

Die approbierte Originalversion dieser Dissertation ist an der Hauptbibliothek der Technischen Universität Wien aufgestellt (<http://www.ub.tuwien.ac.at>).

The approved original version of this thesis is available at the main library of the Vienna University of Technology (<http://www.ub.tuwien.ac.at/englweb/>).

DISSERTATION

# **Trittschall-Flankenübertragung bei Massivholzkonstruktionen**

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen  
Grades eines Doktors der technischen Wissenschaften  
unter der Leitung von

**Ao.Univ.Prof. Dipl.Ing. Dr. Thomas Bednar**

durchgeführt am

Zentrum für Bauphysik und Bauakustik  
des Instituts für Hochbau und Technologie

eingereicht an

der Technischen Universität Wien  
Fakultät für Bauingenieurwesen

vorgelegt von

Dipl.Ing. Franz Dolezal

Wien, im September 2009



## **Danksagung**

Mein außerordentlicher Dank gilt Herrn ao.Univ.Prof. Dipl.Ing. Dr. Thomas Bednar für die enthusiastische und motivierende Betreuung meiner Arbeit im Rahmen seines überaus knappen Zeitbudgets.

Ein besonderes Dankeschön verdient Herr Dipl.Ing. Dr. Martin Teibinger dessen konzeptionelle Fähigkeiten und wertvolle Ratschläge die Umsetzung der Arbeit wesentlich beeinflusst haben.

Danken möchte ich weiters der Holzforschung Austria, die mir im Rahmen eines Forschungsprojektes mit Firmenpartnern die Umsetzung der Arbeit überhaupt ermöglichte und nicht zuletzt Herrn Dipl.Ing. Hannes Konder vom Zentrum für Bauphysik und Bauakustik, der mit seinem unermüdlichen Einsatz bei diversen Messungen zum Gelingen der Arbeit beigetragen hat.



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG .....</b>	<b>1</b>
1.1	MOTIVATION .....	1
1.2	ZIELE DER ARBEIT.....	2
1.3	METHODIK.....	3
<b>2</b>	<b>GRUNDLAGEN DES BAULICHEN SCHALLSCHUTZES.....</b>	<b>3</b>
2.1	ALLGEMEINES.....	3
2.2	LUFTSCHALL.....	5
2.3	KÖRPERSCHALL.....	11
2.4	FLANKENÜBERTRAGUNG .....	16
<b>3</b>	<b>KONSTRUKTIONEN FÜR DEN MEHRGESCHOSSIGEN HOLZBAU.....</b>	<b>19</b>
3.1	ALLGEMEINES.....	19
3.2	DECKENKONSTRUKTIONEN IN HOLZRAHMENBAUWEISE.....	20
3.3	HOHLKASTENELEMENTE.....	20
3.4	DECKENKONSTRUKTIONEN IN MASSIVHOLZBAUWEISE .....	21
3.5	DECKENKONSTRUKTIONEN IN HOLZ-BETON-VERBUND-BAUWEISE .....	23
<b>4</b>	<b>ELASTISCHE ZWISCHENSCHICHTEN .....</b>	<b>24</b>
4.1	ALLGEMEINES.....	24
4.2	DYNAMISCHE MATERIALEIGENSCHAFTEN VON ELASTISCHEN ZWISCHENSCHICHTEN .....	25
4.3	AUSWAHL DES BAULAGERS .....	26
<b>5</b>	<b>VERBINDUNGSMITTEL.....</b>	<b>27</b>
<b>6</b>	<b>SCHALL- UND SCHWINGUNGSMESSUNGEN AN PRÜFSTÄNDEN .....</b>	<b>28</b>
6.1	ALLGEMEINE ANFORDERUNGEN AN PRÜFRÄUME.....	28
6.2	PRÜFSTAND BEI DER FIRMA KLH MASSIVHOLZ GMBH.....	31
6.3	LUFTSCHALLMESSUNGEN AN DECKENKONSTRUKTIONEN .....	32
6.4	TRITTSCHALLMESSUNGEN AN DECKENKONSTRUKTIONEN.....	33
6.5	ERMITTLUNG DER FLANKENÜBERTRAGUNG AUS DEN TRITTSCHALLMESSUNGEN .....	35
6.6	BESTIMMUNG DER EIGENSCHAFTEN DER STOßSTELLE .....	35
6.7	ZUSAMMENFASSUNG ZU DEN MESSUNGEN AN DEN DECKENPRÜFSTÄNDEN .....	38
<b>7</b>	<b>PROGNOSEVERFAHREN.....</b>	<b>38</b>
7.1	VEREINFACHTE INGENIEURMÄßIGE PROGNOSEVERFAHREN .....	38

7.2	DETAILLIERTE PROGNOSEVERFAHREN.....	41
<b>8</b>	<b>DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN UND ERGEBNISSE.....</b>	<b>43</b>
8.1	VERBESSERUNG DER FLANKENDÄMMUNG DURCH DEN EINBAU ELASTISCHER ZWISCHENSCHICHTEN UND VERIFIZIERUNG DER ANWENDBARKEIT DER EN 12354.....	43
8.2	EINFLUSS VON BEFESTIGUNGSMITTELN AUF DIE VERBESSERUNG DER FLANKENDÄMMUNG DURCH DEN EINBAU ELASTISCHER ZWISCHENSCHICHTEN .....	63
8.3	KOMBINIERTES PROGNOSEMODELL FÜR DEN NORMTRITTSCHALLPEGEL VON MASSIVHÖLZ-DECKENKONSTRUKTIONEN UNTER BERÜCKSICHTIGUNG DER FLANKENÜBERTRAGUNG .....	73
<b>9</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG.....</b>	<b>85</b>
<b>10</b>	<b>AUSBLICK.....</b>	<b>86</b>
<b>11</b>	<b>LITERATUR .....</b>	<b>87</b>
<b>12</b>	<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>89</b>
<b>13</b>	<b>ANHANG.....</b>	<b>93</b>
	ANHANG A MESSPROTOKOLLE SCHALLMESSUNGEN .....	93
	ANHANG B MESSERGEBNISSE SCHWINGUNGSMESSUNGEN.....	156
	ANHANG C STATISCHE PRÜFUNG VERSCHRAUBTE STOßSTELLE .....	162
	ANHANG D PUBLIKATIONEN IM RAHMEN DER VORLIEGENDEN DISSERTATION .....	166

## Formelzeichen

$A$	äquivalente Schallabsorptionsfläche im Empfangsraum [m <sup>2</sup> ]
$A_0$	äquivalente Bezugsschallabsorptionsfläche 10 [m <sup>2</sup> ]
$B'$	Biegesteifigkeit [Nm]
$B, B_0$	Balkenbreite [m]
$D_n$	Norm-Schallpegeldifferenz [dB]
$D_{nT}$	Standard-Schallpegeldifferenz [dB]
$D_{v,ij}; D_{vji}$	Schnellepegeldifferenzen von Bauteil i und j [dB]
$\overline{D_{v,ij}}$	richtungsgemittelte Schnellepegeldifferenz $(D_{v,ij}+D_{vji})/2$ [dB]
$E$	Elastizitätsmodul [Pa]
$G$	Schubmodul [Pa]
$H, H_0$	Balkenhöhe [m]
$K_{ij}$	Stoßstellendämm-Maß [dB]
$K$	Korrektursummand zur Berücksichtigung der Flankenübertragung
$L_a$	Beschleunigungspegel [dB]
$L_{a,m}$	mittlerer Beschleunigungspegel [dB]
$L_E$	Pegel im Senderraum [dB]
$L_n$	Norm-Trittschallpegel [dB]
$L'_n$	Norm-Trittschallpegel am Bau [dB]
$L_{n,D}$	Norm-Trittschallpegel direkt übertragen [dB]
$L_{n,Df}$	Norm-Trittschallpegel über die Flanken übertragen [dB]
$L_{nT}$	Standard-Trittschallpegel [dB]
$L_{n,w,eq,H}$	äquivalenter bewerteter Norm-Trittschalpegel [dB]
$\Delta L_{n,w,Beschwerung}$	Verbesserungsmaß durch die Rohdeckenbeschwerung [dB]
$\Delta L$	Verbesserungsmaß durch den Estrich [dB]
$\Delta L_{w,H}$	bewertetes Verbesserungsmaß durch den Estrich auf Holzdecken [dB]
$L_P$	Schalleistungspegel [dB]
$L_S$	Pegel im Empfangsraum [dB]
$L_v$	Schnellepegel [dB]
$P_1$	auftreffende Schalleistung
$P_2$	abgestrahlte Schalleistung
$R$	Schalldämm-Maß [dB]
$R_D$	Schalldämm-Maß der Decke [dB]
$R_f$	Schalldämm-Maß der Flanke [dB]
$\Delta R_f$	Verbesserungsmaß der Vorsatzkonstruktion [dB]
$S$	Bauteilfläche [m]
$S_D$	Fläche der Decke [m]
$S_f$	Fläche der Wand [m]
$S_i, S_j$	Flächen der beteiligten Bauteile [m]

T	Nachhallzeit [s]
$T_0$	Bezugsnachhallzeit 0,5 [s]
$T_{Si}; T_{Sj}$	Körperschallnachhallzeit der Bauteile i und j [s]
$Z_B$	Eingangsimpedanz Holzbalken der Geschoßdecke
$Z_{B0}$	Eingangsimpedanz Holzbalken der Bezugsdecke
$Z_M$	Eingangsimpedanz der Geschoßdecke
a	Beschleunigung [ $m/s^2$ ]
$a_0$	Bezugsbeschleunigung $10^{-6}$ [ $m/s^2$ ]
$a_i; a_j$	äquivalente Absorptionslängen der Bauteile i und j [m]
$c_0$	Schallgeschwindigkeit in Luft ca. 340 [m/s]
$\underline{c_s} = c_s (1 + j\eta_s)$	komplexe Schallgeschwindigkeit in der Schüttung
d	Dicke [m]
$d_b$	Verlustfaktor der Dämmschicht unter dem Estrich
$d_d$	Verlustfaktor der Luft und der Dämmschicht in der Unterdecke
$d_s$	Dicke der Schüttung [m]
e	Achsabstand der Holzbalken [m]
f	Frequenz [Hz]
$f_0$	Resonanzfrequenz [Hz]
$f_{0b}$	Resonanzfrequenz der Fußbodenkonstruktion [Hz]
$f_{0d}$	Resonanzfrequenz der Unterdecke [Hz]
$f_c$	Koinzidenzgrenzfrequenz [Hz]
$f_n$	Eigenfrequenzen einer Platte [Hz]
$f_{ref}$	Bezugsfrequenz 1000 [Hz]
$h_1$	Auflagerbreite [m]
$l_{ij}$	Kopplungslänge der Bauteile i und j [m]
$m'$	flächenbezogene Masse [ $kg/m^2$ ]
$m''$	Masse pro Fläche der bedämpften Platte [ $kg/m^2$ ]
$m_{b1}$	flächenbezogene Masse der Gehschicht [ $kg/m^2$ ]
$m_{b2}, m_{d2}$	flächenbezogene Masse der Platten auf den Holzbalken inkl. Beschwerung [ $kg/m^2$ ]
$m_{d1}$	flächenbezogene Masse der abgehängten Decke [ $kg/m^2$ ]
$s'$	dynamische Steifigkeit [ $MN/m^3$ ]
$s_b$	dynamische Steifigkeit der Dämmschicht unter dem Estrich [ $MN/m^3$ ]
$s_d$	dynamische Steifigkeit des Luftpolsters inkl. Dämmung [ $MN/m^3$ ]
t	Plattendicke [m]
v	Schnelle [m/s]
w	Breite [m]
$\delta$	Schalleinfallswinkel



$\varepsilon$	Anregungsgrad
$\eta$	Verlustfaktor
$\mu$	Querkontraktionszahl
$\rho$	Dichte [kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_0$	Dichte von Luft ca. 1,25 [kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_s$	Dichte der Schüttung
$\sigma$	Abstrahlgrad
$\tau_d$	Transmissionsgrad über die Decke
$\tau_f$	Transmissionsgrad über die Flanken
$\tau_e$	Transmissionsgrad über kleines Bauteil
$\tau_s$	Transmissionsgrad über Luftschallnebenwege



# **1 Einleitung und Problemstellung**

## **1.1 Motivation**

Der stetig steigende Wohlstand in Europa führt neben all seinen positiven Aspekten nicht nur zu einer zunehmenden Bedrohung für das Klima, sondern geht auch mit einer Zunahme der Lärmbelastung der Bevölkerung einher. Dies führt dazu, dass sich immer mehr Menschen durch Lärm belästigt fühlen. Dabei wird vor allem der vom Straßen-, Flug- und Schienenverkehr verursachte Lärm, trotz mittlerweile vielfältiger Schutzmaßnahmen aufgrund der massiven quantitativen Zunahme, nach wie vor als Hauptverursacher starker Lärmstörung empfunden.

Lärm, definiert als unerwünschter, störender Schall, ist keineswegs nur als Ärgernis für den Menschen zu sehen. So kann Lärm bei Menschen, die hohen Schalldrücken ausgesetzt sind, zu irreversiblen Hörschäden führen. Aber auch geringe, störende Pegel können Schlafstörungen, Stresserscheinungen und in weiterer Folge schwerwiegende Herzerkrankungen hervorrufen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Lärm keine physikalische Größe darstellt, sondern die Qualifizierung von Geräuschen als Lärm vom subjektiven Empfinden des Menschen und dessen individueller Beurteilung abhängt.

Nach dem Verkehrslärm wird vor allem die Störung durch Lärm aus den Nachbarwohnungen als Belastung empfunden. Aufgrund von verbesserten Vorschriften zum Schallschutz innerhalb von Gebäuden und deren Einhaltung im Wohnungsbau reduziert sich zwar die Lärmbelastung aus dieser Quelle, gleichzeitig wird jedoch durch die, mittlerweile obligatorische, dichte Bauweise und den Einbau von schalltechnisch hochwertigeren Fenstern der Grundgeräuschpegel und hiermit die Wahrnehmungsschwelle in den Wohnungen gesenkt. Dies kann, trotz des Einsatzes akustisch optimierter Konstruktionen, subjektiv höhere Belästigung durch Schallquellen im Gebäude zur Folge haben.

Hier trägt vor allem auch modernes technisches Equipment, wie beispielsweise Heimkinoanlagen, dazu bei, die Lärmbelastung zu erhöhen bzw. sogar in Frequenzbereiche zu verschieben, die außerhalb des bisher bewertungsrelevanten Frequenzspektrums zu finden sind und daher von vielen Konstruktionen nicht entsprechend abgedeckt werden.

Vom Gesetzgeber werden Anforderungen an die Bauteile eines Gebäudes gestellt, wobei die Nutzung des Gebäudes berücksichtigt wird. Der Schallschutz innerhalb und auch außerhalb eines Gebäudes ist in Österreich in den Bauordnungen und in der ÖNORM B 8115-2 (Österreichisches Normungsinstitut 2006 12c) geregelt. In der ÖNORM werden jedoch Mindestwerte für die Schalldämmung der Außenbauteile bzw. zwischen Nutzungseinheiten

definiert. Dies bedeutet, dass eine umfassendere Betrachtung erforderlich ist, die auch sämtliche Nebenwege mit berücksichtigt. Was wiederum dazu führen kann, dass ein aufgrund der im Labor ermittelten Daten geeignet erscheinender Bauteil im Gebäude die geltenden Anforderungen nicht mehr erfüllt. Im Planungsstadium sind daher Prognoseverfahren erforderlich, die nicht nur den Bauteil, sondern die Gesamtsituation im Gebäude korrekt abbilden.

Derzeit wird das Berechnungsmodell der EN 12354 für die Vorherbestimmung des Schallschutzes zwischen Räumen angewendet. Dessen Eignung für Massivholzkonstruktionen ist jedoch noch nicht nachgewiesen. Mehrgeschossige Wohnbauten in Massivholzkonstruktion gewinnen aber im urbanen Umfeld mehr und mehr an Bedeutung. Neben der immer wichtiger werdenden Nachhaltigkeit von Baukonstruktionen bieten Massivholzkonstruktionen andere Vorteile wie etwa einen höheren Vorfertigungsgrad und geringere Baufeuchte gegenüber dem konventionellen Massivbau, sowie geringere Geschoßdeckenhöhen und höhere statische Wirksamkeit gegenüber dem Holzrahmenbau.

Gleichzeitig ist bei der Anwendung jedoch besonderes Augenmerk auf den Schallschutz und dabei insbesondere auf die gegenüber dem mineralischen Massivbau wesentlich gravierendere Problematik der Schall-Längsleitung zu legen.

Die Grundlage dieser Arbeit bildet ein Projekt zum „Urbanen Bauen in Holz- und Holzmischbauweise“, welches im Rahmen der Fortsetzung des industriellen Kompetenzzentrums „Holztechnologie“ der Holzforschung Austria, gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, dem Fachverband der Holzindustrie Österreichs und den Österreichischen Bundesforsten, durchgeführt wird.

## **1.2 Ziele der Arbeit**

Am Beginn des Projektes stand die Errichtung von Schallprüfständen aus Massivholz bei den am Forschungsprojekt beteiligten Firmenpartnern, in welchen die Datengrundlagen gesammelt werden sollten. Dabei galt es neben drei verschiedenen Massivdeckenvarianten den Einfluss von verschiedenen, ebenfalls von Firmenpartnern zur Verfügung gestellten Baulagern für die Fälle mit und ohne zusätzlicher Belastung zu eruieren, was deren praktischen Einsatz in unterschiedlichen Geschossen simuliert.

Die an den Prüfständen ermittelten Eingangsdaten werden in die Berechnung der Schalldämmung nach EN 12354 eingesetzt und mit den aus Schallmessungen gewonnen Ergebnissen verglichen, um die Anwendbarkeit zu verifizieren.

In einem weiteren Schritt wird die Übertragbarkeit der Messergebnisse auf die Bausituation durch den Einbau von bauüblichen Befestigungsmitteln geklärt. Gleichzeitig sind hierzu Methoden zu entwickeln, die eine mögliche Verschlechterung der Flankendämmung durch statisch erforderliche Verbindungsmittel verhindern.

Für die Gesamtsituation am Bau, welche Deckenkonstruktion samt Stoßstelle umfasst, wird ein Berechnungsmodell entwickelt, wobei die aus den Schall- und Schwingungsmessungen gewonnenen Daten zur Validierung herangezogen werden.

### **1.3 Methodik**

Mit der Planung und in weiterer Folge die Errichtung von geeigneten Decken-Prüfständen sollen die Voraussetzungen geschaffen werden um genau die für die Erreichung der Zielsetzung erforderlichen Messungen durchführen zu können. Der nächste Schritt umfasst ein extensives Programm aus Schall- und Schwingungsmessungen welches dazu dient, eine umfassende Datensammlung zu erstellen. Die Messergebnisse werden vorerst dazu genutzt, die Anwendbarkeit des bestehenden Prognoseverfahrens nach ÖNORM EN 12354-2 (Österreichisches Normungsinstitut 2000 11b) zu verifizieren. Um den Praxisbezug zu vertiefen, werden die Messergebnisse bei Verwendung bauüblicher Befestigungsmittel sowie optimierter Befestigungsmittel untersucht. Eine Berechnungsmethode welche unter Einbeziehung der Messergebnisse validiert wird, soll ein besseres Verständnis der Vorgänge in Massivholzkonstruktionen liefern und eine Abschätzung der Schalldämmung von unterschiedlichen Konstruktionen ermöglichen.

## **2 Grundlagen des baulichen Schallschutzes**

### **2.1 Allgemeines**

Schall ist definiert als mechanische Schwingung, die sich in elastischen Medien durch Bewegung der Masseteilchen um ihre Ruhelage ausbreiten, wodurch Verdichtungen und Verdünnungen im Medium entstehen. Während sich Schallwellen in Luft nur als sogenannte Longitudinalwellen ausbreiten (Verdichtungen in Ausbreitungsrichtung), so tritt Schall in festen Körpern in den unterschiedlichsten Wellenformen auf. Dabei sind vor allem die Transversal- bzw. Rayleighwellen, bei welchen Schubspannungen durch Schwingung senkrecht zur Ausbreitungsrichtung entstehen, und die Biegewellen zu erwähnen, die auf Biegebewegungen und die damit verbundene Kompression und Expansion in Ausbreitungsrichtung zurückzuführen sind. Biegewellen haben bauakustisch die größte Bedeutung, da sie eine hohe Luftschallabstrahlung aufweisen.

Als Lärm wird störender Schall bezeichnet, der verschiedene Ursachen haben und sogar gesundheitsschädlich sein kann. Die Aufgabe der Bauphysik besteht darin, durch die Schalldämmung diesen unerwünschten Schall auf ein erträgliches Maß zu reduzieren. Dies setzt entsprechende Kenntnisse über die schalltechnischen Eigenschaften von Bauteilen sowie der physikalischen Natur des Schalls voraus. Dabei ist zu beachten, dass die Empfindlichkeit des menschlichen Gehörs innerhalb des hörbaren Bereiches frequenzabhängig ist. Die höchste Sensibilität weist das Gehör bei etwa 4000 Hz auf. Gegen tiefere und höhere Frequenzen nimmt die Empfindlichkeit stark ab, weshalb für das gleiche Lautstärkeempfinden bei sehr tiefen bzw. sehr hohen Frequenzen ein Vielfaches des Schalldruckpegels erforderlich ist. Dies wird sehr gut in den Kurven gleicher Lautstärke, Abbildung 2-1, verdeutlicht. In der praktischen Akustik, in der sich die Aufgabe stellt das Frequenzverhalten des Gehörs nachzubilden, wurden drei Frequenzbewertungskurven, siehe Abbildung 2-2, eingeführt, die üblicherweise reziprok zu den Kurven gleicher Lautstärke dargestellt werden. Dabei gilt Kurve A für niedrige, Kurve B für mittlere und Kurve C für hohe Pegel. In der Praxis findet jedoch hauptsächlich die A-Bewertung Verwendung.

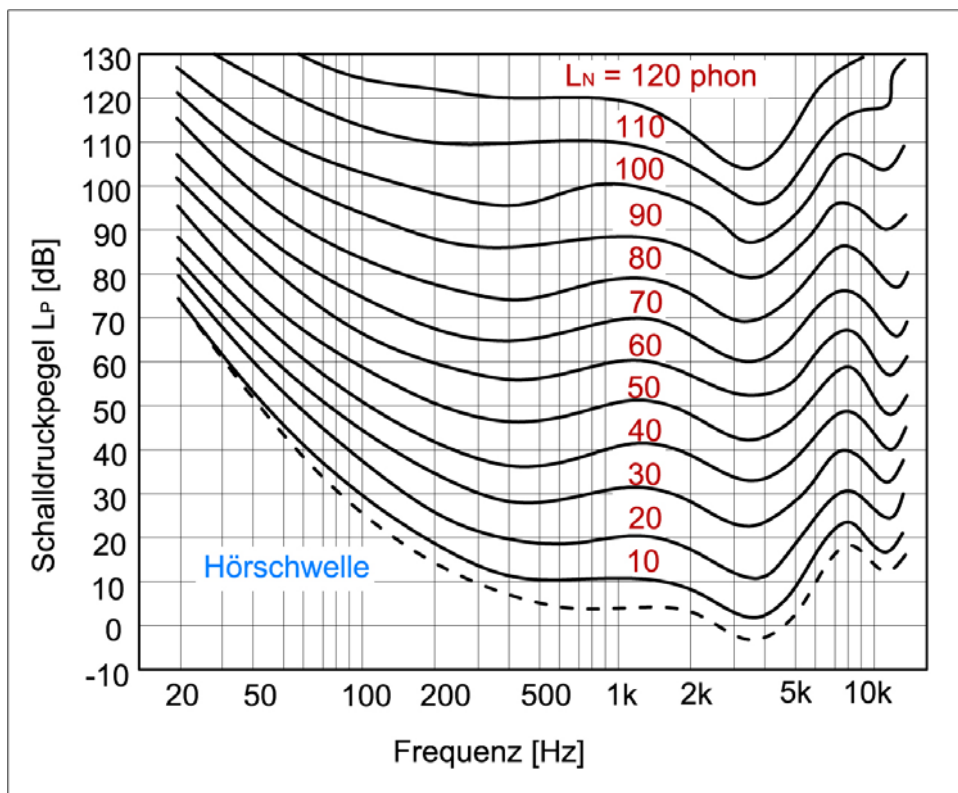


Abbildung 2-1: Kurven gleicher Lautstärke

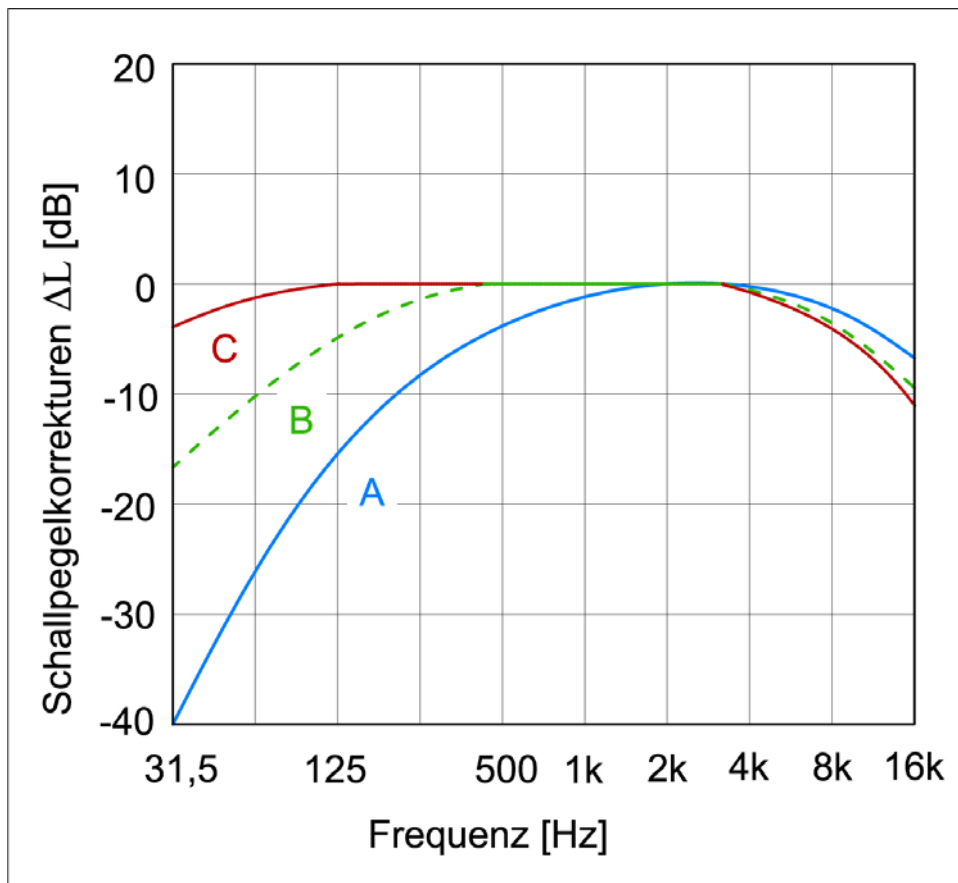


Abbildung 2-2: Frequenzbewertungskurven

Die Schalldämmung von Bauteilen wird ohne Bewertung, also linear, bestimmt. Eine Bewertung erfolgt hier bei der Ermittlung der Einzahlangaben. Bei dieser Bewertung, die nach ÖN EN ISO 717-1 (Österreichisches Normungsinstitut 2006 12a) für den Luftschall und ÖN EN ISO 717-2 (Österreichisches Normungsinstitut 2006 12b) für den Trittschall erfolgt, wird eine Bezugskurve so lange verschoben bis die Über- bzw. Unterschreitung durch die Messkurve im Mittel 2 dB pro Terz bzw. in Summe maximal 32 dB betragen. Der Wert der verschobenen Bezugskurve bei 500 Hz gibt den gesuchten Einzahlwert an. Der Frequenzbereich in dem sich die ungünstigen Abweichungen befinden deutet auf den jeweiligen Schwachpunkt der Konstruktion hin.

## 2.2 Luftschall

### 2.2.1 Allgemeines

Prinzipiell wird ein Bauteil durch Luft- bzw. Körperschall angeregt, was in angrenzenden Räumen zu Abstrahlung von Luftschall führt (Abbildung 2-3).

Bei der Luftschalldämmung erfolgt die Anregung des Bauteils durch Luftschallwellen. Angegeben wird sie durch das Luftschalldämm-Maß  $R$ . Dieses ist definiert als der zehnfache dekadische Logarithmus der auftreffenden  $P_1$  zur abgestrahlten Schalleistung  $P_2$  (Gleichung 2-1).

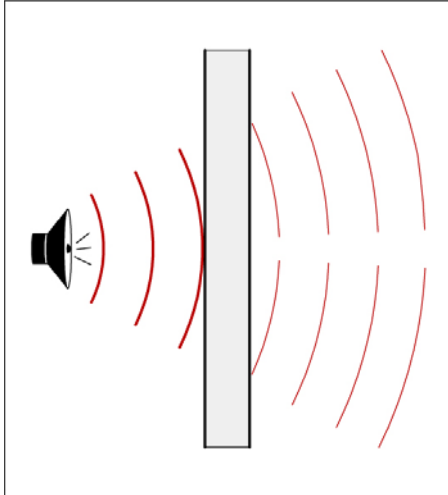


Abbildung 2-3: Anregung durch Luftschall im Senderraum und Abstrahlung von Luftschall im Empfangsraum

$$\text{Gleichung 2-1: } R = 10 \log \frac{P_1}{P_2}$$

Für die Beschreibung der Schalldämmung am Bau werden noch weitere Größen verwendet, welche eine Schallübertragung über Nebenwege beinhalten.

Das Schalldämm-Maß  $R'$  weist mit seinem Strich darauf hin, dass hier auch die Nebenwegsübertragung inkludiert ist. Dabei wird jedoch nur die Fläche des Trennbauteils in die Berechnung mit einbezogen, wodurch die Nebenwege nicht korrekt berücksichtigt werden. Die österreichischen Normanforderungen werden für die Bausituation im Gebäude über die bewertete Standard-Schallpegeldifferenz  $D_{nT,w}$  (Gleichung 2-2) definiert, welche auf eine Bezugs-Nachhallzeit  $T_0$  für Wohnungen im Empfangsraum von 0,5 s normiert wird. Dies entspricht am ehesten den Gegebenheiten in Wohnräumen und wird daher gegenüber der auf eine Bezugs-Absorptionsfläche von 10 m<sup>2</sup> bezogene bewertete Norm-Schallpegeldifferenz  $D_{n,w}$  präferiert.

$$\text{Gleichung 2-2: } D_{nT} = L_S - L_E + 10 \log \frac{T}{T_0} \text{ dB}$$

### 2.2.2 Luftschalldämmung einschaliger, massiver Bauteile

Die Luftschalldämmung einschaliger, massiver Bauteile folgt dem in Abbildung 2-4 dargestellten Frequenzverlauf aus dem 3 unterschiedliche, charakteristische Abschnitte erkennbar sind.



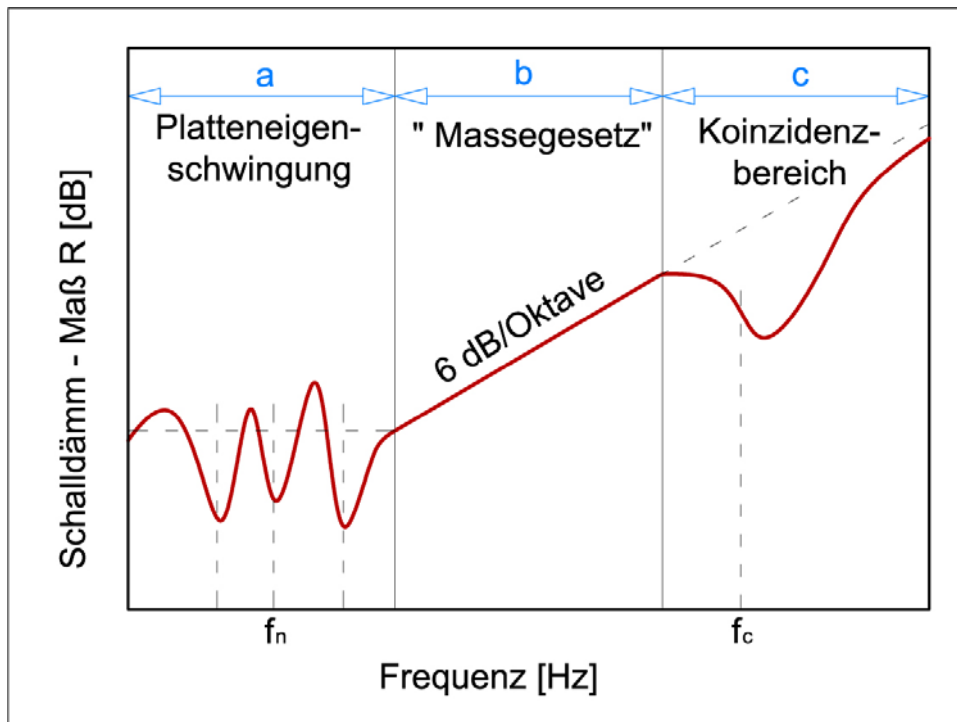


Abbildung 2-4: Charakteristische Abschnitte der Luftschalldämmung einschaliger Bauteile

Die Eigenresonanzen der Bauteile spielen in der Praxis nur eine untergeordnete Rolle, da sie aufgrund der in Gebäuden üblichen Raumabmessungen nur bei sehr tiefen Frequenzen zu finden sind. Die Resonanzfrequenzen  $f_n$  einer aufgestützten Platte berechnen sich nach Gleichung 2-3 aus der auf die Plattenbreite bezogenen Biegesteife  $B'$ , der flächenbezogenen Masse  $m'$  und den Seitenlängen der Platte, wobei  $n_x$  und  $n_y$  natürliche ganze Zahlen darstellen.

$$\text{Gleichung 2-3: } f_n = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{B'}{m'} \left[ \left( \frac{n_x}{a} \right)^2 + \left( \frac{n_y}{b} \right)^2 \right]} \text{ Hz}$$

Das von Berger 1911 empirisch ermittelte Massegesetz nach Gleichung 2-4 gilt nur im eingeschränkten Frequenzbereich zwischen den Eigenschwingungen des Bauteils und der Koinzidenzfrequenz und führt zu einer Erhöhung der Schalldämmung um 6 dB pro Oktave.

$$\text{Gleichung 2-4: } R = 10 \lg \left[ 1 + \left( \frac{\pi f m'}{\rho_0 c_0} \cos \delta \right)^2 \right] \approx 20 \lg \frac{\pi f m'}{\rho_0 c_0} \cos \delta \text{ dB}$$

Prinzipiell erzeugt der auf eine Platte auftreffende Luftschall auf der Platte erzwungene Biegewellen. Gleichet nun die Wellenlänge der vom Luftschallfeld erzwungenen Biegewellen jener der freien Biegewellen der Platte, ist sie also koinzident, so kommt es zu einer Kopplung der Wellenfelder (Abbildung 2-5).

