldämm-Maß bzw. ein Verbesserungsmaß zur Charakterisierung Ihrer bauakustischen Wirkungsweise zugeordnet wurde. Die einzelnen Schalldämm-Maße und Verbesserungsmaße wurden über eine statistische Auswertung mit den Materialeigenschaften der einzelnen Werkstoffe verknüpft. Hieraus konnte ein Prognosemodell abgeleitet werden, mit dem die Schalldämmung von komplexen Wandkonstruktionen alleine auf Grundlage der eingesetzten Werkstoffe ermittelt werden kann.

Die Anwendbarkeit dieses Prognoseverfahren konnte im Rahmen dieses Forschungsvorhabens für folgende Wandkonstruktionen überprüft werden:

Innenwände:

- Grundwand als Holzständerwand mit Vollholzständer oder Stegträger bzw. als Massivholzwand
- Mit Zusatzbeplankungen
- Mit Vorsatzschalen
- Mit getrenntem Ständerwerk

Außenwände:

- Grundwand als Holzständerwand mit Vollholzständer oder Stegträger bzw. als Massivholzwand
- Mit Zusatzbeplankungen
- Mit Vorsatzschalen
- Mit WDVS oder Außenbekleidung
- Mit getrenntem Ständerwerk

6 Zusammenfassung und Ausblick

Das Prognoseverfahren wurde anhand von 291 eigenen Datensätzen von unterschiedlichen Wandkonstruktionen erarbeitet und mit 31 unabhängigen Datensätzen anderer Prüfinstitute verifiziert. Die Standardabweichung der Differenz zwischen Messwert und Prognosewert lag bei der Verifikation mit 1,9 dB in dem Bereich der üblichen bauakustischen Unsicherheiten.

Überprüfung und Erweiterung von frequenzabhängigen Berechnungsmodellen

Für die frequenzabhängige Berechnung der Schalldämmung von Holzständerwänden wurden zwei Verfahren aus der Literatur (Sharp und Davy) ausgewählt. Die Berechnungsergebnisse dieser Modelle wurden durch den Abgleich mit 96 Messergebnissen für Grundwände aus der LSW Datenbank überprüft. Die frequenzabhängigen Abweichungen zwischen der Berechung und der Messung lagen bei +/- 20 dB, die mittlere Abweichung der Einzahlwerte (R_w) lag bei –1 dB bzw. 6 dB. Die Standardabweichung betrug bei beiden Modellen 3 dB.

Die Modelle konnten durch Ansätze aus der Literatur und eigenen Erkenntnissen erweitert und in Ihrer Genauigkeit verbessert werden. Ein abschließender Vergleich der erweiterten Modelle mit den Messergebnissen zeigte die Grenzen der Modelle auf, die auf Grund Ihrer grundlegenden Annahme eines hochabsorbierenden Hohlraumes die deutlichen Resonanzeinbrüche der modalen Kopplung von Beplankungen nicht abbilden konnten. Hier ist eine Modifizierung des Modellierungsansatzes erforderlich.

Gegenüberstellung von Einzahl- und frequenzabhängigen Berechnungsmodellen

Die verschiedenen besprochenen Modelle besitzen jeweils andere Vor- und Nachteile die nachfolgend gegenübergestellt werden :

Die Vorteile des empirischen Einzahlverfahren liegen darin, das alle schalltechnisch relevanten Details mit verhältnismäßig geringem Aufwand einbezogen werden können. Auch komplexe Strukturen können durch eine geschickte Strukturierung einfach behandelt werden. Beim Einzahlverfahren wurde eine höhere Genauigkeit im Vergleich zum frequenzabhängigen Berechnungsmodell erreicht.

Die Nachteile des empirischen Verfahrens liegen darin, dass die Anwendbarkeit im wesentlichen nur auf das Umfeld der Konstruktionen der Datenbank auf der die empirischen Parameter ermittelt wurden beschränkt ist. Eine Übertragbarkeit auf andere Konstruktionsweisen und Materialien ist nur bedingt möglich.

Die Vorteile der frequenzabhängigen Berechnungsmodelle nach Sharp und Davy liegen darin, dass die formelmäßige Beschreibung auf den physikalischen Grundgesetzen basiert und damit auch auf eine weitergehende Vielfalt von Konstruktionen übertragen werden kann. Weiterhin werden durch die frequenzabhängigen Berechnungsmodelle Informationen über den gesamten Frequenzverlauf der Schalldämmkurve übergeben, mit denen ergänzende Analysen, z.B. bei der niederfrequenten Schalldämmung, durchgeführt werden können.

Die Nachteile der dargestellten frequenzabhängigen Berechnungsmodelle liegen darin, dass hier zunächst nicht alle schalltechnisch relevanten Effekte erfasst werden und daher größere Abweichungen bei der Beschreibung der Schalldämmung resultieren. Aufgrund der Komplexität und Vielfalt der Einflussparameter können diese nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand oder mit halbempirischen Ansätzen in die Berechnungsmodelle integriert werden. Wegen dieser Komplexität der Zusammenhänge beschreiben die frequenzabhängigen Berechnungsmodelle auch nur einfache Grundkonstruktionen (d.h. einfache Holzständerwände). Komplexerer Konstruktionen wie z.B. Außenwände werden durch das frequenzabhängige Berechnungsmodell nicht beschrieben. Beim frequenzabhängigen Berechnungsmodell wurde eine geringere Genauigkeit im Vergleich zum Einzahlverfahren erreicht.

Welches Prognosemodell im Einzelfall vorzuziehen ist, sollte sich an der jeweiligen Fragestellung orientieren. Für einen Anwender in der Praxis der sich für seine Wandaufbauten einer konventionellen Konstruktionsweise und einer Kombination von bekannten Beplankungsmaterialien und Dämmstoffen bedient ist tendenziell ein empirisches Berechnungsmodell vorzuziehen. Ein frequenzabhängiges Berechnungsmodell wäre hingegen zu favorisieren im Fall einer Produktentwicklung mit neuartigen Konstruktionen und Materialien.

Ausblick

Bei der Bearbeitung des Forschungsthemas zeigte sich, dass zwischen den vielen unterschiedlichen Materialkenngrößen und ihrer Auswirkung auf die Schalldämmung eine starke Interkorrelation besteht, die sich nicht immer in einfachen Formelzusammenhängen darstellen lässt.

Für die beschriebenen Berechnungsverfahren ergeben sich hieraus verschiedene Perspektiven:

Für die Weiterentwicklung des empirischen Einzahlmodels ist zu erwarten, dass durch die Anwendung von Analysemethoden der künstlichen Intelligenz eine bessere Berücksichtigung der komplexen Zusammenhänge und damit eine Genauigkeitssteigerung des Prognoseverfahrens erreicht werden kann.

Parallel sind folgende Erweiterungen des Verfahrens anzustreben

- Erweiterung auf die Prognose der Schalldämmung von Wohnungs- und Gebäudetrennwände um das gesamte Spektrum der bauakustisch relevanten Wandkonstruktionen abdecken zu können.
- Erweiterung auf die Schalldämmung tiefer Frequenzen um die für den Holzbau besonders sensiblen niederfrequenten Schallübertragungen quantitativ behandeln zu können. Eine Übertragung kann z.B. durch die Einbeziehung des Spektrum-Anpassungswerts C_{tr} zum Beispiel über das Schalldämm-Maß $R_w + C_{tr}$ erfolgen.

6 Zusammenfassung und Ausblick

- Umsetzung in eine bedienerfreundliche und fehlerunanfällige Programmstruktur für den Anwender

Für die Weiterentwicklung der frequenzabhängigen Berechnungsverfahren nach Sharp oder Davy ist es sinnvoll weitere schalltechnisch relevante Einflussgrößen in die Modelle einzuarbeiten und eine Berechnung über mehrere Modelle zu ermöglichen. Eine Erweiterung der Berechnungsverfahren von der Grundwand auf komplexere Strukturen erschein aus heutiger Sicht nur durch Anwendung einer empirischen oder halbempirischen Methodik sinnvoll. Hier kann wiederum auf die Erfahrungen aus dem empirischen Einzahlverfahren zurückgegriffen werden.

7 Quellenverzeichnis

[1] DIN 4109
Schallschutz im Hochbau, Anforderungen und Nachweise
November 1989
und
Beiblatt 1 zur DIN 4109
Schallschutz im Hochbau, Ausführungsbeispiele und Rechenverfahren
November 1989

[2] DIN EN ISO 140-03
Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen,
Teil 3: Messung der Luftschalldämmung von Bauteilen in Prüfständen;
März 2005

[3] DIN EN ISO 140-01
Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen,
Teil 1: Anforderungen an Prüfstände mit unterdrückter Flankenübertragung
März 2005

[4] DIN EN 12354-01
Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften, Teil 1: Luftschalldämmung zwischen Räumen
Dezember 200

[5] Schmidt, H.
Schalltechnisches Taschenbuch
VDI Verlag Düsseldorf 3. Auflage 1984

[6] Cremer, L.
Vorlesung über Technische Akustik
Springer Verlag Berlin 1971

[7] Hessinger, J., Buschbacher, H.P., Rabold, A., Leitgeb, M., Ramsteiner, R., Holtz, F.,: Schwingungsverhalten von Holzständerwänden, Fortschritte der Akustik DAGA 2003

[8] Holtz, F., Rabold, A., Hessinger, J., Buschbacher, H.P.: Schalltechnische Optimierung des Holzbaus durch Verbesserung der Wandkonstruktionen. DGfH-Forschungsvorhaben im Labor für Schall- und Wärmemesstechnik. Abschlußbericht des Labor für Schall- und Wärmemesstechnik zum DGfH-Forschungsvorhaben, gefördert durch die AiF, 2004

7 Quellenverzeichnis

[9] Landau, L.D. und Lifschitz E.M. Lehrbuch der theoretischen Physik, Bd. 7 Elastizitätstheorie, 5. Auflage, Akademie Verlag Berlin 1983

[10] Gösele, K.
Zur Berechnung der Luftschalldämmung von doppelschaligen Bauteilen (ohne Verbindung der Schalen)
Acustica 45, S. 218, 1980

[11] DIN EN ISO 717
Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen,
Teil 1 Luftschalldämmung
Teil 2: Trittschalldämmung
Januar 1997

[12] DIN EN 29052-1
Bestimmung der dynamischen Steifigkeit
Teil 1: Materialien, die unter schwimmenden Estrichen in Wohngebäuden verwendet werden;
August 1992

[13] DIN EN 29053
Materialien für akustische Anwendungen
Bestimmung des Strömungswiderstands;
Mai 1993

[14] ISO/PAS 16940
Glass in building
Glazing and airborne sound insulation
Measurement of the mechanical impedance of laminated glass
Februar 2004

[15] Fasold, W., Sonntag, E., Winkler, H.: Bauphysikalische Entwurfslehre – Bau- und Raumakustik, VEB Verlag für Bauwesen, 1. Auflage Berlin 1987

[16] Schumacher, R., Pütz, M., Sass, B.: Schalllängsdämmung im Mehrgeschoß-Holzbau. Abschlußbericht des ift-Rosenheim zum AiF-Forschungsvorhaben, 2002

[17] Weber, L., Brandstetter, D.: Einheitliche schalltechnische Bemessung von Wärmedämm-Verbundsystemen, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2004

[18] Hessinger, J., Buschbacher, H.P., Rabold, A., Holtz, F.: Sound insulation of solid wood constructions, Fortschritte der Akustik DAGA 2004

[19] Gösele, K. et al., „Schall, Wärme, Feuchte“ 10. Auflage, Bauverlag Wiesbaden 1997

[20] Meyer, S.; Schäfer, J.: Entwicklung einer Wohnungstrennwand in Holztafelbauweise, unter Berücksichtigung von hohen baubiologischen und ökonomischen Anforderungen, Diplomarbeit an der FH-Rosenheim, 1997

[21] Radovic, B., Cheret, P., Heim, F.: Konstruktive Holzwerkstoffe, holzbau handbuch Reihe 4, Teil 4, Folge1, Arbeitsgemeinschaft Holz e.V.,1997

[22] Davy, J., L., "Predicting the sound insulation of stud walls", Proceedings of Internoise, 1991,1, p. 251-254

[23] Davy, J., L., "The sound transmission of cavity walls due to studs", Proceedings of Internoise, 1993, 1, p. 975 - 978

[24] Sharp, B., H. , "Prediction methods for the sound transmission of building elements", Noise control Engineering Journal, 1978, 11, p. 53-63

[25] Ballagh, K., "Accuracy of Prediction Methods for Sound Transmission Loss", Proceedings of Internoise, 2004

[26] Warnock, A.C.C., Birta, J.A., “Summery Report for Consortium on Fire Resistance an Sound Insulation of Floors: Sound Transmission Class and Impact Insulation Class Results”, Internal Report IR-766, NRC,1998

[27] Hongisto, V., “Sound Insulation of double panels – Comparison of existing prediction models”, Acta Acustica 2006, Vol. 92, p. 61-78

[28] Sewell, E.C., “Transmission of reverberant sound through a single-leaf partutuin surrounded by an infinite rigid baffle”, Journal of Sound and Vibration, 1970, 12, 21-32

[29] Josse, R., Lamure, J., "Transmission du son par une paroi simple", Acustica 14 1964, 266-280

[30] Bies, A., Colin, H., „Engineering Noise Control“, Spon Press, London, 2003, ISBN 0-415-26714-5

[31] Fahy, F., “Sound and structural vibration”, Academic Press, London, 1985

[32] Mechel, P., “Sound absorbing Materials and Sound Absorbers” In: Beranek, L., Ver, L., “Noise and Vibration Control Engineering”, John Wiley & Sons, New York, 1992

[33] Cremer, L., "Theorie der Schalldämmung dünner Wände bei schrägem Schalleinfall", Akustische Zeitschrift VII, 1942, 81-104

[34] Cremer, L., Heckel, M., „Körperschall“, Springer Verlag Berlin, 2. Auflage, 1996

7 Quellenverzeichnis

[35] London, A., „Transmission of reverberant sound through double walls", JASA 22, 1950, 270-279

[36] Schumacher, R., Sass, B., Pütz, M., „Grundlagenuntersuchung zum Stoßstellendämm-Maß im Holzbau", Forschungsbericht des ift-Rosenheim, 2001

[37] Leistner, P.: Schriftliche und mündliche Korrespondenz zum Forschungsvorhaben, April 2006

[38] Scholl, W., Brandstetter, D., „Neue Schalldämmwerte bei Gipskartonbauplatten-Metallständerwänden", Bauphysik 22 (2), 2000,101-107

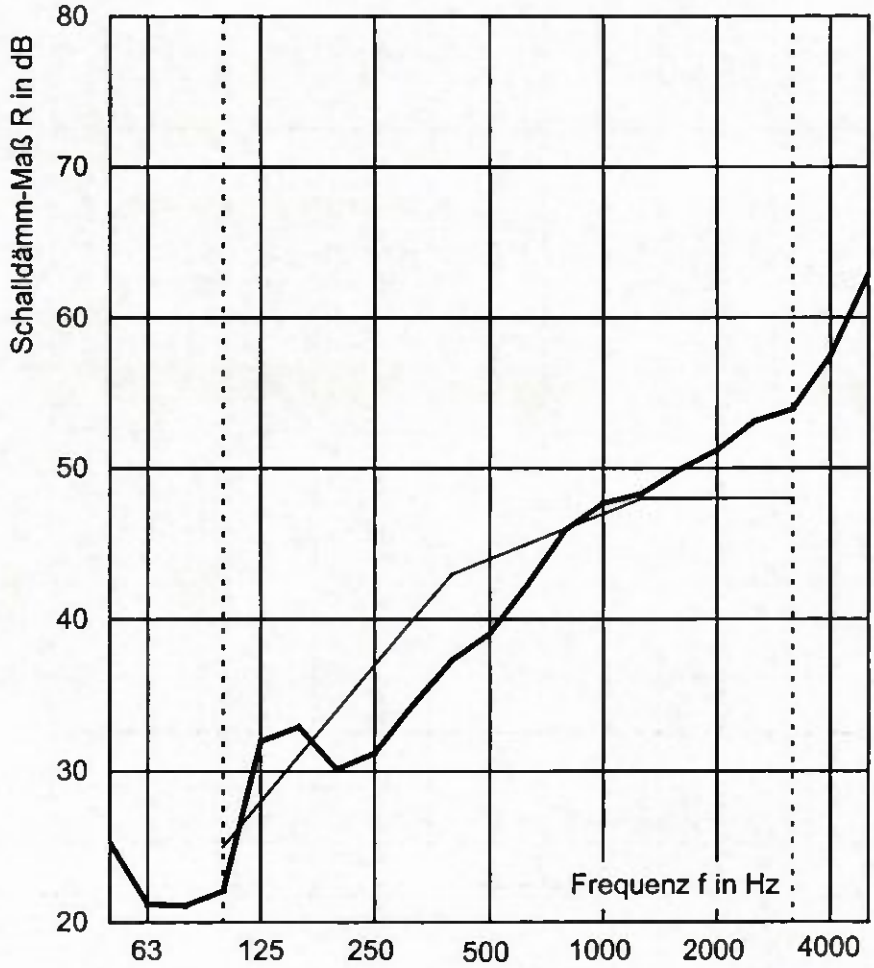
8 Verzeichnis der Bezeichnungen

Bezeichnung	Beschreibung
R	Schalldämm-Maß in dB
R_w	Bewertetes Schalldämm-Maß in dB
$R_{w,0}$	Bewertetes Schalldämm-Maß der Grundwand in dB
$\Delta R_{w,Zusatzbeplankung}$	Verbesserungsmaß des Schalldämm-Maß durch Zusatzbeplankungen auf der Grundwand in dB
$\Delta R_{w,Außenbekleidung}$	Verbesserungsmaß des Schalldämm-Maß durch Außenbekleidungen auf der Grundwand in dB
$\Delta R_{w,WDVS}$	Verbesserungsmaß des Schalldämm-Maß durch WDVS auf der Grundwand in dB
$\Delta R_{w,Installationsebene}$	Verbesserungsmaß des Schalldämm-Maß durch Installationsebenen auf der Grundwand in dB
$\Delta R_{w,getrennte\ Ständer}$	Verbesserungsmaß des Schalldämm-Maß durch getrenntes Ständerwerk auf der Grundwand in dB
f	Frequenz in Hz
f_g	Koinzidenzfrequenz in Hz
$f_{n,m}$	Eigenfrequenz einer Plattenschwingung in Hz Oberschwingung n, m
fr	Doppelwand- Resonanzfrequenz in Hz
m'	Masse pro Flächeneinheit in kg/m^2
s'	Dynamische Steifigkeit einer Platte in MN/m^3
E	Elastizitätsmodul einer Platte in MN/m^2
B	Biegesteife einer Platte in MN·m
μ	Querkontraktionszahl einer Platte
ρ_0	Dichte von Luft in kg/m^2
c_0	Schallgeschwindigkeit in Luft in m/s

I. Ergänzende Lufschallmessungen

WANDAUFBAU **Prüfnummer: 31029010.V01**

22 mm	Stülpschalung Fichte, horizontal, m' = 12,6 kg/m²
30 mm	Lattung 50 mm x 30 mm, vertikal, Achsabstand e = 625 mm, geschraubt
15 mm	MDF, geschraubt, Schaubabstand e = 625 mm x 300 mm, m' = 9,4 kg/m²
160 mm	Vollholzständer 80 mm x 160 mm, Achsabstand e = 625 mm, mit 160 mm Mineralfaserdämmung, ρ = 22 kg/m³
16 mm	Spanplatte V20, geklammert, Klammerabstand e = 625 mm x 80 mm, m' = 11,2 kg/m²
9,5 mm	GKB, geklammert, Klammerabstand e = 417 mm x 80 mm, m' = 8,55 kg/m²

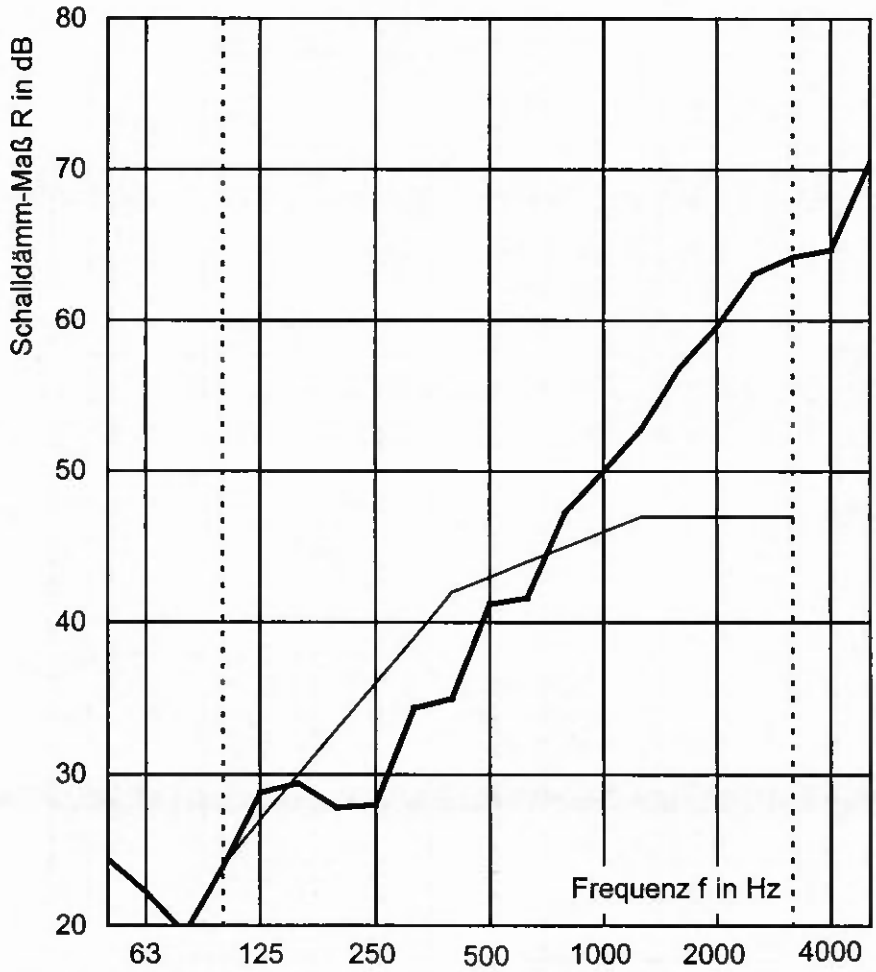


R_w (C; C_{tr}) = 44 (-2; -6) dB

$C_{50\text{-}3150}$ =	-2 dB	$C_{tr,\,50\text{-}3150}$ =	-8 dB
$C_{100\text{-}5000}$ =	-1 dB	$C_{tr,\,100\text{-}5000}$ =	-6 dB
$C_{50\text{-}5000}$ =	-1 dB	$C_{tr,\,50\text{-}5000}$ =	-8 dB