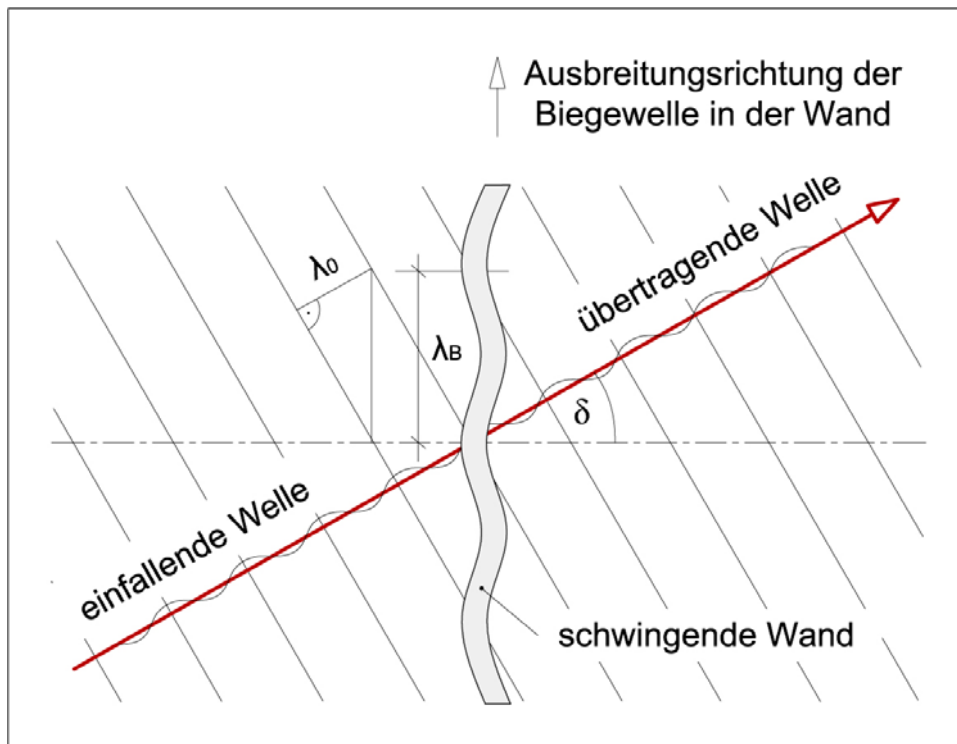


Abbildung 2-5: Koinzidenz

Dies führt zu einer Resonanz die eine geringere Schalldämmung zur Folge hat. Demnach versteht man unter Koinzidenz die zeitliche und räumlich Übereinstimmung der Wellenform auf der Platte und in der Luft vor der Platte.

Dabei ist zu beachten, dass die Geschwindigkeit der Biegewellen frequenzabhängig ist, was wiederum dazu führt, dass Koinzidenz erst ab einer gewissen Koinzidenz-Grenzfrequenz  $f_C$  auftreten kann die sich nach Gleichung 2-5 errechnet.

$$\text{Gleichung 2-5: } f_C = \frac{c_0^2}{2\pi} \sqrt{\frac{m'}{B'}} = \frac{c_0^2}{2\pi t} \sqrt{\frac{12\rho(1-\mu^2)}{E}} \text{ Hz}$$

Die Stärke des Einbruches der Schalldämmung bei der Koinzidenzfrequenz wird in der Praxis durch den Verlustfaktor  $\eta$  begrenzt, wodurch sich üblicherweise nur ein horizontales Plateau im Frequenzverlauf ausbildet.

Im Frequenzbereich über der Koinzidenzfrequenz steigt die Schalldämmung wieder an. Das Schalldämm-Maß  $R$  kann in diesem Bereich näherungsweise mit Gleichung 2-6 berechnet werden.

$$\text{Gleichung 2-6: } R = 20\lg \frac{\pi f m'}{\rho_0 c_0} + 10\lg \frac{2\eta f}{\pi f_C} \text{ dB}$$

### 2.2.3 Luftschalldämmung mehrschaliger, leichter Bauteile (Holzrahmenbau)

Während die Luftschalldämmung einschaliger massiver Bauteile abhängig von der flächenbezogenen Masse  $m'$  relativ einfach bestimmt werden kann, treten bei den leichteren und oft mehrschalig aufgebauten Holzkonstruktionen verschiedene Effekte auf, die deren Schalldämmung in charakteristischer Weise beeinflussen.

Eine mehrschalige Konstruktion stellt ein Schwingungssystem von 2 oder mehreren Massen dar die mit einer Feder, welche durch die dynamische Steifigkeit  $s'$  charakterisiert wird, verbunden sind. Als Feder wirken dabei Hohlräume oder elastische Zwischenschichten. Ein wesentlicher Faktor für die Schalldämmung einer derartigen Konstruktion ist die Kopplung der Schalen. Je geringer die Kopplung, umso weniger Energie kann von einer Schale auf die andere übertragen werden und umso höher ist die Schalldämmung der Gesamtkonstruktion. Abbildung 2-6 zeigt den typischen Frequenzverlauf des Schalldämm-Maßes von mehrschaligen Bauteilen mit 3 charakteristischen Abschnitten.

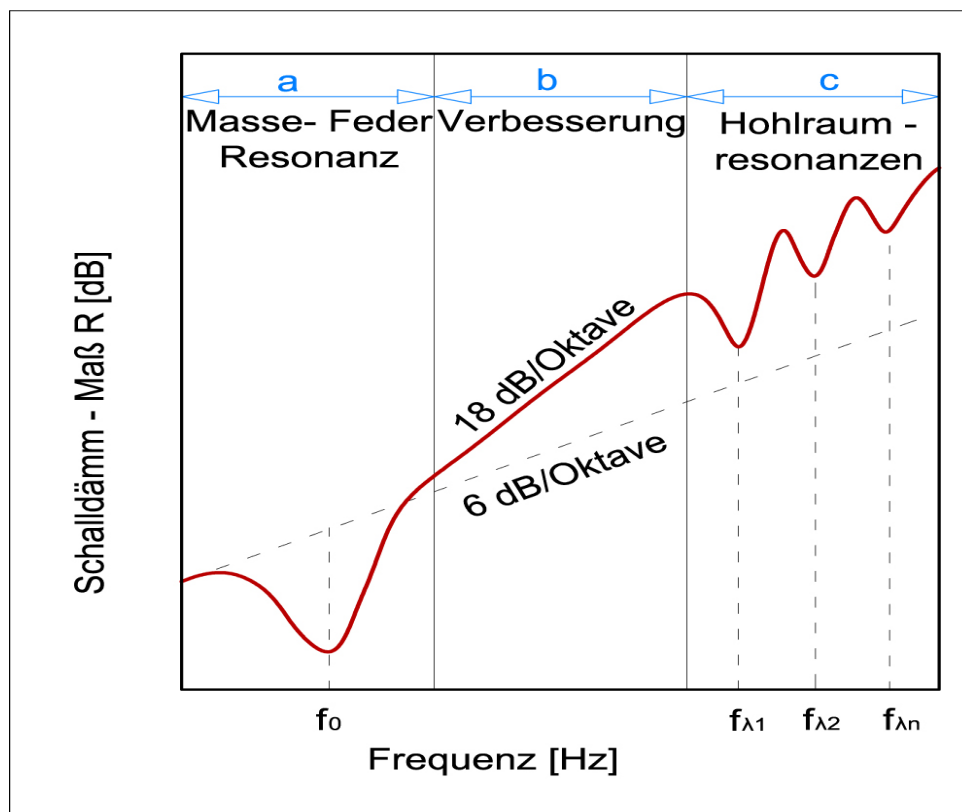


Abbildung 2-6: Schalldämm-Maß zweischaliger Bauteile

Derartige Systeme weisen eine Resonanzfrequenz mit einer maximalen Amplitude welche durch die Masse, die Feder und die Reibung (Dämpfung) bestimmt wird (Fischer et al. 2008). Die Resonanzfrequenz  $f_0$  eines Systems aus 2 mittels Feder verbundener Massen  $m_1'$  und  $m_2'$  errechnet sich aus Gleichung 2-7.

$$\text{Gleichung 2-7: } f_0 = \frac{10^3}{2\pi} \sqrt{s' \left( \frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2} \right)} \approx 160 \sqrt{s' \left( \frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2} \right)} \text{ Hz}$$

Im Bereich dieser Resonanzfrequenz tritt eine massive Verschlechterung der Schalldämmung auf. Dies hat zur Folge, dass im tiefen Frequenzbereich die Schalldämmung sogar unter jene einer Einfachwand gleicher Masse fällt.

Oberhalb der Feder-Masse-Resonanz nimmt die Schalldämmung nach Gleichung 2-8 zu.

$$\text{Gleichung 2-8: } \Delta R = 40 \lg \left( \frac{f}{f_0} \right) \text{ dB; } f > f_0$$

Bei höheren Frequenzen treten Hohlraumresonanzen auf, die auf stehende Wellen im Hohlraum zurückzuführen sind und ebenfalls die Schalldämmung verringern. Deren Einfluss ist jedoch gering, wenn der Hohlraum mit schallabsorbierendem Material gefüllt wird (Fasold, Veres 2003).

Bei mehrschaligen Bauteilen tritt der Spuranpassungseffekt (Koinzidenz) aufgrund der wesentlich geringeren Biegesteifigkeit  $B'$ , die sich nach Gleichung 2-9 berechnet, erst bei hohen Frequenzen auf. Aufgrund der üblicherweise bereits recht hohen Schalldämmung mehrschaliger, leichter Bauteile in diesem Frequenzbereich zeigt der Einbruch der Schalldämmung rund um die Koinzidenzfrequenz  $f_c$  für gewöhnlich keine großen Auswirkungen auf das Gesamtergebnis.

$$\text{Gleichung 2-9: } B' = \frac{Et^3}{12(1-\mu^2)} \approx \frac{Et^3}{10,5} \text{ Nm}$$

#### 2.2.4 Luftschalldämmung einschaliger, massiver aber leichter Bauteile (Massivholzkonstruktionen)

Massivholzkonstruktionen stellen nun insofern eine Besonderheit dar, als sie weder den schweren massiven Bauteilen, noch den leichten, mehrschaligen zugerechnet werden können. Während bei schweren massiven Bauteilen die schallschutztechnischen Anforderungen über deren Masse und beim Holzrahmenbau mit biegeweichen Beplankungen erfüllt werden, stellen Massivholzplatten weder eine biegeweiche, noch eine biegesteife Konstruktion dar (Bednar et al. 2000).

Wie bereits in den vorhergehenden Kapiteln erläutert, kommt es zu einem Einbruch der Schalldämmung rund um die Koinzidenzfrequenz. Diese ist bei schweren Bauteilen im sehr tiefen und bei leichten mehrschaligen Bauteilen im sehr hohen Frequenzbereich zu finden. In beiden Fällen außerhalb des bauakustisch wichtigen Frequenzspektrums. Wie in Abbildung 2-7 ersichtlich, liegt die Koinzidenz bei üblichen Konstruktionsstärken im Bereich von 250 bis

500 Hz und somit genau im praxisrelevanten Frequenzbereich. Eine Tatsache auf die bei der Planung des gesamten Bauteilaufbaus besondere Rücksicht genommen werden muss.

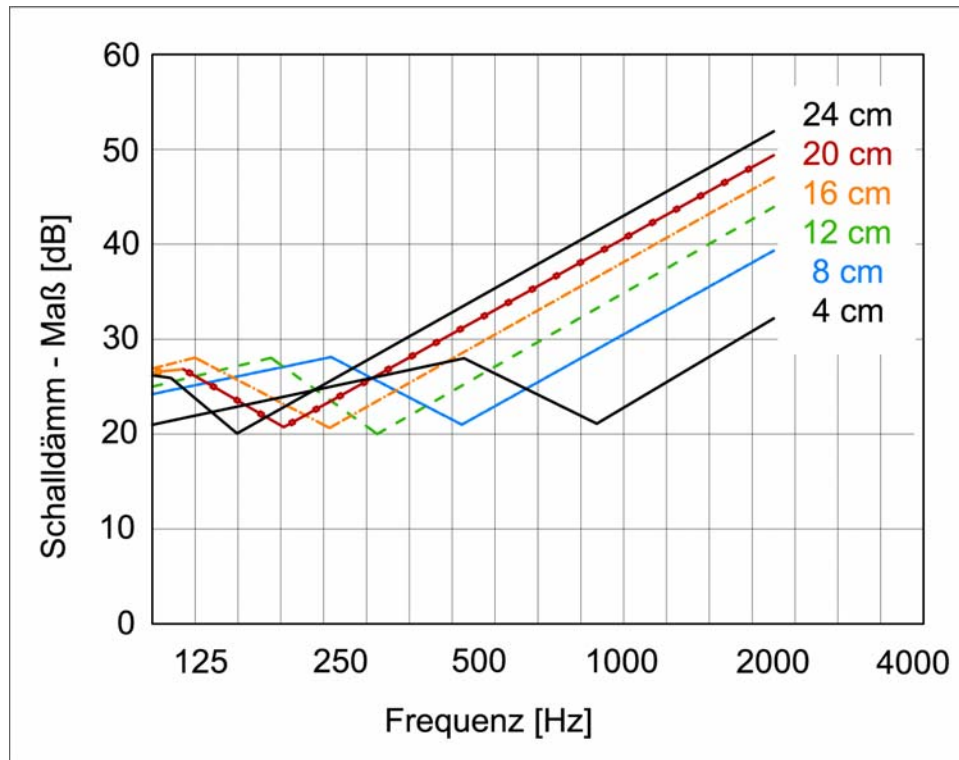


Abbildung 2-7: Berechnetes Schalldämm-Maß von fugenlosen Massivholzplatten in Abhängigkeit von deren Stärke (Bednar et al. 2000)

## 2.3 Körperschall

### 2.3.1 Allgemeines

Körperschall wird in einem Bauteil durch mechanische Anregung induziert. Auch Körperschall wird im Empfangsraum als Luftschall abgestrahlt (Abbildung 2-8). Diese Arbeit widmet sich hauptsächlich dem Trittschall, der eine Sonderform des Körperschalls darstellt, die durch das Begehen des Bauteils sowie durch wohnübliche Nutzung wie etwa Möbelrücken hervorgerufen wird. Im Gegensatz zur Luftschalldämmung wird hier von einer definierten Trittschallanregung (durch das Normhammerwerk) ausgegangen und nicht eine Schallpegeldifferenz, sondern ein Schallpegel im Empfangsraum  $L_2$  festgelegt.

Angegeben wird die Trittschalldämmung eines Bauteils durch den auf die Bezugsabsorptionsfläche bezogenen Norm-Trittschallpegel  $L_n$ . Die Bausituation wird auch hier durch einen Strich indiziert, was erkennen lässt, dass es sich bei  $L'_n$  um einen Norm-Trittschallpegel am Bau handelt. Die Normanforderungen werden über den bewerteten Standard-Trittschallpegel  $L'_{nT,w}$  (Gleichung 2-10) definiert, welcher sich ebenso wie die Standard-Schallpegeldifferenz auf die Bezugs-Nachhallzeit  $T_0$  bezieht.

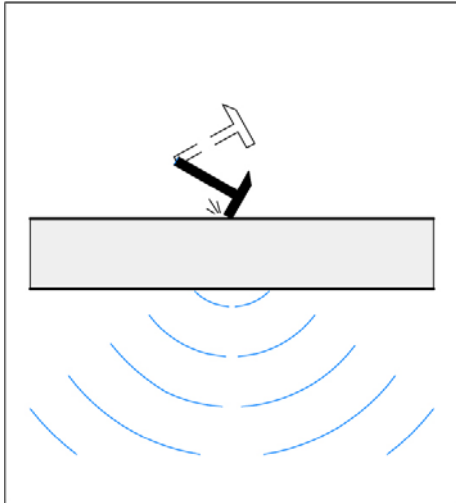


Abbildung 2-8: Körperschall wird als Luftschall abgestrahlt

Gleichung 2-10:  $L'_{nT} = L_E - 10 \log \frac{T}{T_0}$  dB

### 2.3.2 Reduktion von Körperschall

Im Wesentlichen wird versucht die Einleitung von Trittschall in die Konstruktion, die Weiterleitung und die Abstrahlung als Luftschall zu verhindern bzw. zu minimieren. Konstruktiv wird die Einleitung von Trittschall im Gebäude üblicherweise durch entsprechende Deckenauflagen wie etwa ein schwimmender Estrich und die Weiterleitung durch Unstetigkeiten in Material und Bauform wie etwa die Lagerung auf elastischen Zwischenschichten und durch den Einbau von Dämpfungsschichten unterbunden. Die Abstrahlung in den Empfangsraum kann durch Vorsatzschalen bzw. generell durch biegeeweiche Beplankung verringert werden (Abbildung 2-9).

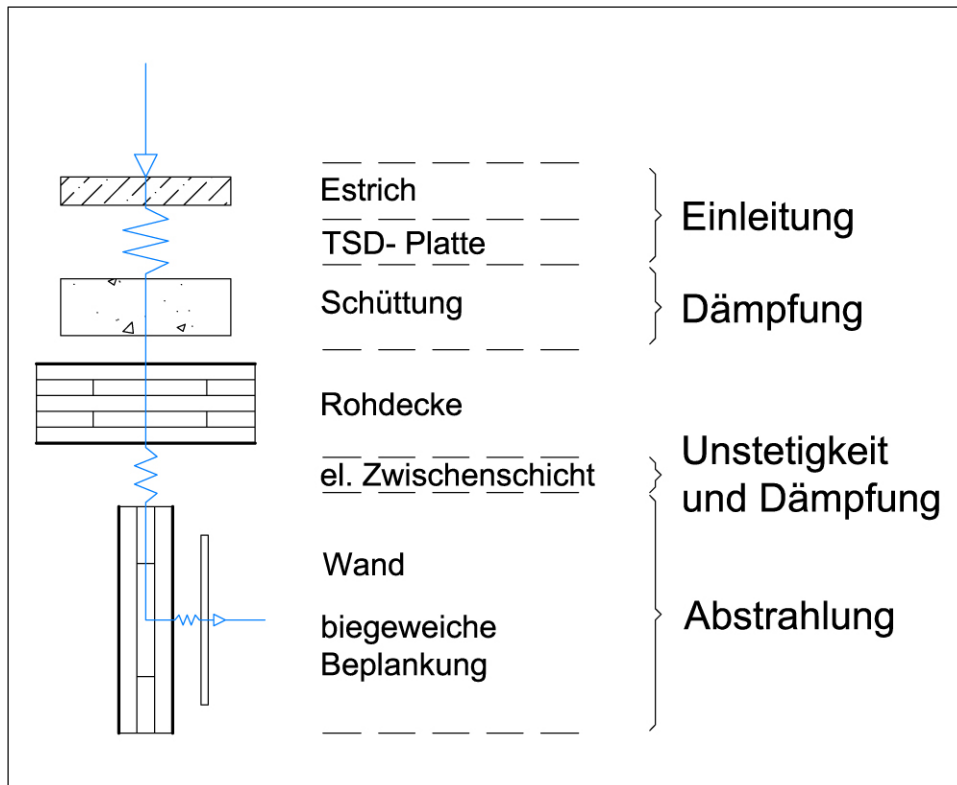


Abbildung 2-9: Reduktion von Körperschall

Körperschallvorgänge werden mittels Schnellepegel  $L_v$  beschrieben. Dabei wird der Effektivwert der Schnelle  $v$  der schwingenden Oberfläche auf die Bezugsschnelle  $v_0=5 \cdot 10^{-8}$  m/s nach Gleichung 2-11 normiert (Fasold et al. 1987).

$$\text{Gleichung 2-11: } L_v = 20 \lg \frac{v}{v_0} \text{ dB}$$

Schwingt der Bauteil mit der Fläche  $S$  gleichphasig, so errechnet sich der abgestrahlte Schalleistungspegel  $L_p$  bezogen auf  $S_0=1 \text{ m}^2$  nach Gleichung 2-12 und der Schalldruckpegel  $L_2$  im Diffusfeld des Empfangsraumes nach Gleichung 2-13 bezogen auf die äquivalente Schallabsorptionsfläche  $A$  des Raumes.

$$\text{Gleichung 2-12: } L_p = L_v + 10 \lg \frac{S}{S_0} \text{ dB}$$

$$\text{Gleichung 2-13: } L_E = L_v + 10 \lg \frac{4S}{A} \text{ dB}$$

Für beliebig schwingende Flächen im Diffusfeld wird der Abstrahlgrad  $\sigma$  (Gleichung 2-14), dem Verhältnis von tatsächlich abgestrahlter Schalleistung zu jener eines unendlich großen, gleichphasig mit  $v$  schwingenden Bauteils, eingeführt.

$$\text{Gleichung 2-14: } \sigma = \frac{P}{\rho_0 c_0 S v^2}$$

Unter Berücksichtigung des Abstrahlmaßes ( $10 \cdot \lg \sigma$ ) errechnet sich der Schalldruckpegel nach Gleichung 2-15.

$$\text{Gleichung 2-15: } L = L_v + 10 \lg \sigma + 10 \lg \frac{4S}{A} \text{ dB}$$

Der Abstrahlgrad hängt von der Größe der Platte und ihrer Koinzidenzfrequenz ab. Je größer die frei schwingende Fläche umso kleiner und je näher bei der Koinzidenzfrequenz umso größer der Abstrahlgrad.

Äquivalent zum Abstrahlmaß lässt sich auch im Senderraum ein Anregungsmaß ( $10 \cdot \lg \varepsilon$ ) definieren und so der Schalldruckpegel im Senderraum  $L_S$  nach Gleichung 2-16 angeben (Fasold et al. 1987).

$$\text{Gleichung 2-16: } L_S = L_v - 10 \lg \varepsilon + 6 \text{ dB}$$

Für den Schalldruckpegel im Empfangsraum gilt demnach Gleichung 2-17.

$$\text{Gleichung 2-17: } L_E = L_S + (10 \lg \sigma + 10 \lg \varepsilon + 10 \lg \frac{S}{A}) \text{ dB}$$

Bei der Körperschallausbreitung verringern sich die Schnellepegel. Hierfür sind neben der Bauteildämpfung, welche vor allem bei Leichtbauteilen sehr groß ist, auch die Stoßstellen mit verantwortlich. Näheres zum Thema Stoßstellen ist den Kapiteln Flankenübertragung und Prognosemodelle zu entnehmen.

### 2.3.2.1 Schwimmender Estrich

Die Dämmwirkung eines Estrichs  $\Delta L$  wird dadurch definiert, dass der Norm-Trittschallpegel  $L_{n,w}$  einer Decke frequenzabhängig einmal ohne, also nur die Rohdecke mit deren äquivalenten Norm-Trittschallpegel  $L_{n,eq}$  und einmal mit Estrich,  $L_n$ , gemessen wird, wobei die Differenz als Verbesserung bzw. Trittschallminderung  $\Delta L$  bezeichnet wird. Bewertet über den Frequenzbereich von 100 bis 3150 Hz ergibt sich daraus die bewertete Trittschallminderung  $\Delta L_w$ .

Unmittelbar auf die Decke aufgebrachte Estriche bringen keine nennenswerte Verbesserung des Trittschallschutzes. Erst in Kombination mit einer weichfedernden Dämmschicht wird eine große Dämmwirkung erreicht (Müller, Möser 2004). Die Dämmung beginnt oberhalb der Resonanzfrequenz  $f_0$  des Estrichs die sich für sehr schwere Rohdecken nach Gleichung 2-18 berechnet. Für Estriche auf Holzdecken gilt dieser ideale Zusammenhang nicht mehr, da in diesem Fall die flächenbezogene Masse des „Fundaments“ oft geringer ist als die schwingende Masse des Estrichs  $m'_1$ . Die Resonanzfrequenz ist demnach nach Gleichung 2-19 unter Berücksichtigung der Fundamentmasse  $m'_2$  zu berechnen.



Gleichung 2-18:  $f_0 = 160 \sqrt{\frac{s'}{m'_1}} \text{ Hz}$

Gleichung 2-19:  $f_0 = 160 \sqrt{s' \left( \frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2} \right)} \text{ Hz}$

### 2.3.2.2 Diskontinuitäten

Treffen Wellen auf Unstetigkeiten im Material oder in den Abmessungen, wird ein Teil der Energie reflektiert. Dadurch wird die über die Unstetigkeit hinwegtretende Energie kleiner als die aufgefallene (Cremer, Heckl 1995). Diese Körperschallausbreitungsdämmung kann durch die Verwendung von elastischen Zwischenschichten und von Sperrmassen erhöht werden. Wobei Sperrmassen vor allem dann eingesetzt werden, wenn die Kraftübertragung durch elastische Schichten nicht beeinträchtigt werden darf. Dadurch entstehen zwei Unstetigkeitsstellen die erst ab einer unteren Frequenzgrenze wirksam werden.

### 2.3.2.3 Dämpfung

Bei der Körperschalldämpfung wird die Körperschallenergie möglichst nahe der Quelle in Wärme umgewandelt. Dies geschieht durch Materialien mit hoher innerer Dämpfung oder Reibung an Kontaktflächen und wird durch den Verlustfaktor  $\eta$  charakterisiert. Dieser lässt sich nach (Müller, Möser 2004) für Schüttungen gemäß Gleichung 2-20 angeben.

Gleichung 2-20:  $\eta \approx \frac{\rho_s d_s \text{Im}\{A\}}{m'' + \rho_s d_s \text{Re}\{A\}}; A = \frac{c_s}{\omega d_s} \tan \frac{\omega d_s}{c_s}$

Dämpfende Schichten stellen in den üblichen Massivholzdeckenkonstruktionen neben der Trittschalldämmung des schwimmenden Estriches vor allem die hauptsächlich zur Erhöhung der Rohdeckenmasse eingesetzte Splittschüttungen dar. Körperschall wird vom angeregten schwimmenden Estrich in die Schüttung abgestrahlt und dort in Wärme umgewandelt. Aus diesem Grund werden bei Holzdeckenkonstruktionen bevorzugt ungebundene Schüttungen ausgeführt, da bei diesen aufgrund der höheren Dämpfung gegenüber gebundenen Schüttungen geringere Trittschallpegel gemessen werden. Bei Holzbalkendecken erfolgt die Bedämpfung des Gefachs durch schallabsorbierende Stoffe wie etwa Mineralwolle. Diese sollten mindestens einen längenbezogenen Strömungswiderstand von  $r \geq 5 \text{ kPa s/m}^2$  aufweisen.

Schallenergie wird auch im Estrich selbst absorbiert, wobei Gussasphalt- und Trockenestriche eine höhere innere Dämpfung aufweisen als Zementestriche. Dadurch erreichen Gussasphaltestriche bei gleicher Masse und Trittschalldämmplatte bessere Trittschalldämmung. Zementestriche lassen sich aufgrund ihrer höheren Steifigkeit jedoch

auf weicheren Trittschalldämmplatten einsetzen wodurch bessere Ergebnisse erreichbar sind (Holtz et al. 1999).

#### 2.3.2.4 Kombination von Dämmung und Dämpfung

In der Praxis ist die Kombination von Dämmung und Dämpfung am wirksamsten. Vor allem im Bereich von Resonanzfrequenzen bewirkt eine Erhöhung des Verlustfaktors eine Körperschallpegelminderung. Liegen im angeregten Frequenzbereich keine Resonanzen, lässt sich durch zusätzliche Dämpfung keine Verbesserung erzielen, da die Körperschallpegel nur von Masse oder Steife bestimmt sind (Müller, Möser 2004). In der Praxis bedeutet dies die Anordnung von elastischen Zwischenschichten in gewissem Abstand von der Quelle und eine zusätzliche Dämpfung in Form einer Beschüttung im Bereich in dem durch Mehrfachreflexionen die höchste Energiedichte herrscht, zwischen schwimmendem Estrich und Rohdecke.

## 2.4 Flankenübertragung

### 2.4.1 Allgemeines

Die Schallübertragung zwischen zwei Räumen erfolgt über den Trennbauteil und über die Flanken. Im Falle der Geschossdecke liegen Nebenwege vor allem in Form der flankierenden Wände (Abbildung 2-10), aber auch als indirekte Schallübertragung über Luftschall-Nebenwege wie etwa Kabelkanäle, vor. Die Direktschallübertragung wird mit  $D$  und  $d$  und die Flankenschallübertragung mit  $F$  und  $f$  bezeichnet, wobei Groß- und Kleinbuchstaben auf Sende- und Empfangsseite hinweisen.

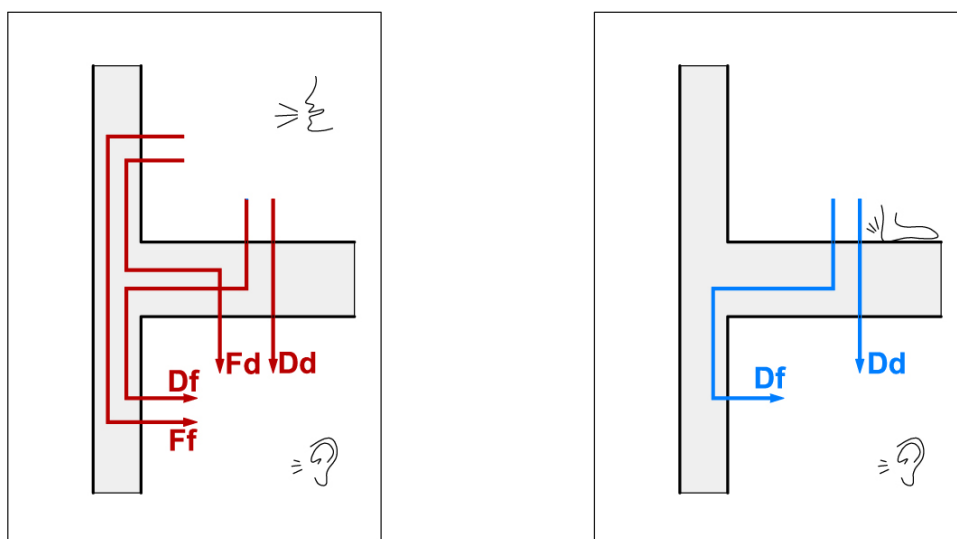


Abbildung 2-10: Luftschall- und Trittschallübertragungswege zwischen benachbarten Räumen

Es ist nicht unüblich, dass die flankierenden Bauteile einen gleich hohen bzw. sogar höheren Schallpegel abstrahlen als der Trennbauteil. Wie sich gezeigt hat, ist die Schalldämmung in ausschließlich aus Massivholzbauteilen konstruierten Gebäuden im Vergleich zur Holztafelbauweise oder mineralischen Massivbauweise niedrig, wenn keine Maßnahmen gegen die Flankenübertragung ausgeführt werden (Östman et al. 2008). An dieser Tatsache ist unschwer die hohe Bedeutung des Themas, vor allem für den Massivholzbau, zu erkennen.

Die Flankenübertragung erhöht die Komplexität der schalltechnischen Prognose. Selbst derzeit gängige Methoden stellen den tatsächlichen Schallübertragungsprozess nur inadequat dar (Hopkins 2007). Dies gilt vor allem für Holzkonstruktionen für die sich die Modellbildung besonders schwierig gestaltet.

Die rege Forschungstätigkeit auf dem Gebiet der Schall-Längsleitung in den letzten Jahrzehnten hat zu einem allgemein akzeptierten Berechnungsmodell (ÖNORM EN 12354-1) für die Vorherbestimmung des Schallschutzes zwischen Räumen geführt. Diese Berechnungsmethode ist für Leichtbaukonstruktionen (z.B. Konstruktionen in Holzrahmenbauweise oder Gipskartonständerwände) derzeit allerdings nur eingeschränkt geeignet. Weber und Scholl (Weber, Scholl 2000) sehen die Übereinstimmung von Rechenmodell und Messung aufgrund ihrer Untersuchung der Stoßstellendämmung von Leichtbauwänden aus Metallständerprofilen und Gipskartonplatten als unbefriedigend an. Bei Leichtbauteilen entstehen aufgrund der hohen inneren Dämpfung keine diffusen Körperschallfelder, weshalb direkte Messungen der Stoßstellendämmung nicht einwandfrei möglich sind. Das Berechnungsverfahren nach ÖNORM EN 12354 ist daher hinreichend genau nur für massive Konstruktionen anwendbar, für Leichtbauteile jedoch nur bedingt geeignet (Schoenwald et al. 2004). Die Prognose nach EN 12354 wird im Kapitel zu Prognosemodellen noch eingehend erläutert.

#### 2.4.2 Luftschall bei der Flankenübertragung

Je höher die Schalldämmung der Decke, umso mehr wird die resultierende Übertragung von Luftschall von der Flankenübertragung bestimmt. Vor allem bei Massivholzwänden ist die Übertragung von in die oberen Wände eingeleiteter Schallenergie mittels zw. Wand und Decke eingefügter, elastischer Zwischenschicht zu unterbrechen. Dies kann unterbleiben, sofern die Einleitung und Abstrahlung durch eine Vorsatzschale unterbunden wurde.

#### 2.4.3 Trittschall bei der Flankenübertragung

Bei Anregung durch Trittschall erfolgt die Flankenübertragung, nur über den Weg Decke-Wand. Dieser Flankenpegel  $L_{n,Df}$  wird nach Gleichung 2-21 zu dem im Labor ermittelten  $L_n$  energetisch hinzuaddiert, was den tatsächlichen Normtrittschallpegel am Bau  $L'_n$  ergibt.