WANDAUFBAU **Prüfnummer: 31029010.V03**

22 mm	Stülpschalung Fichte, horizontal, m' = 12,6 kg/m²
30 mm	Lattung 50 mm x 30 mm, vertikal, Achsabstand e = 625 mm, geschraubt
15 mm	MDF, geschraubt, Schaubabstand e = 625 mm x 300 mm, m' = 9,4 kg/m²
160 mm	Vollholzständer 80 mm x 160 mm, Achsabstand e = 625 mm, mit 160 mm Mineralfaserdämmung, ρ = 22 kg/m³
16 mm	Spanplatte V20, geklammert, Klammerabstand e = 625 mm x 80 mm, m' = 11,2 kg/m²
40 mm	Lattung 60 mm x 40 mm, vertikal, Achsabstand e = 625 mm, geschraubt
9,5 mm	GKB, geklammert, Klammerabstand e = 417 mm x 80 mm, m' = 8,55 kg/m²



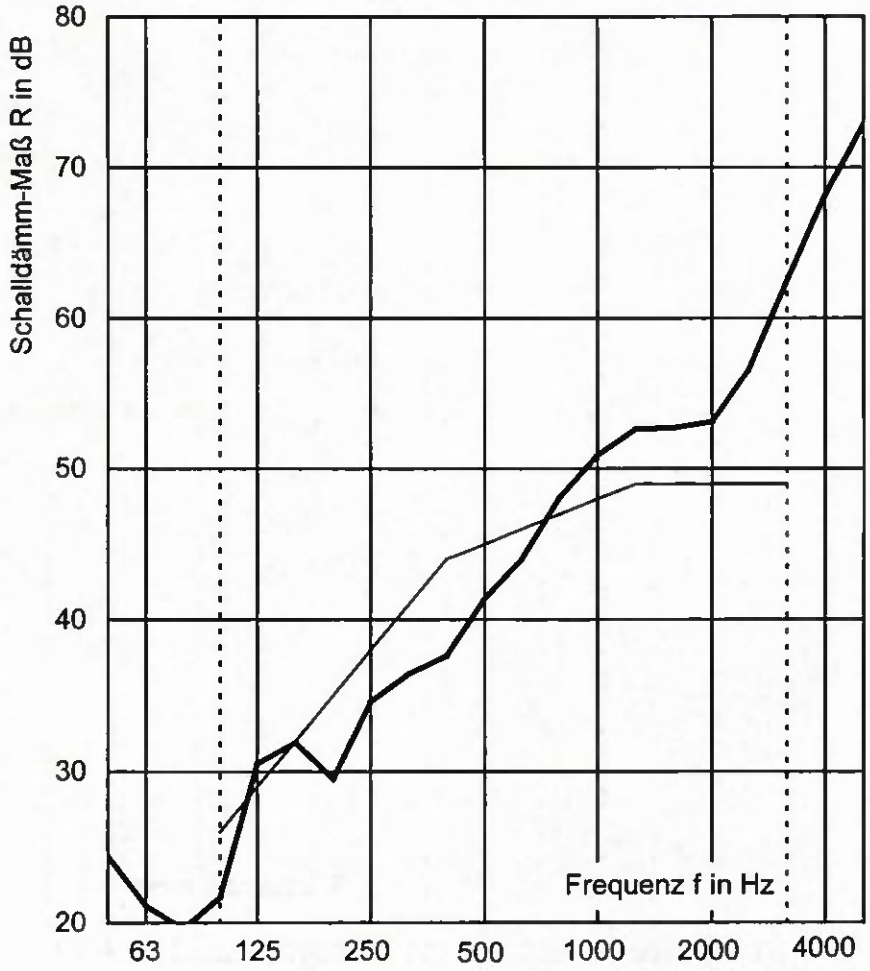
R_w (C; C_{tr}) = 43 (-2; -6) dB

$C_{50\text{-}3150}$ =	-2 dB	$C_{tr,\,50\text{-}3150}$ =	-8 dB
$C_{100\text{-}5000}$ =	-1 dB	$C_{tr,\,100\text{-}5000}$ =	-6 dB
$C_{50\text{-}5000}$ =	-1 dB	$C_{tr,\,50\text{-}5000}$ =	-8 dB

I Ergänzende Lufschallmessungen

WANDAUFBAU **Prüfnummer: 31029010.V04**

22 mm	Stülpschalung Fichte, horizontal, m' = 12,6 kg/m²
30 mm	Lattung 50 mm x 30 mm, vertikal, Achsabstand e = 625 mm, geschraubt
15 mm	MDF, geschraubt, Schaubabstand e = 625 mm x 300 mm, m' = 9,4 kg/m²
160 mm	Vollholzständer 80 mm x 160 mm, Achsabstand e = 625 mm, mit 160 mm Mineralfaserdämmung, ρ = 22 kg/m³
16 mm	Spanplatte V20, geklammert, Klammerabstand e = 625 mm x 80 mm, m' = 11,2 kg/m²
40 mm	Lattung 60 mm x 40 mm, vertikal, Achsabstand e = 625 mm, geschraubt
18 mm	GKB, geschraubt, Schraubenabstand e = 625 mm x 100 mm, m' = 16,0 kg/m²



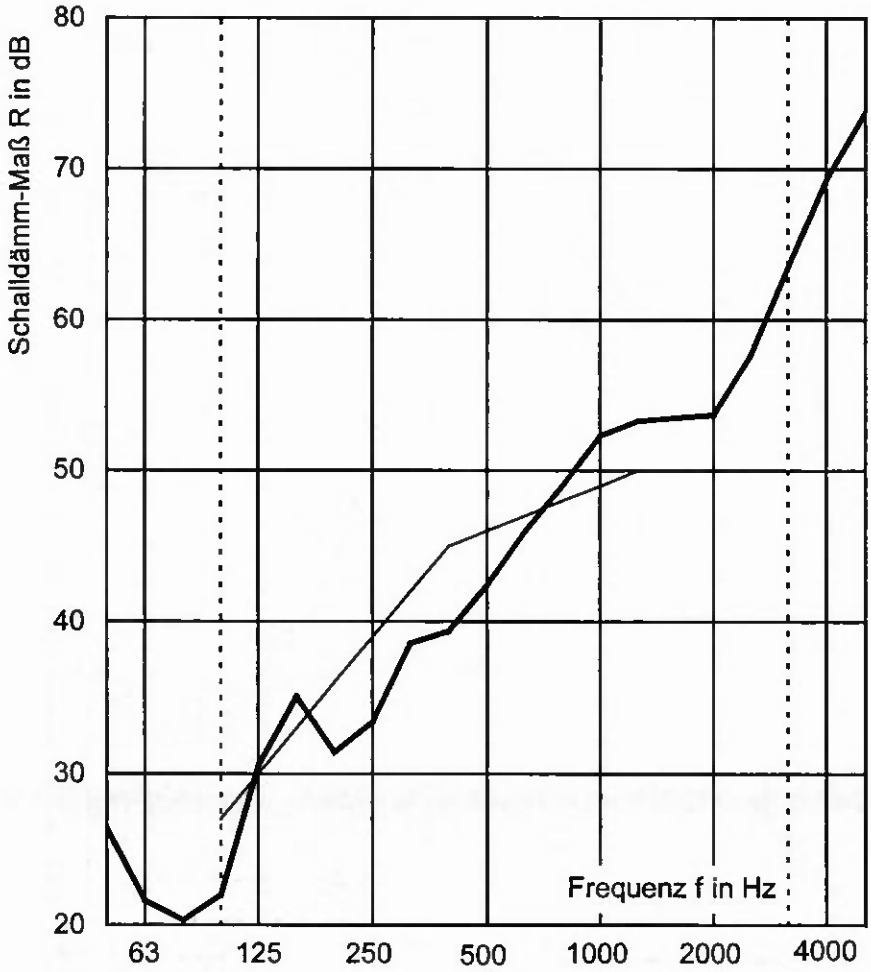
R_w (C; C_{tr}) = 45 (-2; -7) dB

$C_{50\text{-}3150}$ =	-2 dB	$C_{tr,\,50\text{-}3150}$ =	-10 dB
$C_{100\text{-}5000}$ =	-1 dB	$C_{tr,\,100\text{-}5000}$ =	-7 dB
$C_{50\text{-}5000}$ =	-1 dB	$C_{tr,\,50\text{-}5000}$ =	-10 dB

I Ergänzende Lufschallmessungen

WANDAUFBAU **Prüfnummer: 31029010.V05**

22 mm Stülpschalung Fichte, horizontal, m' = 12,6 kg/m²
30 mm Lattung 50 mm x 30 mm, vertikal, Achsabstand e = 625 mm, geschraubt
15 mm MDF, geschraubt, Schaubabstand e = 625 mm x 300 mm, m' = 9,4 kg/m²
160 mm Vollholzständer 80 mm x 160 mm, Achsabstand e = 625 mm, mit 160 mm Mineralfaserdämmung, ρ = 22 kg/m³
16 mm Spanplatte V20, geklammert, Klammerabstand e = 625 mm x 80 mm, m' = 11,2 kg/m²
40 mm Lattung 60 mm x 40 mm, vertikal, Achsabstand e = 625 mm, geschraubt, 40 mm Mineralfaserdämmung, ρ = 21 kg{m³
18 mm GKB, geschraubt, Schraubenabstand e = 625 mm x 100 mm, m' = 16,0 kg/m²



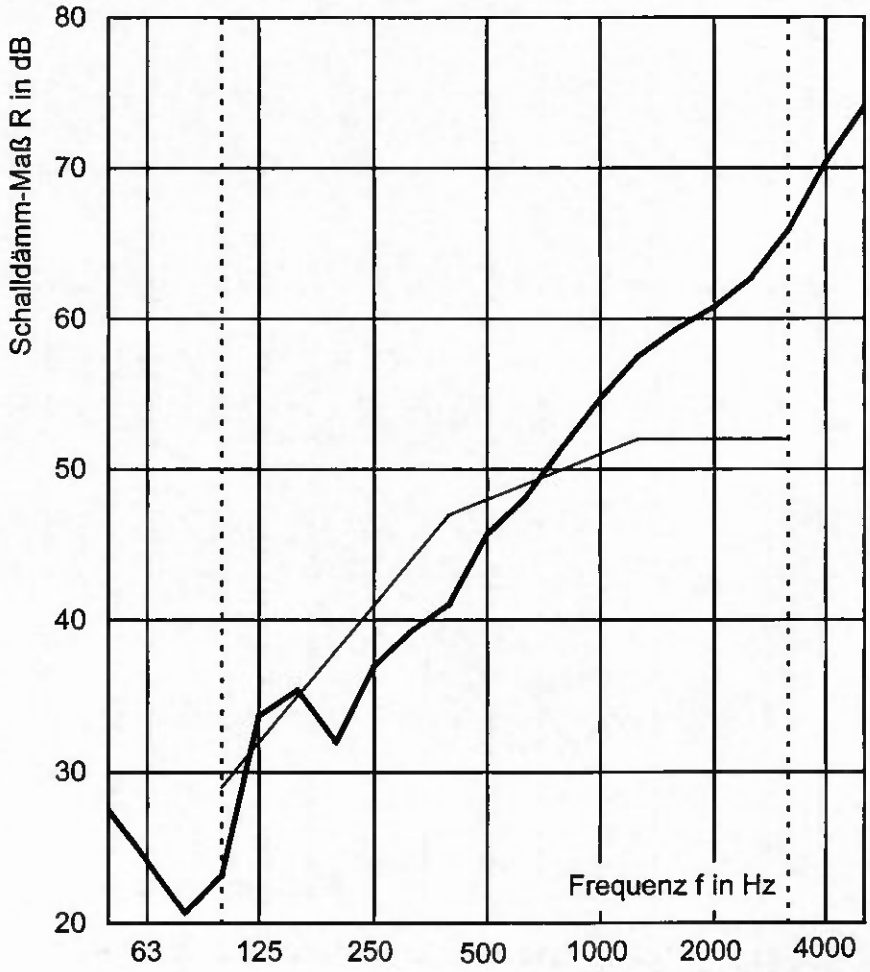
R_w (C; C_{tr}) = 46 (-2; -7) dB

$C_{50\text{-}3150}$ = -2 dB $C_{tr,\,50\text{-}3150}$ = -10 dB
$C_{100\text{-}5000}$ = -1 dB $C_{tr,\,100\text{-}5000}$ = -7 dB
$C_{50\text{-}5000}$ = -1 dB $C_{tr,\,50\text{-}5000}$ = -10 dB

I Ergänzende Lufschallmessungen

WANDAUFBAU **Prüfnummer: 31029010.V06**

22 mm Stülpschalung Fichte, horizontal, m' = 12,6 kg/m²
30 mm Lattung 50 mm x 30 mm, vertikal, Achsabstand e = 625 mm, geschraubt
15 mm MDF, geschraubt, Schaubabstand e = 625 mm x 300 mm, m' = 9,4 kg/m²
160 mm Vollholzständer 80 mm x 160 mm, Achsabstand e = 625 mm, mit 160 mm Mineralfaserdämmung, ρ = 22 kg/m³
16 mm Spanplatte V20, geklammert, Klammerabstand e = 625 mm x 80 mm, m' = 11,2 kg/m²
40 mm Lattung 60 mm x 40 mm, vertikal, Achsabstand e = 625 mm, geschraubt 40 mm Mineralfaserdämmung, ρ = 21 kg{m³
18 mm GKB, geschraubt, Schraubenabstand e = 625 mm x 100 mm, m' = 16,0 kg/m²
12,5 mm GKB, geschraubt, Schraubenabstand e = 625 mm x 100 mm, m' = 10,2 kg/m²

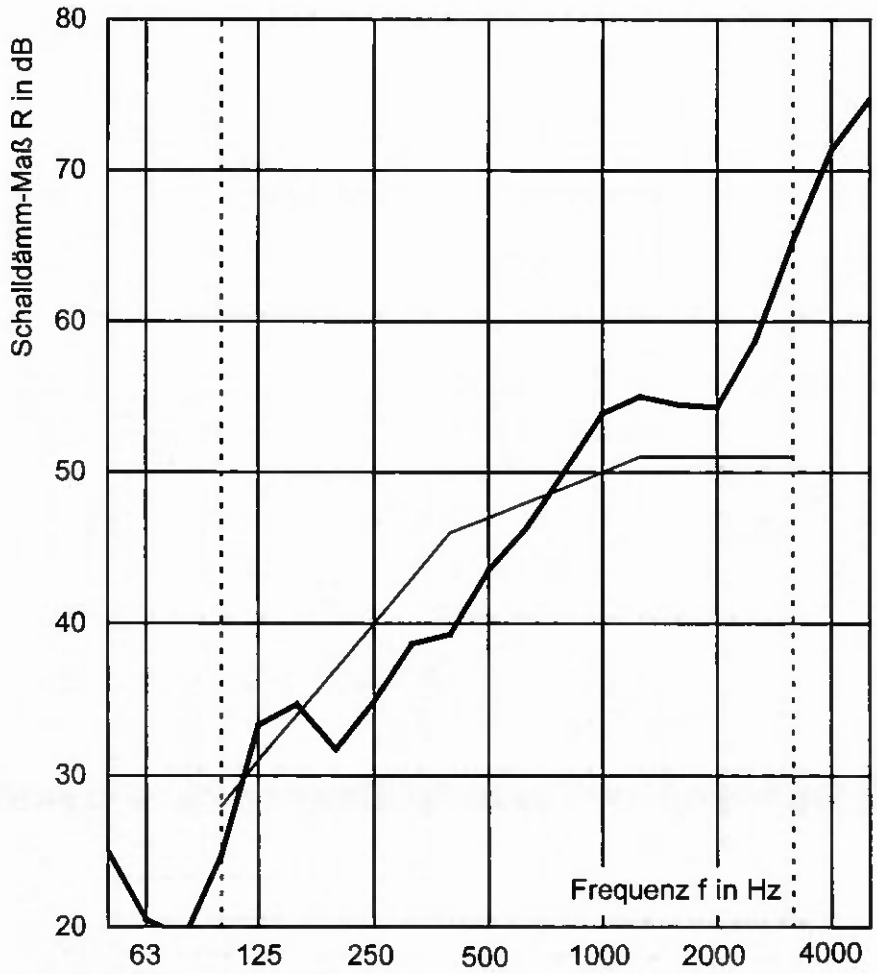


R_w (C; C_{tr}) = 48 (-2; -8) dB

$C_{50\text{-}3150}$ = -3 dB $C_{tr,\,50\text{-}3150}$ = -11 dB
$C_{100\text{-}5000}$ = -1 dB $C_{tr,\,100\text{-}5000}$ = -8 dB
$C_{50\text{-}5000}$ = -2 dB $C_{tr,\,50\text{-}5000}$ = -11 dB

WANDAUFBAU **Prüfnummer: 31029010.V07**

22 mm	Stülpschalung Fichte, horizontal, m' = 12,6 kg/m²
30 mm	Lattung 50 mm x 30 mm, vertikal, Achsabstand e = 625 mm, geschraubt
15 mm	MDF, geschraubt, Schaubabstand e = 625 mm x 300 mm, m' = 9,4 kg/m²
160 mm	Vollholzständer 80 mm x 160 mm, Achsabstand e = 625 mm, mit 160 mm Mineralfaserdämmung, ρ = 22 kg/m³
16 mm	Spanplatte V20, geklammert, Klammerabstand e = 625 mm x 80 mm, m' = 11,2 kg/m²
60 mm	Lattung 40 mm x 60 mm, vertikal, Achsabstand e = 625 mm, geschraubt 40 mm Mineralfaserdämmung, ρ = 21 kg{m³
18 mm	GKB, geschraubt, Schraubenabstand e = 625 mm x 100 mm, m' = 16,0 kg/m²



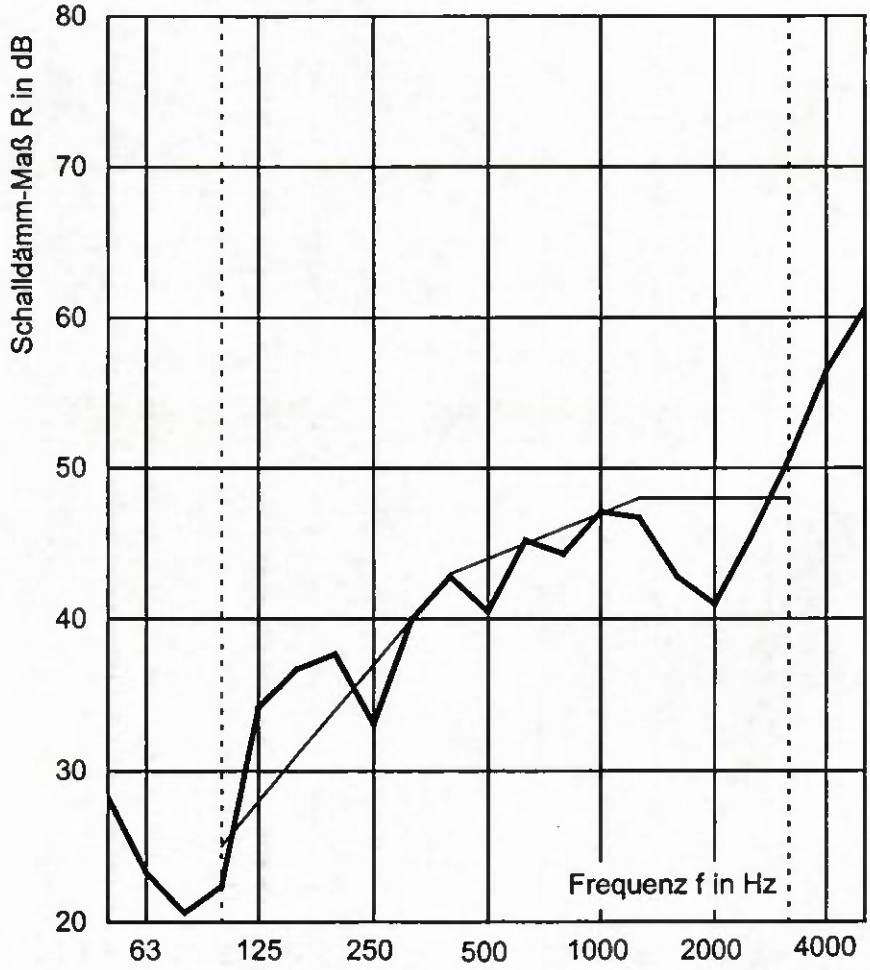
R_w (C; C_{tr}) = 47 (-2; -7) dB

$C_{50\text{-}3150}$	= -3 dB	$C_{tr,\,50\text{-}3150}$	= -11 dB
$C_{100\text{-}5000}$	= -1 dB	$C_{tr,\,100\text{-}5000}$	= -7 dB
$C_{50\text{-}5000}$	= -2 dB	$C_{tr,\,50\text{-}5000}$	= -11 dB

I Ergänzende Lufschallmessungen

WANDAUFBAU **Prüfnummer: 31029010.V08**

22 mm	Stülpschalung Fichte, horizontal, m' = 12,6 kg/m²
30 mm	Lattung 50 mm x 30 mm, vertikal, Achsabstand e = 625 mm, geschraubt
15 mm	MDF, geschraubt, Schaubabstand e = 625 mm x 300 mm, m' = 9,4 kg/m²
160 mm	Vollholzständer 80 mm x 160 mm, Achsabstand e = 625 mm, mit 160 mm Mineralfaserdämmung, ρ = 22 kg/m³
16 mm	Spanplatte V20, geklammert, Klammerabstand e = 625 mm x 80 mm, m' = 11,2 kg/m²
18 mm	GKB, geschraubt, Schraubenabstand e = 625 mm x 200 mm, m' = 16,0 kg/m²



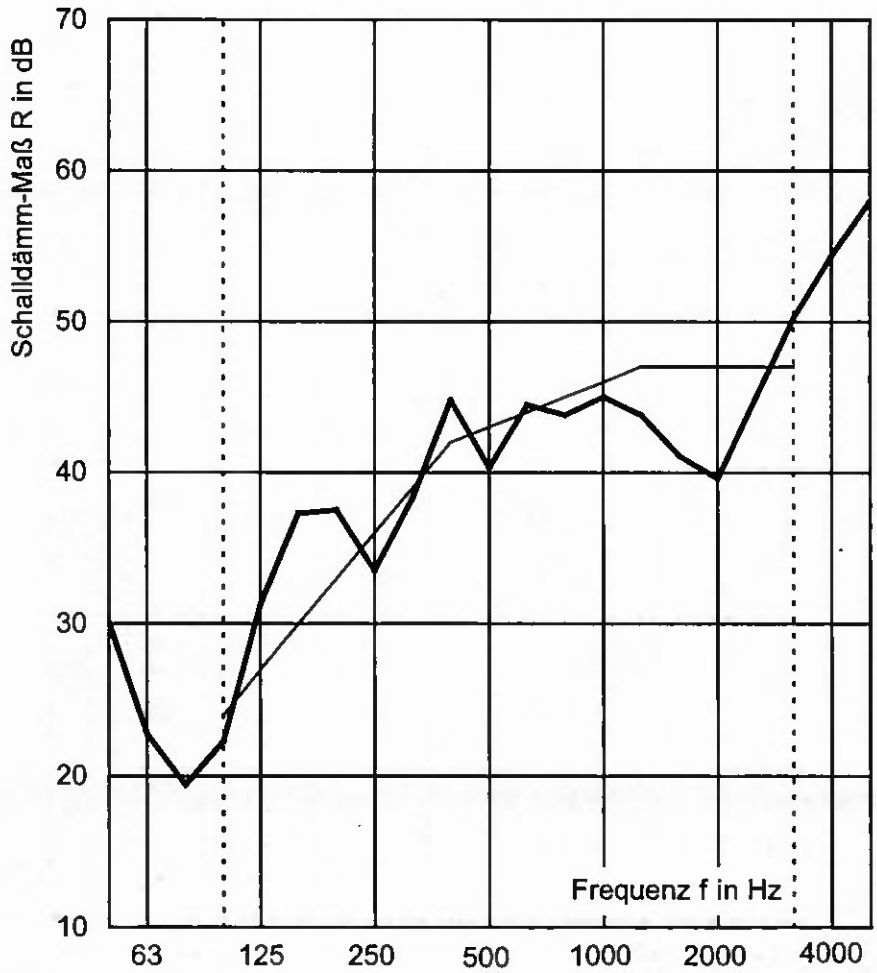
R_w (C; C_{tr}) = 44 (-1; -5) dB

$C_{50\text{-}3150}$	=	-2 dB	$C_{tr,\,50\text{-}3150}$	=	-7 dB
$C_{100\text{-}5000}$	=	0 dB	$C_{tr,\,100\text{-}5000}$	=	-5 dB
$C_{50\text{-}5000}$	=	-1 dB	$C_{tr,\,50\text{-}5000}$	=	-7 dB

I Ergänzende Lufschallmessungen

WANDAUFBAU **Prüfnummer: 31029010.V09**

22 mm Stülpschalung Fichte, horizontal, m' = 12,6 kg/m²
30 mm Lattung 50 mm x 30 mm, vertikal, Achsabstand e = 625 mm, geschraubt
15 mm MDF, geschraubt, Schaubabstand e = 625 mm x 300 mm, m' = 9,4 kg/m²
160 mm Vollholzständer 80 mm x 160 mm, Achsabstand e = 625 mm, mit 160 mm Mineralfaserdämmung, ρ = 22 kg/m³
16 mm Spanplatte V20, geklammert, Klammerabstand e = 625 mm x 80 mm, m' = 11,2 kg/m²
18 mm GKB, geschraubt, Schraubenabstand e = 625 mm x 100 mm, m' = 16,0 kg/m²



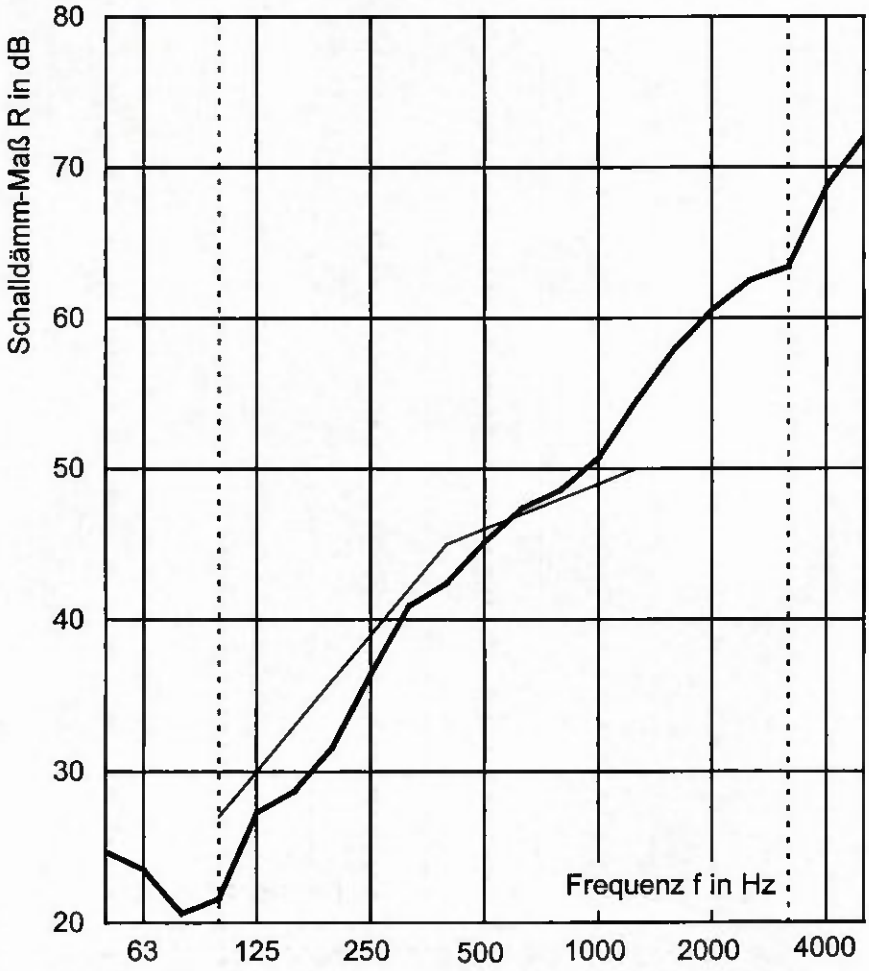
R_w (C; C_{tr}) = 43 (-1; -4) dB

$C_{50\text{-}3150}$ =	-2 dB	$C_{tr,\,50\text{-}3150}$ =	-7 dB
$C_{100\text{-}5000}$ =	0 dB	$C_{tr,\,100\text{-}5000}$ =	-4 dB
$C_{50\text{-}5000}$ =	-1 dB	$C_{tr,\,50\text{-}5000}$ =	-7 dB

I Ergänzende Lufschallmessungen

WANDAUFBAU **Prüfnummer: 17231268.V01**

22 mm	Stülpschalung Fichte, horizontal, m' = 9,2 kg/m²
30 mm	Lattung 50 mm x 30 mm, vertikal, Achsabstand e = 625 mm, geschraubt mit Holzschrauben 8 x 220 mm, Schraubenabstand e = 600 mm
	Windsperre
100 mm	Holzfaserplatten, geklammert, Klammerabstand e = 625 mm x 100 mm, m' = 24 kg/m²
160 mm	Vollholzständer 80 mm x 160 mm, Achsabstand e = 625 mm, mit 160 mm Mineralfaserdämmung, ρ = 22 kg/m³
16 mm	Spanplatte V20, geklammert, Klammerabstand e = 625 mm x 80 mm, m' = 11,2 kg/m²
	Dampfbremsvlies
9,5 mm	GKB, geklammert, Klammerabstand e = 417 mm x 120 mm, m' = 8,55 kg/m²

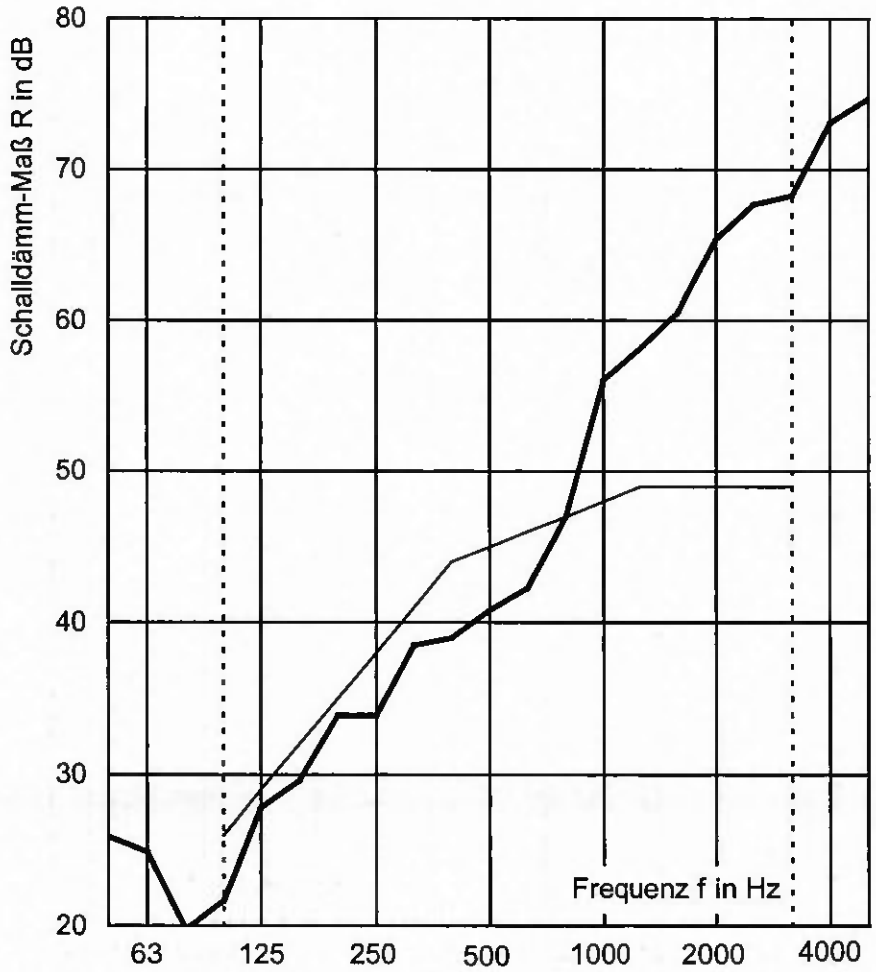


R_w (C; C_{tr}) = 46 (-2; -8) dB

$C_{50\text{-}3150}$ = -2 dB $C_{tr,\,50\text{-}3150}$ = -10 dB
$C_{100\text{-}5000}$ = -1 dB $C_{tr,\,100\text{-}5000}$ = -8 dB
$C_{50\text{-}5000}$ = -1 dB $C_{tr,\,50\text{-}5000}$ = -10 dB

WANDAUFBAU **Prüfnummer: 17231268.V02**

3 mm	Mineralischer Oberputz, m' = 4 kg/m²
3 mm	Grundputz mit Armierung, m' = 4 kg/m²
100 mm	Holzfaserplatten, geklammert, Klammerabstand e = 625 mm x 100 mm, m' = 24 kg/m²
160 mm	Vollholzständer 80 mm x 160 mm, Achsabstand e = 625 mm, mit 160 mm Mineralfaserdämmung, ρ = 22 kg/m³
16 mm	Spanplatte V20, geklammert, Klammerabstand e = 625 mm x 80 mm, m' = 11,2 kg/m² Dampfbremsvlies
9,5 mm	GKB, geklammert, Klammerabstand e = 417 mm x 120 mm, m' = 8,55 kg/m²



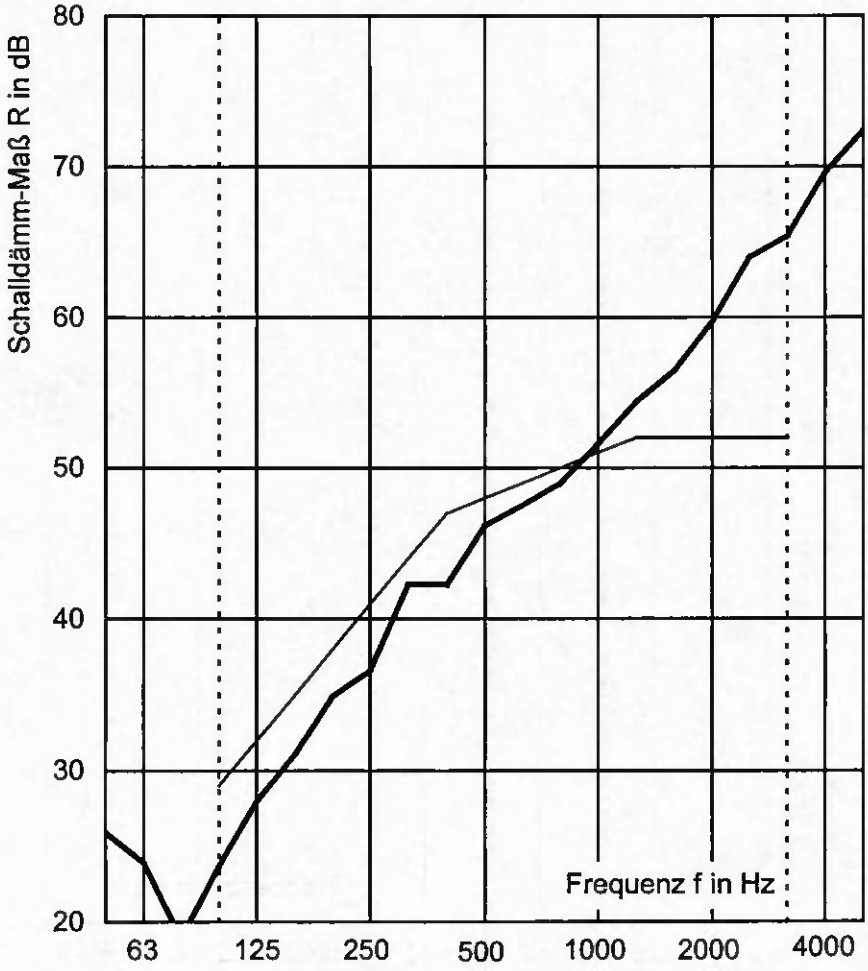
R_w (C; C_{tr}) = 45 (-1; -7) dB

$C_{50\text{-}3150}$ =	-2 dB	$C_{tr,\,50\text{-}3150}$ =	-9 dB
$C_{100\text{-}5000}$ =	0 dB	$C_{tr,\,100\text{-}5000}$ =	-7 dB
$C_{50\text{-}5000}$ =	-1 dB	$C_{tr,\,50\text{-}5000}$ =	-9 dB

I Ergänzende Lufschallmessungen

WANDAUFBAU **Prüfnummer: 17231268.V03**

22 mm	Stülpschalung Fichte, horizontal, m' = 9,2 kg/m²
30 mm	Lattung 50 mm x 30 mm, vertikal, Achsabstand e = 625 mm, geschraubt mit Holzschrauben 8 x 220 mm, Schraubenabstand e = 600 mm
	Windsperre
100 mm	Holzfaserplatten, geklammert, Klammerabstand e = 625 mm x 150 mm, m' = 19 kg/m²
160 mm	Vollholzständer 80 mm x 160 mm, Achsabstand e = 625 mm, mit 160 mm Mineralfaserdämmung, ρ = 22 kg/m³
16 mm	Spanplatte V20, geklammert, Klammerabstand e = 625 mm x 80 mm, m' = 11,2 kg/m²
	Dampfbremsvlies
9,5 mm	GKB, geklammert, Klammerabstand e = 417 mm x 120 mm, m' = 8,55 kg/m²



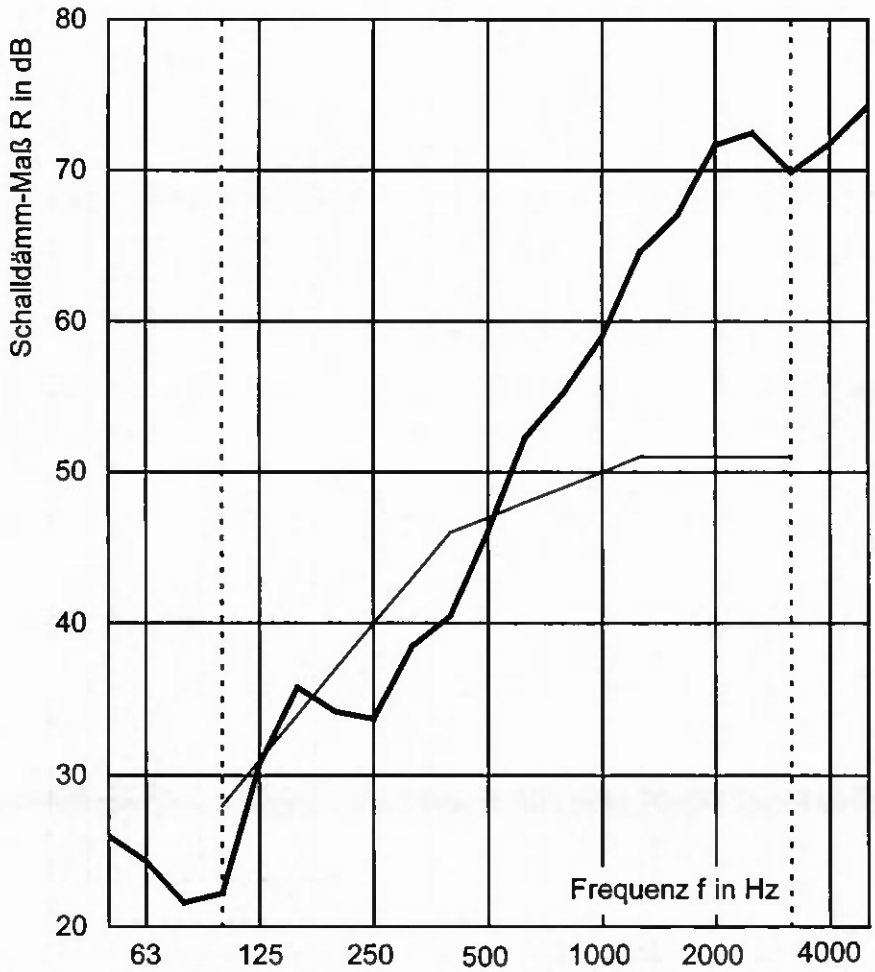
R_w (C; C_{tr}) = 48 (-2; -8) dB

$C_{50\text{-}3150}$ = -3 dB $C_{tr,\,50\text{-}3150}$ = -12 dB
$C_{100\text{-}5000}$ = -1 dB $C_{tr,\,100\text{-}5000}$ = -8 dB
$C_{50\text{-}5000}$ = -2 dB $C_{tr,\,50\text{-}5000}$ = -12 dB

I Ergänzende Lufschallmessungen

WANDAUFBAU **Prüfnummer: 17231268.V04**

3 mm	Mineralischer Oberputz, m' = 4 kg/m²
6 mm	Grundputz mit Armierung, m' = 7 kg/m²
100 mm	Holzfaserplatten, geklammert, Klammerabstand e = 625 mm x 150 mm, m' = 19 kg/m²
160 mm	Vollholzständer 80 mm x 160 mm, Achsabstand e = 625 mm, mit 160 mm Mineralfaserdämmung, ρ = 22 kg/m³
16 mm	Spanplatte V20, geklammert, Klammerabstand e = 625 mm x 80 mm, m' = 11,2 kg/m²
	Dampfbremsvlies
9,5 mm	GKB, geklammert, Klammerabstand e = 417 mm x 120 mm, m' = 8,55 kg/m²



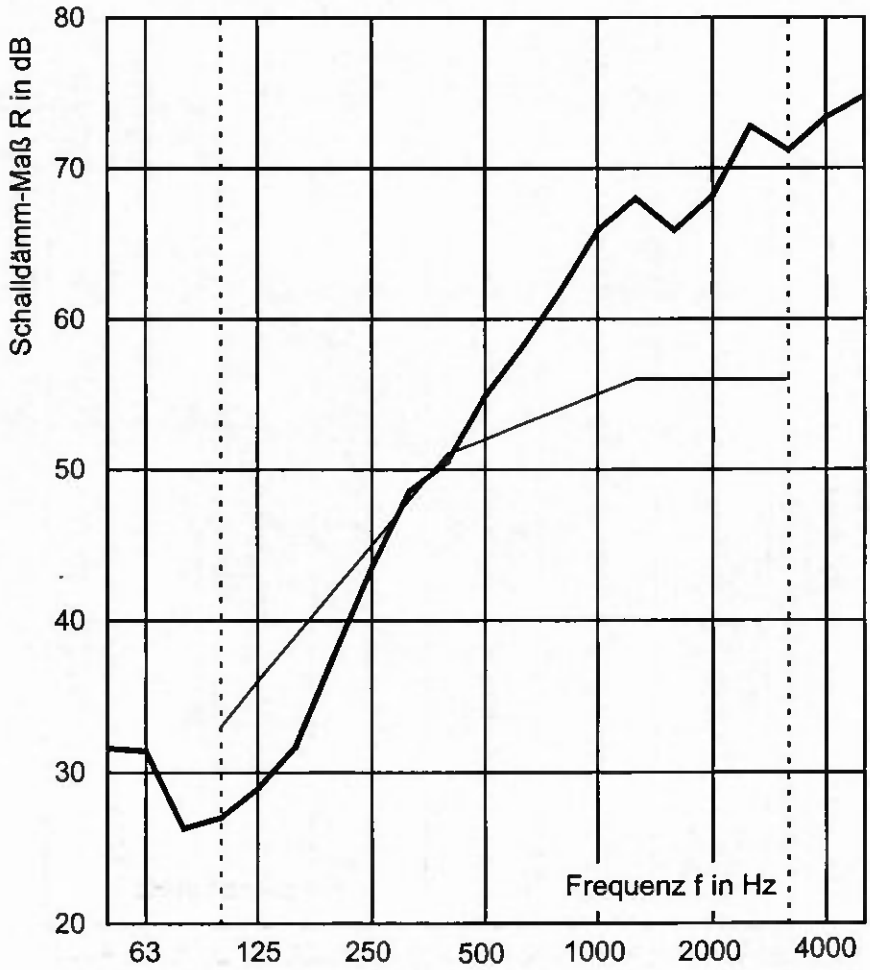
R_w (C; C_{tr}) = 47 (-1; -7) dB

$C_{50\text{-}3150}$ = -2 dB $C_{tr,\,50\text{-}3150}$ = -10 dB
$C_{100\text{-}5000}$ = 0 dB $C_{tr,\,100\text{-}5000}$ = -7 dB
$C_{50\text{-}5000}$ = -1 dB $C_{tr,\,50\text{-}5000}$ = -10 dB