Gleichung 2-21:  $L'_n = 10 \log \left( 10^{\frac{L_n}{10}} + 10^{\frac{L_{n,Df}}{10}} \right) \text{ dB}$

Bei hochschalldämmenden Holzdecken wird die resultierende Trittschalldämmung  $L'_{n,w}$  hauptsächlich durch die Flankenübertragung bestimmt (Holtz et al. 1999). Diesbezügliche Maßnahmen betreffen bereits die Reduktion der Energieeinleitung in die Decke durch die Estrichkonstruktion und in weiterer Folge eine Entkoppelung der unteren Wand von der Decke mittels elastischer Zwischenschichten. Damit wird die Schalleinleitung in die Wand reduziert und steht nicht zur Abstrahlung zur Verfügung. Zuletzt kann noch die Abstrahlung der Wand selbst reduziert werden. Beispielsweise durch Anschrauben von Gipsplatten direkt an der Wand um 2 dB. Eine massive Verbesserung kann auch hier durch Vorsatzschalen erreicht werden, besonders bei doppelter Beplankung mit biegeweichen Platten.

#### 2.4.4 Horizontale Schall-Längsleitung von Decken

Flankenübertragung erfolgt nicht nur über die flankierenden Wände wie bereits erläutert von oben nach unten, sondern auch über flankierende Decken in benachbarte Räume bzw. Wohnungen. Während die Situation für den Fußboden aufgrund des üblicherweise eingebrachten Fußbodenaufbaus mit schwimmendem Estrich kein Problem darstellt, ist bei der Ausführung der Untersicht einiges zu beachten.

Wie bereits erwähnt ist das Flankendämm-Maß von Massivholzbauteilen relativ gering. Es sind daher Maßnahmen erforderlich um die Schalldämmung einer guten Trennwand im Verbund mit einer Massivholzdecke in der Gesamtsituation nicht massiv zu reduzieren.

Dies kann wie in Abbildung 2-11 schematisch dargestellt, entweder durch die Anbringung einer elastisch abgehängten Unterdecke in beiden angrenzenden Räumen oder, sofern eine Unterdecke nicht erwünscht ist, durch Trennung der Rohdecke im Knotenpunkt geschehen.

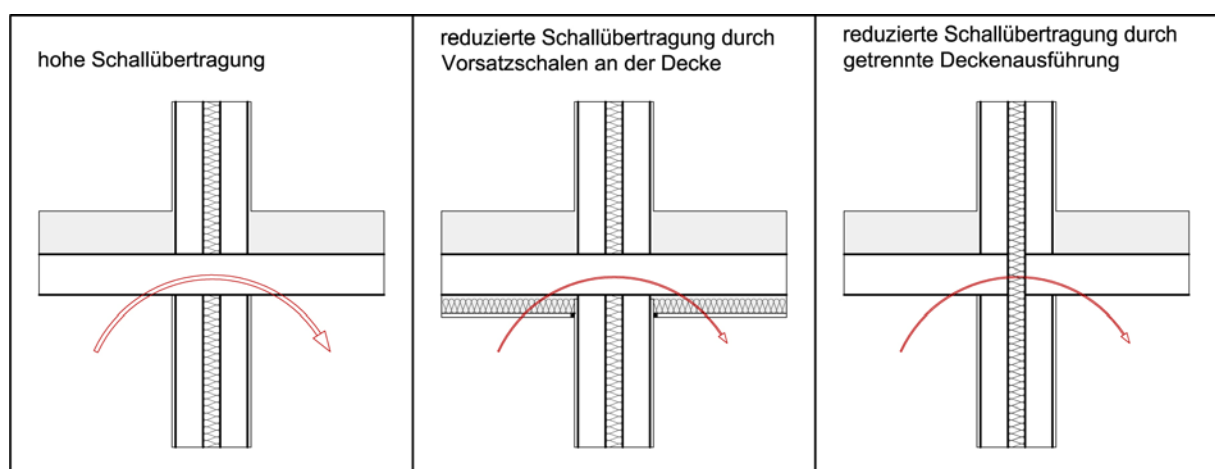


Abbildung 2-11: Horizontale Schall-Längsleitung

### 3 Konstruktionen für den mehrgeschossigen Holzbau

#### 3.1 Allgemeines

Der mehrgeschossige Holz- bzw. Holz-mischbau stellt im urbanen Wohnungsbau eine Neuheit dar, wobei gerade im städtischen Umfeld die Kombination von Holzelementen mit mineralischen Bauteilen als zukunfts-trächtige Bauweise gilt. Der Holzbau lässt sich entsprechend Abbildung 3-1 einteilen, wobei im mehrgeschossigen Wohnungsbau die Skelettbauweise eine untergeordnete Rolle spielt.

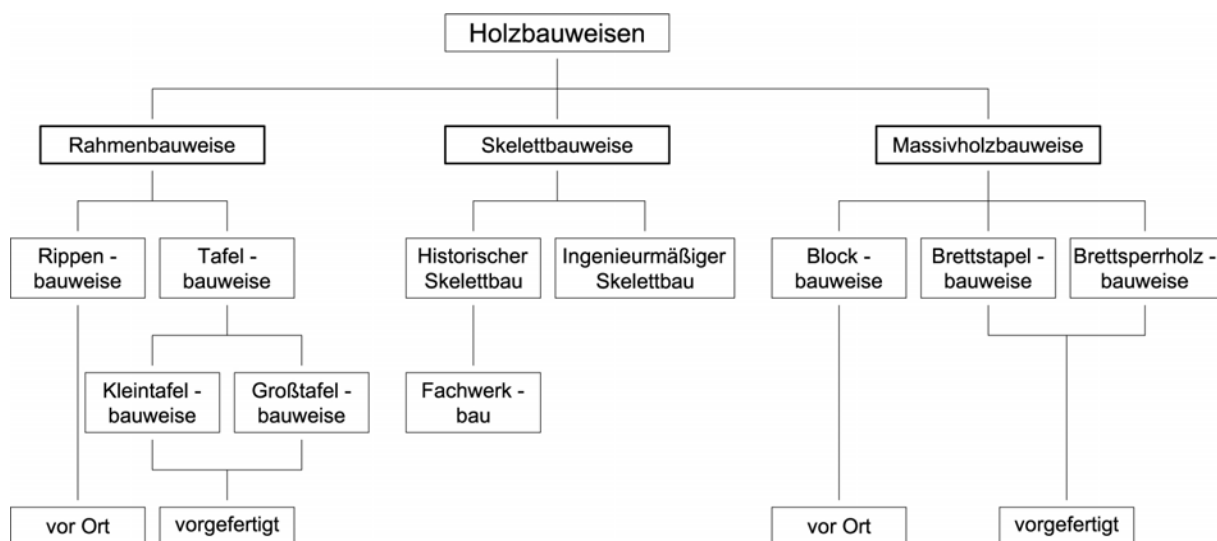


Abbildung 3-1: Einteilung der Holzbauweisen im Wohnbau

Gleichzeitig werden die schallschutztechnischen Eigenschaften der Objekte von Behörden und Planern kritisch hinterfragt. Trotz positiver Entwicklungen im Holzbau wird von Bauträgern und Behörden der Baustoff Holz nach wie vor unterschätzt und es werden in der praktischen Umsetzung zu große Sicherheiten bei den bauphysikalischen Eigenschaften gewählt. Grund hierfür sind fehlende Erfahrungen mit welchen Abweichungen von den im Labor an Einzelbauteilen bestimmten Kennwerten im Gesamtbauwerk zu rechnen ist.

Aus schalltechnischer Sicht unterscheiden sich der Holzrahmenbau und der Massivholzbau (Brettspertholz- und Brettstapelbauweise) gravierend voneinander. Bei der Holzrahmenbauweise werden mit Hilfe der biegeweichen Beplankungen die schallschutztechnischen Anforderungen erfüllt, während die Massivholzplatten weder eine biegeweiche noch eine biegesteife Konstruktion darstellen (Bednar et al. 2000).

### 3.2 Deckenkonstruktionen in Holzrahmenbauweise

Es wird zwischen offenen (Balken sichtbar) und geschlossenen Holzbalkendecken (geschlossener Kasten) unterschieden, wobei im mehrgeschoßigen Holzbau als Trenndecke aufgrund des geringen Schallschutzes von offenen Holzbalkendecken nur die geschlossene Variante zum Einsatz kommt.

Eine Verleimung der oberen Beplankung mit den Balken führt zu höherer Steifigkeit und damit schlechterer Schalldämmung als eine Verschraubung bzw. Vernagelung. Wird die untere Beplankung direkt an den Balken befestigt, erfolgt die Energieübertragung hauptsächlich über die Befestigung der Unterdecke. Bei federnder Montage wird die Schallenergie primär über das Gefach übertragen, was unbedingt eine Hohlraumdämpfung mit absorbierenden Stoffen, beispielsweise Mineralfaser, die mindestens einen längenbezogenen Strömungswiderstand von  $r \geq 5 \text{ kPa s/m}^2$  aufweisen, zur Schallabsorption erfordert.

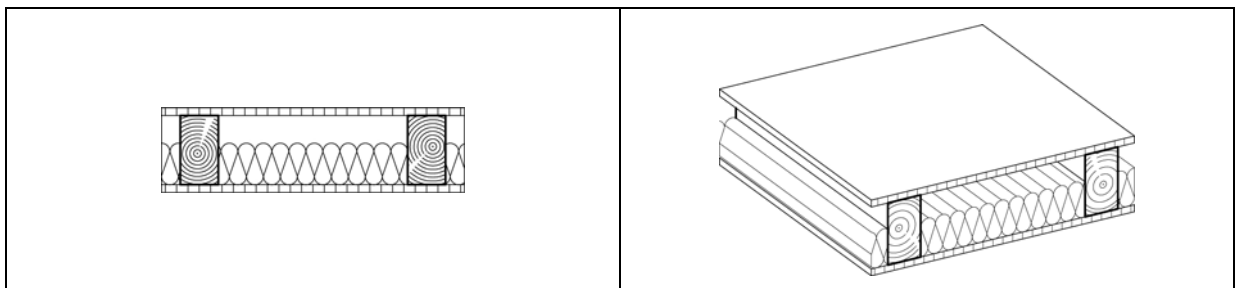


Abbildung 3-2: Holzbalkendecke

### 3.3 Hohlkastenelemente

Decken aus Kastenelementen werden ebenfalls vorgefertigt und in Elementform auf die Baustelle geliefert. Die Standardbreite beträgt 2 m, die maximale Länge 12 m. Verbunden werden die einzelnen Elemente mit einer Holzfeder, die einen Abstand der Elemente von 1 cm festlegt. Die Hohlkammern können bei Bedarf zur Wärmedämmung mit Dämmstoff befüllt werden. Außerdem wurden Systeme mit Schwingungstilgern (Abbildung 3-4) in den Kammern entwickelt, die vor allem die im Holzbau als besonders störend empfundenen tiefen Frequenzen effektiv dämpfen.

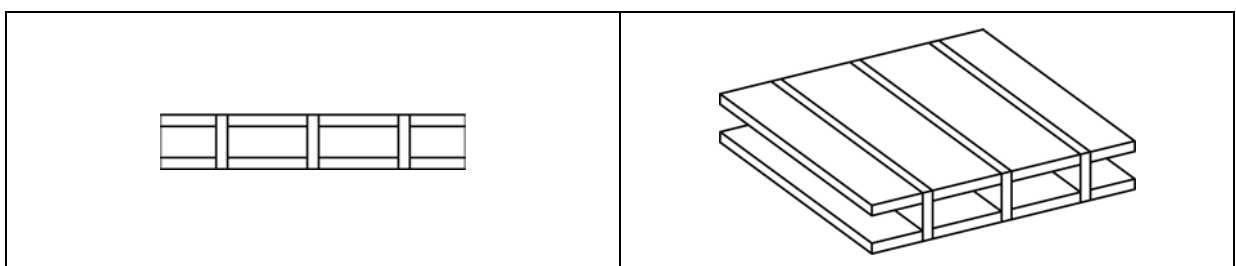


Abbildung 3-3: Hohlkastenelement

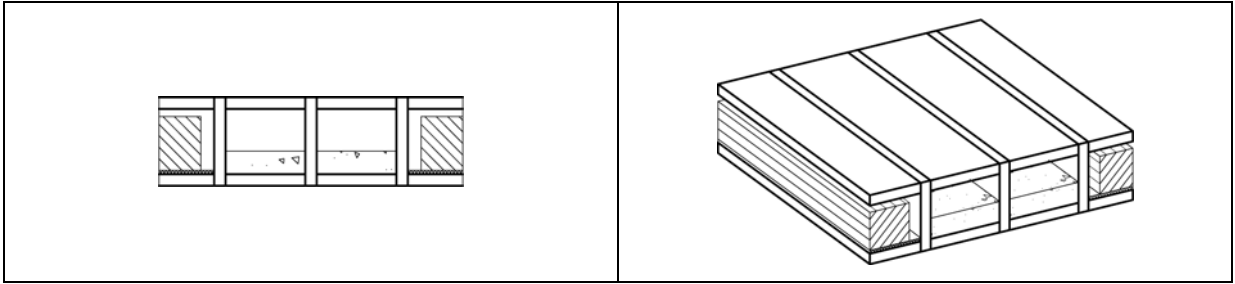


Abbildung 3-4: Hohlkastenelement mit Schwingungstilgern

### 3.4 Deckenkonstruktionen in Massivholzbauweise

Zu den Massivholzdecken können die Brettstapeldecke und die Brettsperrholzdecke gezählt werden. Als Vorteile von Massivholzdecken gegenüber Holzbalkendecken können deren geringere erforderliche Geschossdeckenhöhe und deren statische Wirksamkeit gesehen werden. Nachteilig wirken sich die höhere Schall-Längsleitung und die Tatsache der nicht möglichen Bedämpfung der Rohdecke selbst aus.

#### 3.4.1 Brettstapelbauweise

Die Brettstapeldecke besteht aus hochkant, dicht an dicht stehenden Brettern oder Bohlen deren Dicke zwischen 24 und 60 mm beträgt. Verbunden werden die einzelnen Bretter untereinander durch Verleimen, Verdübeln oder Vernageln. Diesbezügliche schalltechnische Untersuchungen haben ergeben, dass verleimte Brettstapeldecken im Vergleich zu vernagelten Konstruktionen schlechtere Dämmwerte aufweisen (Holtz et al. 1997). Dies ist auf die höhere Biegesteifigkeit der verleimten Decke zurückzuführen und kann bis zu 6 dB betragen. Allerdings sind die genagelten Decken statisch nicht so belastbar, was ihren Einsatz auf geringere Deckenspannweiten limitiert. Elemente können bis zu 10 m lang gefertigt werden, während sich ihre Breite aufgrund der Transportmöglichkeiten der fertigen Elemente auf 2,5 m beschränkt. Die Einzelelemente müssen demnach auf der Baustelle entsprechend gefügt werden, wobei feuchtebedingte Dimensionsänderungen berücksichtigt werden müssen. Statisch wirken Brettstapelelemente nicht als Platte, weshalb das Aufnageln einer Holzwerkstoffplatte erforderlich ist. Messungen des Labors für Schall- und Wärmemesstechnik Rosenheim ergaben eine hohe Fugenschallübertragung über offene Stoßfugen der rohen Brettstapeldecke. Dieser Fugenschall kann jedoch durch Vorsatzelemente (bei Decken beispielsweise ein Estrich) effektiv gedämmt werden.

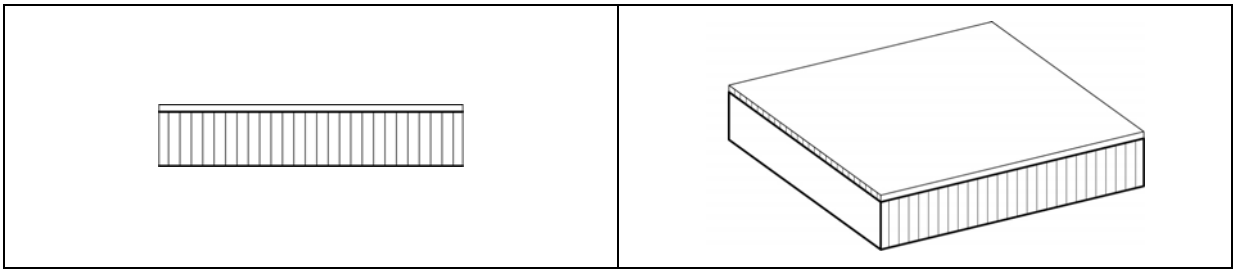


Abbildung 3-5 Brettstapeldecke

### 3.4.2 Brettsperrholzbauweise

Dabei handelt es sich um kreuzweise miteinander verleimte Bretter, so dass ein großformatig, flächig tragendes Massivholzelement entsteht, das nicht mehr durch eine zusätzliche Holzwerkstoffplatte ausgesteift werden muss. Anwendung finden Konstruktionen aus 3 bis 7 kreuzweise miteinander verleimten Nadelholz-Bretterlagen. Die Einzelbretter werden der Länge nach durch Keilzinkung kraftschlüssig miteinander verbunden. Je nach Produktionsmethode werden die Bretter auch seitlich an den Schmalseiten verleimt oder nur nebeneinander gelegt und die Lagen übereinander geleimt. An den Schmalseiten verleimte Produkte sind winddicht, möglicherweise aber anfälliger für Schwindrisse. Bezüglich der Trageigenschaften hat Schmalseitenverleimung keinen Einfluss.

Elementstöße werden als Stufenfalz mit Abdichtung ausgeführt und erfordern keine Fuge, da Quellen und Schwinden durch die kreuzweise Verleimung der Bretterlagen unterbunden wird. Das Ausgangsmaterial sind sägeraue Bretter, welche vorwiegend aus den Stammrandzonen eingeschnitten werden. Diese Brettseitenware wird als minderwertigeres Schnittholz angesehen und in den mittleren Lagen eingebaut. Derzeit werden Nadelhölzer wie Fichte, Kiefer, Lärche und Tanne verarbeitet. Sichtqualität ist mit der entsprechenden Decklagenausführung möglich.

Die Herstellung ist generell in den entsprechenden Zulassungen der einzelnen Produkte geregelt. Derzeit können erst zwei Hersteller in Österreich eine Europäische Technische Zulassung ihrer Produkte vorweisen, die anderen verfügen über Deutsche Bauaufsichtliche Einzelzulassungen.

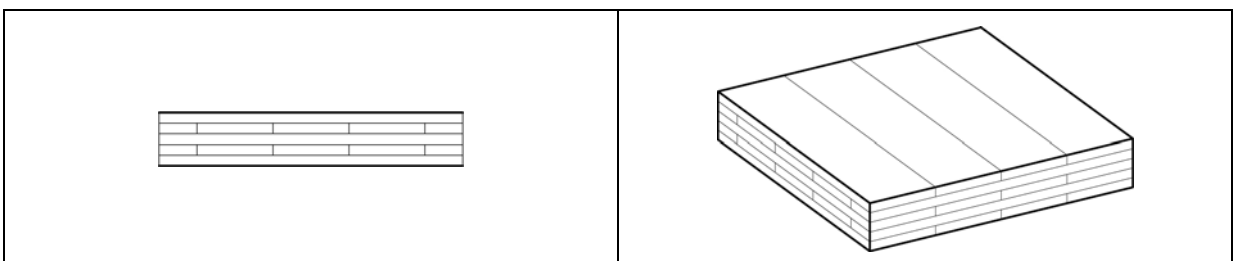


Abbildung 3-6: Brettsperrholzdecke



### 3.5 Deckenkonstruktionen in Holz-Beton-Verbund-Bauweise

In der Althausanierung schon viele Jahre im Einsatz, gewinnt dieses Deckensystem zunehmend auch im mehrgeschossigen Neubau an Bedeutung. Der Einsatz erfolgte in Österreich hauptsächlich im Falle eines nachträglichen Dachgeschossausbaus zur schalltechnischen Verbesserung von den früher für die oberste Geschossdecke bevorzugt verwendeten Dippelbaumdecken (eine frühe Form der Massivholzdecke). Der Betonverbund stellt eine einfache Möglichkeit der Erhöhung der Tragfähigkeit bei bestehenden Konstruktionen dar, was vor allem bei Altbauten wichtig ist, wenn im Zuge der Umnutzung höhere Lasten zu berücksichtigen sind. Aber auch alte Holzbalkendecken werden mittlerweile, oft ebenfalls aus statischen Gründen, mit einer tragenden Betonschicht verstärkt.

Im mehrgeschossigen Neubau findet hauptsächlich das System Beton auf Massivholzdecke Verwendung. Der statische Vorteil liegt bei dieser Konstruktion darin, dass der Beton in der Biegedruckzone und das Holz in der Biegezugzone liegt. Damit können die dominierenden Festigkeitseigenschaften beider Stoffe gut genutzt und Decken mit großen Spannweiten ausgeführt werden. Gegenüber reinen Holzdecken weist der Verbund eine geringere Schwingungsanfälligkeit und einen verbesserten Brandschutz auf. Aufgrund der hohen Masse sind auch schallschutztechnische Anforderungen einfacher zu erreichen. Wesentlich ist eine Verbindung von Holz und Beton mit hohem Wirkungsgrad. Eingesetzte Verbindungsmittel zur Herstellung des Verbundes sind ausgesprochen vielfältig und reichen von Gewindestangen, Schrauben und Nägeln bis hin zu speziellen oder handelsüblichen Stahlformteilen. Sämtliche punktförmigen Verbindungsmittel stellen einen nachgiebigen Verbund dar. Echter Formschluss entsteht nur durch entsprechende Ausformung des Holzteiles wie beispielsweise ein Höhenversatz der Bretter der Brettstapeldecke.

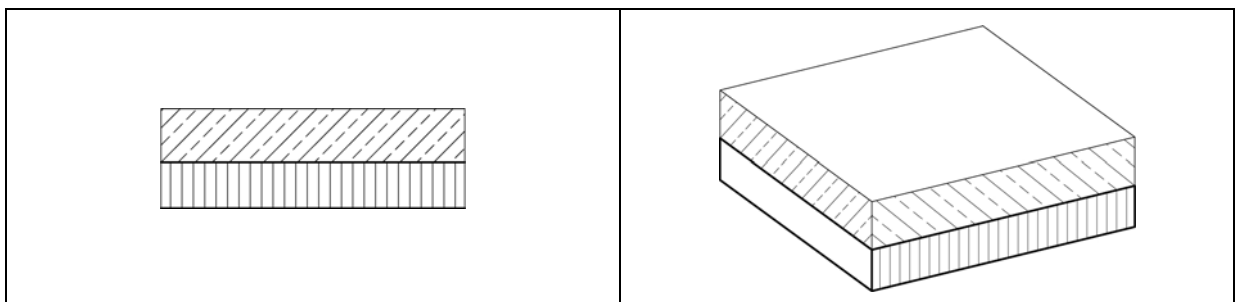


Abbildung 3-7: Holz-Beton-Verbunddecke

## 4 Elastische Zwischenschichten

### 4.1 Allgemeines

Die schalltechnische Wirksamkeit der elastischen Zwischenschichten wird in erster Linie durch deren Materialeigenschaften bestimmt. Die genaue Kenntnis des dynamischen Elastizitätsmoduls  $E_{\text{dyn}}$  bzw. der dynamischen Steifigkeit  $s'$  ist daher zur Abstimmung von großer Bedeutung.

Im Rahmen dieses Projekts kamen verschiedene Arten von elastischen Zwischenschichten zum Einsatz, wobei nur unbewehrte Kunststoffe, ersichtlich in Tabelle 4-1, Verwendung fanden.

Elastomerlager bestehen aus weitmaschig vernetzten Molekülen und sind innerhalb eines weiten Temperaturbereichs gummi-elastisch. Wirken Kräfte von außen, so kommt es zu Verformungen die innerhalb des Molekülnetzes zu Energieverlusten also zu Dämpfung führt. Außerdem ist der Kunststoff bestrebt, in den Ausgangszustand zurückzukehren, was zu einem reversiblen Spannungs-Dehnungsverhalten führt.

Die dynamischen Eigenschaften von Elastomeren hängen neben der Temperatur in erster Linie von deren Belastung ab. Dabei ist ein nichtlinearer Zusammenhang mit unterschiedlichen Belastungszuständen zu beobachten.

Zwei eingesetzte Elastomerlager, ESZ Pyramidenlager 10 mm und Trelleborg Massivgummi bestehen laut Herstellerangabe aus Vulkanisat auf Basis EPDM (Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk). Ein weiteres, Mafund G aus NR/SBR Polymer (Naturkautschuk/Styrol-Butadien-Kautschuk).

Sylodyn – Baulager sind Duroplaste aus geschlossenzelligem Polyurethan.

In Tabelle 4-1 sind sämtliche eingesetzten Baulager abgebildet und für detailliertere Produktinformationen die Hersteller angeführt.

Tabelle 4-1: Bei den Prüfungen eingesetzte Baulager

Ansicht	Schnitt	Bezeichnung	Vertrieb	Höhe	Herstellerinformation
		ESZ Pyramidenlager	Wilfried Becker GmbH	10 mm	www.esz-becker.de
		Trelleborg Solid rubber	Vinzenz Harrer GmbH	5 mm	www.harrer.at
		Sylodyn	Getzner Werkstoffe GmbH	12,5 mm	www.getzner.com
		Mafund G	Eichler GmbH	30 mm	www.eichler.at

## 4.2 Dynamische Materialeigenschaften von elastischen Zwischenschichten

### 4.2.1 Dynamischer Elastizitätsmodul

Der Elastizitätsmodul ist eine Materialkonstante die das Verhältnis von Spannung zu Dehnung angibt, wobei die Dehnung als das Verhältnis von Längenänderung zur ursprünglichen Länge definiert ist. Je nachdem ob die angelegte Spannung statisch oder dynamisch ist, wird der jeweilige Elastizitätsmodul ermittelt.

E-Module werden von den Herstellern für ihre Produkte angegeben. Eine messtechnische Ermittlung ist über die Bestimmung des Spannungs-Dehnungs-Diagramms möglich bzw. über eine Messung der dynamischen Steifigkeit  $s'$  gemäß ÖNORM EN 29052-1 (Österreichisches Normungsinstitut 1993 04). Bei diesem Verfahren wird die Resonanzfrequenz  $f_R$  bestimmt und aus der Probendicke  $d$ , der Probenfläche  $S$  und der flächenbezogenen Masse  $m'$  der Probe nach (Cremer, Heckl 1995) gemäß Gleichung 4-1 die dynamischen Steifigkeit und der Realteil des Elastizitätsmoduls  $E'$  berechnet.

$$\text{Gleichung 4-1: } E' = s'd = 4\pi^2 f_R^2 m' \frac{d}{S} \text{ N/m}^2$$

Diese Gleichung gilt jedoch nur für tiefe Frequenzen, da die Probe dann als Wellenleiter wirkt und keine Feder mehr darstellt.

#### 4.2.2 Schubmodul

Der Schubmodul  $G$  ist ebenfalls eine Materialkonstante und beschreibt das Verhältnis von Schubspannung und dem Tangens des Schubwinkels. Der Schubmodul  $G$  steht mit dem Elastizitätsmodul über die Querkontraktionszahl  $\mu$  gemäß Gleichung 4-2 in Zusammenhang.

$$\text{Gleichung 4-2: } G = \frac{E}{2(1-\mu)} \text{ N/m}^2$$

Dessen Bestimmung ist über die Resonanzfrequenz nach (Gudmundsson 1984) zitiert von (Böhmer 2006) gemäß der Gleichung 4-3 möglich.

$$\text{Gleichung 4-3: } G = (2\pi f_0)^2 d \frac{m'}{S} \text{ N/m}^2$$

#### 4.2.3 Querkontraktionszahl

Die Querkontraktionszahl  $\mu$  oder auch Poissonsche Zahl genannt, ist eine dimensionslose Materialkonstante und stellt das Verhältnis zwischen relativer Dickenänderung  $\Delta d/d$  zu relativer Längenänderung  $\Delta l/l$  dar. Der kleinste mögliche Wert  $\mu=0$  ist jener Fall, bei dem keine Querdehnung auftritt. Elastische Materialien weisen den größtmöglichen Wert 0,5 auf. Hier werden einaxiale Längenänderungen beinahe vollständig durch die anderen Achsenrichtungen ausgeglichen und das Volumen bleibt konstant.

### 4.3 Auswahl des Baulagers

Die Auswahl eines geeigneten Baulagers beginnt mit der Ermittlung der maximalen statischen Dauerbelastung. Die Lager müssen auf eine statische Dauerlast ausgelegt werden bei der garantiert werden kann, dass sie über die erforderliche Einsatzdauer ihre dynamischen Eigenschaften aufrecht erhalten. Weiters ist die maximale Verformung zu beachten. Dies ist jener Weg, um den sich ein Baulager bei aufgebrachtter Pressung komprimiert. Wesentliches Kriterium für eine effiziente elastische Lagerung ist die Abstimmfrequenz des Schwingungssystems. Dabei ist von der niedrigsten zu dämmenden Frequenz  $f$  auszugehen und ein Abstimmungsverhältnis  $f/f_0$  von mind.  $\sqrt{2}$  einzuhalten. Erst ab diesem Verhältnis, kommt es bei steigender Erregerfrequenz zu ebenfalls steigender Körperschalldämmung. Je tiefer die Eigenfrequenz, erreichbar durch weiches bzw. dickeres Material, umso höher die Körperschallisolation. Dem sind jedoch Grenzen der erforderlichen Druckfestigkeit und der maximal zulässigen Einfederung gesetzt.

Die Abstimmfrequenz  $f_0$  eines einfachen Feder-Masse-Systems mit flächigen elastischen Zwischenschichten ergibt sich nach Gleichung 4-4 aus der dynamischen Steifigkeit  $s'$  des

verwendeten Lagers und der wirksamen, flächenbezogenen Masse  $m'$  des elastisch gelagerten Systems.

$$\text{Gleichung 4-4: } f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{s'}{m'}} \text{ Hz}$$

In der Realität werden elastische Lager aus Kunststoff bei Belastung immer steifer. Die Zusammendrückbarkeit von Vollgummierelementen kommt hauptsächlich dadurch zustande, dass das Material unter Druck seitlich ausweicht. Daher hängt sein Elastizitätsmodul  $E$  der sich über die Dicke  $d$  mit der dynamischen Steifigkeit  $s'$  nach Gleichung 4-5 definiert auch noch von einem Formfaktor  $q$ , dem Quotienten aus der belasteten Fläche und der Mantelfläche, ab. Der Formfaktor hat Einfluss auf die Einfederung bzw. auf den Grenzwert der statischen Dauerlast und liegt bei streifenförmiger Lagerung zwischen 2 und 4.

$$\text{Gleichung 4-5: } s' = \frac{E}{d} \text{ MN/m}^3$$

## 5 Verbindungsmittel

Zur Abtragung von Kräften sind kraftschlüssige Verbindungen mit Befestigungsmitteln in Gebäuden erforderlich. Im Rahmen der Untersuchungen wurden Winkel und Schrauben (Abbildung 5-1) zur Befestigung eingesetzt. Dabei wurden die Schrauben durch die Decke in die darunter angeordnete Wand geschraubt und die Winkel wurden zur Befestigung der auf der Decke stehenden Wand eingesetzt. Diese Verbindungsmittel beeinträchtigen die Wirksamkeit der Lager. Der Einfluss bei den unterschiedlichen Produkten wurde durch bauakustische Messungen und durch Schwingungsmessungen untersucht. Zur Optimierung wurden schalltechnisch optimierte Verbindungsmittel (Abbildung 5-1) und deren Funktion untersucht.

Dabei konnte anhand einer Messreihe nachgewiesen werden, dass schalltechnisch optimierte Befestigungsmittel die durch herkömmliche Verbindungen verursachten akustischen Verschlechterungen wieder kompensieren. Diesbezüglich sei hier auf die Ergebnisse im Kapitel 8.2 „Einfluss von Befestigungsmitteln auf die Verbesserung der Flankendämmung durch den Einbau elastischer Zwischenschichten und Verifizierung der Anwendbarkeit der EN 12354“ verwiesen.

Die statischen Auswirkungen der Anordnung von Baulagern auf die Verbindungsmittel unter Einbeziehung optimierter Varianten wurde ebenfalls untersucht. Ergebnisse zu den Schrauben sind in Anhang C „Statische Prüfung verschraubte Stoßstelle“ angeführt.

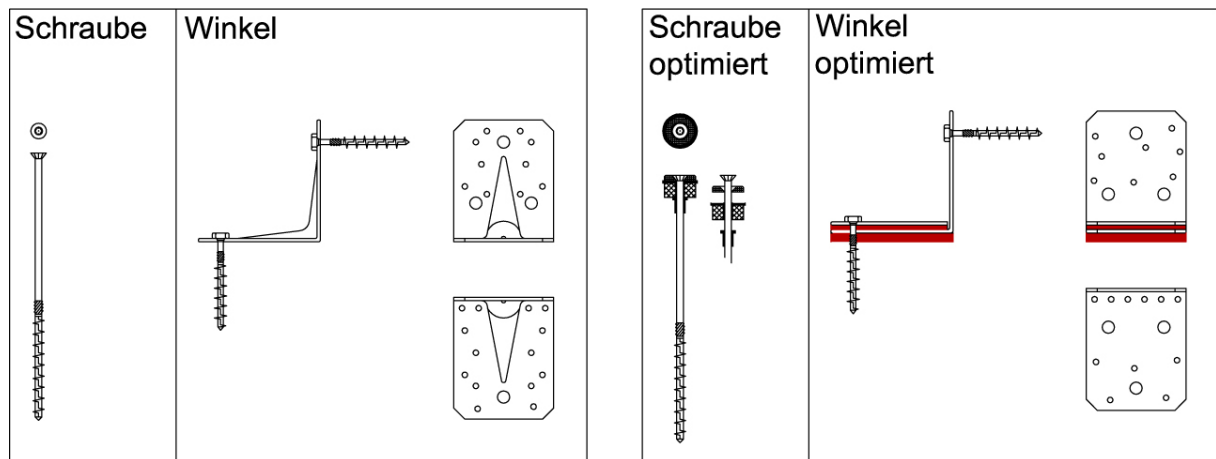


Abbildung 5-1: Befestigungsmittel Standard (links) und schalltechnisch optimiert (rechts)

## 6 Schall- und Schwingungsmessungen an Prüfständen

Im Rahmen dieses Projektes wurden zwei Deckenprüfstände zur Durchführung von Schall- und Schwingungsmessungen bei am Projekt teilnehmenden Firmenpartnern errichtet. An einem wurden Schallmessungen zu Holz-Beton-Verbunddecken mit und ohne Baulager durchgeführt. Die Ergebnisse hierzu können in Anhang A6 nachgelesen werden. Die in Kapitel 6.2 folgenden Beschreibungen beziehen sich auf jenen flexibleren Prüfstand der bei der Firma KLH Massivholz GmbH errichtet wurde und in dem die umfangreichen schall- und schwingungstechnischen Messserien zum Effekt der Baulager und der Befestigungsmittel stattfanden.