I Ergänzende Lufschallmessungen

WANDAUFBAU **Prüfnummer: 040810.V01**

3 mm	Dünnputz, m' = 5,4kg/m²
40 mm	Holzfaserdämmplatten, m' = 12,7 kg/m², verschraubt, e = 500 mm x 800 mm
100 mm	Holzfaserdämmplatten, , Klammerabstand e = 625 mm x 150 mm, m' = 14,1 kg/m²
	Windsperre
80 mm	Riegellage Fichte 80 mm x 80 mm, lose verlegt, m' = 36,2 kg/m²
15 mm	OSB, in Riegel geklammert, Klammerabstand e = 650 mm x 80 mm, m' = 10,7 kg/m²
12,5 mm	Gipsfaserplatte, geklammert, Klammerabstand e = 625 mm x 120 mm, m' = 14,3 kg/m²

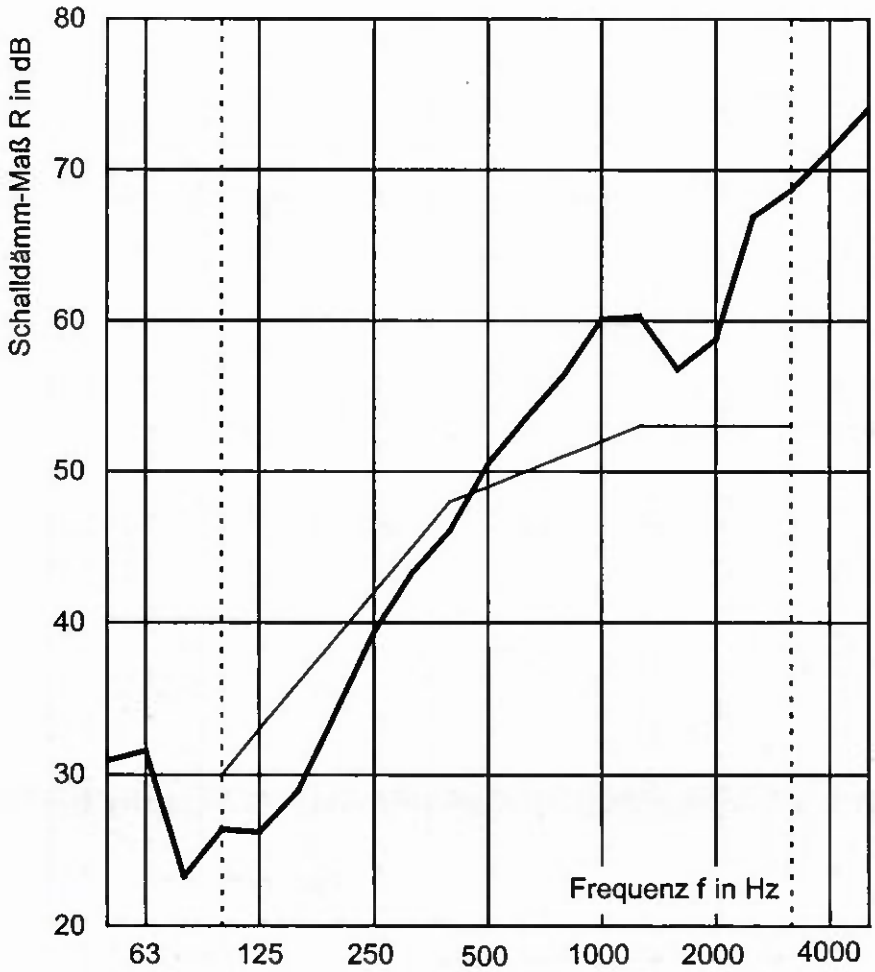


R_w (C; C_{tr}) = 52 (-3; -9) dB

$C_{50\text{-}3150}$ = -3 dB $C_{tr,\,50\text{-}3150}$ = -11 dB
$C_{100\text{-}5000}$ = -2 dB $C_{tr,\,100\text{-}5000}$ = -9 dB
$C_{50\text{-}5000}$ = -2 dB $C_{tr,\,50\text{-}5000}$ = -11 dB

WANDAUFBAU **Prüfnummer: 040810.V02**

3 mm	Dünnputz, m' = 5,4kg/m²
40 mm	Holzfaserdämmplatten, m' = 12,7 kg/m², verschraubt, e = 500 mm x 800 mm
100 mm	Holzfaserdämmplatten, , Klammerabstand e = 625 mm x 150 mm, m' = 14,1 kg/m²
	Windsperre
80 mm	Riegellage Fichte 80 mm x 80 mm, lose verlegt, m' = 36,2 kg/m²
15 mm	OSB, in Riegel geklammert, Klammerabstand e = 650 mm x 80 mm, m' = 10,7 kg/m²



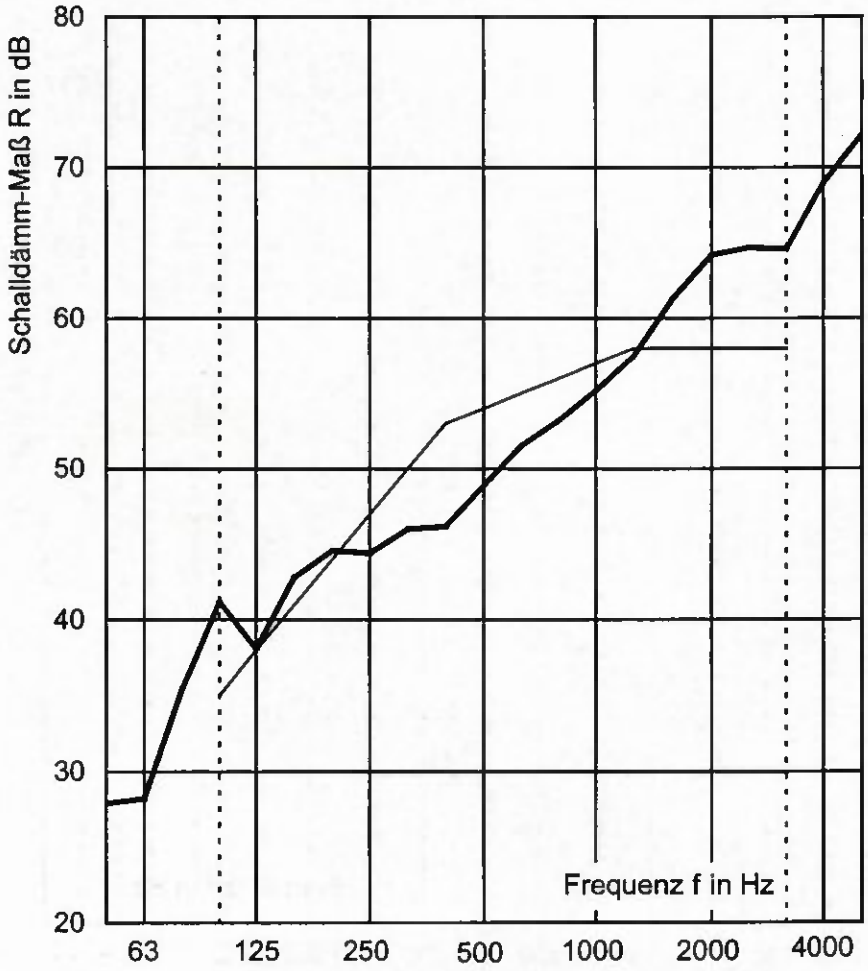
R_w (C; C_{tr}) = 49 (-3; -8) dB

$C_{50\text{-}3150}$ =	-3 dB	$C_{tr,\,50\text{-}3150}$ =	-10 dB
$C_{100\text{-}5000}$ =	-2 dB	$C_{tr,\,100\text{-}5000}$ =	-8 dB
$C_{50\text{-}5000}$ =	-2 dB	$C_{tr,\,50\text{-}5000}$ =	-10 dB

I Ergänzende Lufschallmessungen

WANDAUFBAU **Prüfnummer: 040810.V03**

25 mm	Stülpschalung, m' = 8,4 kg/m²
30 mm	Lattung 50 mm x 30 mm, vertikal, Achsabstand e = 1030 mm, geschraubt mit Holzschrauben 7 x 240 mm, Schraubenabstand e = 800 mm
40 mm	Holzfaserdämmplatten, m' = 12,7 kg/m², verschraubt, e = 500 mm x 800 mm
100 mm	Holzfaserdämmplatten, , Klammerabstand e = 625 mm x 150 mm, m' = 14,1 kg/m²
	Windsperre
80 mm	Riegellage Fichte 80 mm x 80 mm, lose verlegt, m' = 36,2 kg/m²
15 mm	OSB, in Riegel geklammert, Klammerabstand e = 650 mm x 80 mm, m' = 10,7 kg/m²
12,5 mm	Gipsfaserplatte, geklammert, Klammerabstand e = 625 mm x 120 mm, m' = 14,3 kg/m²

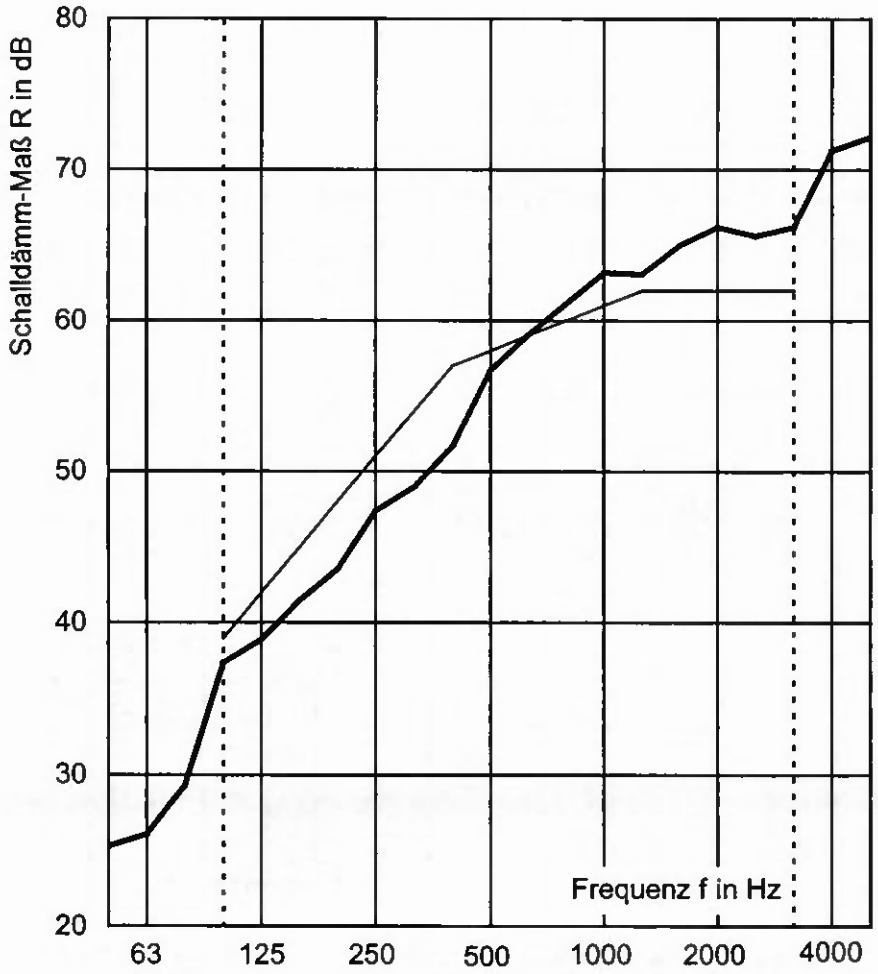


R_w (C; C_{tr}) = 54 (-1; -4) dB

$C_{50\text{-}3150}$ =	-1 dB	$C_{tr,\,50\text{-}3150}$ =	-8 dB
$C_{100\text{-}5000}$ =	0 dB	$C_{tr,\,100\text{-}5000}$ =	-4 dB
$C_{50\text{-}5000}$ =	0 dB	$C_{tr,\,50\text{-}5000}$ =	-8 dB

WANDAUFBAU **Prüfnummer: 040810.V04**

30 mm	Lattung 50 mm x 30 mm, vertikal, Achsabstand e = 1030 mm, geschraubt mit Holzschrauben 7 x 240 mm, Schraubenabstand e = 800 mm
40 mm	Holzfaserdämmplatten, m' = 12,7 kg/m², verschraubt, e = 500 mm x 800 mm
100 mm	Holzfaserdämmplatten, , Klammerabstand e = 625 mm x 150 mm, m' = 14,1 kg/m² Windsperre
80 mm	Riegellage Fichte 80 mm x 80 mm, lose verlegt, m' = 36,2 kg/m²
15 mm	OSB, in Riegel geklammert, Klammerabstand e = 650 mm x 80 mm, m' = 10,7 kg/m²
12,5 mm	Gipsfaserplatte, geklammert, Klammerabstand e = 625 mm x 120 mm, m' = 14,3 kg/m²



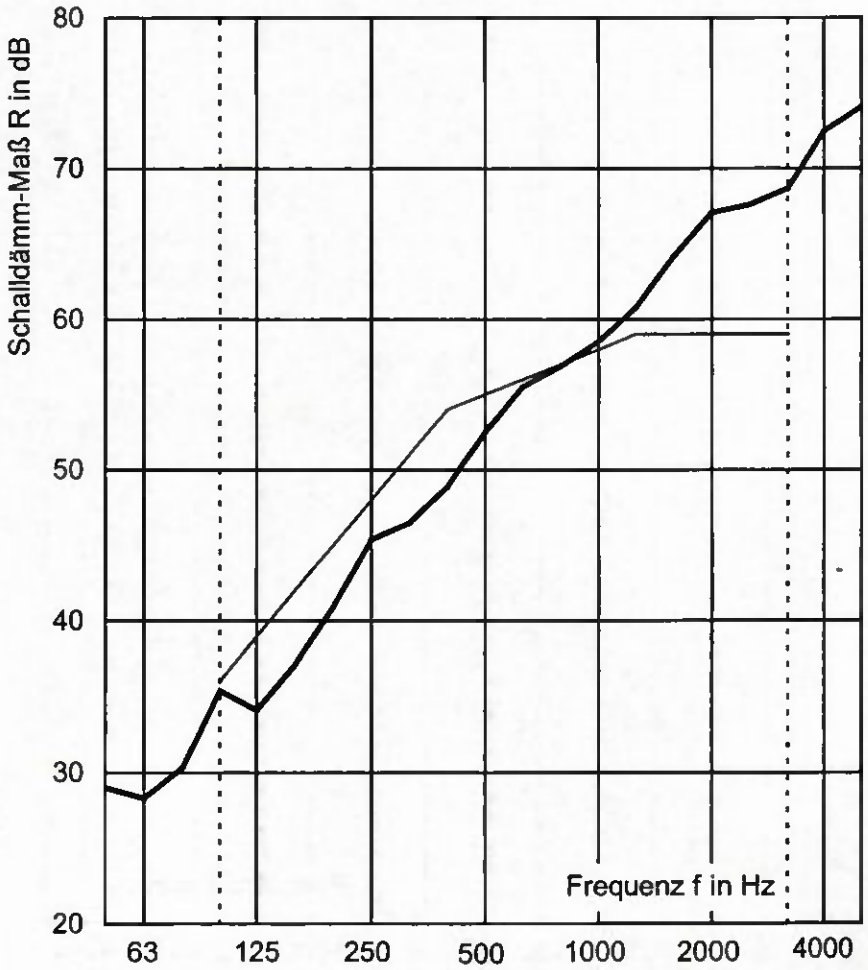
R_w (C; C_{tr}) = 58 (-2; -7) dB

$C_{50\text{-}3150}$ = -4 dB $C_{tr,\,50\text{-}3150}$ = -14 dB
$C_{100\text{-}5000}$ = -7 dB $C_{tr,\,100\text{-}5000}$ = -7 dB
$C_{50\text{-}5000}$ = -3 dB $C_{tr,\,50\text{-}5000}$ = -14 dB

I Ergänzende Lufschallmessungen

WANDAUFBAU **Prüfnummer: 040810.V05**

25 mm	Stülpschalung, m' = 8,4 kg/m²
30 mm	Lattung 50 mm x 30 mm, vertikal, Achsabstand e = 1030 mm, geschraubt mit Holzschrauben 6 x 150 mm, Schraubenabstand e = 800 mm
40 mm	Holzfaserdämmplatten, m' = 12,7 kg/m², verschraubt, e = 500 mm x 800 mm
60 mm	Holzfaserdämmplatten, , Klammerabstand e = 625 mm x 150 mm, m' = 8,4 kg/m² Windsperre
80 mm	Riegellage Fichte 80 mm x 80 mm, lose verlegt, m' = 36,2 kg/m²
15 mm	OSB, in Riegel geklammert, Klammerabstand e = 650 mm x 80 mm, m' = 10,7 kg/m²
12,5 mm	Gipsfaserplatte, geklammert, Klammerabstand e = 625 mm x 120 mm, m' = 14,3 kg/m²



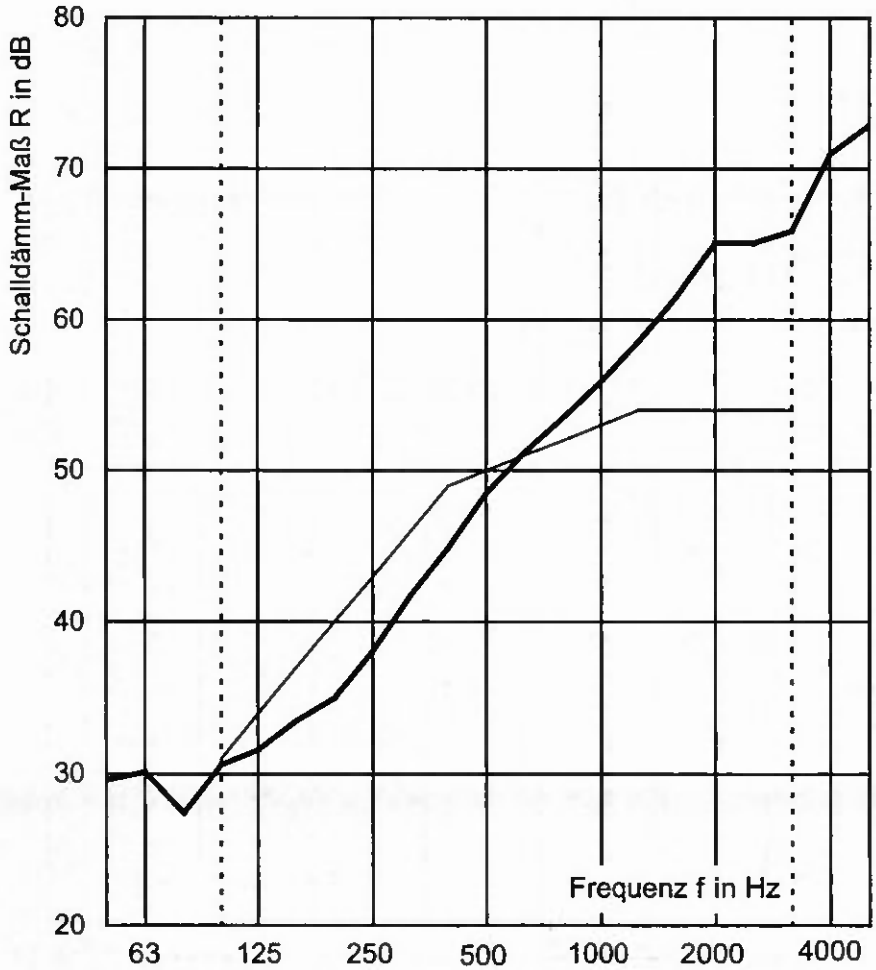
R_w (C; C_{tr}) = 55 (-2; -7) dB

$C_{50\text{-}3150}$	= -3 dB	$C_{tr,\,50\text{-}3150}$	= -10 dB
$C_{100\text{-}5000}$	= -1 dB	$C_{tr,\,100\text{-}5000}$	= -7 dB
$C_{50\text{-}5000}$	= -2 dB	$C_{tr,\,50\text{-}5000}$	= -10 dB

I Ergänzende Lufschallmessungen

WANDAUFBAU **Prüfnummer: 040810.V05b**

25 mm	Stülpschalung, m' = 8,4 kg/m²
30 mm	Lattung 50 mm x 30 mm, vertikal, Achsabstand e = 1030 mm, geschraubt mit Holzschrauben 8 x 220 mm (10Nm), Schraubenabstand e = 800 mm
40 mm	Holzfaserdämmplatten, m' = 12,7 kg/m², verschraubt, e = 500 mm x 800 mm
60 mm	Holzfaserdämmplatten, , Klammerabstand e = 625 mm x 150 mm, m' = 8,4 kg/m² Windsperre
80 mm	Riegellage Fichte 80 mm x 80 mm, lose verlegt, m' = 36,2 kg/m²
15 mm	OSB, in Riegel geklammert, Klammerabstand e = 650 mm x 80 mm, m' = 10,7 kg/m²
12,5 mm	Gipsfaserplatte, geklammert, Klammerabstand e = 625 mm x 120 mm, m' = 14,3 kg/m²



R_w (C; C_{tr}) = 50 (-1; -6) dB

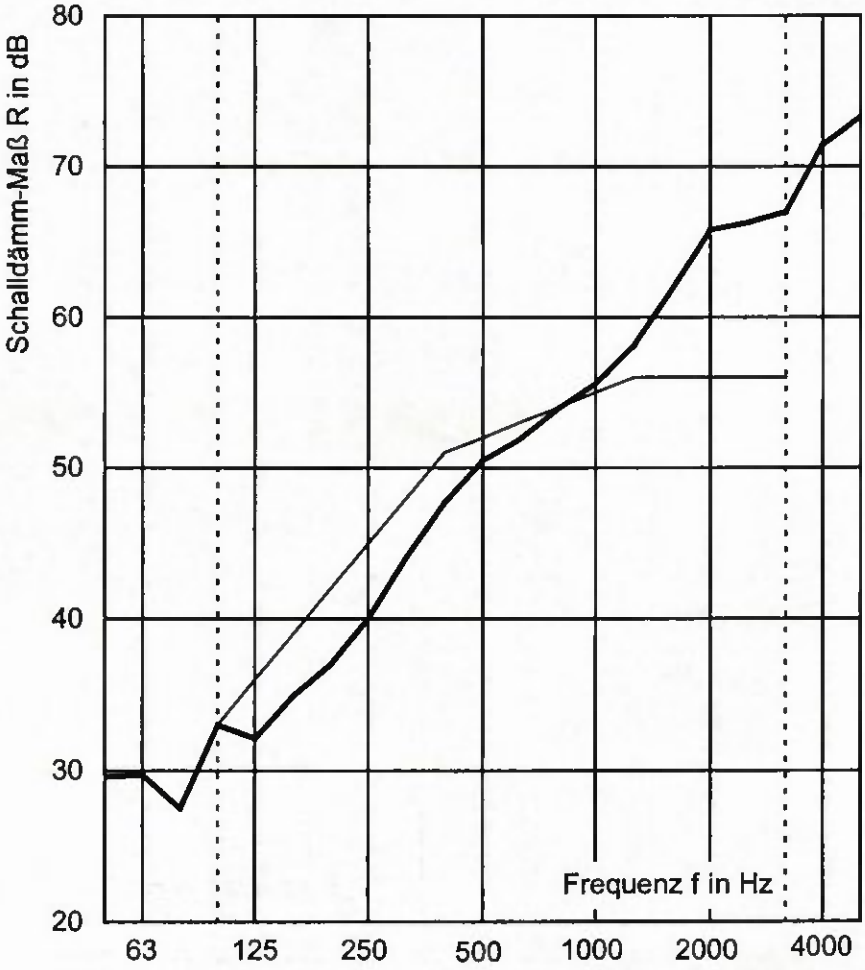
$C_{50\text{-}3150}$ =	-2 dB	$C_{tr,\,50\text{-}3150}$ =	-8 dB
$C_{100\text{-}5000}$ =	0 dB	$C_{tr,\,100\text{-}5000}$ =	-6 dB
$C_{50\text{-}5000}$ =	-1 dB	$C_{tr,\,50\text{-}5000}$ =	-8 dB

I Ergänzende Lufschallmessungen

ROSENHEIM

WANDAUFBAU **Prüfnummer: 040810.V05c**

25 mm	Stülpschalung, m' = 8,4 kg/m²
30 mm	Lattung 50 mm x 30 mm, vertikal, Achsabstand e = 1030 mm, geschraubt mit Holzschrauben 8 x 220 mm (5,5 Nm), Schraubenabstand e = 800 mm
40 mm	Holzfaserdämmplatten, m' = 12,7 kg/m², verschraubt, e = 500 mm x 800 mm
60 mm	Holzfaserdämmplatten, , Klammerabstand e = 625 mm x 150 mm, m' = 8,4 kg/m² Windsperre
80 mm	Riegellage Fichte 80 mm x 80 mm, lose verlegt, m' = 36,2 kg/m²
15 mm	OSB, in Riegel geklammert, Klammerabstand e = 650 mm x 80 mm, m' = 10,7 kg/m²
12,5 mm	Gipsfaserplatte, geklammert, Klammerabstand e = 625 mm x 120 mm, m' = 14,3 kg/m²



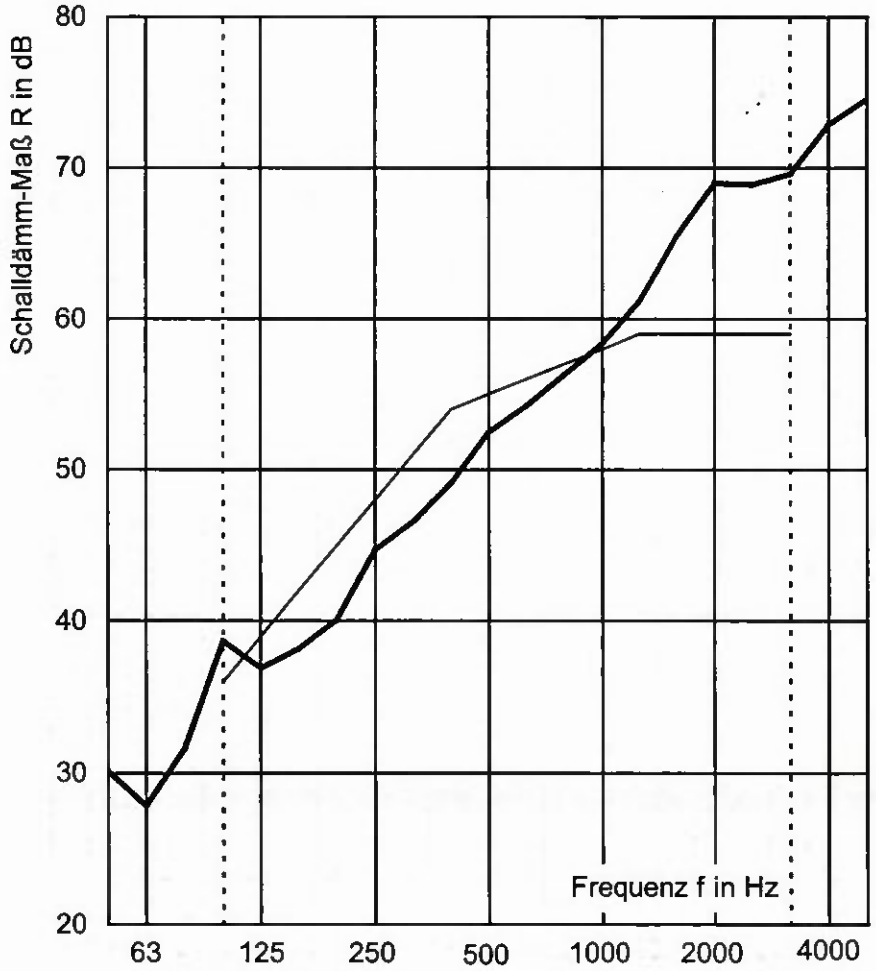
R_w (C; C_{tr}) = 52 (-2; -7) dB

$C_{50\text{-}3150}$ =	-2 dB	$C_{tr,\,50\text{-}3150}$ =	-9 dB
$C_{100\text{-}5000}$ =	-1 dB	$C_{tr,\,100\text{-}5000}$ =	-7 dB
$C_{50\text{-}5000}$ =	-1 dB	$C_{tr,\,50\text{-}5000}$ =	-9 dB

I Ergänzende Lufschallmessungen

WANDAUFBAU **Prüfnummer: 040810.V06**

25 mm	Stülpschalung, m' = 8,4 kg/m²
30 mm	Lattung 50 mm x 30 mm, vertikal, Achsabstand e = 1030 mm, geschraubt mit Holzschrauben 6 x 300 mm, Schraubenabstand e = 800 mm
40 mm	Holzfaserdämmplatten, m' = 12,7 kg/m², verschraubt, e = 500 mm x 800 mm
60 mm	Holzfaserdämmplatten, , Klammerabstand e = 625 mm x 150 mm, m' = 8,4 kg/m²
100 mm	Holzfaserdämmplatten, , Klammerabstand e = 625 mm x 150 mm, m' = 14,1 kg/m²
	Windsperre
80 mm	Riegellage Fichte 80 mm x 80 mm, lose verlegt, m' = 36,2 kg/m²
15 mm	OSB, in Riegel geklammert, Klammerabstand e = 650 mm x 80 mm, m' = 10,7 kg/m²
12,5 mm	Gipsfaserplatte, geklammert, Klammerabstand e = 625 mm x 120 mm, m' = 14,3 kg/m²



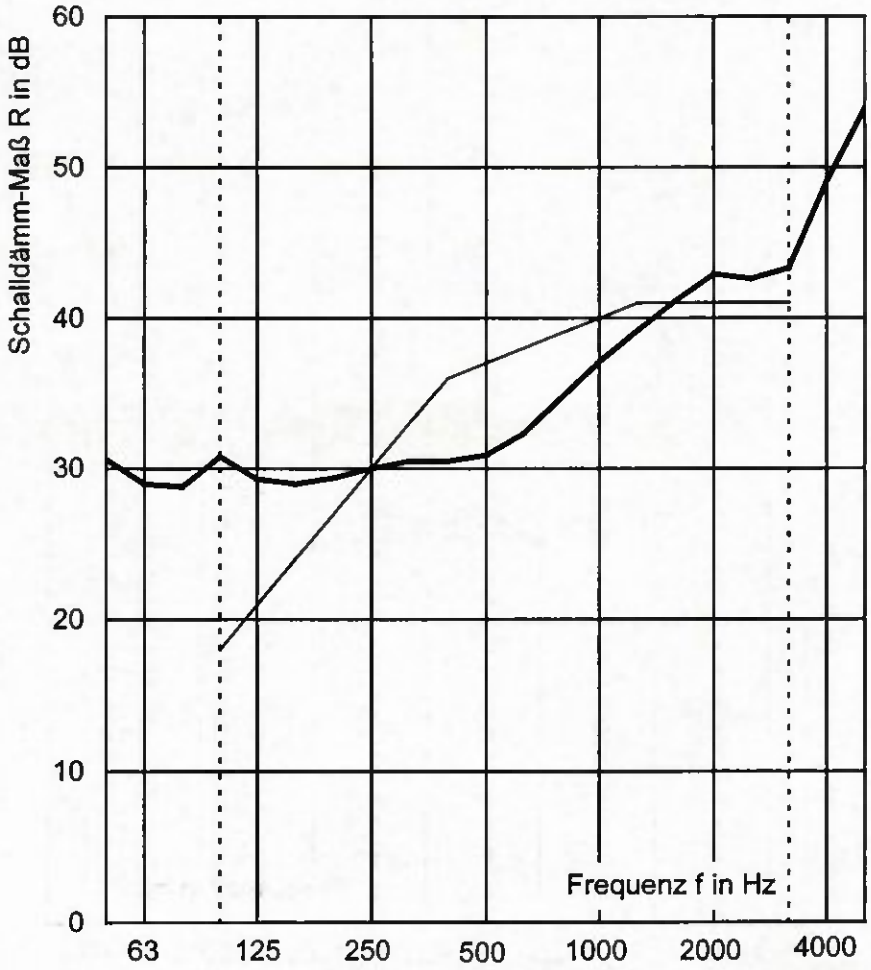
R_w (C; C_{tr}) = 55 (-1; -6) dB

$C_{50\text{-}3150}$ =	-2 dB	$C_{tr,\,50\text{-}3150}$ =	-10 dB
$C_{100\text{-}5000}$ =	0 dB	$C_{tr,\,100\text{-}5000}$ =	-6 dB
$C_{50\text{-}5000}$ =	-1 dB	$C_{tr,\,50\text{-}5000}$ =	-10 dB

I Ergänzende Lufschallmessungen

WANDAUFBAU **Prüfnummer: 040810.V07**

80 mm Riegellage Fichte 80 mm x 80 mm, lose verlegt, m' = 36,2 kg/m²
15 mm OSB, in Riegel geklammert, Klammerabstand e = 650 mm x 80 mm, m' = 10,7 kg/m²
12,5 mm Gipsfaserplatte, geklammert, Klammerabstand e = 625 mm x 120 mm, m' = 14,3 kg/m²



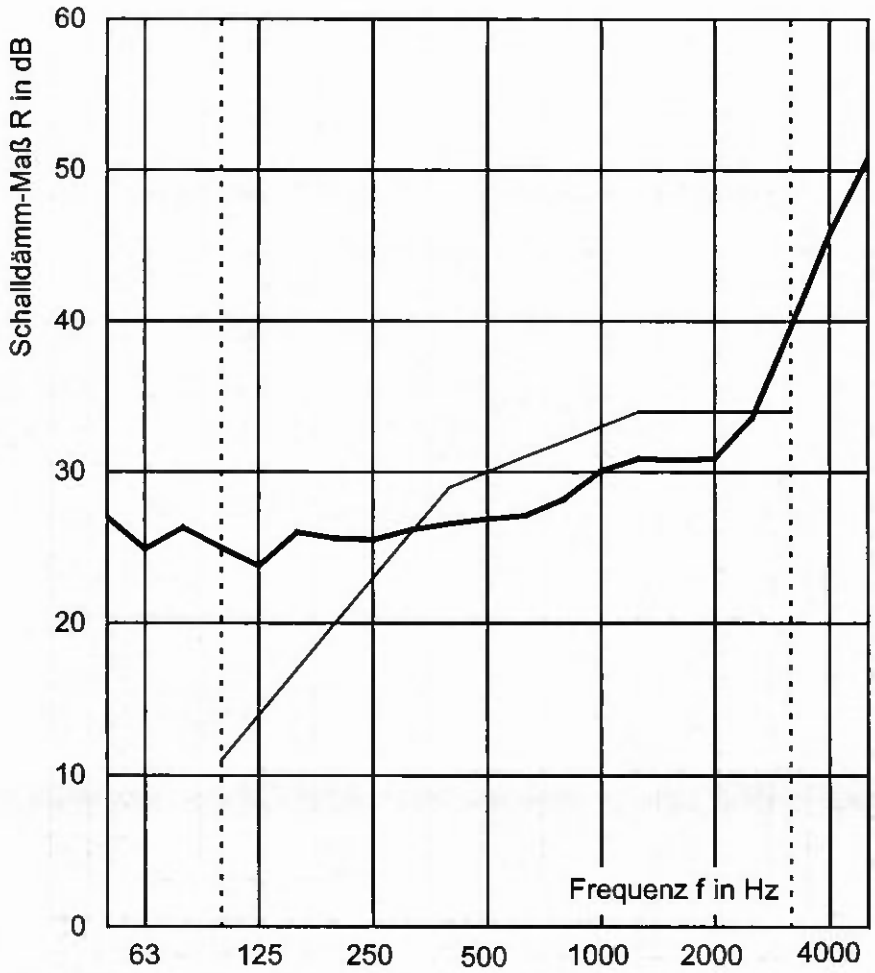
R_w (C; C_{tr}) = 37 (-1; -3) dB

$C_{50\text{-}3150}$	=	-1 dB	$C_{tr,\,50\text{-}3150}$	=	-3 dB
$C_{100\text{-}5000}$	=	0 dB	$C_{tr,\,100\text{-}5000}$	=	-3 dB
$C_{50\text{-}5000}$	=	0 dB	$C_{tr,\,50\text{-}5000}$	=	-3 dB

I Ergänzende Lufschallmessungen

WANDAUFBAU **Prüfnummer: 040810.V08**

80 mm Riegellage Fichte 80 mm x 80 mm, lose verlegt, m' = 36,2 kg/m²
15 mm OSB, in Riegel geklammert, Klammerabstand e = 650 mm x 80 mm, m' = 10,7 kg/m²



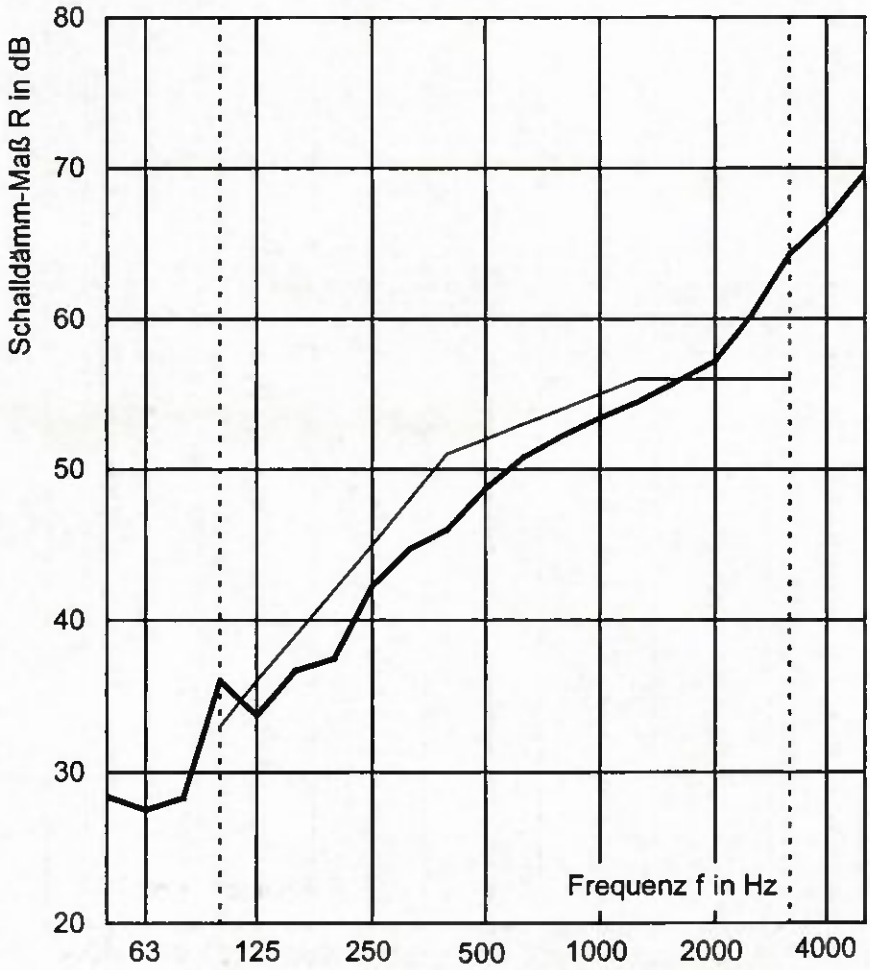
R_w (C; C_{tr}) = 30 (0; -1) dB

$C_{50\text{-}3150}$ =	0 dB	$C_{tr,\,50\text{-}3150}$ =	-1 dB
$C_{100\text{-}5000}$ =	1 dB	$C_{tr,\,100\text{-}5000}$ =	-1 dB
$C_{50\text{-}5000}$ =	1 dB	$C_{tr,\,50\text{-}5000}$ =	-1 dB

I Ergänzende Lufschallmessungen

WANDAUFBAU **Prüfnummer: 040810.V09**

25 mm	Stülpschalung, m' = 8,4 kg/m²
30 mm	Lattung 50 mm x 30 mm, vertikal, Achsabstand e = 1030 mm, geschraubt mit Holzschrauben 6 x 300 mm (5,5 Nm), Schraubenabstand e = 800 mm
40 mm	Holzfaserdämmplatten, m' = 12,7 kg/m², verschraubt, e = 500 mm x 800 mm
60 mm	Holzfaserdämmplatten, , Klammerabstand e = 625 mm x 150 mm, m' = 8,4 kg/m²
100 mm	Holzfaserdämmplatten, , Klammerabstand e = 625 mm x 150 mm, m' = 14,1 kg/m²
	Windsperre
80 mm	Riegellage Fichte 80 mm x 80 mm, lose verlegt, m' = 36,2 kg/m²
15 mm	OSB, in Riegel geklammert, Klammerabstand e = 650 mm x 80 mm, m' = 10,7 kg/m²



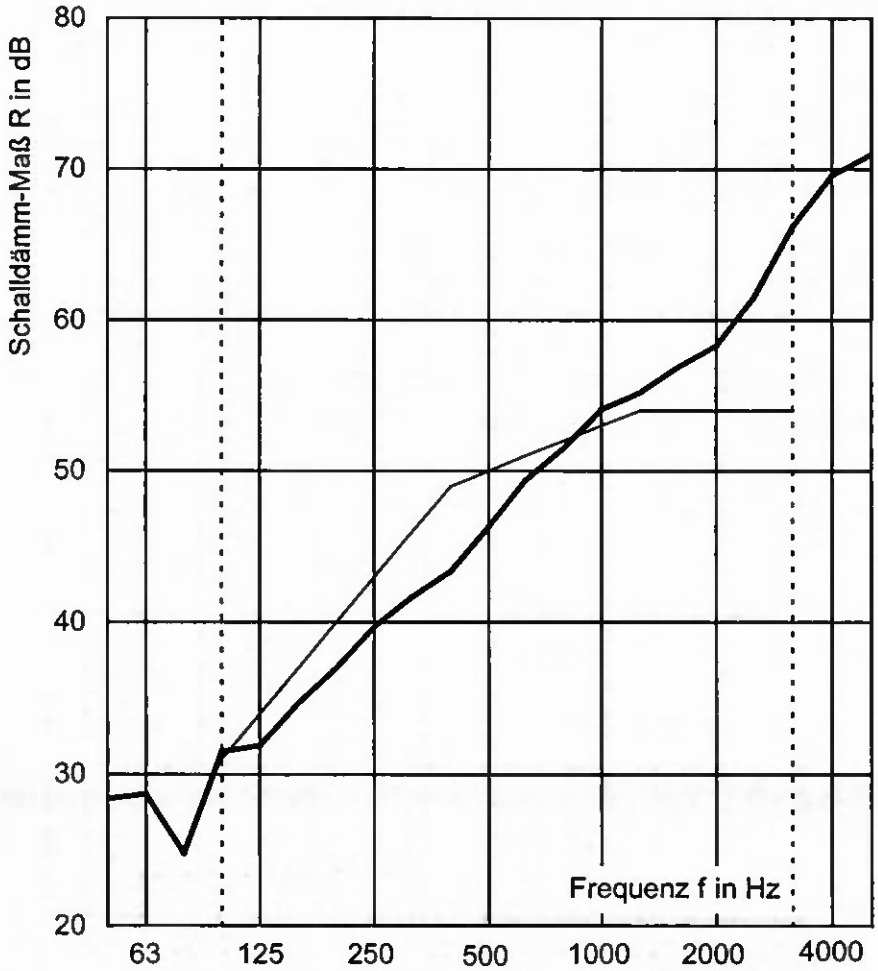
R_w (C; C_{tr}) = 52 (-2; -6) dB

$C_{50\text{-}3150}$ =	-2 dB	$C_{tr,\,50\text{-}3150}$ =	-9 dB
$C_{100\text{-}5000}$ =	-1 dB	$C_{tr,\,100\text{-}5000}$ =	-6 dB
$C_{50\text{-}5000}$ =	-1 dB	$C_{tr,\,50\text{-}5000}$ =	-9 dB