### 6.1 Allgemeine Anforderungen an Prüfräume

Primäre Intention bei der Dimensionierung von Prüfständen ist die Entstehung von diffusen Schallfeldern. Sie kommen in Räumen mit hinreichend reflektierenden Raumbegrenzungsflächen vor. Man geht davon aus, dass in jedem Raumpunkt alle Schallausbreitungsrichtungen gleichermaßen am Energietransport beteiligt sind. Diffuse Schallfelder entstehen immer dann, wenn durch die in einen Raum eingespeisten Schallsignale ausreichend viele Eigenmoden des Raumes angeregt werden. Dies trifft sehr gut für mittlere und hohe Frequenzen zu, bei denen die Wellenlängen klein verglichen mit den Raumabmessungen sind. Bei tiefen Frequenzen betragen die Wellenlängen jedoch bereits mehrere Meter und ein diffuses Schallfeld ist bei den üblichen Raumgeometrien nicht mehr möglich. Es kommt zu dominanten Resonanzerscheinungen die sich als stehende Wellen manifestieren und dazu führen, dass an verschiedenen Orten unterschiedliche Pegel gemessen werden. In der ÖNORM EN ISO 140-1 (Österreichisches Normungsinstitut 2005 03) wird daher ein Mindestvolumen von  $50 \text{ m}^3$  gefordert, dass für eine Messung bis 100 Hz

zwar ausreichend ist, jedoch für Untersuchungen bis zu 50 Hz als zu klein eingestuft werden muss.

Abgesehen vom Volumen wirkt sich auch die Nachhallzeit eines Raumes auf die Diffusität aus. Diesbezüglich wird eine Nachhallzeit zwischen 1 und 2 s gefordert. Bei besonders kurzen Nachhallzeiten und somit hoher Absorption kann der Hallradius, dies ist jene Entfernung vom Lautsprecher bei dem der erzeugte Direktschall und der reflektierte Diffusschall gleiche Werte annehmen, besonders groß sein. Andererseits führen lange Nachhallzeiten bei tiefen Frequenzen zu ausgeprägten Resonanzen und zu einem regional sehr inhomogenen Schallfeld.

Die Folge der mangelnden Diffusität bei tiefen Frequenzen ist eine deutliche Abhängigkeit des Ergebnisses vom Volumen, der Form der Räume, der Trennfläche und der Position des Bauteils. Dies beeinträchtigt wiederum die Übertragbarkeit der Laborergebnisse auf die Baustellensituation wo wiederum unterschiedliche Geometrien zu einer anderen Schalldämmung bei tiefen Frequenzen führen (Meier 2000). Sind die beiden Prüfräume gleich geformt und haben gleiches Volumen, so kommt es aufgrund der starken Kopplung der Räume über die gleichen Eigenmoden zu sehr niedrigen, gemessenen Schalldämmungen. Aus diesem Grund wird eine Volumsdifferenz von mind. 10 % gefordert was zu unterschiedlichen Eigenfrequenzen und von der Geometrie unabhängigeren Ergebnissen führt.

Weiters werden in (ÖNORM EN ISO 140-1) besonders bei Rechteckräumen Diffusoren empfohlen die eine gleichmäßigere Schalldruckverteilung gewährleisten sollen.

#### 6.1.1 Größe der Prüföffnung

In (ÖNORM EN ISO 140-1) wird eine Prüföffnung von etwa 10 m<sup>2</sup> vorgegeben. Gleichzeitig wird empfohlen, dass die Prüföffnung nach Möglichkeit den gesamten Bereich der Trennfläche abdecken soll. Bei einem Deckenprüfstand der den raumgeometrischen Anforderungen für tiefe Frequenzen entsprechen soll ist die Erfüllung beider Anforderungen nicht möglich, sie widersprechen sich vielmehr. Diesbezüglich wurde bei der Planung der Prüfstände die Empfehlung mit 10 m<sup>2</sup> nicht berücksichtigt und die komplette Fläche der Decke als Trennfläche herangezogen, was auch zu einer Vereinfachung der Konstruktion führt.

#### 6.1.2 Flankenübertragung im Prüfstand

Wie bereits erwähnt erfolgt die Schallübertragung nicht nur über das trennende Bauteil, sondern auch über die Flanken. Im konkreten Fall der Decke als Trennbauteil über die flankierenden Wände. Die früher in Deutschland errichteten Prüfstände mit Flankenübertragung sollten den Gegebenheiten in massiven Gebäuden entsprechen.

Aufgrund der mittlerweile existierenden Vielzahl von Konstruktionen mit völlig unterschiedlichen Flankendämmungen hat sich dieses Prüfstandkonzept überholt und wird mittlerweile auch in Deutschland durch den Prüfstand ohne bauähnliche Flankenübertragung ersetzt der in anderen europäischen Ländern wie etwa in Österreich schon länger verwendet wird. Es wird somit nur noch der direkte Übertragungsweg durch das Bauteil gemessen. Dies hat den Vorteil der unmittelbaren Vergleichbarkeit von Bauteilen, unabhängig vom Prüfstand.

Zur Unterdrückung der Flankenwege kommen unterschiedliche Ansätze zur Anwendung. Einerseits können vor den Flanken schalltechnisch wirksame Vorsatzschalen montiert werden welche die Anregung bzw. Abstrahlung von Luftschall verhindern. Andererseits besteht die Möglichkeit der Entkopplung des Prüflings von den Flankenwänden, was ebenfalls eine wirkungsvolle Methode darstellt. Wesentlich ist hierbei, dass eventuell auftretende Schallnebenwege durch den entstehenden Luftspalt durch dessen Füllung mit absorbierendem Material unterbunden werden. Natürlich besteht auch die Möglichkeit der Kombination beider Methoden, also auf einer Seite eine Vorsatzschale, auf der anderen Seite eine schalltechnische Entkopplung.

Die Unterdrückung muss dermaßen wirksam sein, dass die Übertragung der Schalleistung über die Flanken gegenüber jener über den direkten Weg vernachlässigbar ist. Gemäß ÖNORM EN ISO 140-1 (Österreichisches Normungsinstitut 2005 03) bedeutet dies eine Differenz der Schalleistungen von mindestens 15 dB oder, bei energetischer Addition mit der direkt übertragenen Schalleistung, eine Abweichung von maximal 0,1 dB.

Sollen die einzelnen Flankenwege getrennt untersucht werden, so sind die jeweils nicht interessierenden mit Vorsatzschalen abzudecken.

### 6.1.3 Dämpfung des Prüfstandes

Trotz der mittlerweile ausschließlichen Verwendung von Prüfständen mit unterdrückter Flankenübertragung kommt es durch die unterschiedlichen Bauweisen zu unterschiedlichen Schalldämmungen gleicher Bauteile. Dies ist in der unterschiedlichen Bedämpfung die der zu prüfende Bauteil durch die unterschiedlichen Konstruktionen der Prüfstände erfährt begründet. Dabei wird die Dämpfung des Bauteils durch den Stoßstellenaufbau und der Bauteile des Prüfstandes selbst bestimmt. In (ÖNORM EN ISO 140-1) ist ein Mindestverlustfaktor  $\eta_{\min}$  nach Gleichung 6-1 gefordert, eine Berücksichtigung bei der Messung oder im Ergebnis ist jedoch nicht vorgesehen.

$$\text{Gleichung 6-1: } \eta_{\min} = 0,01 + \frac{0,03}{\sqrt{f}}$$



## 6.2 Prüfstand bei der Firma KLH Massivholz GmbH

Die Errichtung erfolgte ausschließlich unter Verwendung von Brettsperrholzelementen. Der komplette Prüfstand wurde auf Schienen fahrbar ausgeführt (Abbildung 6-1). Dies hat den Vorteil, dass das Obergeschoss abgehoben, und das Untergeschoss samt Geschosdecke ausgefahren werden kann. Ein Funktionsschema ist Abbildung 6-2 zu entnehmen. Der Antrieb erfolgt dabei ebenso wie für die Winden mit denen das Obergeschoss angehoben wird mittels Elektromotoren.



Abbildung 6-1: Prüfstand bei KLH Massivholz GmbH in der Umbausituation

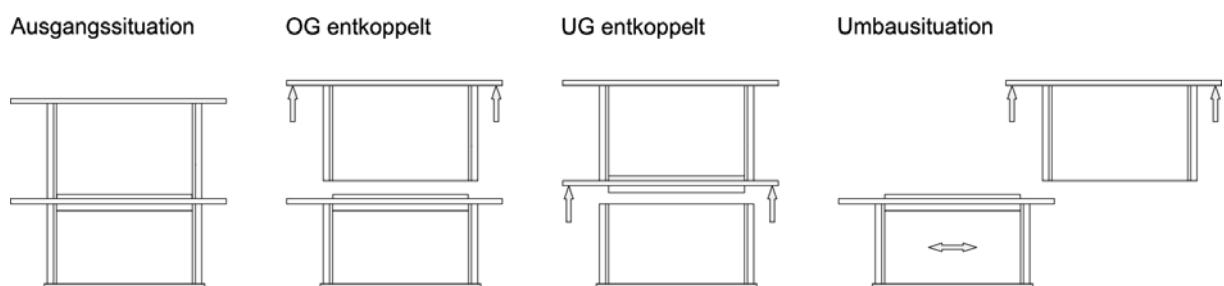


Abbildung 6-2: Funktionsschema Prüfstand bei KLH Massivholz GmbH

Unter Berücksichtigung der in ÖNORM EN ISO 10848-1 (Österreichisches Normungsinstitut 2006 08) und ÖNORM EN ISO 140-1 (Österreichisches Normungsinstitut 2005 03) formulierten Anforderungen an Prüfräume und den zu messenden Frequenzen von 50 Hz bis 5 kHz wurde der Prüfstand errichtet. Besonders die Anleitung für Messungen in den unteren Frequenzbändern gemäß ÖN EN ISO 140-3 Anhang F (Österreichisches Normungsinstitut

2005 04) wurde berücksichtigt, wonach eine Raumabmessung mindestens der Wellenlänge der tiefsten zu messenden Frequenz und eine zweite Raumabmessung mindestens der halben Wellenlänge zu entsprechen hat. Nachdem bis zu 50 Hz gemessen werden sollen, was einer Wellenlänge von 6,8 m entspricht, wurde die innere Länge des Empfangsraumes mit 6,9 m und die innere Breite mit 4,5 m geplant.

Die Volumina der Prüfräume betragen 95 m<sup>3</sup> und 79 m<sup>3</sup> wodurch deren Differenz mehr als die mindesterforderlichen 10 % beträgt.

Zur Unterdrückung der Flankenübertragung bei den Trittschallmessungen wurde die Decke vom UG abgehoben und der entstandene Luftspalt mit Mineralfaser gefüllt und wieder leicht abgesenkt um diese zu komprimieren und somit eventuelle Luftschallnebenwege und Störgeräusche zu unterbinden. Bei den Luftschallmessungen wurde neben dieser Maßnahme auch noch eine elastische Zwischenschicht unter den Wänden des OG eingelegt um auch den Flankenweg über die Wände des Obergeschosses zu unterdrücken.

In diesem Prüfstand wurden folgende Massivholzdeckensysteme untersucht:

KLH 5s Brettsperrholzelement 162 mm, KLH 5s Brettsperrholzelement 140 mm, Lignatur Flächenelement 160 mm, Lignatur Flächenelement Silence 200 mm

Die Untersuchungen der Holz-Beton-Verbunddecke erfolgten an einem weiteren Prüfstand, der jedoch nicht einfach umzubauen ist, aber ebenfalls die Anforderungen der Norm erfüllt.

### **6.3 Luftschallmessungen an Deckenkonstruktionen**

Die Durchführung der Luftschallmessungen erfolgte nach ÖNORM EN ISO 140-3 (Österreichisches Normungsinstitut 2005 04) und ÖNORM EN ISO 140-4 (Österreichisches Normungsinstitut 1999 07a) sowie die Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-1 (Österreichisches Normungsinstitut 2006 12a). Erwähnte Normen enthalten ausführliche Anweisungen zu der Ausführung von Prüfständen, Messgeräten und der Untersuchungsmethodik sowie der Einzahlbewertung. Neben der hier beschriebenen gängigen Methode der Schallmessung stehen noch weitere alternative Verfahren zur Verfügung. Zu erwähnen wäre diesbezüglich die Intensitätsmethode, das Verfahren der komplexen Modulations-Transferfunktion und die Möglichkeit das Schalldämm-Maß aus den Schnellepegeln zu ermitteln.

Voraussetzung für die konventionelle Messung der Luftschalldämmung eines Bauteils sind diffuse Schallfelder in Sende- und Empfangsraum. Dabei wird im Senderaum mittels Lautsprecher mit kugelförmiger Abstrahlcharakteristik (Oktaederlautsprecher) ein gleichmäßiges Rauschen (weiß oder rosa) erzeugt, wodurch sich aufgrund von Reflexionen

an den Begrenzungsflächen ein diffuses Schallfeld mit dem Pegel  $L_S$  einstellt. Das zu untersuchende Bauteil strahlt nun im Empfangsraum den Schall ab, was zu einem Energiegleichgewicht von eingestrahelter zu absorbiertes Energie und dem konstanten Schallpegel  $L_E$  im Empfangsraum führt. Die Basis hierfür bilden die Gleichung 6-2 und Gleichung 2-2.

$$\text{Gleichung 6-2: } R = L_S - L_E + 10 \log \frac{S}{A} \text{ dB}$$

Luftschall wurde vom Obergeschoss mit 95 m<sup>3</sup> in das Untergeschoss mit 79 m<sup>3</sup> mit der folgenden, 2-kanaligen Messausrüstung gemessen:

Schallanalysator Brüel&Kjaer Typ 2260

Omnipower Oktaeder-Lautsprecher Typ 4292

Verstärker Brüel&Kjaer Typ 2716

2 Mikrofone Brüel&Kjaer Typ 2716

2 Vorverstärker Brüel&Kjaer Typ ZC-0026

Kalibrator Brüel&Kjaer Typ 4231

Einzahlangaben und Messkurven sind dem Kapitel 8.1 "Verbesserung der Flankendämmung durch Einbau elastischer Zwischenschichten und Verifizierung der Anwendbarkeit der EN 12354", dem Kapitel 8.2 "Einfluss von Befestigungsmitteln auf die Verbesserung der Flankendämmung durch den Einbau elastischer Zwischenschichten" sowie dem Anhang A1 bis A6 zu entnehmen.

## 6.4 Trittschallmessungen an Deckenkonstruktionen

Die Durchführung der Trittschallmessungen erfolgte nach ÖNORM EN ISO 140-6 (Österreichisches Normungsinstitut 1999 07b) und ÖNORM EN ISO 140-7 (Österreichisches Normungsinstitut 1999 07c) sowie die Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-2 (Österreichisches Normungsinstitut 2006 12b). Erwähnte Normen enthalten ausführliche Anweisungen zur Untersuchungsmethodik und der Einzahlbewertung.

Während zur Bestimmung der Luftschalldämmung eine Schallpegeldifferenz gemessen wird, geht man bei der Messung der Trittschalldämmung von einer definierten Anregung aus und legt einen Schallpegel als Grenzwert fest. Die Anregung erfolgt daher mit einem Normhammerwerk Brüel&Kjaer Typ 3207, welches aufgrund seiner genormten Bauweise ein definiertes Kraftspektrum aufweist. Regelmäßige Kalibrierung sichert dessen gleichbleibende Qualität. Dabei fallen fünf speziell geschliffene Stahlzylinder, angetrieben über eine

Kurbelwelle, mit einer Frequenz von 10 Hz auf die Decke und erzeugen durch die Abstrahlung von der Unterseite der Decke im Empfangsraum einen mittleren Schalldruckpegel  $L_i$ . Alternative Anregungssysteme stellen die Methode mit Gummiball, der aus verschiedenen Höhen fallen gelassen wird und die sogenannte Bang-Machine dar. Beide bilden besser als das Normhammerwerk die tieffrequente Anregung die durch das Begehen einer Decke entsteht nach. Allerdings unterscheidet sich auch die Messmethode gegenüber jener die bei der Anregung durch das Normhammerwerk Verwendung findet.

Die trittschalldämmenden Eigenschaften der Decke werden durch den Norm-Trittschallpegel  $L_n$  charakterisiert, der sich nach Gleichung 6-3 berechnet und der neben  $L_E$  noch einen Term zur Ausschließung der Empfangsraumeigenschaften mit der äquivalenten Schallabsorptionsfläche  $A$  des Empfangsraumes und die Bezugsfläche  $A_0$  von  $10 \text{ m}^2$  beinhaltet.

$$\text{Gleichung 6-3: } L_n = L_E + 10 \lg \frac{A}{A_0} \text{ dB}$$

Für den Nachweis der Trittschallübertragung am Bau unter Berücksichtigung der Nebenwege wird in vielen europäischen Ländern ein bewerteter Norm-Trittschallpegel  $L'_{n,w}$  gefordert, in Österreich der bewertete Standard-Trittschallpegel  $L'_{nT,w}$ . Dabei erfolgt die Einzahlbewertung nach ÖNORM EN ISO 717-2 (Österreichisches Normungsinstitut 2006 12b). Der Standard-Trittschallpegel  $L'_{nT}$  wird wie in Gleichung 2-10 angegeben errechnet.

Gemessen wird der erzeugte Schalldruckpegel im Empfangsraum, wie auch beim Luftschall, an mehreren Positionen (deren Mindestanzahl ist in der Norm vorgegeben) mit einem Mikrofon. Die an den verschiedenen Hammerwerks- und Mikrofonpositionen im Empfangsraum gemessenen mittleren Schalldruckpegel werden energetisch gemittelt und nach der Messung der Nachhallzeit gemäß Gleichung 6-3 bzw. Gleichung 2-10 ausgewertet.

Trittschall wurde vom Obergeschoss in dem das Hammerwerk positioniert wurde in das Untergeschoss mit  $79 \text{ m}^3$  gemessen. Dabei wurden die gleichen Konstruktionsvarianten wie bei den Luftschallmessungen untersucht.

Einzahlangaben und Messkurven sind dem Kapitel 8.1 "Verbesserung der Flankendämmung durch Einbau elastischer Zwischenschichten und Verifizierung der Anwendbarkeit der EN 12354", dem Kapitel 8.2 "Einfluss von Befestigungsmitteln auf die Verbesserung der Flankendämmung durch den Einbau elastischer Zwischenschichten" sowie dem Anhang A1 bis A6 zu entnehmen.

## 6.5 Ermittlung der Flankenübertragung aus den Trittschallmessungen

Die Flankenübertragung bei Trittschallanregung reduziert sich gegenüber der Luftschallanregung von 12 auf 4 Flankenwege. Neben der direkten Übertragung ist nur noch der Flankenweg  $D_f$  Decke-Flanke relevant. Die Gesamtübertragung  $L'_n$  ergibt sich damit durch energetische Addition des über die Flanken übertragenen Norm-Trittschallpegels  $L_{n,Df}$  und der Direktübertragung  $L_{n,D}$ .

Es besteht somit die Möglichkeit, zuerst durch Messung des Norm-Trittschallpegels der Decke im Prüfstand im entkoppelten Zustand ohne Flanken und anschließender Bestimmung des Norm-Trittschallpegels der Gesamtkonstruktion die Flankenübertragung nach Gleichung 6-4 zu berechnen.

$$\text{Gleichung 6-4: } L_{n,Df} = 10 \log \left( 10^{\frac{L'_n}{10}} - 10^{\frac{L_{n,D}}{10}} \right) \text{ dB}$$

## 6.6 Bestimmung der Eigenschaften der Stoßstelle

Die Schwingungsmessungen wurden ausschließlich mit Fokus auf die Prognose der Trittschalldämmung durchgeführt. Dies bedeutet, dass der Flankenweg Decke-Wand den Gegenstand näherer Untersuchungen darstellte, da der Trittschall für Holzdecken generell als problematischer zu sehen ist als der Luftschall. Dies resultiert unter anderem aus der Auswertung der von der Holzforschung Austria an bestehenden Objekten durchgeführten Messungen, die zeigen, dass die normgemäßen Anforderungen an den Luftschallschutz von Holzmassivdeckenkonstruktionen wesentlich leichter zu erfüllen sind, als jene an den Trittschallschutz. Auch Holtz weist in (Holtz et al. 1999) auf diesen Umstand hin und empfiehlt daher eine alleinige Optimierung der Konstruktion auf den Trittschallschutz.

Die Stoßstelle selbst wird durch das Stoßstellendämm-Maß  $K_{ij}$  charakterisiert, welches sich aus Gleichung 6-5 aus den gemessenen Schnellepegeln  $D_{vij}$  und  $D_{vji}$  sowie den äquivalenten Schallabsorptionslängen  $a_i$  und  $a_j$  ergibt.

$$\text{Gleichung 6-5: } K_{ij} = \frac{D_{v,ij} + D_{v,ji}}{2} + 10 \lg \frac{l_{ij}}{\sqrt{a_i a_j}} \text{ dB}$$

$K_{ij}$  steht mit der über eine Stoßstelle übertragenen Körperschalleistung in Beziehung und ist eine bauteilunabhängige Größe da mit den äquivalenten Absorptionslängen der Bauteile  $i$  und  $j$  -  $a_i$  und  $a_j$  - nach Gleichung 6-6 die Dämpfung des Bauteils bereits berücksichtigt wird. Hierin stellt  $T_s$  die Körperschallnachhallzeit dar die sich, wie von der Nachhallzeit von

Räumen bekannt, über die erforderliche Zeit für einen Pegelabfall um 60 dB definiert. Gegenüber jener von Räumen kann die Körperschallnachhallzeit bei hohen Frequenzen vergleichsweise kurz sein. Die Bezugshfrequenz  $f_{ref}$  beträgt 1000 Hz.

$$\text{Gleichung 6-6: } a_i = \frac{2,2\pi^2 S_i}{c_0 T_{s,i}} \sqrt{\frac{f_{ref}}{f}} \text{ m} \quad a_j = \frac{2,2\pi^2 S_j}{c_0 T_{s,j}} \sqrt{\frac{f_{ref}}{f}} \text{ m}$$

#### 6.6.1 Messausrüstung für Schwingungsmessungen

Schwingungsmessungen wurden mit der folgenden Messausrüstung durchgeführt:

OROS OR35 Multianalysator 8-kanalig mit Analysesoftware

8 Beschleunigungsaufnehmer DYTRAN

Norsonic RTA 840

Shaker (Kleinhammerwerk auf Stativ)

MLS-Shaker

Normhammerwerk Brüel&Kjaer Typ 3207

Hammer 500g

#### 6.6.2 Messung der Schnellepegeldifferenz

Zur Messung der Schnellepegeldifferenz  $D_v$  wurde ein 8-kanaliges System mit Beschleunigungsaufnehmern eingesetzt. Zur Befestigung der Beschleunigungsaufnehmer an den Massivholzbauteilen kam ein speziell hierfür angefertigtes System aus einer Sechskantschraube M12 zum Einsatz, in deren Kopf ein Gewinde zur Befestigung des Beschleunigungsaufnehmers geschnitten wurde. Bei der Applikation der Aufnehmer wurden die Empfehlungen von (ÖNORM EN ISO 10848-1), (Schumacher et al. 2001) und (PTB Braunschweig 2000) berücksichtigt.

Gemessen wurden die Schnellepegeldifferenzen mit den Beschleunigungsaufnehmern an je 4 Aufnehmerpunkten an Wand und Decke in beide Richtungen sowohl mit abgehobener Geschossdecke, als auch aufliegend und mit verschiedenen, darunter eingelegten Baulagern, mit und ohne zusätzlicher Belastung und Befestigung. Die Messungen erfolgten im Frequenzbereich von 20 Hz bis 20 kHz, wobei als Bezugsbeschleunigung  $a_0 = 10^{-6} \text{ m/s}^2$  nach (ÖNORM EN ISO 10848-1) in Gleichung 6-7 eingesetzt wurde. Messungen mit jeweils drei stationären Körperschall-Anregungspunkten, an der Wand mit einem Shaker und an der Decke mit dem Normhammerwerk, folgte die räumliche Mittelung nach Gleichung 6-8. Richtungsgemittelte Ergebnisse für die unterschiedlichen Lagerungssituationen sowie für die ebenfalls durchgeführten Messungen mit zusätzlicher Belastung sind im Kapitel 8.1 "Verbesserung der Flankendämmung durch Einbau elastischer Zwischenschichten und

Verifizierung der Anwendbarkeit der EN 12354“ ersichtlich. Aufgrund der Differenzbildung der in beide Richtungen gemessenen Schnellepegel ist eine Umrechnung der Beschleunigungspegel in Schnellepegel nicht erforderlich.

$$\text{Gleichung 6-7: } L_a = 20 \lg \frac{a}{a_0} \text{ dB}$$

$$\text{Gleichung 6-8: } L_{a,m} = 10 \lg \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_{a,i}}{10}} \right) \text{ dB}$$

### 6.6.3 Messung der Körperschallnachhallzeit

Die Körperschall-Nachhallzeit  $T_s$  wird aus den Abklingkurven der Beschleunigungspegel des Bauteils ermittelt. Die Messung der Körperschall-Nachhallzeiten erfolgte mittels Hammeranregung nach den Anweisungen aus (ÖNORM EN ISO 10848-1) und (PTB Braunschweig 1997) bei aufgelegter und abgehobener Decke sowie bei eingelegten Lagern. Dabei standen drei Anregungspunkten acht, über den Bauteil verteilte, Aufnehmerpunkte gegenüber. Weitere Messungen ohne Fußbodenaufbau wurden ebenfalls durchgeführt bei denen beide in (ÖNORM EN ISO 10848-1) empfohlene Verfahren – MLS und Hammeranregung – eingesetzt, und die Ergebnisse verglichen werden konnten. Aufgrund der geringen Modendichte kommt es wie bei der Nachhallzeit von Räumen bei tiefen Frequenzen nicht zur Ausbildung eines Diffusfeldes, was zu durchhängend gekrümmten Abklingkurven führen kann. Der Auswertebereich wurde daher von den empfohlenen  $T_{15}$  auf  $T_{10}$  verkleinert, um die Anfangssteigung der Abklingkurve stärker zu berücksichtigen, welche die Körperschalldämpfung besser wiedergibt.

Eine Verteilung der Aufnehmer über die komplette Deckenfläche führt nach der Mittelung der 8 Positionen zu dem erwarteten Verlauf von  $T_s$  bis etwa 350 Hz, darüber kam es zu einem sprunghaften Anstieg. Dies ist auf die Elementierung der Decke zurückzuführen. Die Decken bestanden aus einem 55 cm und 3 etwa 250 cm breiten Elementen. Bei Brettsperrholzdecken werden die Stöße mit Stufenfalz ausgeführt und mit einem Fugenband versehen, bei Hohlkastendecken erfolgt die Kopplung mittels Holzfeder. In beiden Fällen war die schalltechnische Kopplung zu gering für einen ausreichend hohen Pegel am Nachbarlement zur Messung der Körperschallnachhallzeit. Die diesbezüglichen Messungen mussten sich demnach auf das angeregte Element beschränken.

## **6.7 Zusammenfassung zu den Messungen an den Deckenprüfständen**

Zur Datensammlung wurden im Rahmen dieses Forschungsprojektes zwei Decken-Prüfstände errichtet. Im Prüfstand bei der Fa. KLH Massivholz GmbH wurden Deckensysteme von KLH und Lignatur mit und ohne Flankenübertragung, Baulager, Verbindungsmittel und zusätzlicher Belastung untersucht. Der zweite Prüfstand der bei der Fa. Sohm Holzbautechnik GmbH errichtet wurde diente vor allem zur Messung der schalltechnischen Eigenschaften von Holz-Beton-Verbunddecken. Die Prüfstände erfüllen die in den einschlägigen Normen erwähnten Anforderungen. Auch die Schall- und Schwingungsmessungen wurden normgemäß und unter Berücksichtigung weiterführender Forschungsarbeiten durchgeführt. Die Flankenübertragung wird sowohl durch Trittschallmessungen mit und ohne Flankenübertragung, als auch durch Bestimmung der Schnellepegeldifferenzen gemessen. Bei der Schnellepegelmessung wurde die Diffusität in der Rohdecke sichergestellt durch die Anregung des Zementestrichs mit dem Hammerwerk, beziehungsweise der durchlaufenden Seitenwand mit dem Kleinhammerwerk. Bei der Messung der Körperschall-Nachhallzeit mit Beschleunigungsaufnehmern stellte sich heraus, dass sich ein hierfür ausreichend diffuses Schallfeld nur innerhalb eines Deckenelementes herausbildet. Die Stoßstellendämmung der Fuge zu den benachbarten Deckenelementen war bereits zu groß um bei Frequenzen über 350 Hz für die Messung ausreichenden Pegel sicherzustellen.

## **7 Prognoseverfahren**

Für die Planung von Bauwerken ist es unerlässlich, über Instrumente zur Vorherbestimmung des Schallschutzes im Gebäude zu verfügen. Dabei ist zwischen stark simplifizierenden Modellen für die planerische Anwendung, den sogenannten ingenieurmäßigen Methoden und den detaillierteren, wissenschaftlichen Prognoseverfahren der Modellierung und Simulation zu unterscheiden. Letztere bieten neben der Vorhersage auch die Möglichkeit des globaleren Verstehens des Bauteilverhaltens unter den definierten Randbedingungen.

### **7.1 Vereinfachte ingenieurmäßige Prognoseverfahren**

Holzkonstruktionen haben mit dem Nachteil zu kämpfen, dass bestehende theoretische Modelle die auf vereinfachten Annahmen beruhen für schwere, homogene Bauteile entwickelt wurden und daher nicht auf die wesentlich leichteren und inhomogenen Holzkonstruktionen anwendbar sind. Dies stellt einen schweren Wettbewerbsnachteil für



Holzkonstruktionen dar, da entweder ausschließlich auf bekannte und erprobte Konstruktionen zurückgegriffen werden muss (in Österreich mit dataholz.com erfolgreich angewendet) oder immer wieder Testhäuser errichtet werden, um Daten zu erhalten. Diese aus den Testhäusern gewonnenen Daten sind wiederum nur für vergleichbare Konstruktionen verwendbar und keine universellen Lösungen.

In diesem Kapitel zu den vereinfachten Prognosemodellen werden die verschiedenen Ansätze vorgestellt und deren Möglichkeiten und Grenzen für den Holzbau, im Besonderen für den Massivholzbau, veranschaulicht.

### 7.1.1 Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden nach EN 12354

Das Berechnungsverfahren nach EN 12354 beruht auf einer Vereinfachung der Statistischen Energie Analyse (SEA). Dabei wird ein komplexes System in Subsysteme wie Wände, Decken oder Volumina unterteilt, wobei deren Schallenergie in den einzelnen Moden gespeichert ist. Die einzelnen Subsysteme sind durch Kopplungspfade miteinander verbunden in denen ein Energieaustausch stattfindet.

Die Übertragung von Schallenergie in einem Gebäude von einem Raum zum anderen erfolgt wie im Abbildung 2-10 dargestellt über verschiedene Wege.

Neben der direkten Übertragung durch das Trennbauteil und den bereits besprochenen Flanken, besteht auch die Möglichkeit von Luftschallübertragung über Nebenwege und haustechnischen Anlagen. In einem ersten Schritt werden sämtliche Übertragungswege berechnet. Das Bauschalldämm-Maß  $R'$  bzw. die Standard-Schallpegeldifferenz  $D_{nT}$  ergibt sich nun aus der Summe der einzelnen Übertragungswege nach Gleichung 7-1.

$$\text{Gleichung 7-1: } R' = -10 \log(\tau_d + \sum \tau_f + \sum \tau_e + \sum \tau_s) \text{ dB}$$

Gegenständliches Berechnungsverfahren bietet sowohl ein detailliertes Modell mit frequenzabhängiger Berechnung dessen Ergebnis nach ÖNORM EN ISO 717 bewertet werden kann, als auch ein vereinfachtes Verfahren welches auf den Einzahlangaben beruht. Wesentlich beim detaillierten Modell ist, dass die im Prüfstand gemessenen Werte im Zuge der Berechnung auf „in situ“ Werte, also jene, tatsächlich im Gebäude vorhandenen, umgerechnet werden. Dies erfolgt mittels der Körperschall-Nachhallzeit  $T_s$ , welche eine Maß für die Bauteildämpfung darstellt. Diesbezügliche Werte sind kaum verfügbar und deren Messung, wie bereits oben erwähnt, besonders bei Holzbauteilen schwierig.

Eine weitere wesentliche Größe ist das Stoßstellendämm-Maß  $K_{ij}$ . Es soll die Dämmung der Stoßstelle, unabhängig von den beteiligten Bauteilen angeben. Während im mineralischen Massivbau die Stoßstellen unter Berücksichtigung von Geometrie und Masse der beteiligten Bauteile, sofern keine Baulager eingesetzt werden, mit hinreichender Genauigkeit charakterisiert werden können, besteht diese Möglichkeit für Massivholzkonstruktionen nicht.

Hier muss derzeit, wie im Abschnitt „Verbesserung der Flankendämmung durch Einbau elastischer Zwischenschichten und Verifizierung der Anwendbarkeit der EN 12354“ ausgeführt, die Schnellepegeldifferenz bekannt sein.