I Ergänzende Lufschallmessungen

WANDAUFBAU **Prüfnummer: 040810.V09c**

25 mm Stülpschalung, m' = 8,4 kg/m²
30 mm Lattung 50 mm x 30 mm, vertikal, Achsabstand e = 1030 mm, geschraubt mit Holzschrauben 6 x 300 mm (10 Nm), Schraubenabstand e = 800 mm
40 mm Holzfaserdämmplatten, m' = 12,7 kg/m², verschraubt, e = 500 mm x 800 mm
60 mm Holzfaserdämmplatten, , Klammerabstand e = 625 mm x 150 mm, m' = 8,4 kg/m²
100 mm Holzfaserdämmplatten, , Klammerabstand e = 625 mm x 150 mm, m' = 14,1 kg/m²
Windsperre
80 mm Riegellage Fichte 80 mm x 80 mm, lose verlegt, m' = 36,2 kg/m²
15 mm OSB, in Riegel geklammert, Klammerabstand e = 650 mm x 80 mm, m' = 10,7 kg/m²



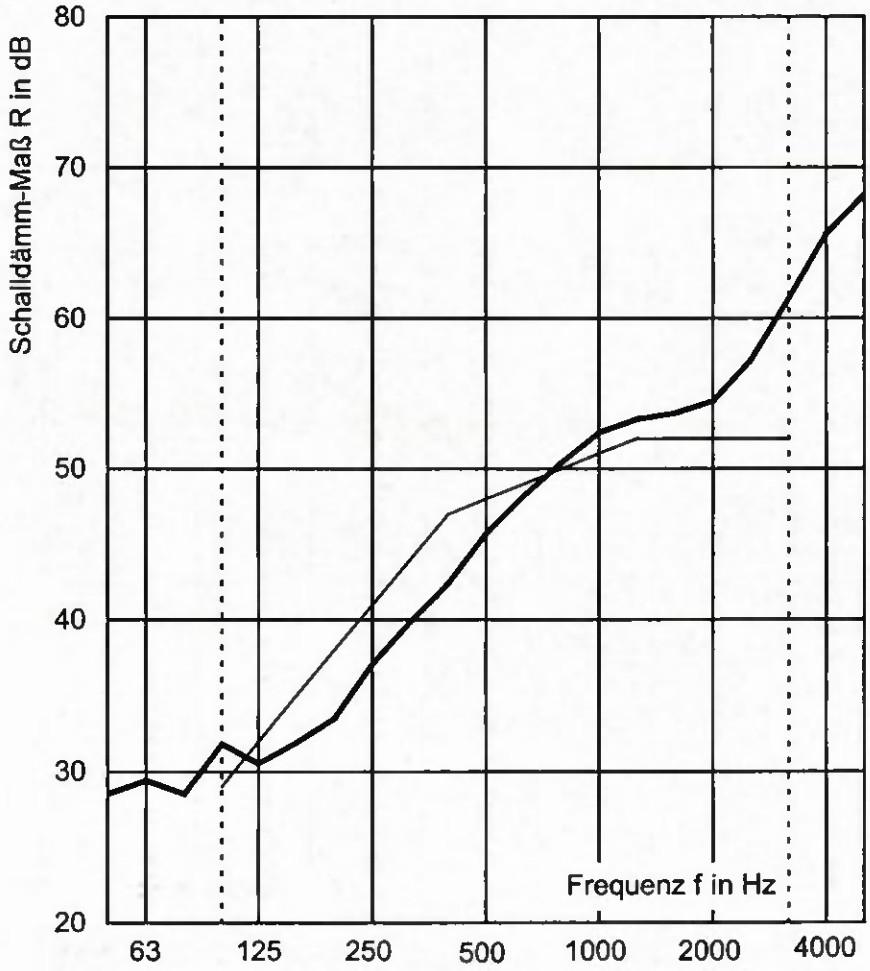
R_w (C; C_{tr}) = 50 (-1; -6) dB

$C_{50\text{-}3150}$ =	-2 dB	$C_{tr,\,50\text{-}3150}$ =	-9 dB
$C_{100\text{-}5000}$ =	0 dB	$C_{tr,\,100\text{-}5000}$ =	-6 dB
$C_{50\text{-}5000}$ =	-1 dB	$C_{tr,\,50\text{-}5000}$ =	-9 dB

I Ergänzende Lufschallmessungen

WANDAUFBAU **Prüfnummer: 040810.V10**

25 mm Stülpschalung, m' = 8,4 kg/m²
30 mm Lattung 50 mm x 30 mm, vertikal, Achsabstand e = 1030 mm, geschraubt mit Holzschrauben 8 x 220 mm (12 Nm), Schraubenabstand e = 800 mm
40 mm Holzfaserdämmplatten, m' = 12,7 kg/m², verschraubt, e = 500 mm x 800 mm
60 mm Holzfaserdämmplatten, Klammerabstand e = 625 mm x 150 mm, m' = 8,4 kg/m²
Windsperre
80 mm Riegellage Fichte 80 mm x 80 mm, lose verlegt, m' = 36,2 kg/m²
15 mm OSB, in Riegel geklammert, Klammerabstand e = 650 mm x 80 mm, m' = 10,7 kg/m²

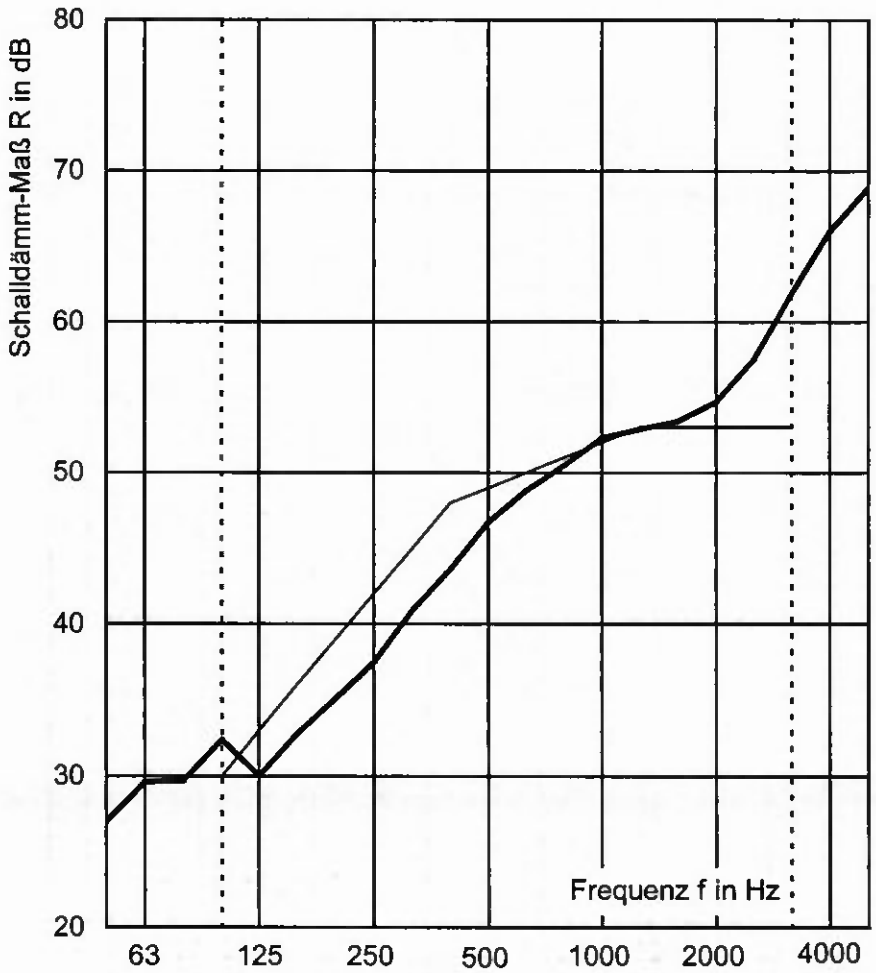


R_w (C; C_{tr}) = 49 (-2; -6) dB

$C_{50\text{-}3150}$ = -2 dB $C_{tr,\,50\text{-}3150}$ = -7 dB
$C_{100\text{-}5000}$ = -1 dB $C_{tr,\,100\text{-}5000}$ = -6 dB
$C_{50\text{-}5000}$ = -1 dB $C_{tr,\,50\text{-}5000}$ = -7 dB

WANDAUFBAU **Prüfnummer: 040810.V10b**

25 mm Stülpschalung, m' = 8,4 kg/m²
30 mm Lattung 50 mm x 30 mm, vertikal, Achsabstand e = 1030 mm, geschraubt mit Holzschrauben 8 x 220 mm (16 Nm), Schraubenabstand e = 800 mm
40 mm Holzfaserdämmplatten, m' = 12,7 kg/m², verschraubt, e = 500 mm x 800 mm
60 mm Holzfaserdämmplatten, Klammerabstand e = 625 mm x 150 mm, m' = 8,4 kg/m²
Windsperre
80 mm Riegellage Fichte 80 mm x 80 mm, lose verlegt, m' = 36,2 kg/m²
15 mm OSB, in Riegel geklammert, Klammerabstand e = 650 mm x 80 mm, m' = 10,7 kg/m²



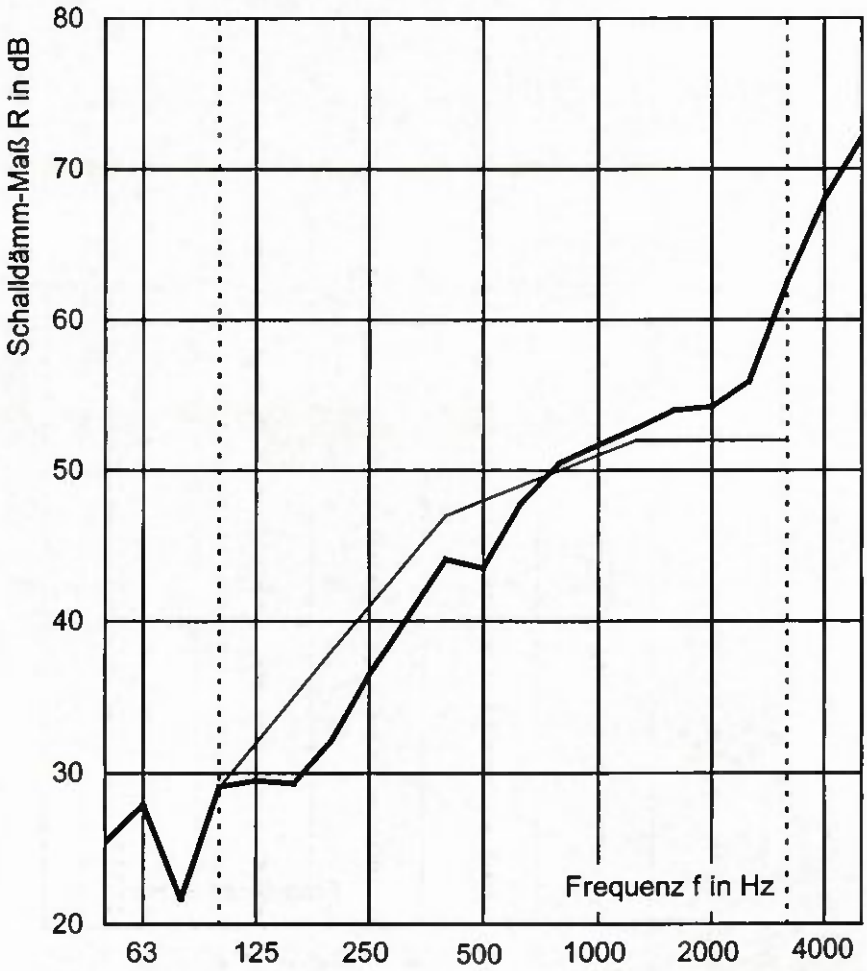
R_w (C; C_{tr}) = 48 (-1; -5) dB

$C_{50\text{-}3150}$ =	-2 dB	$C_{tr,\,50\text{-}3150}$ =	-7 dB
$C_{100\text{-}5000}$ =	0 dB	$C_{tr,\,100\text{-}5000}$ =	-5 dB
$C_{50\text{-}5000}$ =	-1 dB	$C_{tr,\,50\text{-}5000}$ =	-7 dB

I Ergänzende Lufschallmessungen

WANDAUFBAU **Prüfnummer: 040213.V01**

22 mm	Stülpschalung, m' = 12,9 kg/m²
30 mm	Lattung 50 mm x 30 mm, vertikal, Achsabstand e = 625 mm, geschraubt
15 mm	MDF, geschraubt, Schraubenabstand e = 625 mm x 400 mm, m' = 9,4 kg/m²
300 mm	Stegträger, 58 mm x 300 mm, Achsabstand e = 625 mm
	300 mm Zellulosedämmung, ρ = 58 kg/m³
15 mm	OSB, geschraubt, Schraubenabstand e = 625 mm x 400 mm, m' = 9,0 kg/m²
12,5 mm	GKB, geschraubt, Schraubenabstand e = 625 mm x 500 mm, m' = 9,2 kg/m²



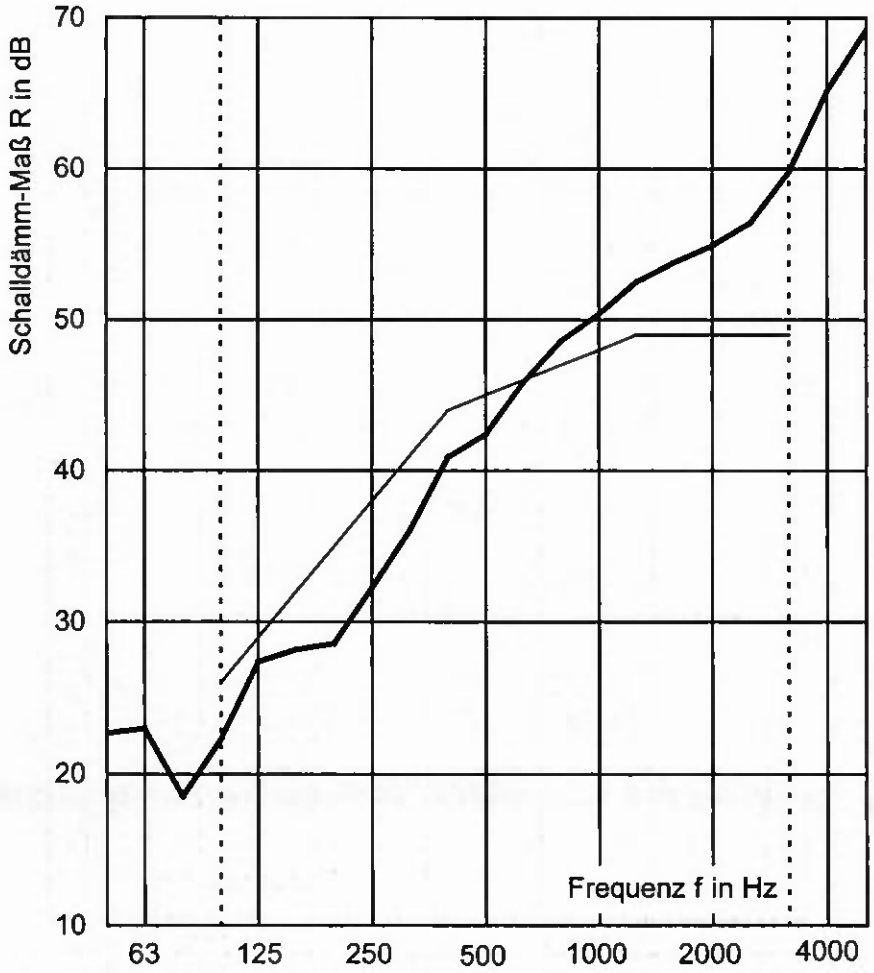
R_w (C; C_{tr}) = 48 (-2; -7) dB

$C_{50\text{-}3150}$ = -3 dB $C_{tr,\,50\text{-}3150}$ = -10 dB
$C_{100\text{-}5000}$ = -1 dB $C_{tr,\,100\text{-}5000}$ = -7 dB
$C_{50\text{-}5000}$ = -2 dB $C_{tr,\,50\text{-}5000}$ = -10 dB

I Ergänzende Lufschallmessungen

WANDAUFBAU **Prüfnummer: 040213.V03**

22 mm	Stülpschalung, m' = 12,9 kg/m²
30 mm	Lattung 50 mm x 30 mm, vertikal, Achsabstand e = 625 mm, geschraubt
15 mm	MDF, geschraubt, Schraubenabstand e = 625 mm x 400 mm, m' = 9,4 kg/m²
195 mm	Stegträger, 45 mm x 195 mm, Achsabstand e = 625 mm
	195 mm Zellulosedämmung, ρ = 58 kg/m³
15 mm	OSB, geschraubt, Schraubenabstand e = 625 mm x 400 mm, m' = 9,0 kg/m²
12,5 mm	GKB, geschraubt, Schraubenabstand e = 625 mm x 500 mm, m' = 9,2 kg/m²



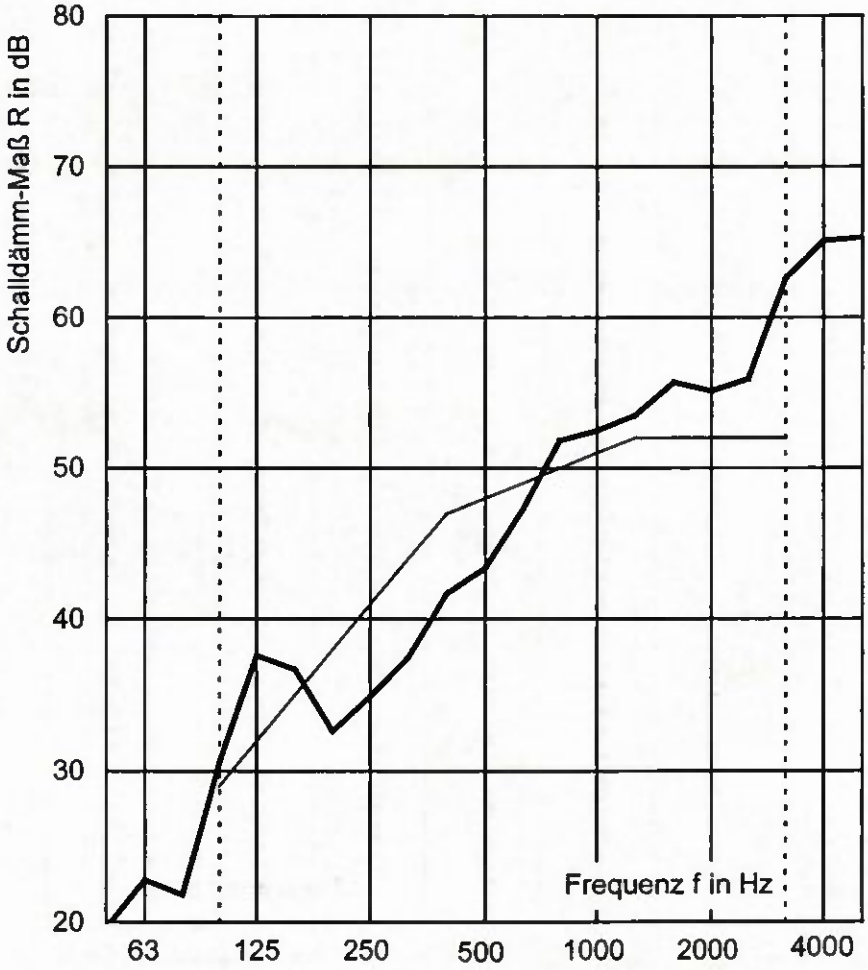
R_w (C; C_{tr}) = 45 (-2; -8) dB

$C_{50\text{-}3150}$ =	-3 dB	$C_{tr,\,50\text{-}3150}$ =	-10 dB
$C_{100\text{-}5000}$ =	-1 dB	$C_{tr,\,100\text{-}5000}$ =	-8 dB
$C_{50\text{-}5000}$ =	-2 dB	$C_{tr,\,50\text{-}5000}$ =	-10 dB

I Ergänzende Lufschallmessungen

WANDAUFBAU **Prüfnummer: 040213.V13**

22 mm	Stülpschalung, m' = 12,9 kg/m²
30 mm	Lattung 50 mm x 30 mm, vertikal, Achsabstand e = 625 mm, geschraubt
15 mm	MDF, geschraubt, Schraubenabstand e = 625 mm x 400 mm, m' = 9,4 kg/m²
300 mm	Stegträger, 58 mm x 300 mm, Achsabstand e = 625 mm
	300 mm Mineralfaserdämmung, ρ = 17 kg/m³
15 mm	OSB, geschraubt, Schraubenabstand e = 625 mm x 400 mm, m' = 9,0 kg/m²
12,5 mm	GKB, geschraubt, Schraubenabstand e = 625 mm x 500 mm, m' = 9,2 kg/m²



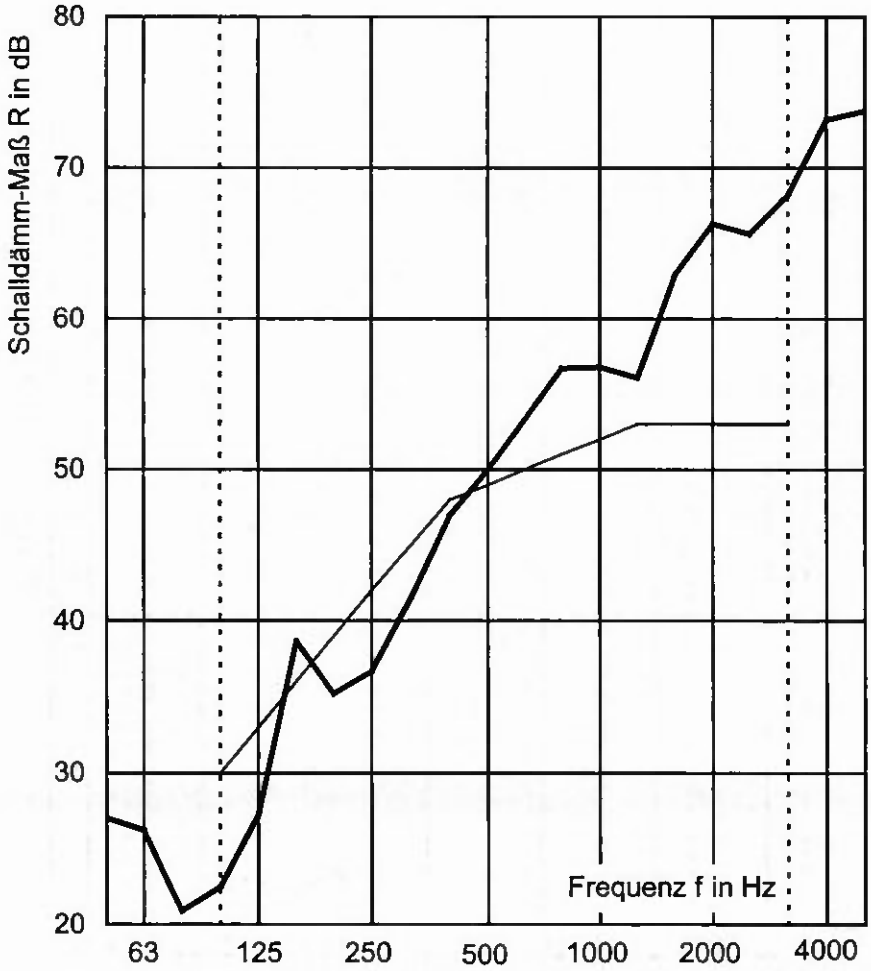
R_w (C; C_{tr}) = 48 (-2; -5) dB

$C_{50\text{-}3150}$	= -3 dB	$C_{tr,\,50\text{-}3150}$	= -10 dB
$C_{100\text{-}5000}$	= -1 dB	$C_{tr,\,100\text{-}5000}$	= -5 dB
$C_{50\text{-}5000}$	= -2 dB	$C_{tr,\,50\text{-}5000}$	= -10 dB

I Ergänzende Lufschallmessungen

WANDAUFBAU **Prüfnummer: 040213.V14**

8 mm	Mineralischer Putz mit Gewebe, m' = 7 kg/m²
60 mm	Holzfaserdämmplatte N+F, geschraubt, m' = 17 kg/m²
195 mm	Stegträger, 45 mm x 195 mm, Achsabstand e = 625 mm
	195 mm Zellulosedämmung, ρ = 58 kg/m³
15 mm	OSB, geschraubt, Schraubenabstand e = 625 mm x 400 mm, m' = 9,0 kg/m²
12,5 mm	GKB, geschraubt, Schraubenabstand e = 625 mm x 500 mm, m' = 9,2 kg/m²



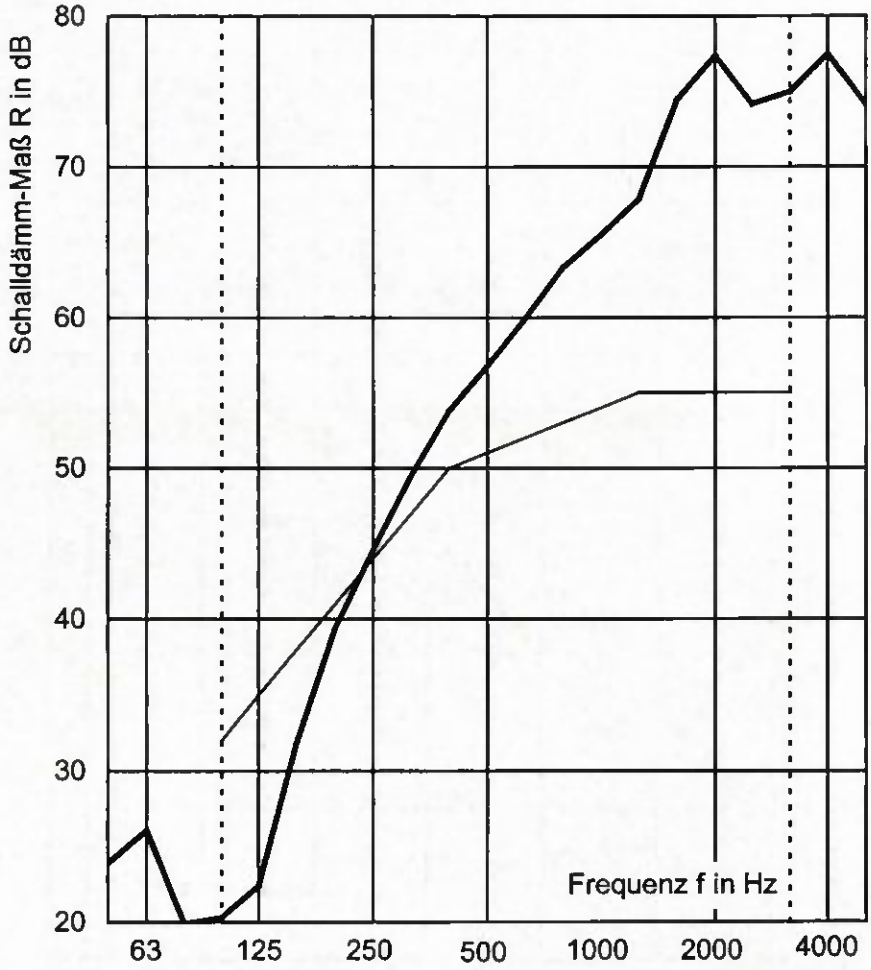
R_w (C; C_{tr}) = 49 (-2; -9) dB

$C_{50\text{-}3150}$ =	-3 dB	$C_{tr,\,50\text{-}3150}$ =	-12 dB
$C_{100\text{-}5000}$ =	-1 dB	$C_{tr,\,100\text{-}5000}$ =	-9 dB
$C_{50\text{-}5000}$ =	-2 dB	$C_{tr,\,50\text{-}5000}$ =	-12 dB

I Ergänzende Lufschallmessungen

WANDAUFBAU **Prüfnummer: 040213.V15**

8 mm	Mineralischer Putz mit Gewebe, m' = 7 kg/m²
60 mm	Holzfaserdämmplatte N+F, geschraubt, m' = 17 kg/m²
195 mm	Stegträger, 45 mm x 195 mm, Achsabstand e = 625 mm
	195 mm Zellulosedämmung, ρ = 58 kg/m³
15 mm	OSB, geschraubt, Schraubenabstand e = 625 mm x 400 mm, m' = 9,0 kg/m²
60 mm	Lattung 40 mm x 60 mm, horizontal, geschraubt, Achsabstand e = 417 mm
60 mm	Flexible Holzfaserdämmplatte, m' = 3,0 kg/m²
12,5 mm	GKB, geschraubt, Schraubenabstand e = 625 mm x 500 mm, m' = 9,2 kg/m²



R_w (C; C_{tr}) = 51 (-6; -13) dB

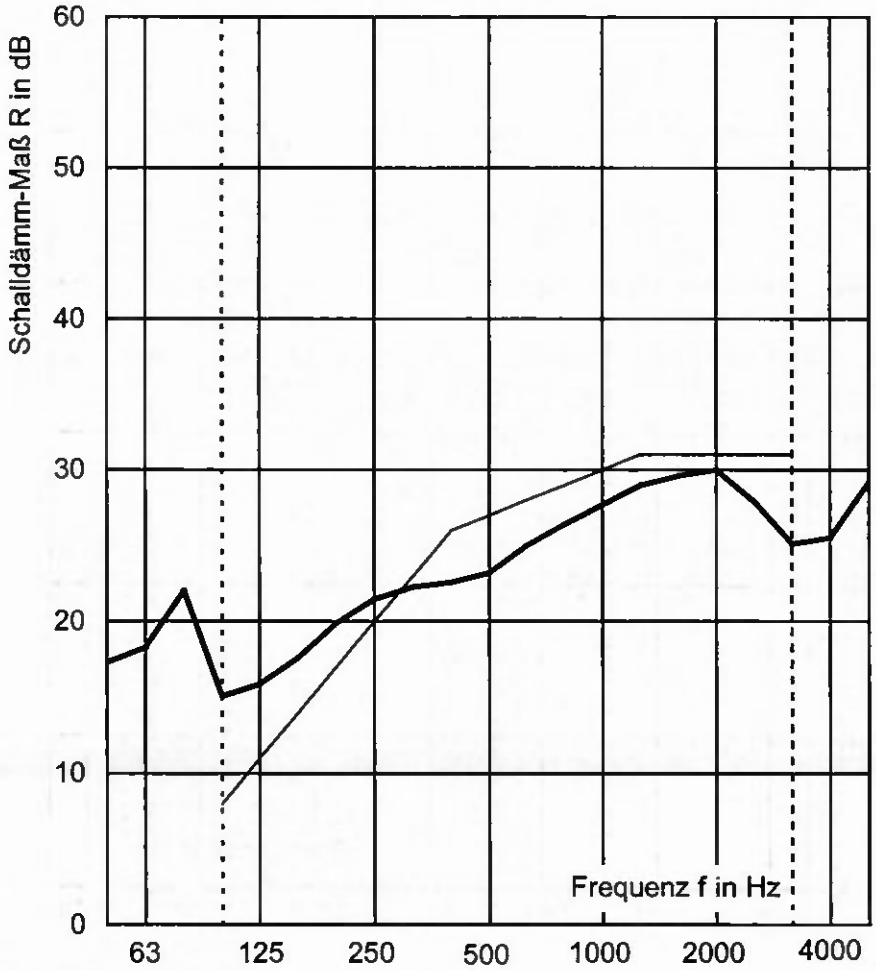
$C_{50\text{-}3150}$ = -7 dB $C_{tr,\,50\text{-}3150}$ = -15 dB
$C_{100\text{-}5000}$ = -5 dB $C_{tr,\,100\text{-}5000}$ = -13 dB
$C_{50\text{-}5000}$ = -6 dB $C_{tr,\,50\text{-}5000}$ = -15 dB

II. Materialprüfungen

Beplankung **Prüfnummer: 051110.V01**

10 mm Verlegespanplatte V100/E1, N+F, horizontal im Verband montiert
Plattenabmessungen (Deckmaß): 2050 mm x 925 mm
Verschraubt, Schraubenabstand e = 625 mm x 100 mm
Flächengewicht: 6,8 kg/m²

f_g = 3150 – 4000 Hz (Terzband)
f_g = 3421 Hz (FFT)
Dyn. E-Modul = 2392 N/mm² berechnet aus f_g (FFT)



R_w (C; C_{tr}) = 27 (-1; -2) dB

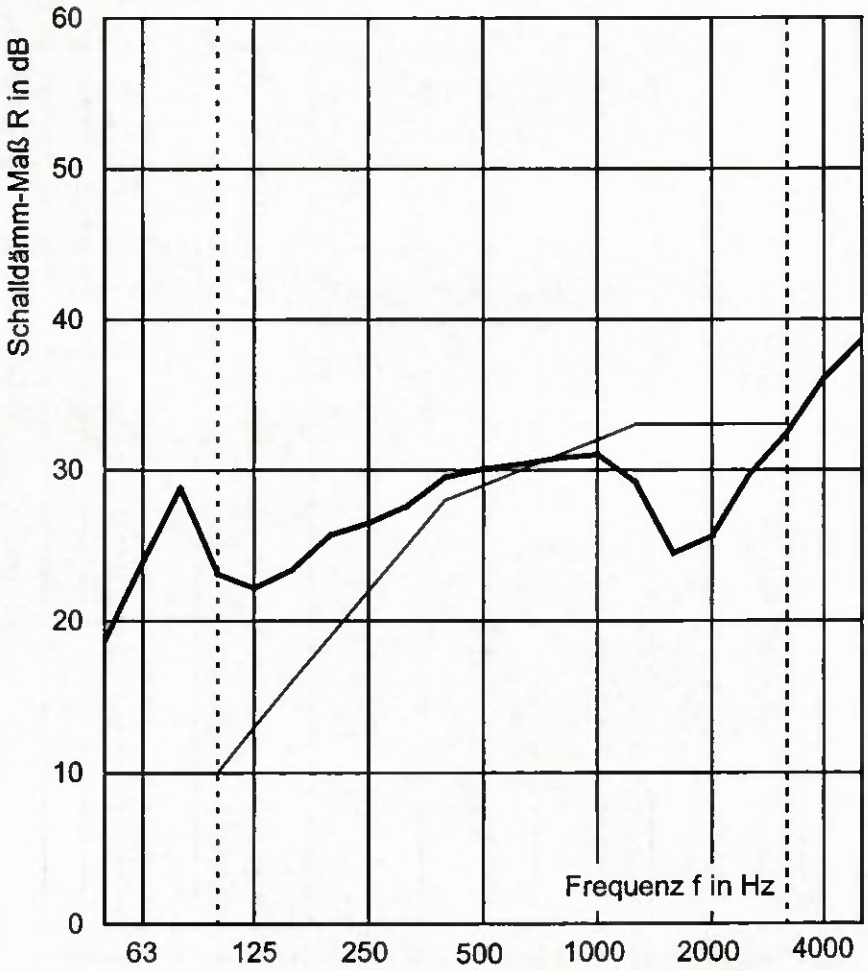
$C_{50\text{-}3150}$ = -1 dB $C_{tr,\,50\text{-}3150}$ = -3 dB
$C_{100\text{-}5000}$ = -1 dB $C_{tr,\,100\text{-}5000}$ = -3 dB
$C_{50\text{-}5000}$ = -1 dB $C_{tr,\,50\text{-}5000}$ = -10 dB

II Materialprüfungen

Beplankung **Prüfnummer: 051110.V02**

18 mm Gipskartonfeuerschutzplatten, vertikal im Verband montiert,
Horizontalstöße versetz, Stöße verfugt
Plattenabmessungen: 2000 mm x 1250 mm
Verschraubt, Schraubenabstand e = 625 mm x 100 mm
Flächengewicht: 15,9 kg/m²

f_g = 1600 – 2000 Hz (Terzband)
f_g = 1744 Hz (FFT)
Dyn. E-Modul = 3662 N/mm² berechnet aus f_g (FFT)



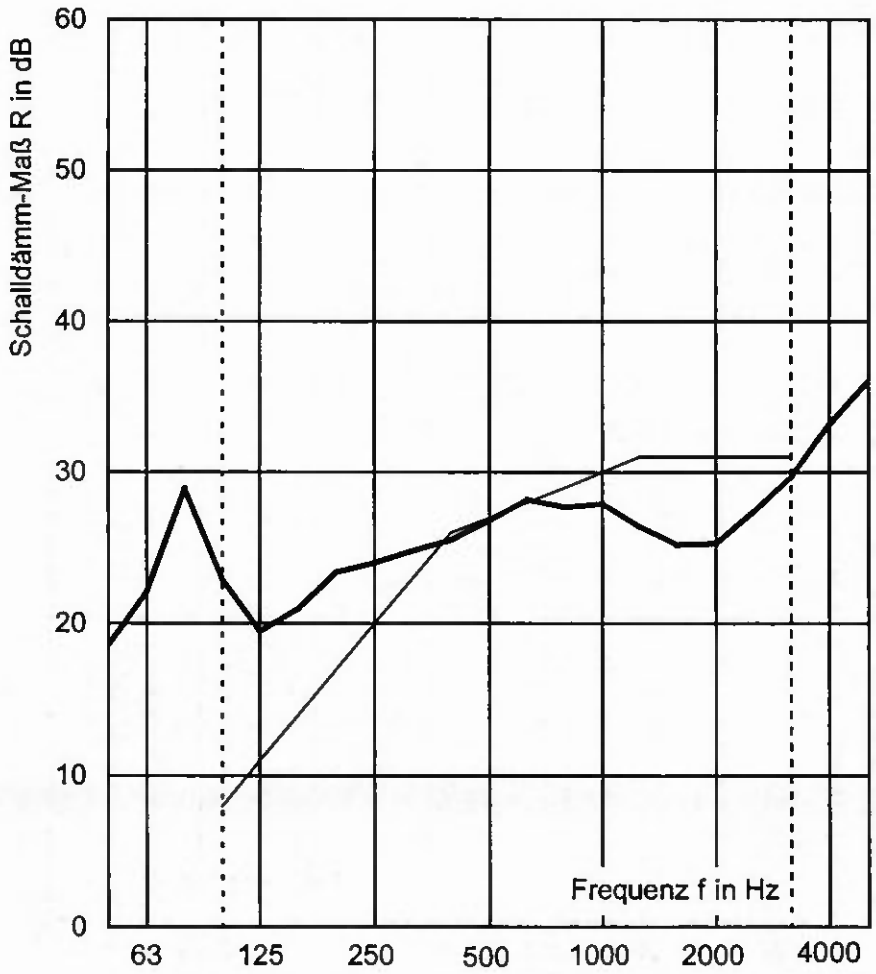
R_w (C; C_{tr}) = 29 (-1; -1) dB

$C_{50\text{-}3150}$ =	-1 dB	$C_{tr,\,50\text{-}3150}$ =	-1 dB
$C_{100\text{-}5000}$ =	0 dB	$C_{tr,\,100\text{-}5000}$ =	-1 dB
$C_{50\text{-}5000}$ =	0 dB	$C_{tr,\,50\text{-}5000}$ =	-1 dB

Beplankung **Prüfnummer: 051110.V03**

19 mm Verlegespanplatte V100/E1, N+F, horizontal im Verband montiert
Plattenabmessungen (Deckmaß): 2050 mm x 925 mm
Verschraubt, Schraubenabstand e = 625 mm x 100 mm
Flächengewicht: 12,2 kg/m²

f_g = 1600 – 2000 Hz (Terzband)
f_g = 1844 Hz (FFT)
Dyn. E-Modul = 2145 N/mm² berechnet aus f_g (FFT)



R_w (C; C_{tr}) = 27 (0; -1) dB

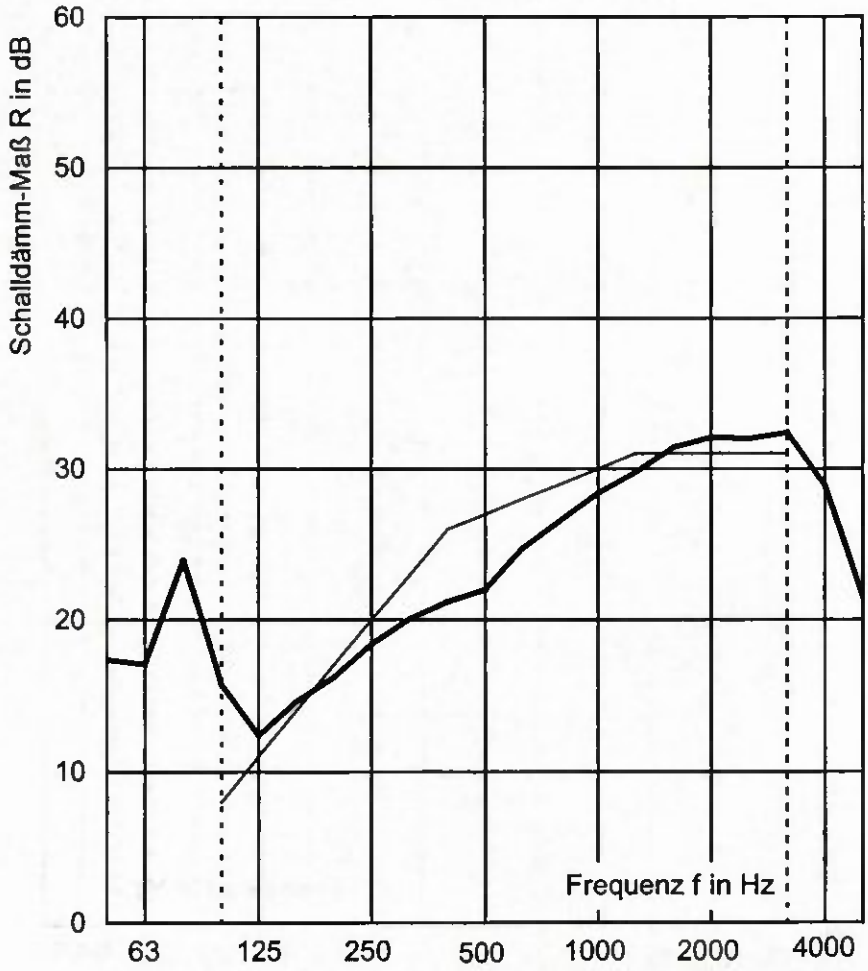
$C_{50\text{-}3150}$ =	0 dB	$C_{tr,\,50\text{-}3150}$ =	-1 dB
$C_{100\text{-}5000}$ =	0 dB	$C_{tr,\,100\text{-}5000}$ =	-1 dB
$C_{50\text{-}5000}$ =	0 dB	$C_{tr,\,50\text{-}5000}$ =	-1 dB

II Materialprüfungen

Beplankung **Prüfnummer: 051110.V04**

22 mm Holzfaserunterdeckplatten, N+F, horizontal montiert
Plattenabmessungen (Deckmaß): 2488m mm x 755 mm
Verschraubt, Schraubenabstand e = 625 mm x 100 mm
Flächengewicht: 5,5 kg/m²

f_g = 5000 Hz (Terzband)
f_g = 4781 Hz (FFT)
Dyn. E-Modul = 93 N/mm² berechnet aus f_g (FFT)