Das beschriebene Verfahren ist für den Luft- und Trittschallschutz in Gebäuden anwendbar. Das vereinfachte Modell für den Trittschallschutz weicht jedoch davon ab und wird, ausgehend vom äquivalenten Norm-Trittschallpegel der Rohdecke über die bewertete Trittschallminderung des schwimmenden Estrichs und einer Korrektur für die Flankenübertragung und das Empfangsraumvolumen, aus Tabellen und Kurven ermittelt die für den mineralischen Massivbau entwickelt wurden, aber für den Holzbau nicht geeignet sind. Eine Verifizierung der Anwendbarkeit des Prognosemodells nach ÖNORM EN 12354 für den Massivholzbau wird im Kapitel „Verbesserung der Flankendämmung durch Einbau elastischer Zwischenschichten und Verifizierung der Anwendbarkeit der EN 12354“ durchgeführt.

#### 7.1.2 Berechnung der Trittschalldämmung von Holzdecken in Gebäuden nach Gösele

Dieses Verfahren beruht auf jenem für Einzelverfahren, welches auch in die ÖNORM EN 12354-2 (Österreichisches Normungsinstitut 2000 11b) für Massivbauteile übernommen wurde. Es wurden verschiedene Adaptierungen vorgenommen, um eine Anwendung im Holzbau zu ermöglichen. Die Berechnung des bewerteten Norm-Trittschallpegels am Bau  $L'_{n,w}$  erfolgt nach Gleichung 7-2 aus dem äquivalenten bewerteten Norm-Trittschallpegel der Rohdecke  $L_{n,w,eq,H}$ , dem Verbesserungsmaß des Estrichs  $\Delta L_{w,H}$ , dem Verbesserungsmaß durch die Rohdeckenbeschwerung  $\Delta L_{n,w}$ , Beschwerung und einem Korrektursummanden  $K$  der die Flankenübertragung berücksichtigt.

$$\text{Gleichung 7-2: } L'_{n,w} = L_{n,w,eq,H} - \Delta L_{w,H} - \Delta L_{n,w,Beschwerung} + K \text{ dB}$$

Untersuchungen zur Prognosegenauigkeit dieses Verfahrens ergab bei 100% der Decken eine Differenz von Messung und Berechnung innerhalb eines Bereiches von  $\pm 4$  dB (Holtz et al. 1999). Aufgrund der auf Kurven und Tabellen beschränkten Methode kann nur ein sehr reduzierter Katalog von Konstruktionen berechnet werden. Wie Untersuchungen ergeben haben, kann die Schalldämmung, je nachdem ob die verwendete Schüttung gebunden oder ungebunden eingebaut wird, stark variieren. Dies findet in diesem Verfahren keine Beachtung da nur die Masse, aber nicht die Dämpfungseigenschaften der Schüttung berücksichtigt werden.

#### 7.1.3 Berechnung der Trittschalldämmung von Holzdecken in Gebäuden der DGfH

Von der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung DGfH wird ein Berechnungstool für Holzdecken mit dem Namen TrittsCHALLPROgnose angeboten, welches die softwaretechnische Umsetzung eines diesbezüglichen Forschungsvorhabens darstellt. Dabei

kann aus den Einzelkomponenten (Estrich, Beschwerung, Rohdecke) und der Beplankung der Wände der bewertete Norm-Trittschallpegel ( $L'_{n,w}$ ) der Holzdecke im eingebauten Zustand errechnet werden. Die Decken-Komponenten können ausgewählt und unterschiedlich kombiniert werden. Die Grundlage stellt ein semi-empirisches Modell dar welches sowohl auf eine umfangreichen Datensammlung zurückgreift als auch eine Weiterentwicklung des obig erwähnten Verfahrens nach Gösele darstellt. Als Ergebnis erhält man einen bewerteten Norm-Trittschallpegel  $L'_{n,w}$  für den eine Genauigkeit von  $\pm 3$  dB ausgewiesen wird.

#### 7.1.4 Berechnung der Trittschalldämmung von Holzdecken mit einem vereinfachten Impedanzmodell

Rechnerische Untersuchungen zeigen, dass es bei Holzdecken für die Bestimmung von  $L_{n,w}$  ausreicht, nur den tiefen Frequenzbereich bis 200 Hz zu berücksichtigen. Laut (Kühn, Blickle 2004) führt dies bei kompletten Geschoßdecken nur zu einem Fehler von maximal 1 dB. Unter der Voraussetzung, dass der Frequenzbereich auf unter 200 Hz eingeschränkt wird, konnte ein Prognosemodell gemäß Gleichung 7-3 entwickelt werden.

Gleichung 7-3:

$$L_n = L_{n0} + 20 \log \left[ \frac{Z_{B0}}{Z_B + Z_M} \right] - 9 \log \left[ \frac{\left( 1 - \left( \frac{f}{f_{0d}} \right)^2 \right)^2 + d_d}{1 + d_d} \right] - 5 \log \left[ \frac{\left( 1 - \left( \frac{f}{f_{0b}} \right)^2 \right)^2 + d_b}{1 + d_b} \right] \text{ dB}$$

Das Modell basiert darauf, dass, ausgehend vom Norm-Trittschallpegel  $L_{n0}$  einer fiktiven Bezugsdecke, über die Eingangsimpedanzen der Rohdecke unter zusätzlicher Berücksichtigung von Fußbodenaufbau und eventuell vorhandener abgehängter Unterdecke terzweise die Bestimmung des Norm-Trittschallpegels  $L_n$  der Holzdecke erfolgt. Die Einbeziehung einer Bezugsrohdecke ermöglicht die elegante Vermeidung des sonst erforderlichen Kraftspektrums des Normhammerwerkes. Ein wesentlicher Punkt in erwähnter Arbeit ist die Erweiterung des Ergebnisses auf einen Gehgeräuschpegel in Terzbändern von 16 Hz bis 200 Hz.

## 7.2 Detaillierte Prognoseverfahren

Im Unterschied zu vereinfachten, ingenieurmäßigen Methoden kommen bei detaillierten Prognoseverfahren analytische oder numerische Ansätze zum Einsatz.

Sie dienen nicht dem Zweck der täglichen Anwendung durch den Planer sondern ermöglichen eine detailliertere Einsicht in Vorgänge und Zusammenhänge des physikalischen Verhaltens einer zu untersuchenden Struktur. So erhaltene Informationen

zum Bauteilverhalten können nun zur Verbesserung der Prognosegenauigkeit in vereinfachte Berechnungsverfahren einfließen.

Prinzipiell wird bei der Simulation ein physikalisches Modell einer gegebenen Struktur erstellt. Dies beinhaltet nicht nur die korrekte Modellierung der Geometrie sondern auch der Materialeigenschaften der Stoßstellen.

#### 7.2.1 Finite Element Methode (FEM)

Bei der Finite Elemente Methode handelt es sich um ein numerisches Verfahren zur Lösung von Differentialgleichungen. Dabei wird eine Struktur in endlich (finit) viele Teile zerlegt welche sich durch endlich viele Parameter beschreiben lassen. In jedem Element werden die Ansatzfunktionen definiert, durch Linearkombination die möglichen Lösungen numerisch ermittelt und die Elementmatrix aufgestellt. Durch Addieren der Elementmatrizen erhält man die Gesamtmatrix. Je nach Anzahl der Elemente kann das Gleichungssystem dann entweder mit einem direkten Verfahren oder einem iterativen Verfahren numerisch gelöst werden.

#### 7.2.2 Analytische Methoden

Der analytische Ansatz versucht die Struktur in Form von analytischen Gleichungen zu erfassen. Dies setzt im Gegensatz zur FEM einen höheren Grad der Vereinfachung voraus um Lösungen zu erhalten. Zur Vorhersage von Schwingungsübertragung an der Stoßstelle von Decke und Wand gibt es nach (Hopkins 2007) verschiedene analytische Modelle die hierzu verwendet werden können.

##### 7.2.2.1 Wellentheoretische Methode mit Biegewellen

Ausgehend von der Annahme einer Biegewelle auf einer Platte  $i$  die auf einen Knotenpunkt trifft erhält man einen winkelabhängigen Transmissionskoeffizienten  $\tau_{ij}(\Theta)$ . Interessant ist der über den Winkel gemittelte Transmissionskoeffizient, denn in einem diffusen Schwingungsfeld, und das ist die Voraussetzung für diese Methode, ist jeder Winkel möglich. Die Annahme des diffusen Feldes führt auch zu der Annahme der gleichmäßigen Energieverteilung auf jeder Platte und in jedem Winkel. Das für diesen Ansatz verwendete Modell greift auf einen Verbindungsbalken zurück der keine Masse aber einen festen Querschnitt aufweist, keine Auslenkung zulässt, aber rotieren kann und daher nur Biegewellen überträgt. Die Summe der Momente auf dem Verbindungsbalken muss ebenso wie die Auslenkung entlang der Verbindungslinie Platte-Balken 0 sein und die Rotation von Balken und Platten gleich.

### 7.2.2.2 Wellentheoretische Methode mit Biegewellen, Longitudinalwellen und Transversalwellen

Auch für diesen Ansatz wird obig beschriebenes Modell eingesetzt. Der Unterschied besteht darin, dass der Verbindungsbalken Auslenkung erfahren kann und daher auch Longitudinalwellen und Transversalwellen überträgt. Das Ergebnis sind auch hier wieder Transmissionskoeffizienten die in ein SEA-Modell eingefügt werden können. Dabei ist für jeden Wellentyp ein eigenes Subsystem erforderlich. Weiters sind für den Fall, dass elastische Zwischenschichten in die Berechnung miteinbezogen werden sollen, Longitudinal- und Transversalwellen zu berücksichtigen (Hopkins 2007).

Böhmer stellt in (Böhmer 2006) ein Rechenmodell zur Berechnung eines Stoßes mit elastischer Zwischenschicht vor, welches auf einem wellentheoretischen Ansatz beruht. Er erzielt damit höhere Genauigkeiten als mit den empirischen Modellen nach EN 12354 und (Pedersen 1995), weist jedoch darauf hin, dass gerade in dem für die Körperschallübertragung im Holzbau wichtigen tiefen Frequenzbereich andere Verfahren geeigneter wären.

## **8 Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse**

### **8.1 Verbesserung der Flankendämmung durch den Einbau elastischer Zwischenschichten und Verifizierung der Anwendbarkeit der EN 12354**

#### 8.1.1 Der Holzbau und das Prognoseverfahren nach EN 12354

Auf der physikalischen Basis von SEA Berechnungen (Statistische Energie Analyse), wurde mit der EN 12354 ein vereinfachtes Prognosemodell entwickelt, welches zwar auf SEA-Überlegungen beruht, aber geringere Komplexität aufweist und daher für den Praxiseinsatz geeigneter ist (Meier 2000). Dabei werden die einzelnen Schallübertragungswege zwischen zwei Räumen getrennt betrachtet Abbildung 2-10 und die Gesamtschalldämmung letztendlich für übereinanderliegende Räume gemäß Gleichung 2-21 aus den Beiträgen der Direkt- und der Flankenübertragung berechnet.

Aufgrund ihrer Untersuchung der Stoßstellendämmung von Leichtbauwänden aus Metallständerprofilen und Gipskartonplatten sehen Weber und Scholl (Weber, Scholl 2000) die Übereinstimmung von normativem Rechenmodell und Messung als unbefriedigend an. Sie verweisen darauf, dass aufgrund der hohen inneren Dämpfung der im Leichtbau zum Einsatz kommenden Bauteile keine diffusen Körperschallfelder entstehen und die

Reproduzierbarkeit der Messung der Stoßstellendämmung daher kaum gegeben ist. Die Anwendbarkeit des Rechenmodells nach EN 12354 ist ihrer Ansicht nach dadurch beeinträchtigt. Untersuchungen wurden diesbezüglich auch von Schumacher, Saß und Pütz (Schumacher et al. 2001) an Holzständerwänden durchgeführt, die wertvolle Empfehlungen zur Messung des Stoßstellendämm-Maßes  $K_{ij}$  geben.

Eine direkte Übertragung der gewonnenen Erkenntnisse aus dem Holzrahmenbau auf den Holzmassivbau ist jedoch zu prüfen, da sich diese beiden Bauweisen aus schallschutztechnischer Sicht wesentlich von einander unterscheiden. Während beim Holzrahmenbau die schallschutztechnischen Anforderungen mit biegeweichen Beplankungen erfüllt werden, stellen Massivholzplatten weder eine biegeweiche, noch eine biegesteife Konstruktion dar (Bednar et al. 2000).

Auch Holtz et al. erwähnt in (Holtz et al. 2003), dass im Holzbau die Flankenübertragung nur mit großer Ungenauigkeit durch die direkte Ermittlung der Übertragung auf dem Weg  $D_f$  gemessen werden kann und ein Vergleich der gemessenen Flankenübertragung mit der Prognose nach EN 12354 Aussagen über deren Anwendbarkeit und deren erforderliche Modifikationen gibt.

Generell gilt sowohl für das Prognoseverfahren nach EN 12354 als auch für SEA-Berechnungen, dass zuverlässige Eingangsdaten zur Beschreibung der Kopplungspfade zwischen den Bauteilen erforderlich sind und unter anderem davon die Genauigkeit der Vorhersage abhängt (Gerretsen 2003).

### 8.1.2 Untersuchung

Eine Massivholzdecke mit dem Aufbau gemäß Abbildung 8-1 wurde zwischen 2 Geschossen mit Außenwänden bestehend aus jeweils Brettsperrholz KLH 3s 94 mm eingebaut (Abbildung 8-2).

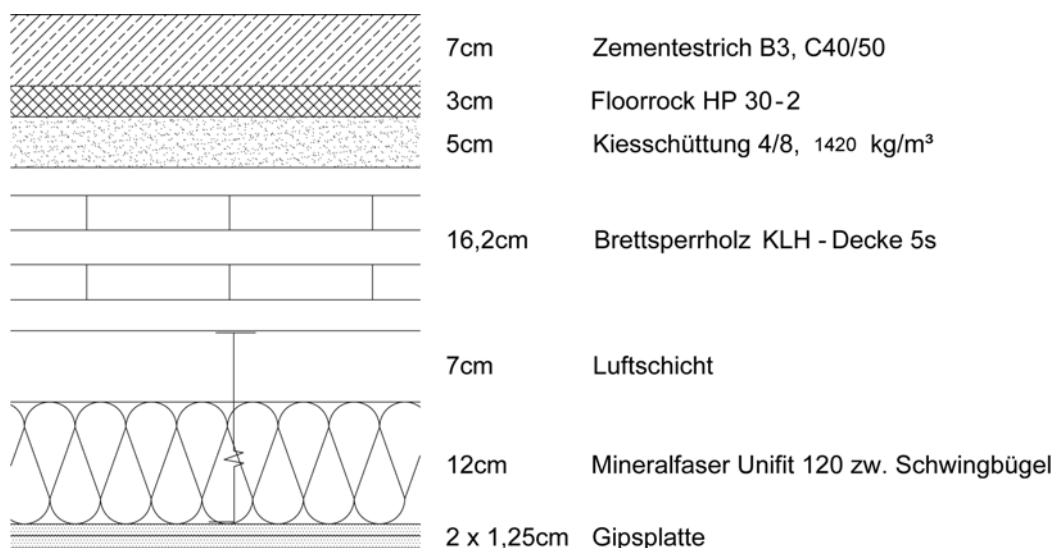


Abbildung 8-1: Aufbau der geprüften Geschossdecke

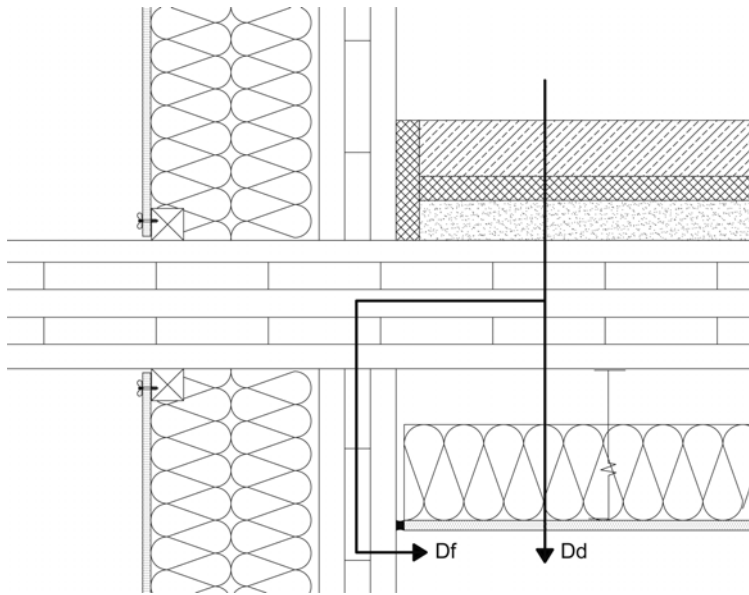


Abbildung 8-2: Aufbau der Stoßstelle Wand-Decke mit Übertragungswegen Dd und Df

#### 8.1.2.1 Schallmessungen

Zunächst wurden bei bauakustischen Messungen Norm-Schallpegeldifferenz (Abbildung 8-3) und Norm-Trittschallpegel (Abbildung 8-4) ermittelt, wobei sämtliche Messungen gemäß (ÖNORM EN ISO 140-3) bzw. (ÖNORM EN ISO 140-6) durchgeführt wurden. Zur weitgehenden Unterdrückung des direkten Übertragungsweges wurde neben dem Fußbodenaufbau noch eine, auch im tieffrequenten Bereich wirksame, 22 cm elastisch abgehängte, doppelt beplankte Decke angebracht. Diesbezüglich wurde eine Resonanzfrequenz von etwa 29 Hz errechnet.

Zur Bestimmung des Schalldämm-Maßes und des Norm-Trittschallpegels der Decke selbst wurden Schallmessungen mit komplett abgehobenem Obergeschoss vorgenommen, um so die Flankenübertragung gemäß (ÖNORM EN ISO 140-1) zu unterdrücken. Im Anschluss erfolgten Schallmessungen mit aufliegender Decke und mit den Baulagern der am Projekt beteiligten Unternehmen, die sukzessive hintereinander unter der Decke eingelegt wurden. Weiters wurde auch der Luftschallbeitrag des Hammerwerks nach (Lang 1997) Prüfanweisung Nr. 7 gemessen und für nicht relevant befunden.

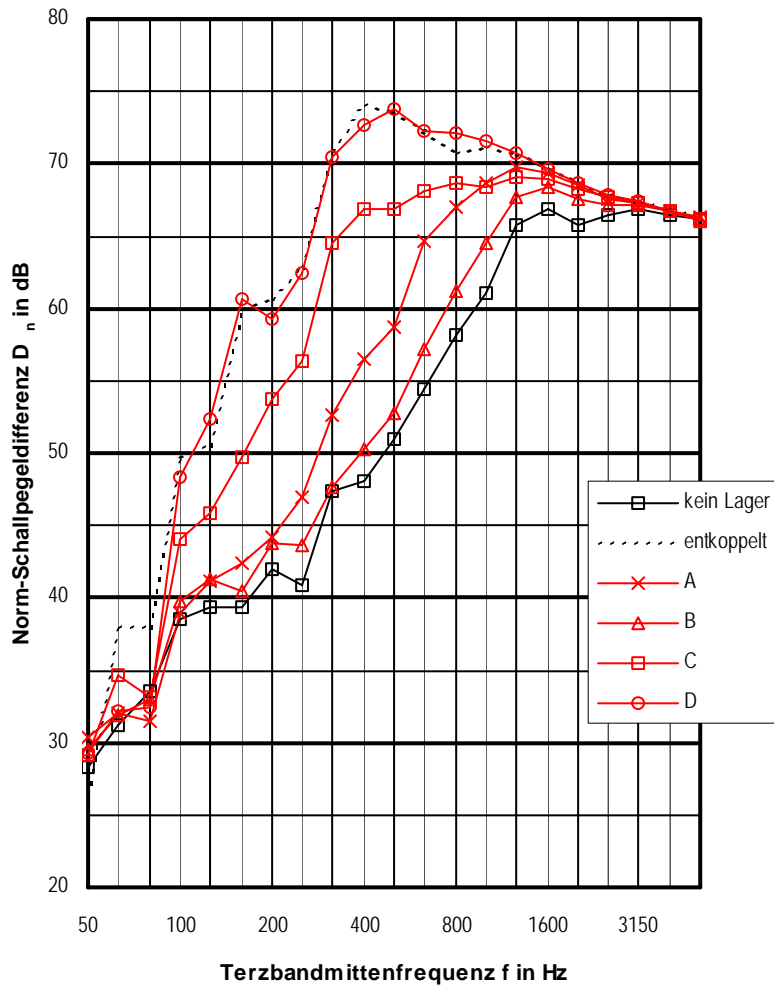


Abbildung 8-3: Norm-Schallpegeldifferenz der Konstruktion mit unterschiedlichen Baulagervarianten



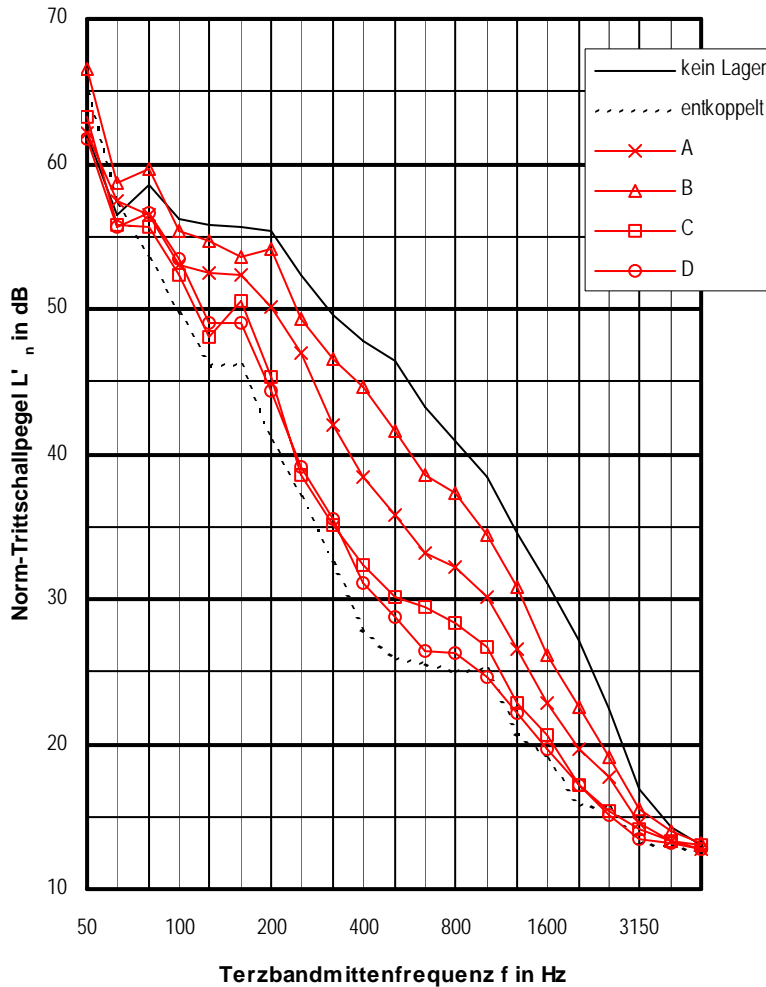


Abbildung 8-4: Norm-Trittschallpegel der Konstruktion mit unterschiedlichen Baulagervarianten

In einer weiteren Versuchsreihe wurde die Brettsperrholz-Rohdecke der KLH Massivholz GmbH durch ein Hohlkastenelement mit gleicher Höhe der Lignatur AG ersetzt und den gleichen bauakustischen Untersuchungen unterzogen. Die Frequenzverläufe der gemessenen Pegel werden hier nicht explizit angeführt, die Einzahlangaben sind Tabelle 8-1 zu entnehmen.

#### 8.1.2.2 Schwingungsmessungen

Die Schwingungsmessungen, welche der Ermittlung der erforderlichen Eingangsparameter der normativen Berechnung dienen, wurden ausschließlich mit Fokus auf die Prognose der Trittschalldämmung durchgeführt. Dies resultiert unter anderem aus der Auswertung der von der Holzforschung Austria an bestehenden Objekten durchgeführten Messungen, die zeigen, dass die normgemäßen Anforderungen an den Luftschallschutz von Holzmassivdeckenkonstruktionen wesentlich leichter zu erfüllen sind, als jene an den

Trittschallschutz. Auch Holtz weist in (Holtz et al. 1999) auf diesen Umstand hin und empfiehlt daher eine alleinige Optimierung der Konstruktion auf den Trittschallschutz.

Für die Messung der Eingangsparameter für eine Berechnung nach (ÖNORM EN 12354-2) stehen neben (Schumacher et al. 2001), auch Messanleitungen der PTB Braunschweig (PTB Braunschweig 1997), (PTB Braunschweig 2000) zur Verfügung. Wertvolle diesbezügliche Hinweise sind auch bei Metzen in (Metzen 2007) zu finden. Er empfiehlt die höhere Bauteildämpfung bei Leichtbaukonstruktionen getrennt bei der Modellierung zu berücksichtigen und regt an, dass durch Beschränkung bei der Messung auf stoßstellennahe Bereiche auch bei der Messung der Schnellepegeldifferenzen davon ausgegangen werden kann, dass die maßgebliche Dämpfung im Stoßstellendämm-Maß enthalten ist.

Nach Demontage der abgehängten Decke erfolgte die entsprechende Applikation der Beschleunigungsaufnehmer an der Wandinnenseite und der Unterseite der Decke, die sich nun als Holzuntersicht der Brettsperrholzrohdecke präsentiert.

Gemessen wurden die Schnellepegeldifferenzen mit Beschleunigungsaufnehmern an je 4 Aufnehmerpunkten an Wand und Decke in beide Richtungen sowohl mit abgehobener Geschossdecke, als auch aufliegend und mit verschiedenen, darunter eingelegten Baulagern, mit und ohne zusätzlicher Belastung. Die Messungen erfolgten im Frequenzbereich von 20 Hz bis 20 kHz, wobei als Bezugsbeschleunigung  $a_0 = 10^{-6} \text{ m/s}^2$  nach (ÖNORM EN ISO 10848-1) in Gleichung 6-7 eingesetzt wurde. Messungen mit jeweils drei stationären Körperschall-Anregungspunkten, an der Wand mit einem Shaker und an der Decke mit dem Normhammerwerk, folgte die räumliche Mittelung nach Gleichung 6-8. Richtungsgemittelte Ergebnisse für die unterschiedlichen Lagerungssituationen sind in Abbildung 8-5 ersichtlich. Aufgrund der Differenzbildung ist eine Umrechnung der Beschleunigungspegel in Schnellepegel nicht erforderlich.

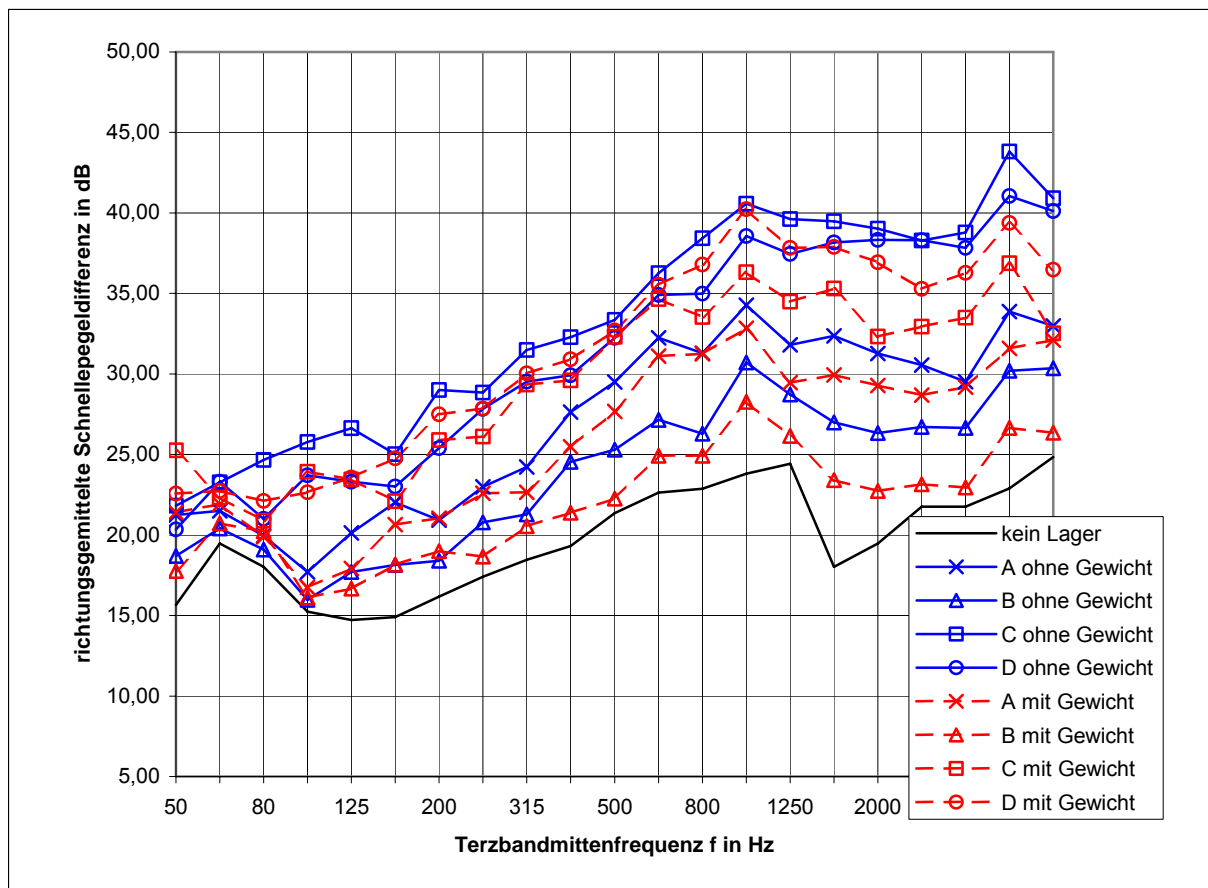


Abbildung 8-5: Richtungsgemittelte Schnellepegeldifferenzen ohne Belastung bzw. mit Belastung die einen Dreigeschossers simuliert

Sämtliche Messungen wurden unter zusätzlicher Auflast von 240 kN nochmals durchgeführt um den Einfluss der Belastung im Gebrauchszustand eines Dreigeschossers auf die Dämpfungseigenschaften der Baulager messtechnisch zu erfassen. Die Belastung erfolgte mit sechs Betonfundamenten mit je 40 kN Eigengewicht die, um eine gleichmäßige Lastverteilung zu erreichen, in regelmäßigen Abständen am Dach der Prüfeinrichtung aufgelegt wurden (Abbildung 8-6).

Bei zwei der vier untersuchten Baulager erfolgt eine Abstimmung auf die höhere Belastung. So wird bei dem punktförmig angeordneten Auflager (Lager C) die Fläche durch Einbringung weiterer Lagerstücke erhöht. Beim vollflächig verlegten, geschlossenzelligen Polyurethan (Lager D) muss aufgrund der feinen Abstufung der Druckfestigkeitsklassen dieses Lagertyps, gegen eines für die höheren Belastungen konzipiertes getauscht werden. Die beiden Lagertypen A und B werden nicht auf unterschiedliche Belastungen abgestimmt.



Abbildung 8-6: Mit Betonelementen (rote Markierung), Gesamtgewicht 240 kN, belasteter Deckenprüfstand

Die Körperschall-Nachhallzeit  $T_s$  wird aus den Abklingkurven der Beschleunigungspegel des Bauteils ermittelt. Die Messung der Körperschall-Nachhallzeiten erfolgte mittels Hammeranregung nach obigen Anweisungen bei aufgelegter und abgehobener Decke. Dabei standen drei Anregungspunkten acht, über den Bauteil verteilte, Aufnehmerpunkte gegenüber. Weitere Messungen ohne Fußbodenaufbau wurden ebenfalls durchgeführt bei denen beide in (ÖNORM EN ISO 10848-1) empfohlene Verfahren – MLS und Hammeranregung – eingesetzt, und die Ergebnisse verglichen werden konnten.

Das Stoßstellendämm-Maß  $K_{ij}$  wird aus Gleichung 6-5 und Gleichung 6-6 bestimmt und ist in Abbildung 8-7 für die Fälle ohne Baulager und mit Lagern A und D beispielhaft dargestellt.

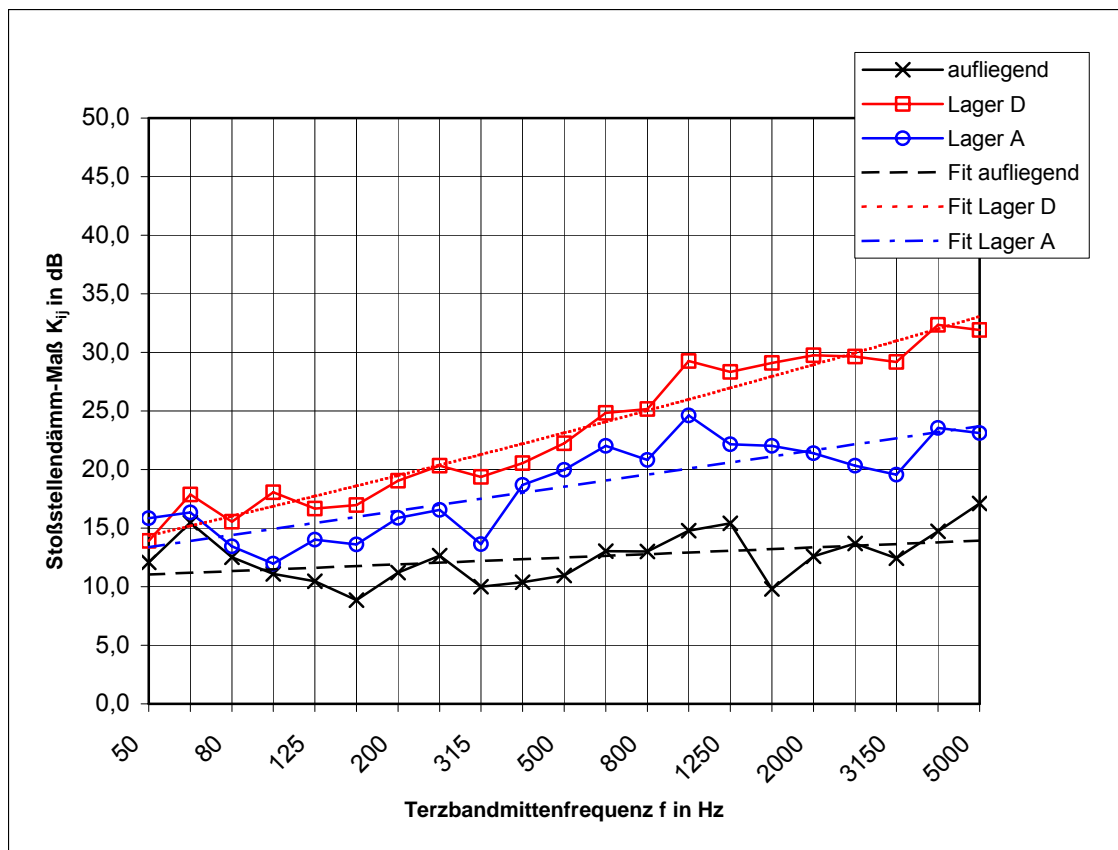


Abbildung 8-7: Stoßstellendämm-Maß  $K_{ij}$  Decke-Flanke

### 8.1.3 Ergebnisdiskussion

#### 8.1.3.1 Ergebnisse aus den Schallmessungen

Durch Anordnung der Unterdecke kann die direkte Schallübertragung durch die Decke soweit verringert werden, dass hauptsächlich die Flankenübertragung mit Bauakustikmessungen bestimmt werden kann. Wie in Abbildung 8-3 und Abbildung 8-4 erkennbar, konnte der Einfluss der unterschiedlichen Baulager gut gemessen werden. Bewertet ergeben sich hier im Falle einer KLH Brettsperrholz-Rohdecke und eines Lignatur-Flächenelementes die in Tabelle 8-1 angegebenen Differenzen bei der bewerteten Norm-Schallpegeldifferenz  $D_{n,w}$  von bis zu 14 dB und dem bewerteten Norm-Trittschallpegel  $L'_{n,w}$  von bis zu 9 dB. Ein signifikanter Einfluss elastischer Zwischenschichten ist somit nachgewiesen, Voraussetzung dafür ist jedoch die massive Unterdrückung des direkten Übertragungsweges. Erhöht sich der Anteil an Direktschall (etwa ohne Unterdecke), so verringert sich in selbem Maße der Einfluss der Flanken und somit auch die Wirksamkeit von elastischen Zwischenschichten. An dieser Stelle ist jedoch zwischen Luftschall und Körperschall, sowie der jeweiligen Anordnung der Baulager oberhalb bzw. unterhalb der Rohdecke zu unterscheiden, da bei Abdecken der Rohdecke durch die Anordnung eines

schwimmenden Estriches (immer dessen fachgerechte Ausführung vorausgesetzt) Luftschall im Obergeschoss stärker in die oberen Flanken eingeleitet wird.

Tabelle 8-1:  $D_{n,w}$  und  $L'_{n,w}$  bei unterschiedlichen Baulagern für unterschiedliche Rohdeckenvarianten mit abgehängter Unterdecke

KLH	kein Lager	entkoppelt	Lager A	Lager B	Lager C	Lager D <sup>1</sup>
$D_{n,w}$ [dB]	55	69	60	57	66	69
$L'_{n,w}$ [dB]	47	36	43	46	40	39
LIGNATUR	kein Lager	entkoppelt	Lager A	Lager B	Lager C	Lager D
$D_{n,w}$ [dB]	53	67	60	56	64	65
$L'_{n,w}$ [dB]	47	36	42	46	39	38

<sup>1</sup> Lager D wurde in diesem Fall unter- und oberhalb der Geschosdecke eingelegt.

Betrachtet man den Frequenzverlauf des Norm-Trittschallpegels ohne abgehängte Unterdecke, so erkennt man eine Resonanz bei etwa 100 Hz, die gut mit der berechneten Resonanzfrequenz des Estrichaufbaus von 95 Hz korreliert. Weiters können Resonanzen bei etwa 200 Hz, wie schon von Bednar in (Bednar et al. 2000) rechnerisch prognostiziert, 800 Hz und 3500 Hz festgestellt werden, die direkt mit Einbrüchen im Schalldämm-Maß der Rohdecke übereinstimmen.

### 8.1.3.2 Ergebnisse aus den Schwingungsmessungen

Für die Stoßstellen wird die Übertragung durch die richtungsgemittelte Schnellepegeldifferenz  $\overline{D_{v,ij}}$  gekennzeichnet. Die Ergebnisdifferenzen in Abbildung 8-5 entsprechen den an die unterschiedlichen Lager gestellten Erwartungen und finden Eingang in die Berechnungen nach EN 12354.

Vergleicht man die Verläufe der Schnellepegeldifferenzen mit und ohne Belastung, so können folgende Schlüsse gezogen werden:

a) Lager die für alle Belastungen gleich blieben: Variante A und B

Über den kompletten, untersuchten Frequenzbereich ist bei zusätzlicher Auflast eine geringere Schnellepegeldifferenz messbar, da die Baulager stärker gepresst werden und sich dadurch deren dynamische Steifigkeit erhöht.

Die Lagervariante A zeigt, offenbar aufgrund ihrer Geometrie, nur sehr geringe Belastungsabhängigkeit.

b) Baulager die auf unterschiedliche Belastungen abgestimmt werden: Variante C und D

Das auf die hohe Belastung abgestimmte Baulager der Variante D weist eine höhere Pegeldifferenz auf als jenes welches ohne zusätzlicher Auflast eingebaut wurde. Das System der verschiedenen Typen für die verschiedenen Belastungen funktioniert offenbar sehr gut.

Auch das Baulager C, das durch Erhöhen der Fläche an unterschiedliche Auflasten adaptiert wird, behält seine Dämpfungseigenschaften weitgehend unverändert bei.

Generell kann nach vorliegenden Untersuchungen gesagt werden, dass elastische Zwischenschichten, sofern sie nicht durch kraftschlüssige Befestigungen umgangen werden, ab etwa 100 Hz signifikant zur Verbesserung der Flankendämmung beitragen. Der Einfluss von Befestigungsmitteln wird in einem zweiten Teil aufgezeigt.

Es zeigt sich ein Frequenz unabhängiges, leicht zu hohen Frequenzen ansteigendes  $K_{ij}$  für den Fall des Stoßes ohne Baulager und ein starkes Ansteigen des Stoßstellendämm-Maßes bei höheren Frequenzen für den Fall der elastischen Zwischenschicht. Dies entspricht im Verlauf weitgehend den empirischen Angaben für massive mineralische Bauteile aus Anhang E von (ÖNORM EN 12354-1), allerdings liegen die gemessenen Werte im Schnitt etwa 3 dB über den prognostizierten.

#### 8.1.3.3 Abgleich der Untersuchungsergebnisse mit dem Prognoseverfahren nach ÖN EN 12354

Der Norm-Trittschallpegel flankierender Bauteile  $L_{n,f}$  ist definiert als der räumlich und zeitlich gemittelte Trittschallpegel im Empfangsraum, der durch ein Normhammerwerk an verschiedenen Stellen des Bauteils im Senderraum hervorgerufen wird, wenn die Übertragung nur über ein festgelegtes flankierendes Bauteil erfolgt. Normiert wird  $L_{n,f}$  auf die äquivalente Bezugs-Absorptionsfläche ( $A_0$ ) im Empfangsraum die  $10\text{m}^2$  beträgt. Die Berechnung erfolgt nach (ÖNORM EN 12354-2) aus Gleichung 8-1. Da es sich bei der Trittschallübertragung nur noch um einen Flankenweg handelt werden in diesem Fall die Indizes i und j durch D für Decke und f für Flanke bzw. Wand ersetzt.

$$\text{Gleichung 8-1: } L_{n,Df} = L_n - \Delta L + \frac{R_D - R_f}{2} - \Delta R_f - \overline{D_{v,Df}} - 10 \lg \sqrt{\frac{S_D}{S_f}} \text{ dB}$$

Die Berechnung wird in Tabelle 8-2 und Tabelle 8-3 exemplarisch für das Baulager D dargestellt.

Tabelle 8-2: Eingangsdaten für die Berechnung der Norm-Trittschallpegel für  $L'_{n}$  und  $L_{n,DF}$  für Lager D

Terzband mitten- frequenz $f$ [Hz]	aus Schallmessungen					aus Schwingungsmessungen		
	Roh- decke R	Roh- wand **rech	Roh- decke mess	Estrich $\Delta L$ mess	UD $\Delta Ld$ mess	Decke $a_i$ mess	Wand $a_j$ mess	$\overline{D_{v,ij}}$ mess
	50	23,6	20,6	71,3	5,7	0,7	36,0	25,8
63	24,7	21,7	64,1	6,2	0,7	24,1	24,3	23,3
80	24,1	21,1	67,6	5,6	8,6	23,0	25,8	21,0
100	33,8	30,8	71,0	6,1	15,2	31,2	20,5	23,7
125	34,7	31,7	75,3	11,8	17,4	37,5	27,1	23,3
160	30,6	27,6	79,9	17,9	15,8	31,9	24,4	23,0
200	28,1	25,1	81,4	18,1	22,4	37,2	24,1	25,4
250	31,3	28,3	80,2	19,4	23,7	75,9	19,9	27,8
315	33,1	30,1	83,1	28,0	22,5	236,8	21,5	29,5
400	34,0	31,0	83,3	31,8	23,6	140,7	25,3	29,9
500	34,0	31,0	84,0	34,5	23,5	188,1	25,6	32,2
630	30,1	27,1	84,2	34,9	23,7	167,6	29,3	34,9
800	27,8	24,8	85,1	34,7	25,2	149,4	29,3	35,0
1000	29,8	26,8	83,8	33,4	25,2	133,2	25,8	38,6
1250	33,0	30,0	82,5	33,1	28,7	118,7	26,6	37,4
1600	37,4	34,4	80,5	34,5	26,8	105,8	29,3	38,2
2000	36,1	33,1	75,8	32,9	26,6	94,3	26,1	38,3
2500	33,0	30,0	69,2	28,4	25,2	84,0	30,4	38,3
3150	33,1	30,1	60,8	23,3	24,2	74,9	34,1	37,8
4000	32,7	29,7	58,5	22,6	22,8	66,7	39,3	41,1
5000	34,8	31,8	53,5	21,6	19,2	59,5	35,0	40,1

\*mess: gemessene Daten; \*\*rech: berechnete Daten



Tabelle 8-3: Berechnung der Norm-Trittschallpegel für  $L'_{n}$  und  $L_{n,Df}$  für Lager D und Vergleich mit den Ergebnissen aus der Schallmessung

Terzband mitten- frequenz $f$ [Hz]	Berechnung				Schallmessung		
	Kij dir	1 Wand	Flanken	direkt+ Flanken	Decke direkt	Flanken	direkt+ Flanken
	$K_{Df}$ Gleichung 6-5	$L_{n,Df,rech1Wand}$ Gleichung 8-1	$L_{n,Df,rech}$ 4x1Wand	$L'_{n,rech}$ $L_{n,Df,rech}+L_{nD}$	$L_{nD}$ mess	$L_{n,Df,mess}$ Gleichung 6-4	$L'_{n,mess}$ mess
50	19,1	45,1	51,1	65,1	64,9	48,6	65,0
63	23,1	34,4	40,5	57,3	57,2	40,9	57,3
80	20,7	40,8	46,9	54,3	53,4	53,8	56,6
100	23,3	41,0	47,1	51,6	49,7	51,2	53,5
125	21,9	40,0	46,1	49,1	46,1	46,1	49,1
160	22,1	38,8	44,9	48,6	46,2	46,0	49,1
200	24,2	37,7	43,8	45,6	40,9	41,6	44,3
250	25,5	32,8	38,8	41,0	37,0	34,9	39,1
315	24,6	25,4	31,5	35,0	32,5	32,5	35,5
400	25,7	21,4	27,5	30,7	27,9	28,3	31,1
500	27,4	17,1	23,1	27,7	25,9	25,5	28,7
630	30,0	14,2	20,3	26,7	25,6	18,7	26,4
800	30,4	15,3	21,3	26,6	25,1	20,1	26,3
1000	34,5	11,7	17,7	25,9	25,2	16,1	25,7
1250	33,5	11,8	17,8	22,6	20,8	16,6	22,2
1600	34,3	7,7	13,7	20,1	19,0	10,7	19,6
2000	35,0	4,4	10,4	16,9	15,8	11,6	17,2
2500	34,8	2,3	8,4	16,4	15,6	4,1	15,9
3150	34,4	-0,5	5,5	13,9	13,2	1,7	13,5
4000	37,5	-5,3	0,7	13,3	13,1	-3,2	13,2
5000	37,1	-8,4	-2,3	12,7	12,6	-0,7	12,8

Bis auf  $R_f$  wurden durchwegs die aus Schallmessungen nach (ÖNORM EN ISO 140-3) und (ÖNORM EN ISO 140-6) am gleichen Deckensystem ermittelten Messwerte eingesetzt.  $R_f$  wurde anhand von  $R_D$  (gleiches Material, gleicher Aufbau, jedoch geringere Stärke) abgeschätzt. Eine Berechnung der Eingangparameter nach der, wie erwähnt für mineralische Massivbauteile entwickelten EN 12354, erwies sich für Massivholzkonstruktionen als nicht praktikabel.

Die mittels Trittschallmessungen in Terzbändern ermittelten Verläufe der Flankenübertragung  $L_{n,Df}$ , sowie jene nach (ÖNORM EN ISO 140-3), unter Einbeziehung der direkt gemessenen Stoßstelle, prognostizierten, sind in Abbildung 8-8 bis Abbildung 8-12 zum Vergleich angegeben. Zu erkennen ist eine massive Abweichung der gerechneten und gemessenen über die Flanken übertragenen Norm-Trittschallpegel bei Frequenzen um 800 Hz. Ein Frequenzbereich bei dem sich auch Resonanzen der Rohdecke zeigen. Dementsprechend ist eine starke Abhängigkeit der Korrelation von Messung und Berechnung von den Dämpfungseigenschaften der verwendeten Baulager erkennbar.

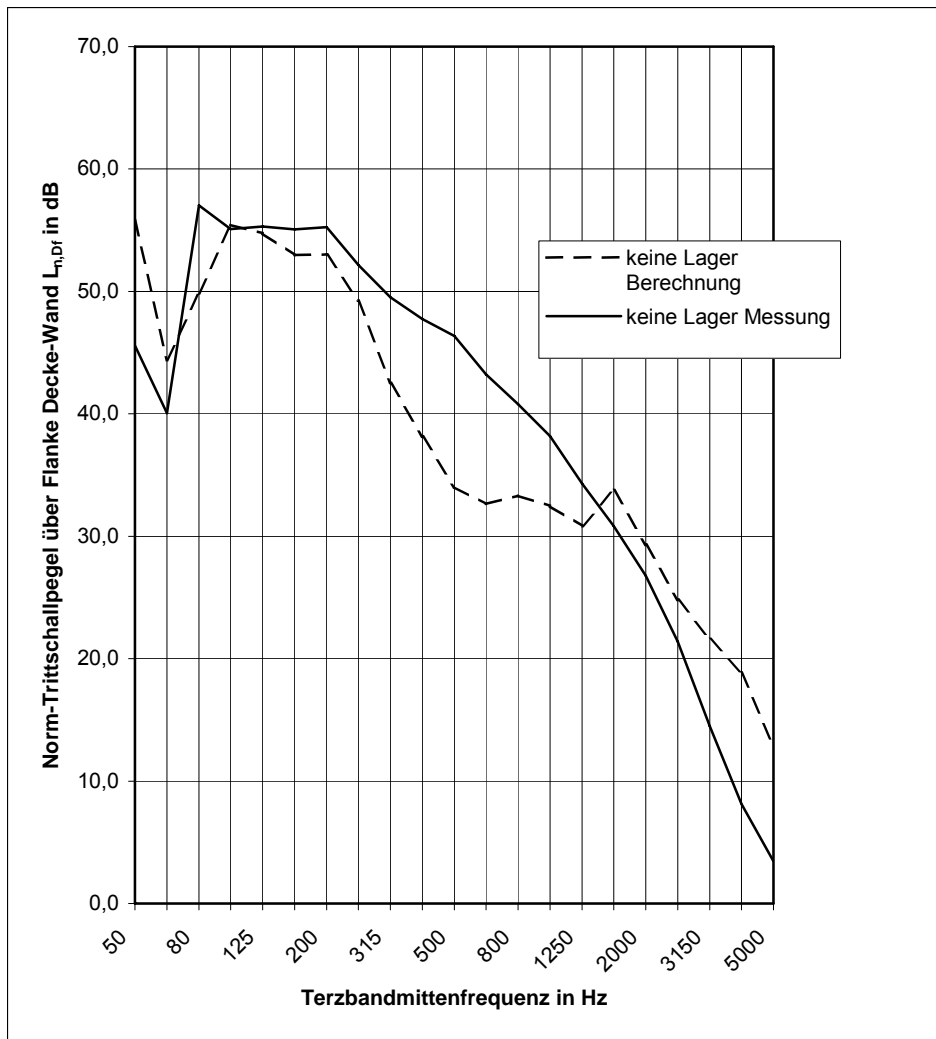


Abbildung 8-8: Vergleich von Messung und Berechnung der über die Flanken übertragenen Norm-Trittschallpegel  $L_{n,Df}$  ohne Baulager

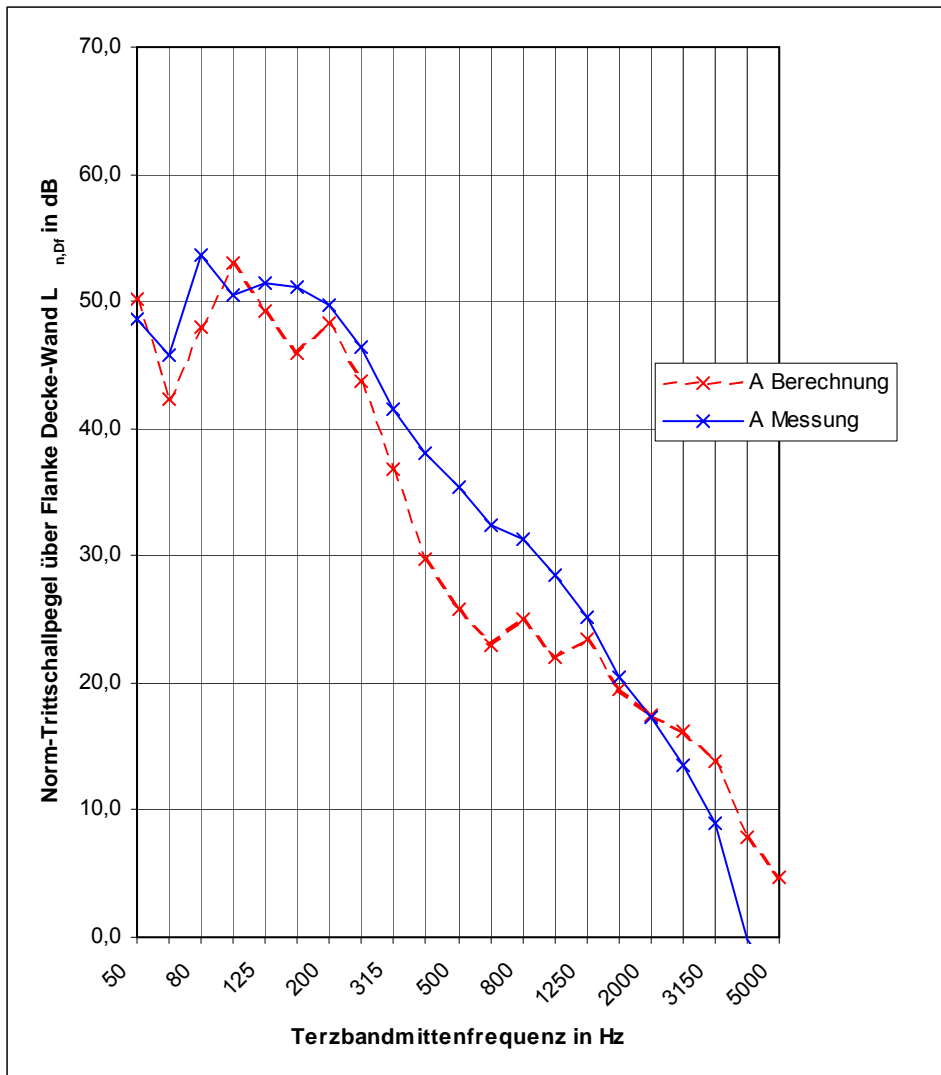


Abbildung 8-9: Vergleich von Messung und Berechnung der über die Flanken übertragenen Norm-Trittschallpegel  $L_{n,Df}$  für Baulager A

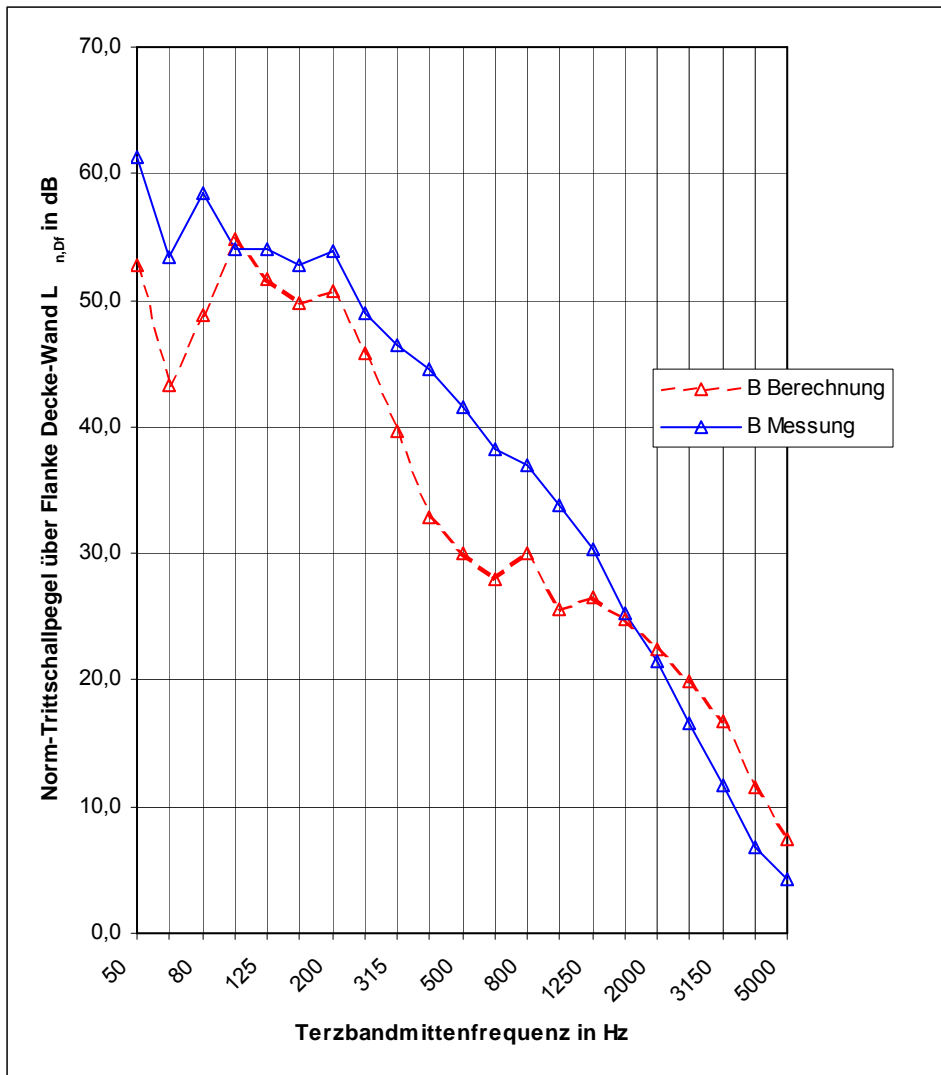


Abbildung 8-10: Vergleich von Messung und Berechnung der über die Flanken übertragenen Norm-Trittschallpegel  $L_{n,Df}$  für Baulager B

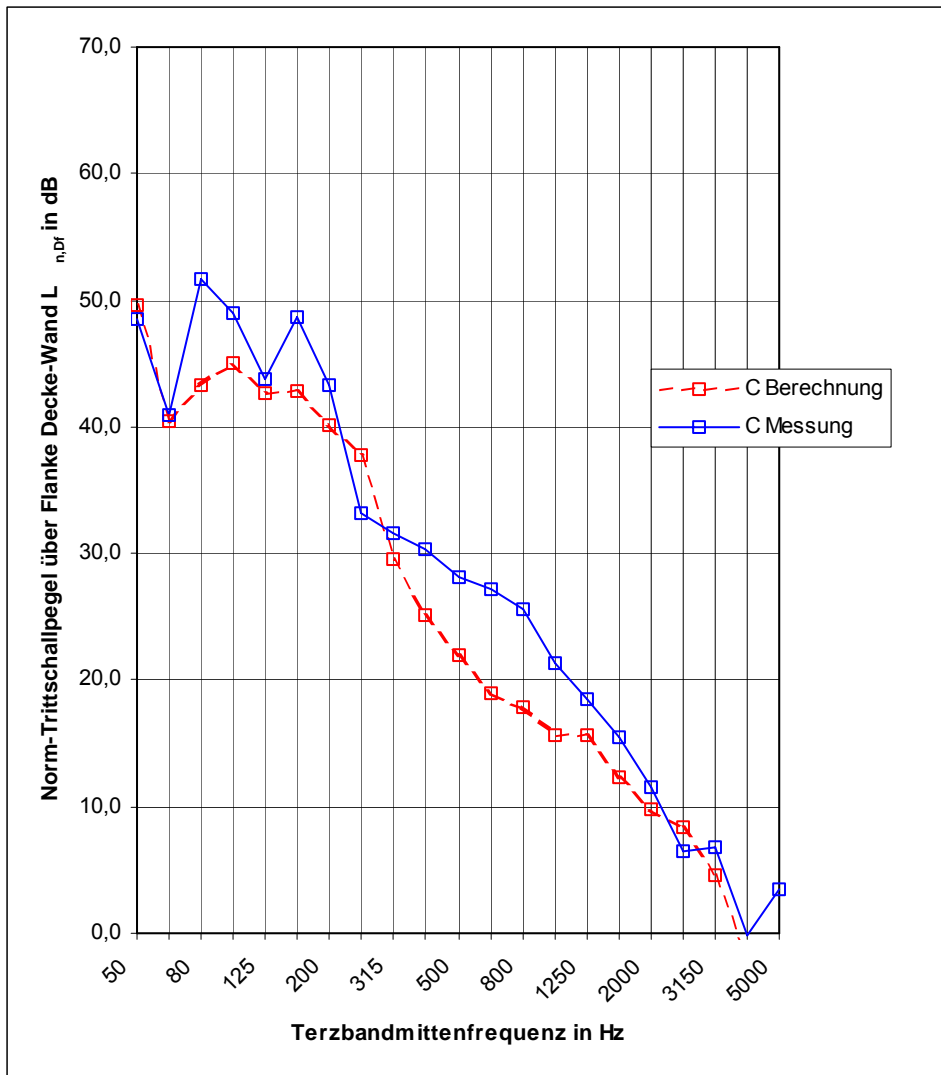


Abbildung 8-11: Vergleich von Messung und Berechnung der über die Flanken übertragenen Norm-Trittschallpegel  $L_{n,Df}$  für Baulager C

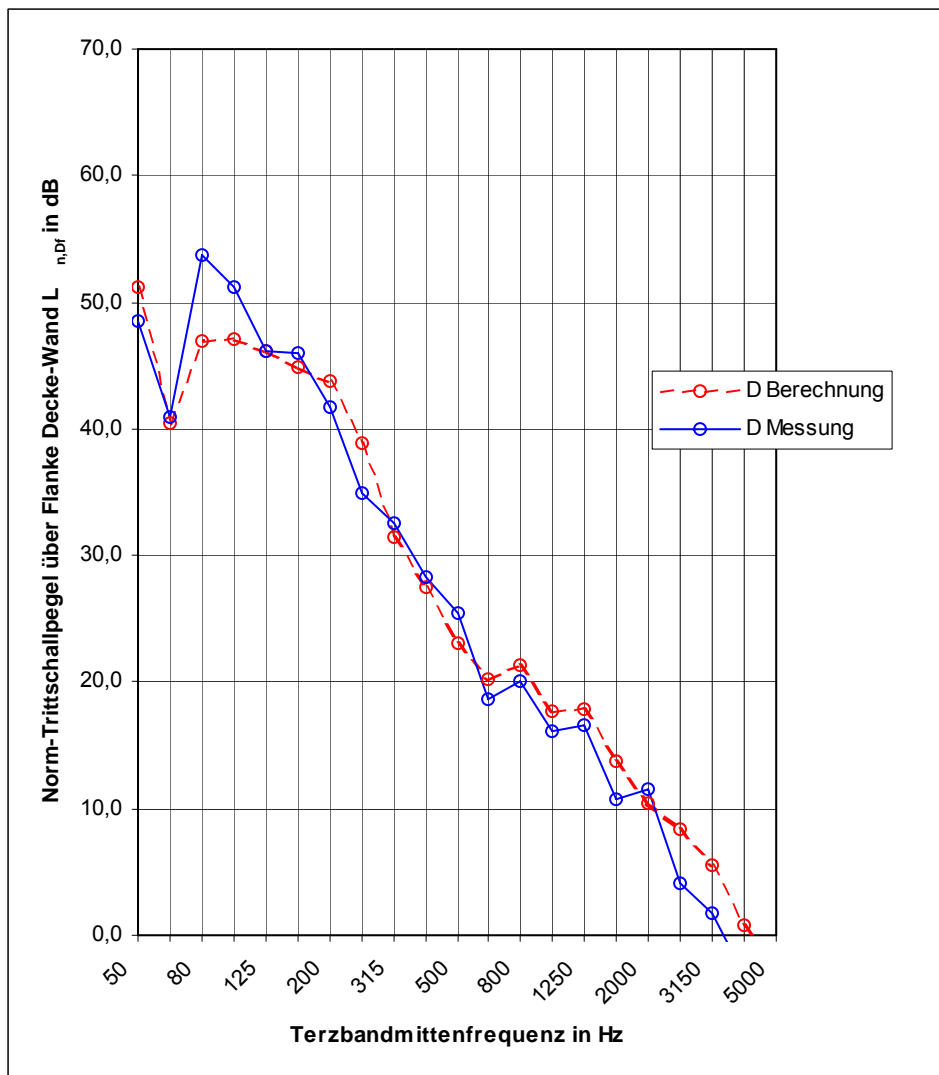


Abbildung 8-12: Vergleich von Messung und Berechnung der über die Flanken übertragenen Norm-Trittschallpegel  $L_{n,Df}$  für Baulager D

Betrachtet man die Ergebnisse in Abbildung 8-13, so ist zu erkennen, dass die Prognose für den Normtrittschallpegel des Gesamtsystems  $L'_n$  besser mit dem Messergebnis übereinstimmt als dies bei den über die Flanken übertragenen Normtrittschallpegeln  $L_{n,Df}$  der Fall ist. Wie bereits oben diskutiert, tritt dies besonders bei gut bedämpften Flankenwegen auf, ist aber in erster Linie auf die in diesen Fällen dominierende Direktübertragung durch die Decke zurückzuführen. Dabei dämmt die im Frequenzbereich um 800 Hz sehr wirksame Unterdecke die Resonanzen der Rohdecke. Aus Tabelle 8-4 ist abzulesen, dass bei den bewerteten Ergebnissen die Messung und die Prognose maximal um 3 dB differieren, allerdings kommt es bei der Berechnung offensichtlich zu einer konsequenten Unterschätzung der gemessenen Norm-Trittschallpegel.