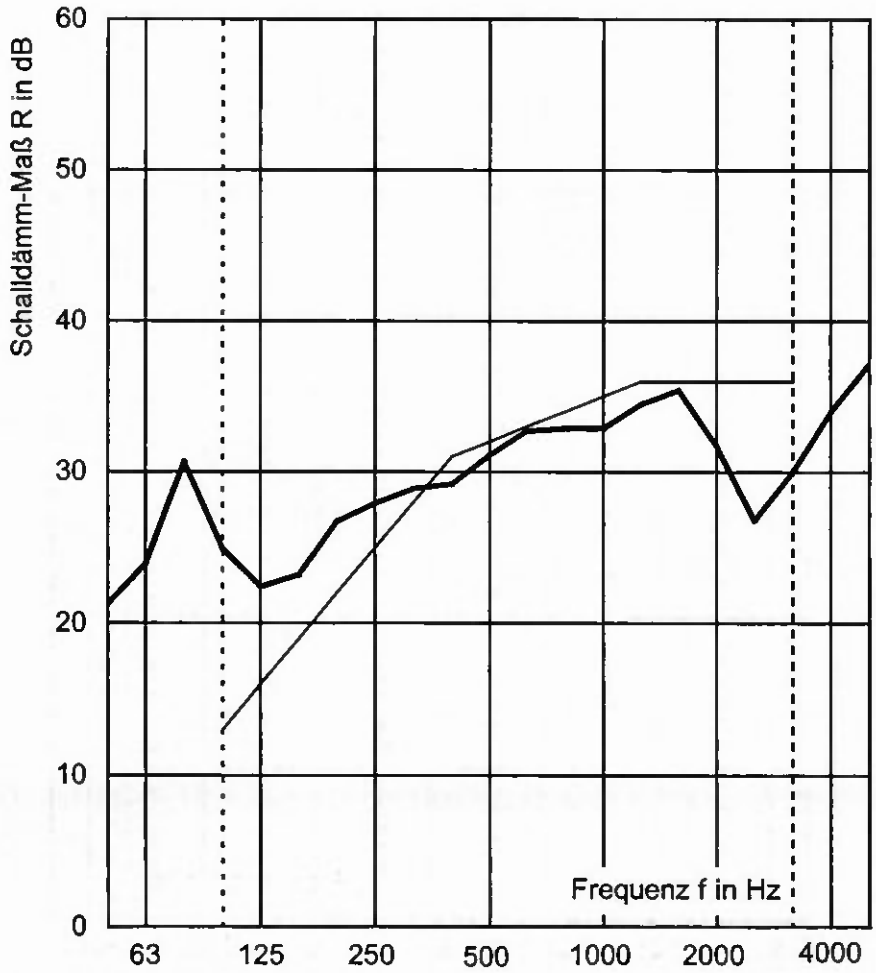
R_w (C; C_{tr}) = 27 (-1; -4) dB

$C_{50\text{-}3150}$ = -1 dB $C_{tr,\,50\text{-}3150}$ = -4 dB
$C_{100\text{-}5000}$ = -1 dB $C_{tr,\,100\text{-}5000}$ = -4 dB
$C_{50\text{-}5000}$ = -1 dB $C_{tr,\,50\text{-}5000}$ = -4 dB

Beplankung **Prüfnummer: 051110.V06**

15 mm Gipsfaserplatten, vertikal montiert, Vertikalstöße verklebt
Plattenabmessungen: 2500 mm x 1245 mm
Verschraubt, Schraubenabstand e = 625 mm x 100 mm
Flächengewicht: 17,2 kg/m²

f_g = 2500 Hz (Terzband)
f_g = 2500 Hz (FFT)
Dyn. E-Modul = 3339 N/mm² berechnet aus f_g (FFT)



R_w (C; C_{tr}) = 32 (-1; -1) dB

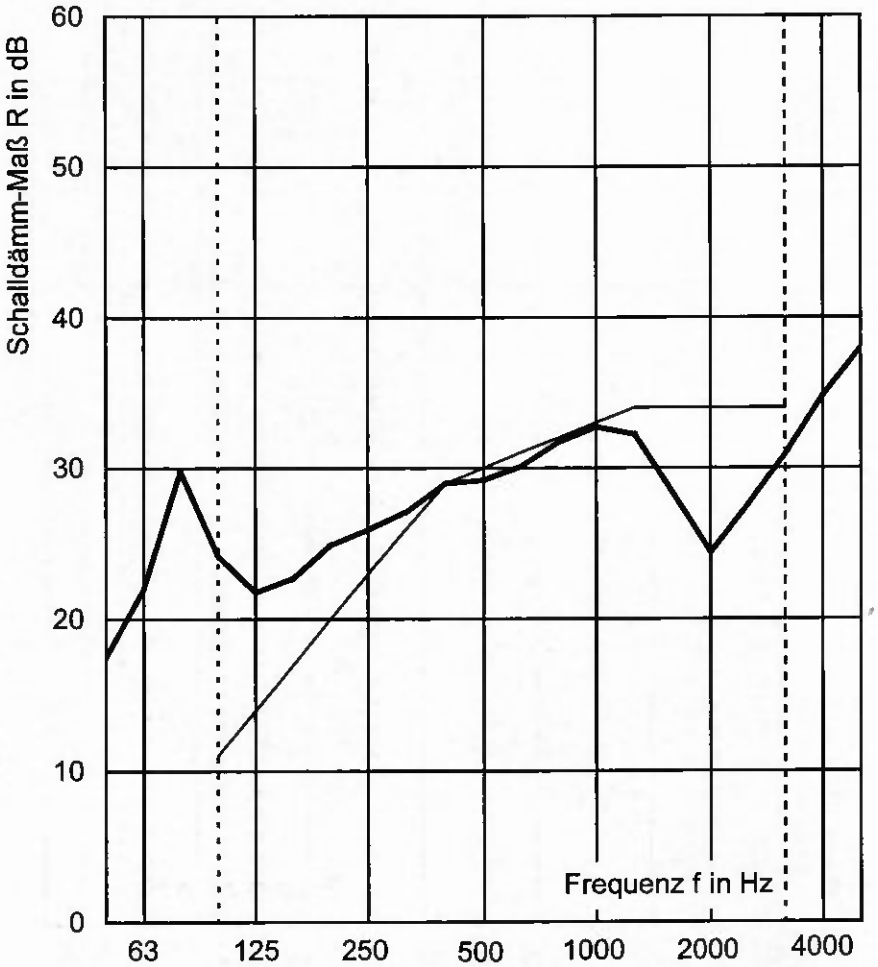
$C_{50\text{-}3150}$ =	-1 dB	$C_{tr,\,50\text{-}3150}$ =	-2 dB
$C_{100\text{-}5000}$ =	-1 dB	$C_{tr,\,100\text{-}5000}$ =	-2 dB
$C_{50\text{-}5000}$ =	-1 dB	$C_{tr,\,50\text{-}5000}$ =	-2 dB

II Materialprüfungen

Beplankung **Prüfnummer: 051110.V07**

15 mm Gipskartonfeuerschutzplatten, vertikal montiert,
Horizontalstöße versetz, Stöße verfugt
Plattenabmessungen: 2500 mm x 1250 mm
Verschraubt, Schraubenabstand e = 625 mm x 100 mm
Flächengewicht: 13,3 kg/m²

f_g = 2000 Hz (Terzband)
f_g = 2000 Hz (FFT)
Dyn. E-Modul = 4049 N/mm² berechnet aus f_g (FFT)



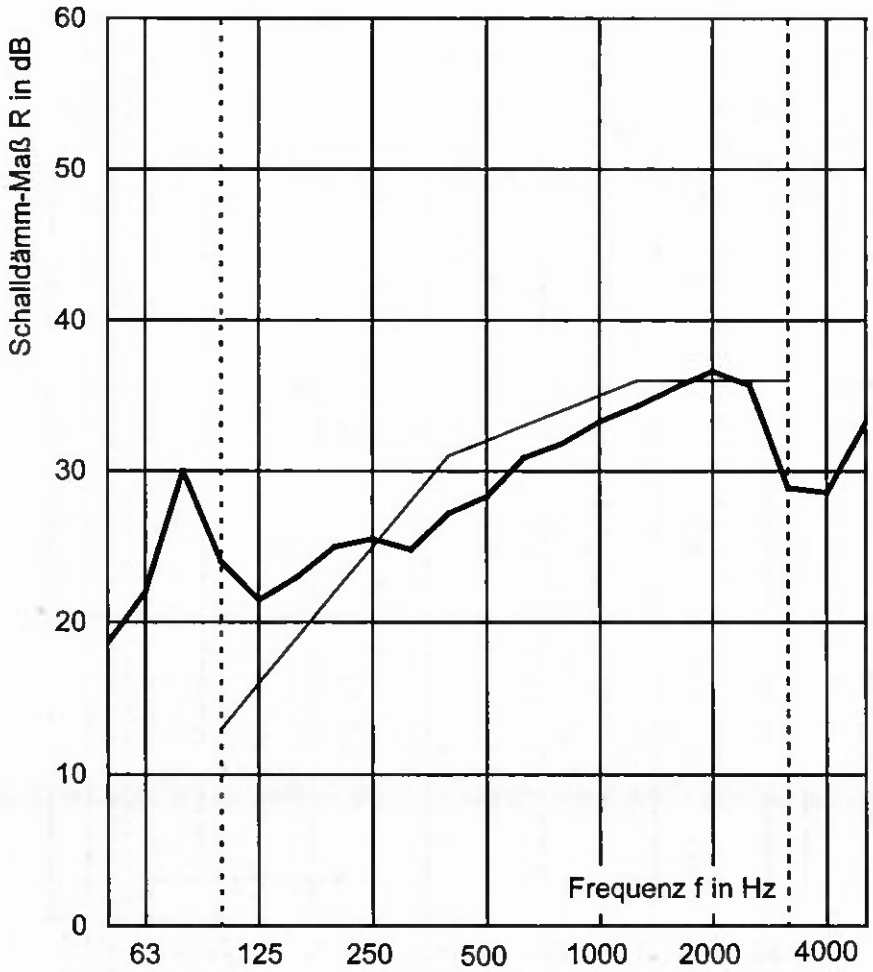
R_w (C; C_{tr}) = 30 (-2; -2) dB

$C_{50\text{-}3150}$ = -2 dB $C_{tr,\,50\text{-}3150}$ = -2 dB
$C_{100\text{-}5000}$ = -1 dB $C_{tr,\,100\text{-}5000}$ = -2 dB
$C_{50\text{-}5000}$ = -1 dB $C_{tr,\,50\text{-}5000}$ = -2 dB

Beplankung **Prüfnummer: 051110.V08**

10 mm Gipsfaserplatten, vertikal montiert, Vertikalstöße verklebt
Plattenabmessungen: 2500 mm x 1245 mm
Verschraubt, Schraubenabstand e = 625 mm x 100 mm
Flächengewicht: 12,2 kg/m²

f_g = 3150 - 4000 Hz (Terzband)
f_g = 3422 Hz (FFT)
Dyn. E-Modul = 4251 N/mm² berechnet aus f_g (FFT)



R_w (C; C_{tr}) = 32 (-1; -2) dB

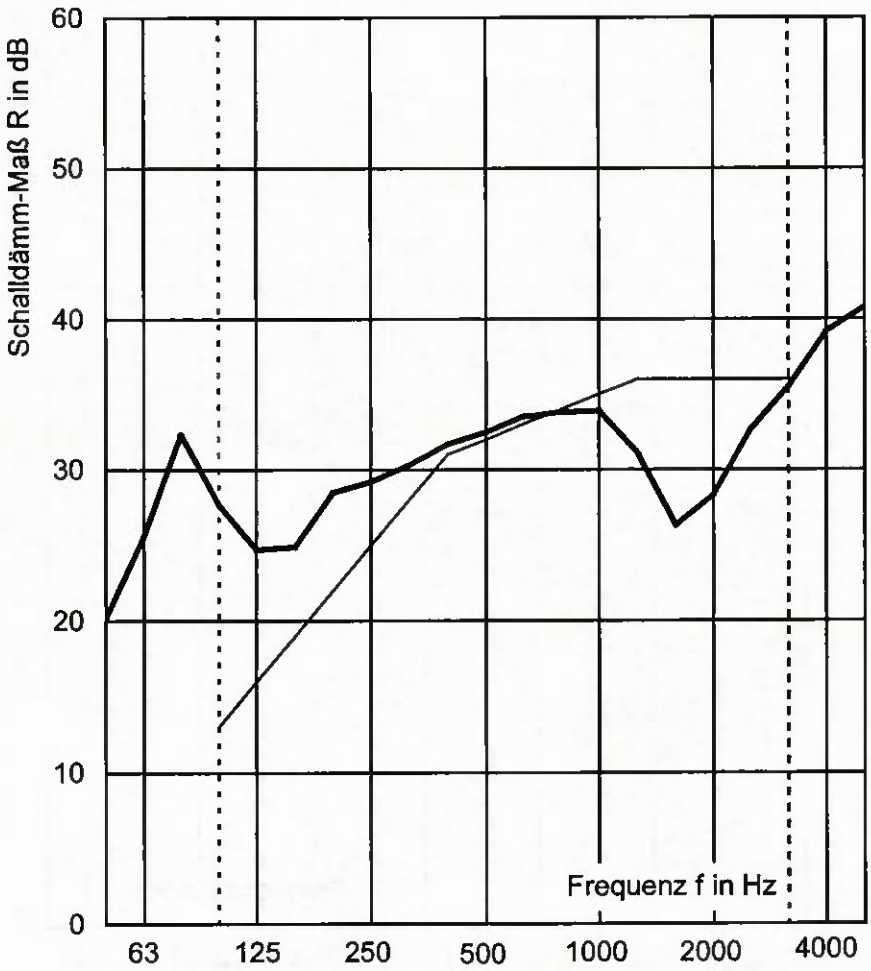
$C_{50\text{-}3150}$ = -1 dB $C_{tr,\,50\text{-}3150}$ = -3 dB
$C_{100\text{-}5000}$ = -1 dB $C_{tr,\,100\text{-}5000}$ = -2 dB
$C_{50\text{-}5000}$ = -1 dB $C_{tr,\,50\text{-}5000}$ = -3 dB

II Materialprüfungen

Beplankung **Prüfnummer: 051110.V09**

16 mm Zementgebundene Holzspanplatten, vertikal montiert,
Plattenabmessungen: 2500 mm x 1250 mm
Verschraubt, Schraubenabstand e = 625 mm x 100 mm
Flächengewicht: 21,0 kg/m²

f_g = 1600 Hz (Terzband)
f_g = 1664 Hz (FFT)
Dyn. E-Modul = 7599 N/mm² berechnet aus f_g (FFT)



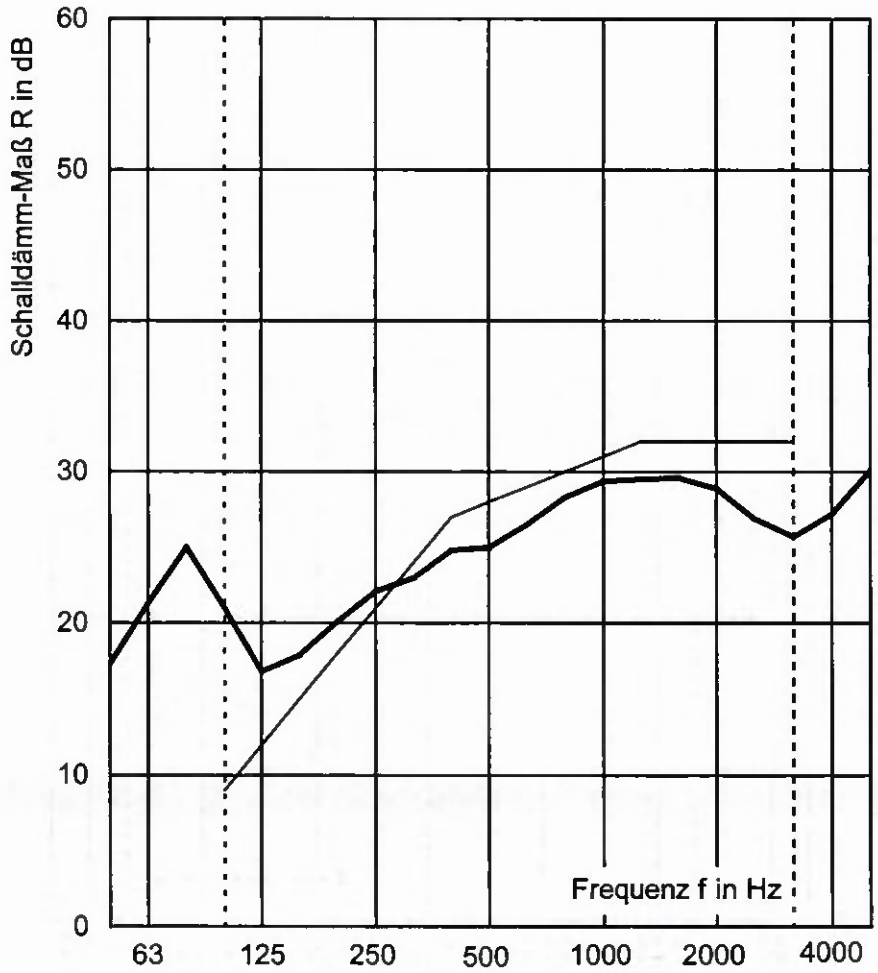
R_w (C; C_{tr}) = 32 (-2; -2) dB

$C_{50\text{-}3150}$ =	-2 dB	$C_{tr,\,50\text{-}3150}$ =	-2 dB
$C_{100\text{-}5000}$ =	-1 dB	$C_{tr,\,100\text{-}5000}$ =	-2 dB
$C_{50\text{-}5000}$ =	-1 dB	$C_{tr,\,50\text{-}5000}$ =	-2 dB

Beplankung **Prüfnummer: 051110.V10**

15 mm Dampfdiffusionsoffene MDF-Platten, N+F, horizontal montiert
Plattenabmessungen (Deckmaß): 2500 mm x 675 mm
Verschraubt, Schraubenabstand e = 625 mm x 100 mm
Flächengewicht: 8,0 kg/m²

f_g = 3150 Hz (Terzband)
f_g = 3094 Hz (FFT)
Dyn. E-Modul = 1014 N/mm² berechnet aus f_g (FFT)



R_w (C; C_{tr}) = 28 (-1; -2) dB

$C_{50\text{-}3150}$ =	-1 dB	$C_{tr,\,50\text{-}3150}$ =	-2 dB
$C_{100\text{-}5000}$ =	-1 dB	$C_{tr,\,100\text{-}5000}$ =	-2 dB
$C_{50\text{-}5000}$ =	-1 dB	$C_{tr,\,50\text{-}5000}$ =	-3 dB

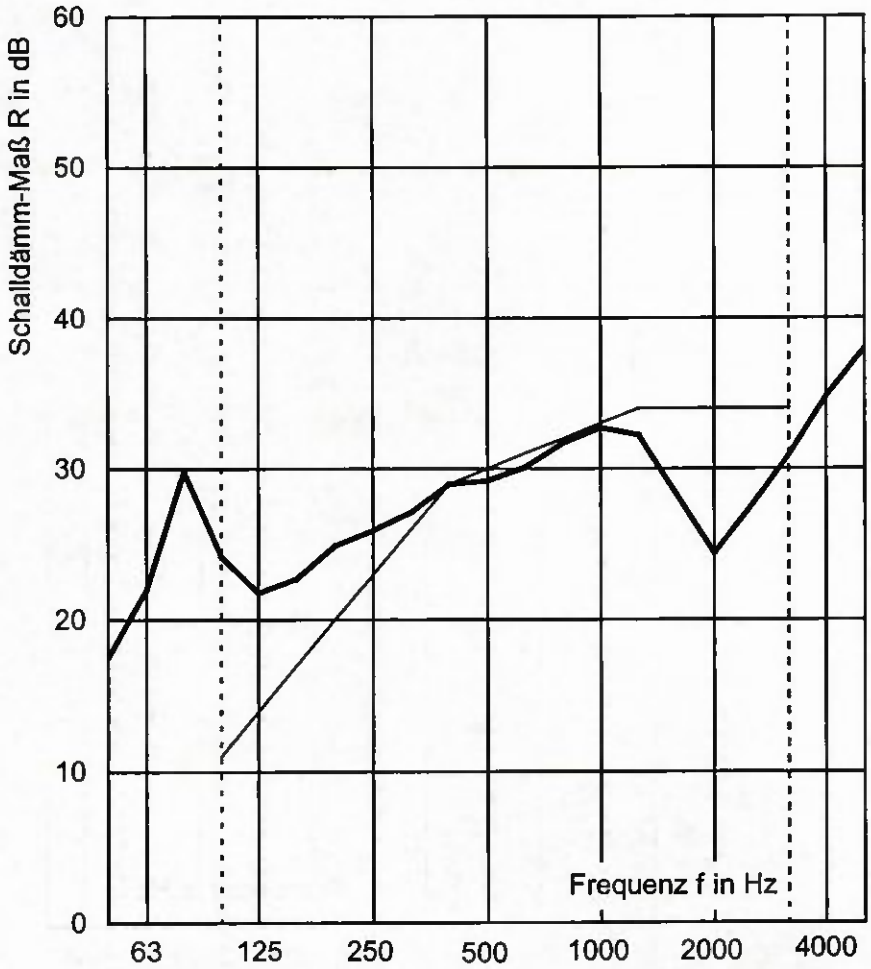
II Materialprüfungen

ROSENHEIM

Beplankung **Prüfnummer: 051110.V11**

10 mm Holzweichfaserplatten, vertikal montiert
Plattenabmessungen: 2505 mm x 1205 mm
Verschraubt, Schraubenabstand e = 625 mm x 100 mm
Flächengewicht: 3,2 kg/m²

f_g = (Terzband)
f_g = 9843 Hz (FFT)
Dyn. E-Modul = 134 N/mm² berechnet aus f_g (FFT)



R_w (C; C_{tr}) = 24 (-1; -4) dB

$C_{50\text{-}3150}$ = -1 dB $C_{tr,\,50\text{-}3150}$ = -4 dB
$C_{100\text{-}5000}$ = 0 dB $C_{tr,\,100\text{-}5000}$ = -4 dB
$C_{50\text{-}5000}$ = 0 dB $C_{tr,\,50\text{-}5000}$ = -4 dB