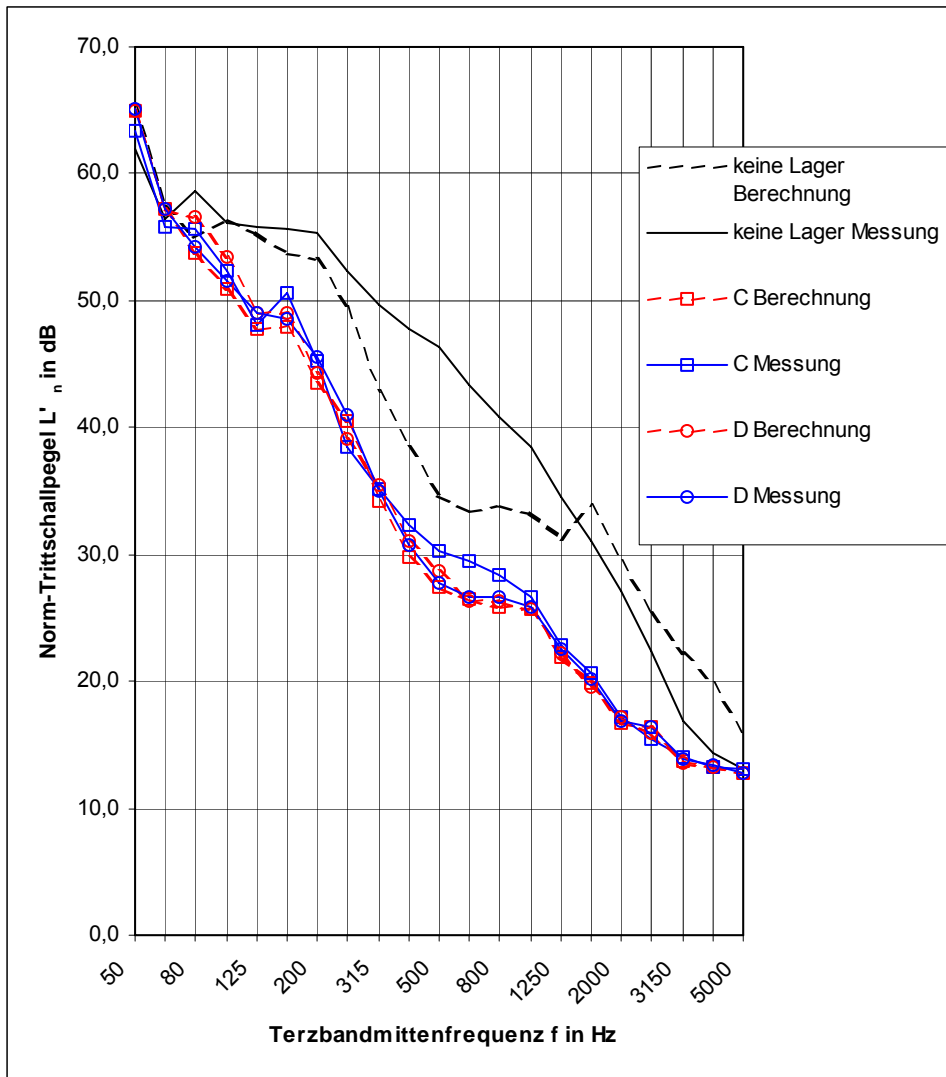


Abbildung 8-13: Vergleich von Messung und Berechnung der Norm-Trittschallpegel  $L'_n$ . Ohne Lager, Baulager A und B

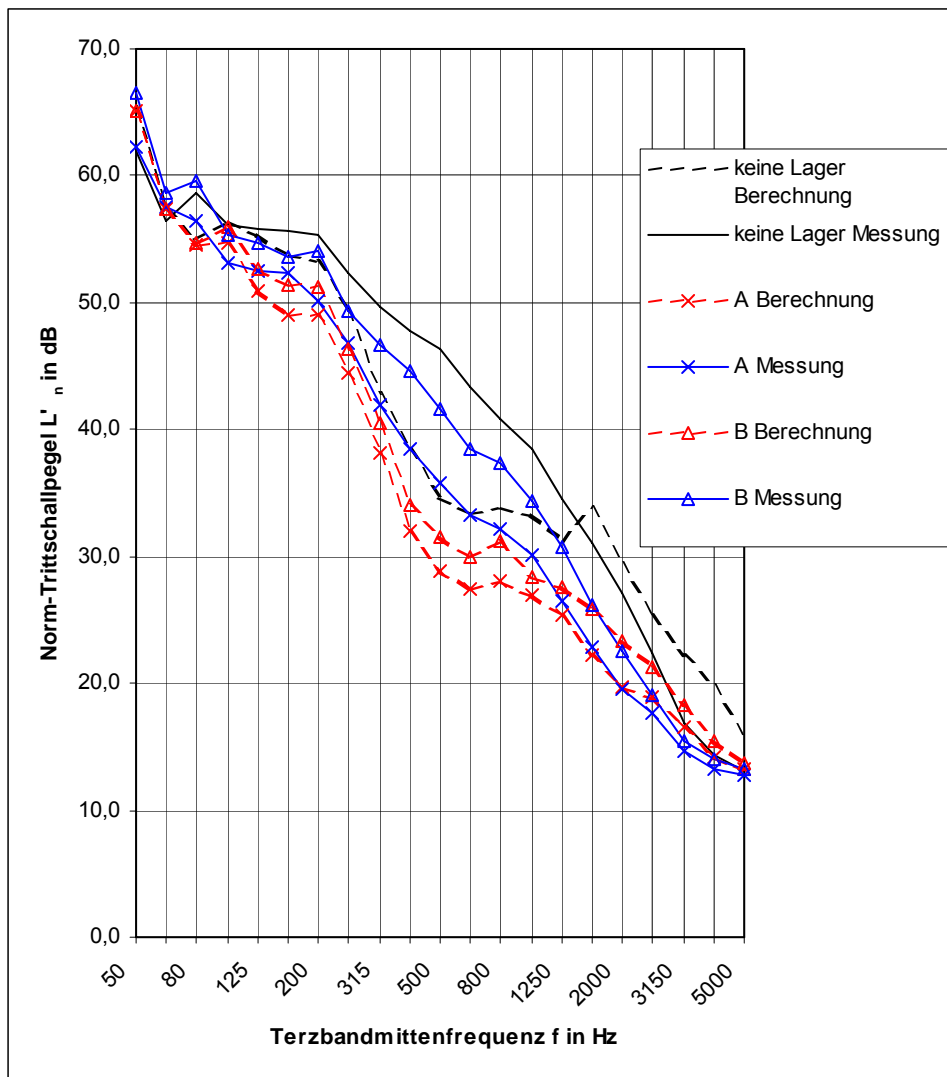


Abbildung 8-14: Vergleich von Messung und Berechnung der Norm-Trittschallpegel  $L'_n$ . Ohne Lager, Baulager C und D

Tabelle 8-4: Bewertete Norm-Trittschallpegel  $L'_{n,w}$  und  $L_{n,Df,w}$  gemessen ( $_{mess}$ ) und berechnet ( $_{rech}$ ) aus Tabelle 8-2 und Tabelle 8-3

KLH	kein Lager	entkoppelt	Lager A	Lager B	Lager C	Lager D
$L'_{n,w,mess}$ [dB]	47	36	43	46	40	39
$L'_{n,w,rech}$ [dB]	46		42	44	38	39
$L_{n,Df,w,mess}$ [dB]	47		42	45	37	37
$L_{n,Df,w,rech}$ [dB]	45		40	43	34	36



## **8.2 Einfluss von Befestigungsmitteln auf die Verbesserung der Flankendämmung durch den Einbau elastischer Zwischenschichten**

Bei Massivholzkonstruktionen sind kraftschlüssige Verbindungen der einzelnen Bauteile mit Befestigungsmitteln zur Abtragung horizontaler Kräfte erforderlich. Werden nun zwischen den Bauteilen flexible Zwischenschichten angeordnet um die Schallübertragung über flankierende Bauteile zu reduzieren, so ist zu erwarten, dass diese durch die Befestigungsmittel in ihrer akustischen Wirksamkeit zumindest beeinträchtigt werden. Eine diesbezügliche Prognose ist nicht möglich, und damit generell die Sinnhaftigkeit der Anordnung von flexiblen Zwischenschichten zur Dämmung der Flankenübertragung in Frage gestellt, da diese durch statisch erforderliche Maßnahmen möglicherweise gänzlich ihrer Funktion beraubt werden. Dass Befestigungsmittel zu einer Verschlechterung der Stoßstellendämmung beim Einsatz elastischer Zwischenschichten führen ist zu erwarten. Zu klären ist jedoch das Ausmaß und eine mögliche Abhilfe mit akustisch optimierten Befestigungen.

Daher ist eine Untersuchung der Auswirkungen unterschiedlicher Befestigungen auf die Norm-Schallpegeldifferenz und den Norm-Trittschallpegel erforderlich.

### **8.2.1 Elastische Zwischenschichten und Befestigungsmittel**

Die statische Bemessung von Befestigungsmitteln im Holzbau erfolgt nach Eurocode 5 (Österreichisches Normungsinstitut 2006 01). Als Grundlage für diese Berechnung dienen die nach Eurocode 1 (Österreichisches Normungsinstitut 2003/2005) ermittelten Einwirkungen wie Nutzlast, Eigengewicht, Schneelast und Windlast, sowie im gegebenen Falle Eurocode 8 (Österreichisches Normungsinstitut 2005 06) für die Auslegung von Bauwerken in Erdbebengebieten. Das Ergebnis der Berechnung legt die erforderliche Anzahl der Befestigungsmittel fest.

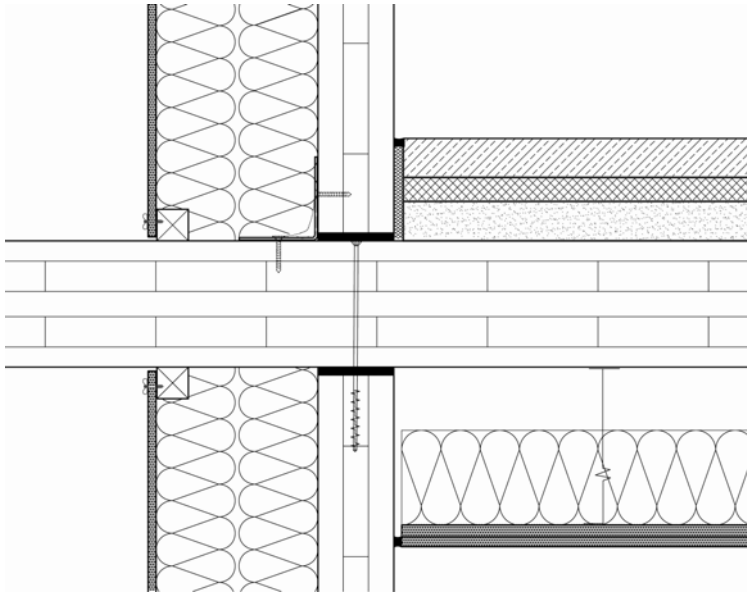


Abbildung 8-15: Aufbau der Stoßstelle Wand-Decke mit Befestigungsmitteln

In der Praxis des Massivholzbaus erfolgt die Verbindung der Bauteile mit Winkel und Schrauben. Dabei werden, wie in Abbildung 8-15 ersichtlich, die Schrauben durch die Geschossdecke in die darunter angeordnete Wand geschraubt und mit den Metallwinkeln die auf die Geschossdecke gestellte Wand mit der Decke verbunden. Wird nun die Flankendämmung durch Anordnung von flexiblen Zwischenschichten zwischen den Bauteilen erhöht, so wird deren Verbesserung durch die statisch notwendigen metallischen Verbindungsmittel in ihrer akustischen Wirksamkeit begrenzt. Diesbezügliche Untersuchungen gibt es derzeit nicht.

Die Berechnung der Stoßstellendämmung mit elastischen Zwischenschichten erfolgt nach Pedersen (Pedersen 1995) bis zu einer Frequenz  $f_1$  wie für starre Stöße, während sich für höhere Frequenzen das Stoßstellendämm-Maß mit  $20 \log f$  durch zwei elastische Lager und mit  $10 \log f$  für Transmission durch ein Lager verbessert. Für die Berechnung der Frequenzgrenze  $f_1$  wurde von Pedersen die Gleichung 8-2 abgeleitet. Dabei stellen  $G$  den Schubmodul,  $d$  die Dicke und  $w$  die Breite der elastischen Zwischenschicht,  $\rho_1$  und  $\rho_2$  die Rohdichten der Bauteile und  $h_1$  die Auflagerbreite dar.

$$\text{Gleichung 8-2: } f_1 = 2,5 \cdot 10^{-6} \cdot \left( \frac{\sqrt{\rho_1 \rho_2}}{G} d \frac{h_1}{w} \right)^{-3/2} \text{ Hz}$$

Der im Anhang E der ÖNORM EN 12354-1 (Österreichisches Normungsinstitut 2000 11a) angegebene Beispielwert für  $f_1$  von 125 Hz trifft nur für ein bestimmtes Verhältnis von Elastizitätsmodul und Schichtdicke zu. Eine Berechnung des Stoßstellendämm-Maßes von Stößen mit elastischen Zwischenschichten mit differierenden Eigenschaften ist daher nicht möglich.

Von Schneider et al. in (Schneider, Fischer 2005) und der Holzforschung Austria durchgeführte Messungen lassen eine deutliche Verminderung des Stoßstellendämm-Maßes durch zusätzliche Lasten erkennen. Die aus der höheren Belastung resultierende erhöhte dynamische Steifigkeit der Zwischenschicht verschiebt auch die Frequenzgrenze  $f_1$  nach oben. Untersucht wurden auch die Auswirkungen einer Putzüberbrückung auf die Funktion der elastischen Zwischenschicht, mit dem Resultat, dass die Wirkung des Baulagers beinahe vollkommen aufgehoben wurde.

Diesbezüglich stellte auch Ruff et.al. in (Ruff et al. 2007) bei Messungen an mineralischen Massivbauteilen bereits durch dünne Überspachtelung der mit elastischen Zwischenschichten versehenen Stoßstelle eine deutliche Verschlechterung des Stoßstellendämm-Maßes fest.

Untersuchungen mit elastischen Zwischenschichten und der Verschraubung von Bauteilen wurden von Knust (Knust 2007) an Holzständerwänden durchgeführt. Gegenüber der reinen Verschraubung der Bauteile konnte bei Anordnung einer elastischen Zwischenschicht und Verschraubung, trotz der zur Beantwortung dieser Fragestellung eher ungünstig gewählten Messsituation, eine geringe Verbesserung der Stoßstellendämmung gemessen werden.

## 8.2.2 Untersuchung an Prüfständen

Die Schall- und Schwingungsmessungen erfolgten an den bereits vorgestellten zweigeschossigen Prüfständen. Der Deckenaufbau, bestehend aus Massivholz-Rohdecke, mit Zementestrich, Trittschalldämmung und ungebundener Splittschüttung sowie mit Gipsplatten doppelt beplankter, abgehängter Unterdecke, wurde unverändert beibehalten und die jeweiligen Befestigungsmittel vor den Messungen angeordnet.

Zum Einsatz kamen Senkfräskopfschrauben 8,0x260/100, die durch die Decke in die darunter liegende Wand geschraubt und Winkelverbinder 105 mit Rippe mit denen die Wände des Obergeschosses mit der Trenndecke verbunden wurden. Dabei wurden die Abstände der Schrauben nach baustatischer Berechnung mit 45 cm und jene der Winkel mit 125 cm festgelegt. Weiters wurden Messungen bei doppelter Winkelanzahl durchgeführt um auch den Einfluss einer erhöhten Anzahl von Befestigungsmittel abschätzen zu können.

### 8.2.2.1 Schallmessungen

Zunächst wurden bei bauakustischen Messungen Norm-Schallpegeldifferenz (auszugsweise in Abbildung 8-16 dargestellt) und Norm-Trittschallpegel (auszugsweise in Abbildung 8-17 ersichtlich) bei unterschiedlichen Lager- und Befestigungsvarianten ermittelt. Die Messungen wurden sowohl an der Brettsperrholz-Rohdecke der KLH Massivholz GmbH, als auch am Hohlkastenelement mit gleicher Höhe der Lignatur AG vorgenommen. Werden die Einzulangaben betrachtet, so können sowohl bei den Messungen der Norm-

Schallpegeldifferenzen, als auch bei jenen der Norm-Trittschallpegel zwischen verschraubter und nicht verschraubter Decke, je nach Effizienz des Lagers, Differenzen von 1 bis 4 dB ermittelt werden.

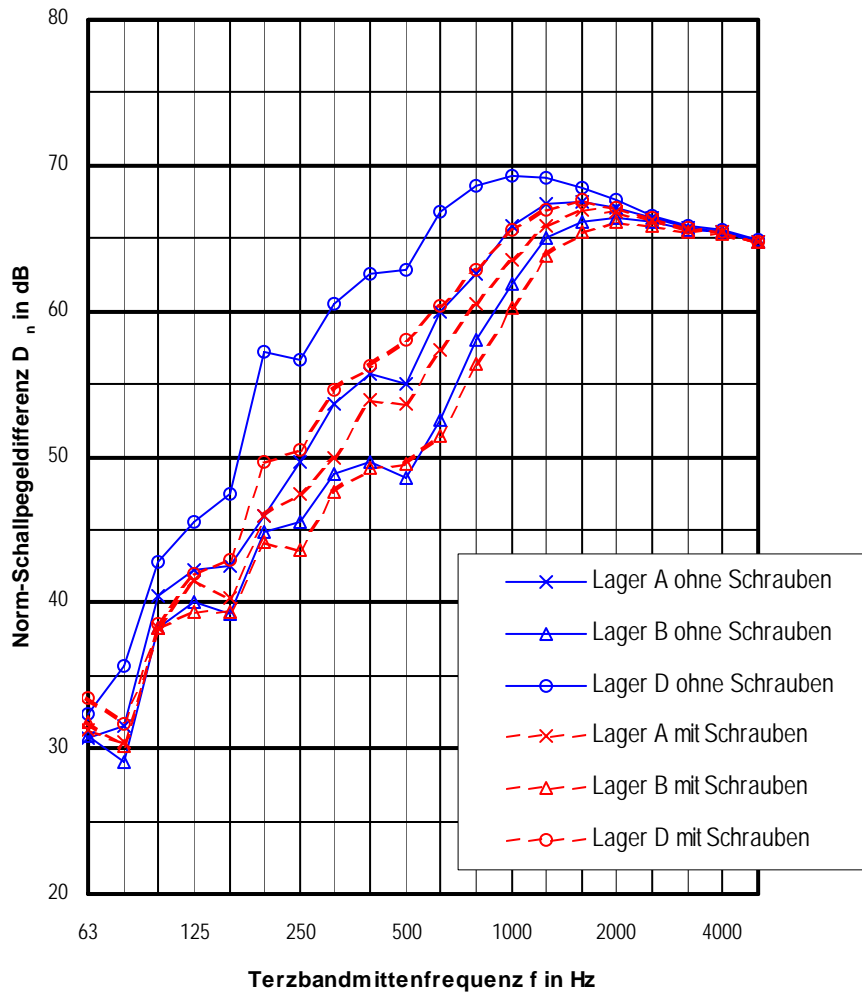


Abbildung 8-16: Norm-Schallpegeldifferenz  $D_n$  der Konstruktion mit unterschiedlichen Baulagern, mit und ohne Verschraubung der Rohdecke mit der darunter liegenden Wand. Dargestellt für ein Lignatur Flächenelement

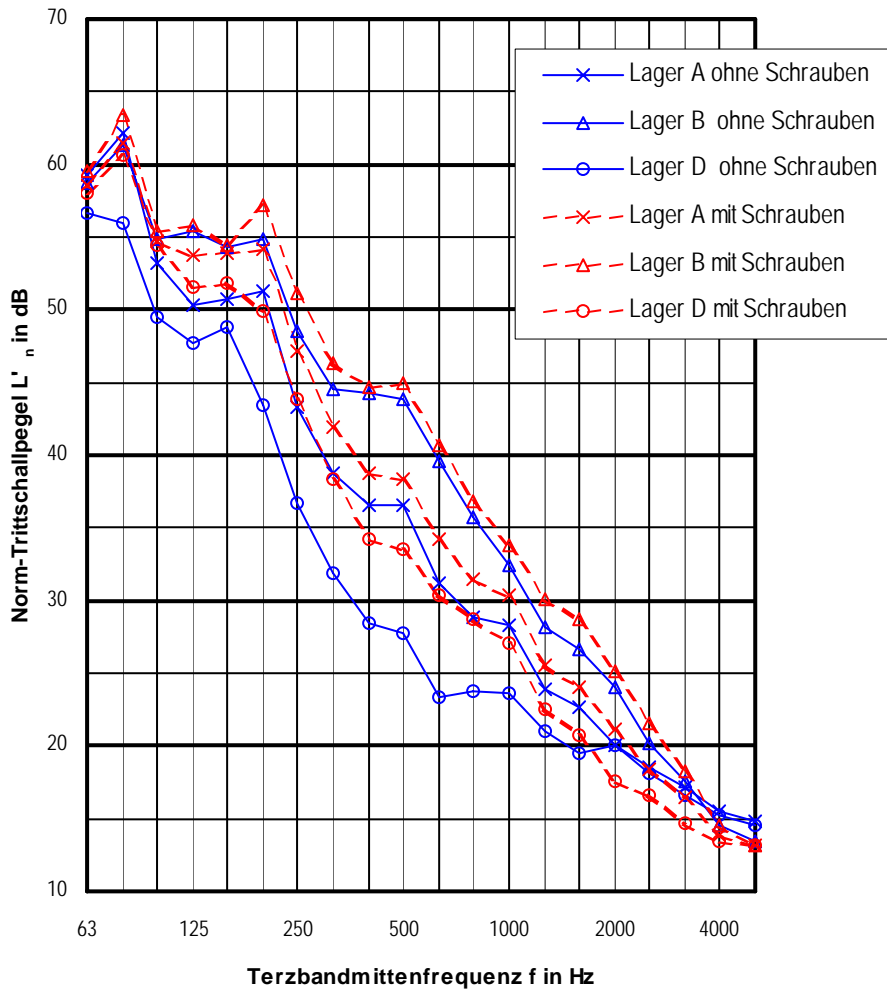


Abbildung 8-17: Norm-Trittschallpegel  $L'_n$  der Konstruktion mit unterschiedlichen Baulagern, mit und ohne Verschraubung der Rohdecke mit der darunter liegenden Wand. Dargestellt für ein Lignatur Flächenelement

### 8.2.2.2 Schwingungsmessungen

Gemessen wurden Schnellepegeldifferenzen, wie bereits beschrieben, mit Verschraubung und Variation der unter der Decke eingelegten Baulager, mit und ohne zusätzlicher Belastung von 240 kN. In Abbildung 8-18 sind für Lager B und D beispielhaft die Schnellepegeldifferenzen mit und ohne Verschraubung, sowie mit zusätzlicher Belastung und Verschraubung angeführt.

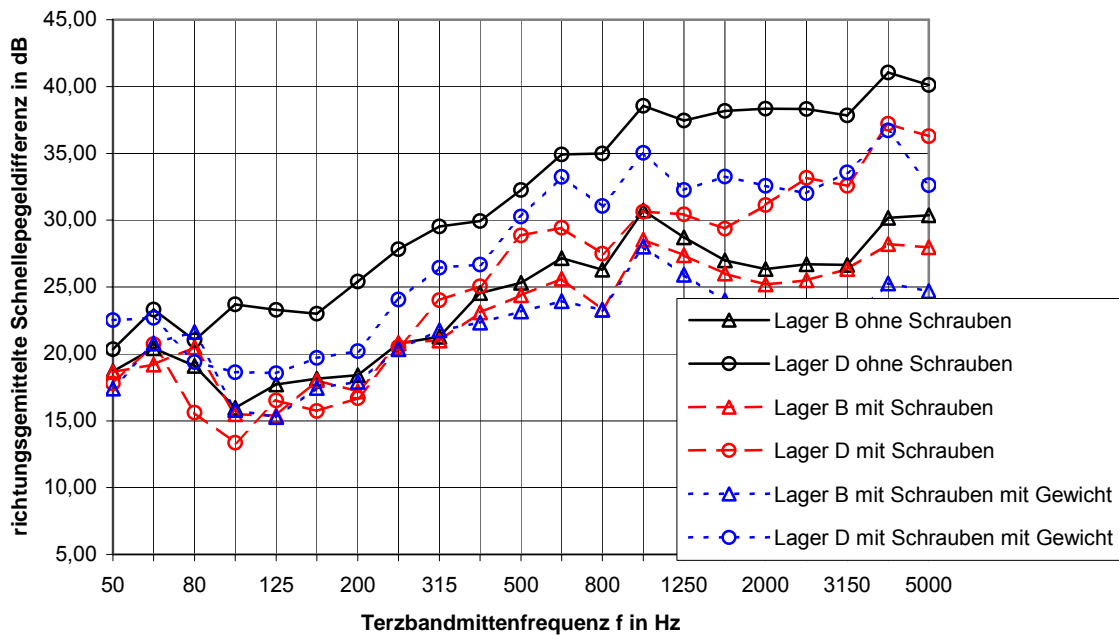


Abbildung 8-18: Richtungsgemittelte Schnellepegeldifferenzen mit und ohne Verschraubung sowie mit Verschraubung und zusätzlicher Belastung bei Lager B und D

Ein großer Einfluss der Verschraubung auf die Dämmung der Stoßstelle ist vor allem beim effizienteren Lager an der geringeren Schnellepegeldifferenz und dem langsameren Anstieg bei höheren Frequenzen erkennbar. Wie schon erwähnt, wird das Lager D der höheren Belastung angepasst, weshalb nur am Lager B der Einfluss der zusätzlichen Last erkennbar ist.

### 8.2.2.3 Einsatz schalltechnisch optimierter Befestigungsmittel

Aufgrund der durch vorangegangene Untersuchungen nachgewiesenen, offensichtlichen Verschlechterung der Stoßstellendämmung durch Befestigungsmittel bei Stoßstellen mit elastischen Zwischenschichten, wurde die akustische Wirksamkeit von schalltechnisch optimierten Befestigungsmitteln geprüft. Die Senkfräskopfschrauben wurden mit Unterlagsscheiben mit Gummiauflage versehen (ersichtlich in Abbildung 8-19) und die Winkelverbinder 105 durch eine Winkelkonstruktion gemäß Abbildung 8-20, bestehend aus einem Winkelverbinder mit aufkaschierten Baulagern, ersetzt. In beiden Fällen ist deren akustische Wirksamkeit auf den Einbau von zusätzlichen Federn zurückzuführen, wobei die statische Gebrauchstauglichkeit aufgrund der Anordnung zusätzlicher Metallelemente gewährleistet wird.

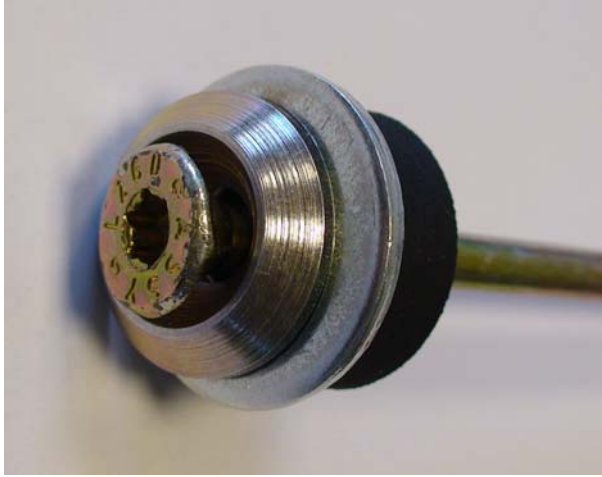


Abbildung 8-19: Schalltechnisch optimierte Verschraubung



Abbildung 8-20: Schalltechnisch optimierter Winkelverbinder

Die Untersuchungen erfolgten am beschriebenen Massivholz-Deckenprüfstand, in welchem ein Deckenaufbau gemäß Abbildung 8-21 eingebaut wurde. Gemessen wurden Norm-Schallpegeldifferenz  $D_n$  (Abbildung 8-22) und Norm-Trittschallpegel  $L'_n$  (Abbildung 8-23) für den Einbaufall des effizientesten Baulagers. Das Verbesserungspotential von schalltechnisch optimierten Winkeln und Schrauben wurde durch Variation der Befestigungsmittel quantifiziert.



Abbildung 8-21: Aufbau der geprüften Geschossdecke

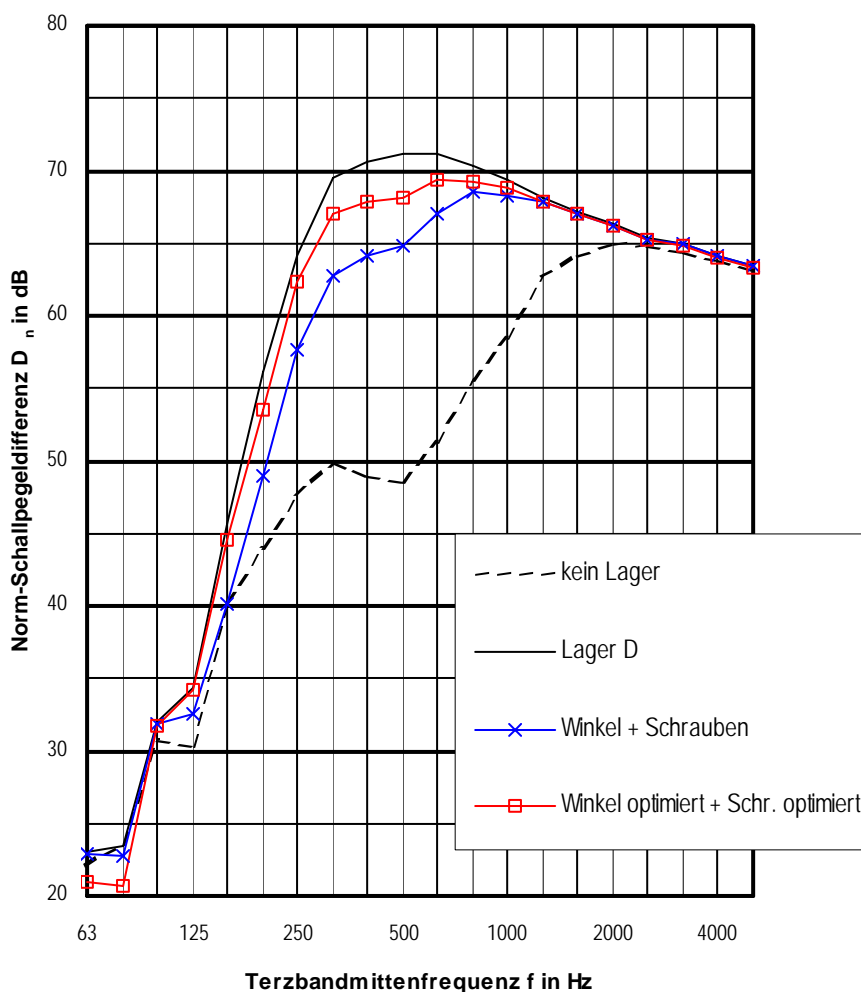


Abbildung 8-22: Norm-Schallpegeldifferenz  $D_n$  für unterschiedliche Befestigungsvarianten, elastisches Zwischenlager D über und unter der Rohdecke KLH 5s angeordnet



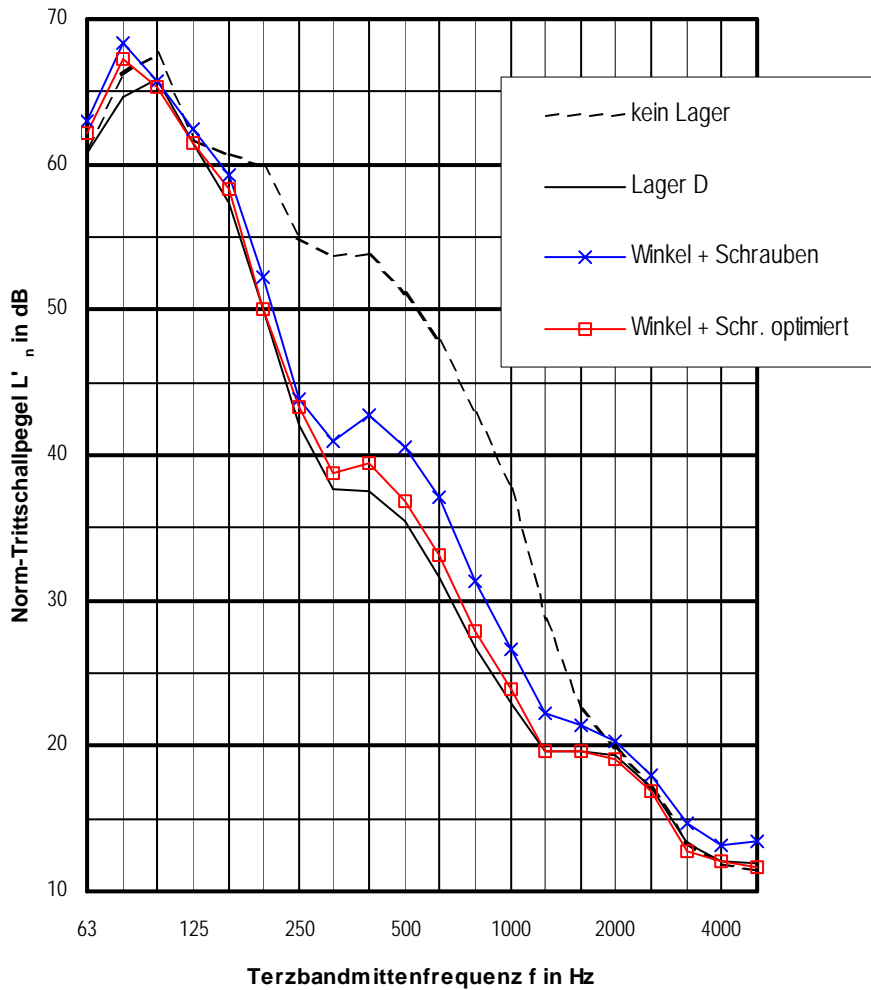


Abbildung 8-23: Norm-Trittschallpegel  $L'_n$  für unterschiedliche Befestigungsvarianten, elastisches Zwischenlager D über und unter der Rohdecke KLH 5s angeordnet

### 8.2.3 Ergebnisdiskussion

#### 8.2.3.1 Ergebnisse aus den Schallmessungen

Die bauakustische Verschlechterung der Konstruktion durch Anordnung von Befestigungsmitteln konnte nachgewiesen werden. Betrachtet man die Einzahlangaben in Tabelle 8-5, so kommt es für die bewertete Norm-Schallpegeldifferenz  $D_{n,w}$  zu einer Verschlechterung von 10 dB gegenüber der effizientesten Lagervariante ohne Befestigungsmittel. Dies entspricht nur noch einer um 4 dB höheren bewerteten Norm-Schallpegeldifferenz gegenüber der unbedämpften Variante ohne Baulager. Ähnliches trifft auch für den bewerteten Norm-Trittschallpegel  $L'_{n,w}$  zu. Während hier das effizienteste Baulager zu Verringerungen von bis zu 8 dB führt, erhöht sich  $L'_{n,w}$  durch die Verschraubung wieder um 6 dB, was nur noch einer Verbesserung von 2 dB entspricht. Generell ist die Deterioration der Verbesserung durch elastische Zwischenschichten bei Anordnung von

Befestigungsmitteln abhängig von der akustischen Qualität des Lagers, dem Aufbau des Trennbauteils und der Flankenbauteile sowie der Einbausituation.

Tabelle 8-5: Bewertete Ergebnisse für  $D_n$  und  $L'_n$  für unterschiedliche Befestigungsvarianten, elastisches Zwischenlager D über und unter der Rohdecke KLH 5s 162 mm angeordnet

KLH	kein Lager	unbefestigt	verschraubt + Winkel	verschraubt + Winkel 2x*
$D_{n,w}$ [dB]	55	69	62	59
$L'_{n,w}$ [dB]	47	39	45	45

\*Winkel 2x: doppelte Winkelanzahl

Ein Zusammenhang besteht auch zwischen der Verschlechterung und der Anzahl der eingebauten Befestigungsmittel. Aus Schallmessungen mit der doppelten Anzahl von Winkelverbindern, welche bei höheren Windlasten erforderlich sind, resultierte eine Reduktion der bewerteten Norm-Schallpegeldifferenz von 3 dB.

### 8.2.3.2 Ergebnisse aus den Schwingungsmessungen

Anhand von Schwingungsmessungen konnte nachgewiesen werden, dass elastische Zwischenschichten ab etwa 100 Hz signifikant zur Verbesserung der Flankendämmung beitragen. Betrachtet man jedoch die Verläufe der richtungsgemittelten Schnellepegeldifferenzen  $\overline{D_{v,ij}}$  in Abbildung 8-18, so weisen mit Befestigungsmitteln versehene und mit elastischen Zwischenschichten bedämpfte Stoßstellen bis etwa 250 Hz keine höhere Stoßstellendämmung auf als ohne elastische Zwischenschichten. Als besonders problematisch ist dies vor allem bezüglich der Trittschalldämmung anzusehen, da für die schalltechnische Beurteilung von Holzdecken, wie schon von Kühn und Blickle in (Kühn, Blickle 2004) erwähnt, in erster Linie der tieffrequente Bereich bis etwa 200 Hz maßgebend ist.

### 8.2.3.3 Ergebnisse aus den Messungen mit schalltechnisch optimierten Befestigungsmitteln

Prinzipiell beeinflussen also zwei wesentliche Faktoren die Funktion der elastischen Zwischenschichten bei Anordnung von Befestigungsmitteln. Einerseits erhöht sich die dynamische Steifigkeit des Baulagers aufgrund des größeren Anpressdruckes durch die Verschraubung und andererseits kommt es durch die Verbindungsmittel generell zu einer Schall-Nebenwegsübertragung. Beide Faktoren führen zu einer Verminderung der Stoßstellendämmung, was die tatsächlich in der Baupraxis erreichbare Verbesserung durch elastische Zwischenschichten begrenzt.

Die schalltechnischen Untersuchungen der Stoßstelle mit optimierten Befestigungsmitteln sind in Tabelle 8-6 angeführt, für den Bauteilaufbau aus Abbildung 8-21 gemessenen,

bewerteten Ergebnissen. Dabei wurden bei der Messung des Norm-Trittschallpegels die Schrauben optimiert und bei der Messung der Norm-Schallpegeldifferenz die Winkelverbinder durch die in Abbildung 8-20 ersichtliche, optimierte Variante ersetzt. Die durch die Standardbefestigung verursachte Verschlechterung der Stoßstellendämmung konnte durch die Anordnung der optimierten Befestigungsmittel wieder komplett kompensiert werden. Will man das Potential einer elastischen Zwischenschicht in höherem Maße ausschöpfen, so sind schalltechnisch optimierte Befestigungsmittel erforderlich.

Abschließend ist noch auf die an den Pegelverläufen in Abbildung 8-22 und Abbildung 8-23 erkennbare massive Verbesserung ab 160 dB durch die Anordnung effizienter Baulager hinzuweisen. Nur geringe Auswirkungen hat die Anordnung von elastischen Zwischenschichten jedoch im auch für Normung und Beurteilung an Bedeutung gewinnenden tiefen Frequenzbereich unter 100 Hz.

Tabelle 8-6:  $D_{n,w}$  und  $L'_{n,w}$  für unterschiedliche, teilweise optimierte, Befestigungsvarianten, elastisches Zwischenlager D über und unter der Rohdecke KLH 5s 140 mm angeordnet

KLH	kein Lager	unbefestigt	Befestigung Standard	Befestigung optimiert
$D_{n,w}$ [dB]	54	62	60	62
$L'_{n,w}$ [dB]	53	49	50	49

### 8.3 Kombiniertes Prognosemodell für den Normtrittschallpegel von Massivholz-Deckenkonstruktionen unter Berücksichtigung der Flankenübertragung

Wie bereits erwähnt ist das für den elastischen Stoß in der ÖNORM EN 12354-1 (Österreichisches Normungsinstitut 2000 11a) vorgeschlagene Berechnungsmodell der Stoßstelle gemäß Anhang E nur für einen bestimmten Fall anwendbar, zur rechnerischen Prognose von Luft- und Trittschallschutz ist daher immer die Kenntnis von gemessenen Werten von  $K_{ij}$  erforderlich. Auch das vereinfachte Modell nach (Pedersen 1995) mit dem Anstieg von  $K_{ij}$  mit  $10 \log f$  ab einer Grenzfrequenz  $f_1$  die sich nach Gleichung 8-2 errechnet führt nicht zu zufriedenstellenden Ergebnissen.

Für gegenständliches Prognosemodell soll der Ansatz der Statistischen Energie Analyse (SEA) prinzipiell beibehalten werden und sowohl der direkte Übertragungspfad, als auch jener über die Flanken getrennt ermittelt und als letzten Schritt addiert werden. Dabei soll die hierzu erforderliche Prognose von  $K_{ij}$  für Stoßstellen mit elastischen Zwischenschichten verbessert werden und so eine Berechnung ermöglichen.

### 8.3.1 Modell für die Berechnung der direkten Schallübertragung

Sind für die direkte Übertragung keine Messwerte aus Prüfständen mit unterdrückten Flankenwegen vorhanden, so kann entweder auf eine Berechnung mit Einzahlwerten nach (Holtz et al. 1999) bzw. dem Trittschallberechnungsprogramm TrittsCHALLPROgnose von ssih in Rosenheim zurückgegriffen werden, oder eine terzweise Berechnung des Norm-Trittschallpegels der Geschosdecke nach dem vereinfachte Impedanzmodell nach (Kühn, Blickle 2004) erfolgen. Wie bereits erwähnt werden bei letztgenanntem nur die für den Holzbau relevanten tiefen Frequenzen bis 200 Hz berücksichtigt und der Norm-Trittschallpegel der Konstruktion terzweise nach Gleichung 7-3 errechnet. Beispielhaft angewendet auf die geprüften Konstruktionen nach Abbildung 8-24 erhält man die in Abbildung 8-25 aufgetragenen Norm-Trittschallpegel mit den jeweiligen Einzahlwerten gemäß Tabelle 8-9.

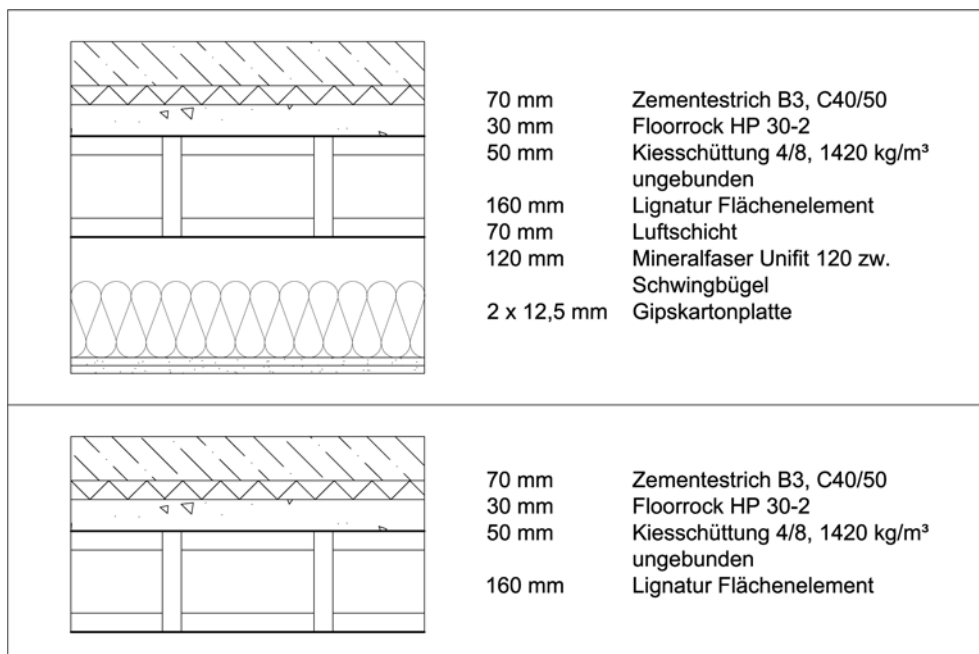


Abbildung 8-24: Geprüfte Deckenkonstruktionen Lignatur Flächenelement 160 mm mit und ohne Unterdecke

Rechengang für die Ermittlung des Norm-Trittschallpegels der Deckenkonstruktion mit dem vereinfachten Impedanzmodell nach (Kühn, Blickle 2004):

Um in Gleichung 7-3 einzusetzen sind folgende Parameter aus Gleichung 8-3 bis Gleichung 8-7 vorab zu ermitteln:

$$\text{Gleichung 8-3: } Z_{B_0} = 2,67 \cdot \rho_0 \cdot H_0 \cdot B_0 \cdot \sqrt{c_0 \cdot H_0 \cdot f} (1 + i)$$

$$H_0 = 0,2 \text{ m; } B_0 = 0,12 \text{ m; } c_0 = 2500 \text{ m/s;}$$

Gleichung 8-4:  $Z_B = 2,67 \cdot \rho \cdot H \cdot B \cdot \sqrt{c \cdot H \cdot f} (1 + i)$

$\rho = 490 \text{ kg/m}^3$ ,  $H = 0,16 \text{ m}$ ;  $B = 0,12$ ;

Gleichung 8-5:  $Z_M = 2,67 \cdot e \cdot \sqrt{c \cdot H \cdot f} \cdot (m_{b1} + m_{b2}) i$

$e = 0,65 \text{ m}$ ;  $m_{b1} = 165,48 \text{ kg}$ ;  $m_{b2} = 116 \text{ kg}$ ;

Gleichung 8-6:  $f_{0d} = 161 \cdot \sqrt{s_d \cdot \left( \frac{1}{m_{d1}} + \frac{1}{m_{d2}} \right)}$  Hz

$s_d = 0,8 \text{ MN/m}^3$ ;  $m_{d1} = 22 \text{ kg}$ ;  $m_{d2} = 111 \text{ kg}$ ;

Gleichung 8-7:  $f_{0b} = 161 \cdot \sqrt{s_b \cdot \left( \frac{1}{m_{b1}} + \frac{1}{m_{b2}} \right)}$  Hz

$s_b = 35 \text{ MN/m}^3$ ;

Weiters werden die Verlustfaktoren der Dämmschichten gemäß Empfehlung von (Kühn, Blickle 2004) auf  $d_b = 0,1$  und  $d_d = 0,4$  gesetzt und folgende Eingangsdaten angewendet:

Zementestrich bewehrt:  $\rho = 2364 \text{ kg/m}^3$  (lt. Prüfgutachten Hersteller),  $d = 0,07 \text{ m}$

Beplankung Unterdecke Gipskarton 2-lagig:  $\rho = 900 \text{ kg/m}^3$ ,  $d = 0,025 \text{ m}$ , Höhe  $h = 0,19 \text{ m}$

Daraus wurden die in Tabelle 8-7 und Tabelle 8-8 angeführten Normtrittschallpegel für die Deckenkonstruktion aus Abbildung 8-24 errechnet.

Tabelle 8-7: Berechnung der Norm-Trittschallpegel nach (Kühn, Blickle 2004) für Geschosdecke Lignatur ohne Unterdecke

f	Z <sub>B0</sub>	Z <sub>B0i</sub>	Z <sub>B</sub>	Z <sub>bi</sub>	Z <sub>mi</sub>	Z	L <sub>n0</sub>	L <sub>n,Liq</sub>
[Hz]							[dB]	[dB]
16	2808,43	2808,43	2009,55	2009,55	39083,46	0,0965	75,0	54,8
20	3139,92	3139,92	2246,74	2246,74	43696,64	0,0965	76,0	55,8
25	3510,54	3510,54	2511,94	2511,94	48854,33	0,0965	76,0	55,9
32	3940,57	3940,57	2819,64	2819,64	54838,84	0,0965	76,5	56,5
40	4440,52	4440,52	3177,38	3177,38	61796,38	0,0965	77,0	57,2
50	4964,65	4964,65	3552,41	3552,41	69090,45	0,0965	77,0	57,5
63	5572,81	5572,81	3987,57	3987,57	77553,84	0,0965	77,5	58,5
80	6279,84	6279,84	4493,49	4493,49	87393,27	0,0965	78,0	60,1
100	7021,07	7021,07	5023,87	5023,87	97708,65	0,0965	79,0	62,9
125	7849,80	7849,80	5616,86	5616,86	109241,59	0,0965	82,5	66,8
160	8881,03	8881,03	6354,75	6354,75	123592,75	0,0965	83,0	63,0
200	9929,30	9929,30	7104,83	7104,83	138180,90	0,0965	83,0	59,8
250	11101,29	11101,29	7943,44	7943,44	154490,94	0,0965	83,0	57,2
315	12461,17	12461,17	8916,49	8916,49	173415,65	0,0965	83,0	54,8
400	14042,15	14042,15	10047,74	10047,74	195417,30	0,0965	84,0	53,5
500	15699,60	15699,60	11233,72	11233,72	218483,18	0,0965	84,0	51,4
630	17622,76	17622,76	12609,82	12609,82	245246,77	0,0965	84,0	49,3
800	19858,60	19858,60	14209,66	14209,66	276361,80	0,0965	84,0	47,2
1000	22202,59	22202,59	15886,88	15886,88	308981,88	0,0965	84,0	45,2
1250	24823,25	24823,25	17762,07	17762,07	345452,24	0,0965	84,0	43,2
1600	28084,30	28084,30	20095,49	20095,49	390834,60	0,0965	84,0	41,1
2000	31399,20	31399,20	22467,44	22467,44	436966,37	0,0965	84,0	39,1
2500	35105,37	35105,37	25119,36	25119,36	488543,25	0,0965	84,0	37,2
3150	39405,68	39405,68	28196,41	28196,41	548388,44	0,0965	84,0	35,2
4000	44405,17	44405,17	31773,76	31773,76	617963,76	0,0965	84,0	33,1
5000	49646,49	49646,49	35524,14	35524,14	690904,49	0,0965	84,0	31,2

Tabelle 8-8: Berechnung der Norm-Trittschallpegel nach (Kühn, Blickle 2004) für Geschosdecke Lignatur mit Unterdecke

f	Z <sub>B0</sub>	Z <sub>B0i</sub>	Z <sub>B</sub>	Z <sub>bi</sub>	Z <sub>mi</sub>	Z	L <sub>n0</sub>	L <sub>n,LigmUD</sub>
[Hz]							[dB]	[dB]
16	2808,43	2808,43	2009,55	2808,43	39083,46	0,0965	75,0	56,1
20	3139,92	3139,92	2246,74	3139,92	43696,64	0,0965	76,0	57,9
25	3510,54	3510,54	2511,94	3510,54	48854,33	0,0965	76,0	59,2
32	3940,57	3940,57	2819,64	3940,57	54838,84	0,0965	76,5	61,3
40	4440,52	4440,52	3177,38	4440,52	61796,38	0,0965	77,0	60,7
50	4964,65	4964,65	3552,41	4964,65	69090,45	0,0965	77,0	56,4
63	5572,81	5572,81	3987,57	5572,81	77553,84	0,0965	77,5	52,4
80	6279,84	6279,84	4493,49	6279,84	87393,27	0,0965	78,0	49,3
100	7021,07	7021,07	5023,87	7021,07	97708,65	0,0965	79,0	48,0
125	7849,80	7849,80	5616,86	7849,80	109241,59	0,0965	82,5	48,2
160	8881,03	8881,03	6354,75	8881,03	123592,75	0,0965	83,0	40,3
200	9929,30	9929,30	7104,83	9929,30	138180,90	0,0965	83,0	33,5
250	11101,29	11101,29	7943,44	11101,29	154490,94	0,0965	83,0	27,3
315	12461,17	12461,17	8916,49	12461,17	173415,65	0,0965	83,0	21,2
400	14042,15	14042,15	10047,74	14042,15	195417,30	0,0965	84,0	16,1
500	15699,60	15699,60	11233,72	15699,60	218483,18	0,0965	84,0	10,5
630	17622,76	17622,76	12609,82	17622,76	245246,77	0,0965	84,0	4,8
800	19858,60	19858,60	14209,66	19858,60	276361,80	0,0965	84,0	-1,1
1000	22202,59	22202,59	15886,88	22202,59	308981,88	0,0965	84,0	-6,5
1250	24823,25	24823,25	17762,07	24823,25	345452,24	0,0965	84,0	-12,0
1600	28084,30	28084,30	20095,49	28084,30	390834,60	0,0965	84,0	-18,0
2000	31399,20	31399,20	22467,44	31399,20	436966,37	0,0965	84,0	-23,4
2500	35105,37	35105,37	25119,36	35105,37	488543,25	0,0965	84,0	-28,9
3150	39405,68	39405,68	28196,41	39405,68	548388,44	0,0965	84,0	-34,5
4000	44405,17	44405,17	31773,76	44405,17	617963,76	0,0965	84,0	-40,3
5000	49646,49	49646,49	35524,14	49646,49	690904,49	0,0965	84,0	-45,7

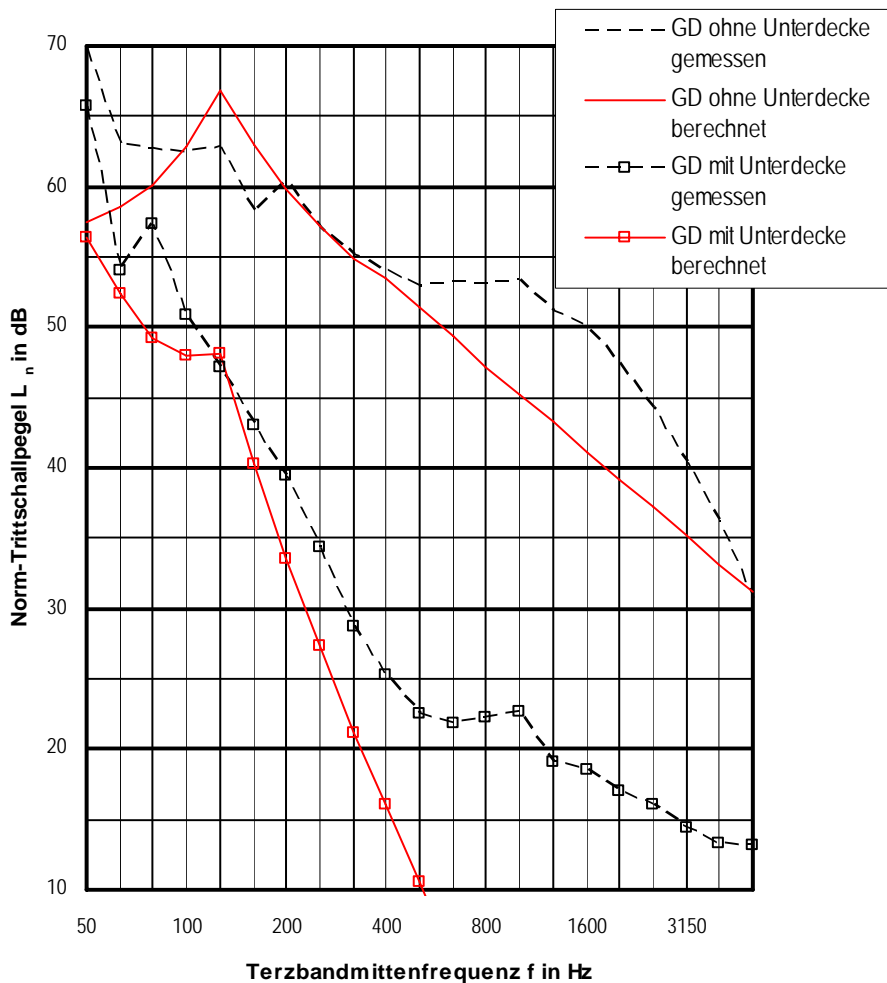


Abbildung 8-25: Norm-Trittschallpegel  $L_n$  der obigen Geschossdecken gemessen und berechnet nach (Kühn, Blickle 2004)

Tabelle 8-9: Bewertete Norm-Trittschallpegel  $L_{n,w}$  der obigen Geschossdecken

LIGNATUR	GD ohne Unterdecke		GD mit Unterdecke	
	gemessen	berechnet nach Kühn und Blickle	gemessen	berechnet nach Kühn und Blickle
$L_{n,w}$ [dB]	56	54	36	33

Aufgrund der erkennbaren Differenzen bei den Einzulangaben, sind nach Möglichkeit Messergebnisse aus dem Prüfstand in eine weitere Berechnung des bewerteten Norm-Trittschallpegels  $L'_{n,w}$  der gesamten Konstruktion einzusetzen.



### 8.3.2 Berechnungsmodell für die Flankenübertragung mit elastischen Zwischenschichten

Wie bereits in Kapitel 8.1 nachgewiesen, besteht die Möglichkeit den über die Flanken übertragenen Norm-Trittschallpegel  $L_{n,Df}$  gemäß Gleichung 8-1 mit hinreichender Genauigkeit zu bestimmen, sofern das Stoßstellendämm-Maß bzw. die Schnellepegeldifferenz bekannt ist. Für gewöhnlich ist dies derzeit nie der Fall, was eine Prognose unmöglich macht. Daher soll an dieser Stelle die Möglichkeit der Prognose von  $K_{ij}$  vorgestellt werden.

In Abbildung 8-26 sind Messergebnisse von  $K_{ij}$  mit unterschiedlichen Baulagern ersichtlich. Dabei ist festzustellen, dass die Regressionsgeraden der Vollgummilager durchaus der von Pedersen getätigten Aussage, wonach ab einer Frequenzgrenze  $f_1$  mit einer Steigung von  $10 \log f$  zu rechnen ist, entsprechen. Baulager mit vom Rechteckquerschnitt abweichender Geometrie zeigen jedoch nicht diesen Verlauf, sondern weisen geringere Steigungen auf, die sich außerdem durch unterschiedliche Belastung verändern. Die Frequenzgrenze  $f_1$  selbst errechnet sich nach Pedersen gemäß Gleichung 8-2. Dies konnte jedoch nicht bestätigt werden. Vielmehr konnte die Übereinstimmung von  $f_1$  mit der Resonanzfrequenz  $f_0$ , welche nach Gleichung 4-4 ermittelt wird, empirisch nachgewiesen werden.

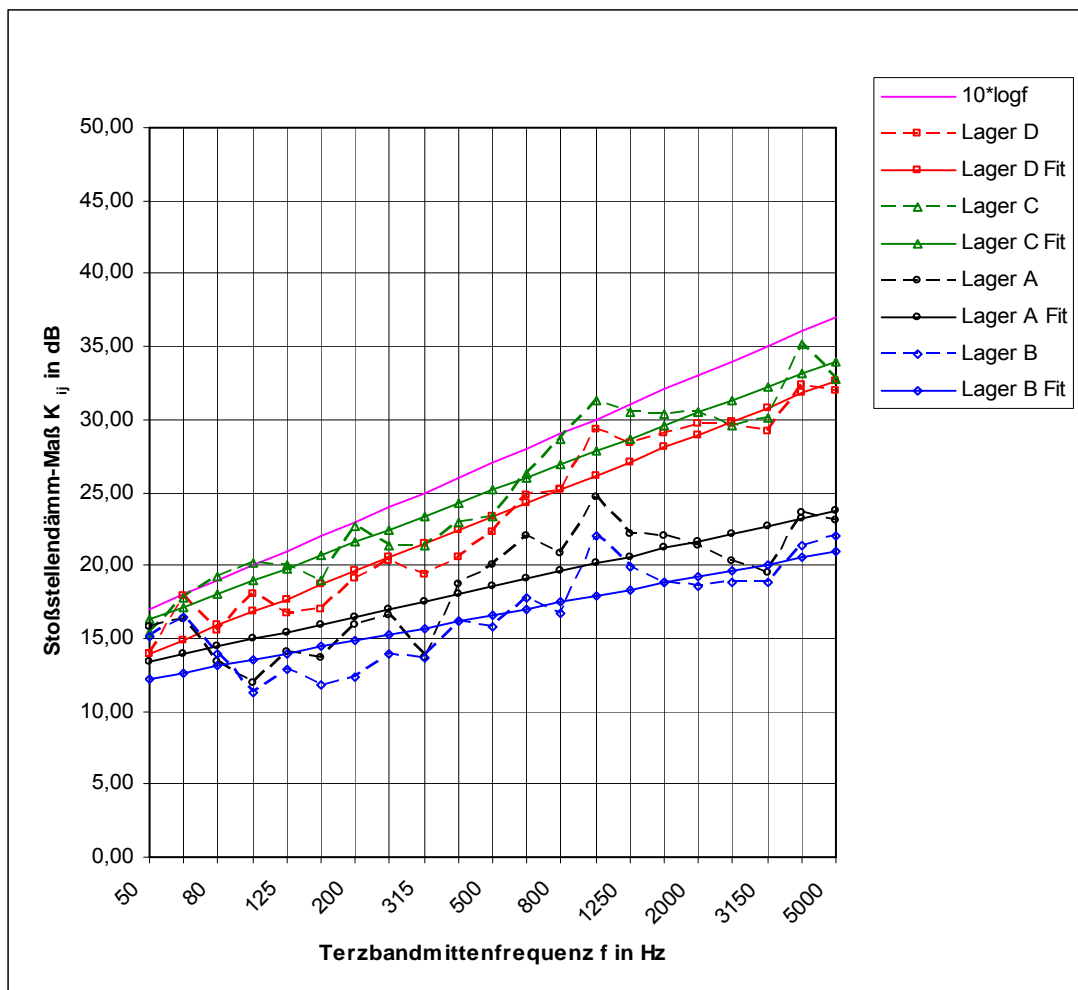


Abbildung 8-26: Stoßstellendämm-Maße  $K_{ij}$  unterschiedlicher Lager

Eine Verschraubung der an die Stoßstelle grenzenden Bauteile bewirkt keine Änderung der Steigung sondern erhöht die Frequenzgrenze  $f_1$  bei welcher der Verlauf von  $K_{ij}$  vom unbedämpften Stoß mit frequenzunabhängigem  $K_{ij}$  in den elastischen Stoß übergeht (Abbildung 8-27).

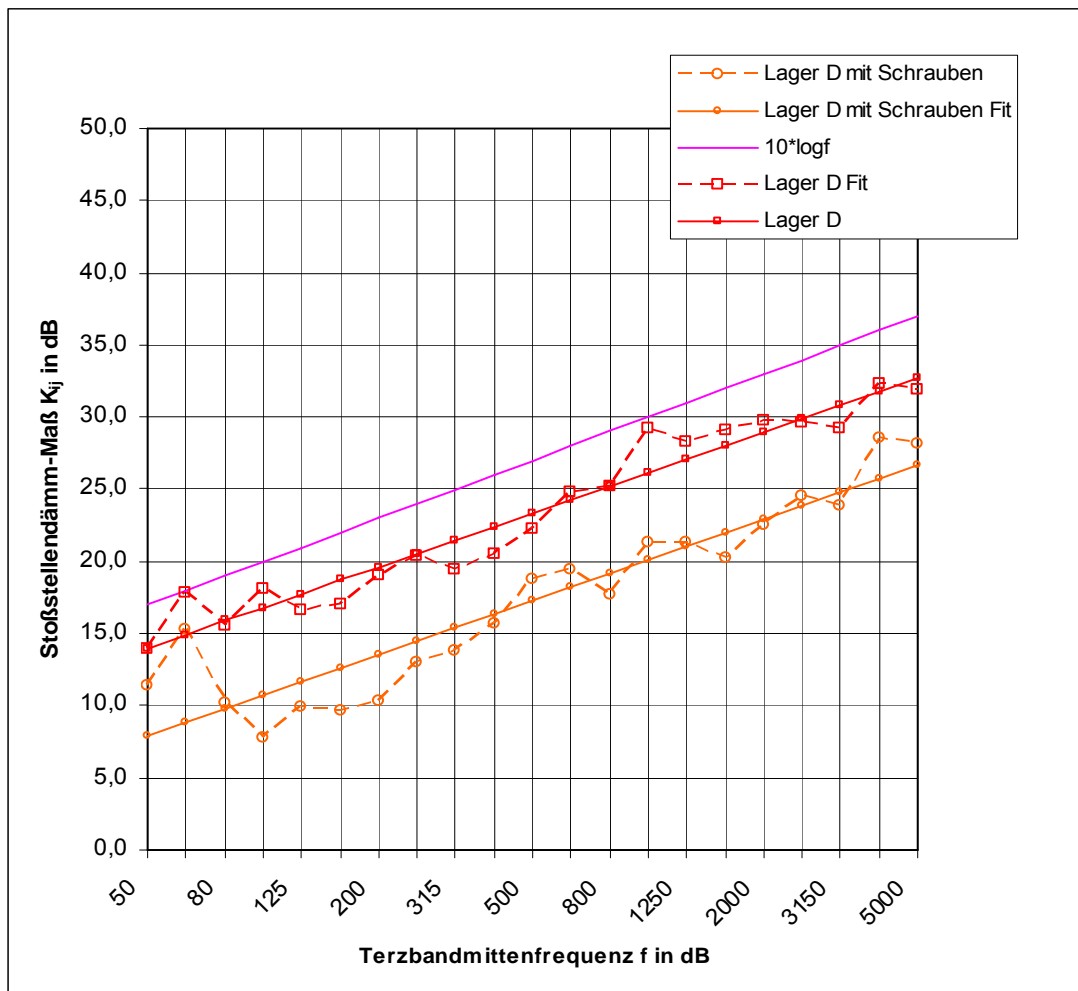


Abbildung 8-27: Stoßstellendämm-Maße  $K_{ij}$  von Lager D mit und ohne Verschraubung

Auch eine Erhöhung der Belastung (Abbildung 8-28) bewirkt beim rechteckigen, homogenen Vollgummilager keine Änderung der Steigung, die Frequenzgrenze muss jedoch neu berechnet werden. Bei Lagern mit nicht rechteckigem Querschnitt führt höhere Belastung zu einer Verschiebung der Frequenzgrenze noch oben und gleichzeitig zu einem stärkeren Anstieg von  $K_{ij}$  bei höheren Frequenzen.

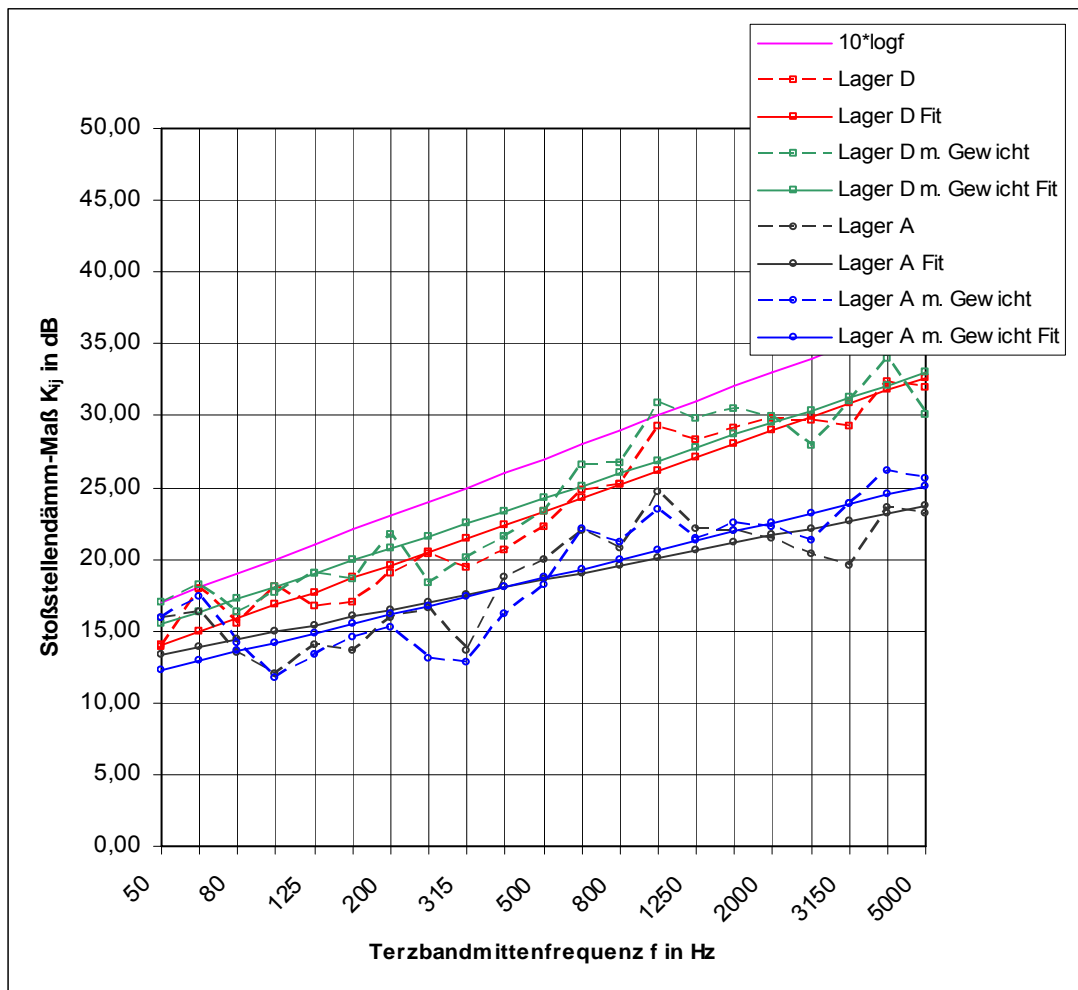


Abbildung 8-28: Stoßstellendämm-Maße  $K_{ij}$  von Lager A und D mit und ohne Belastung

Aus diesen Erkenntnissen lässt sich nun zumindest für Vollgummilager folgende Prognose gemäß Gleichung 8-8 ableiten:

$$\text{Gleichung 8-8: } L_{n,Df} = L_n - \Delta L + \frac{R_D - R_f}{2} - \Delta R_f - K_{ij} + 10 \lg \frac{l_{ij}}{\sqrt{a_i a_j}} - 10 \lg \sqrt{\frac{S_D}{S_f}} \text{ dB}$$

für  $K_{ij} < f_1$ : ungedämpfter Stoß lt. EN 12354 Anhang E

für  $K_{ij} > f_1$ : Steigung mit  $10 \cdot \log f$

Für Lager mit einer vom Rechteckquerschnitt abweichenden Form wären die Steigungen der Geraden bei unterschiedlichen Belastungen zu ermitteln und dann anhand dieser Steigungs- und Belastungsrelation daraus für den jeweiligen Lastfall das  $K_{ij} > f_1$  zu ermitteln.

Abbildung 8-29 zeigt die Ergebnisse von Messung und Berechnung für den über die Flanken übertragenen Norm-Trittschallpegel für den obigen Beispielaufbau im beschriebenen Prüfstand.

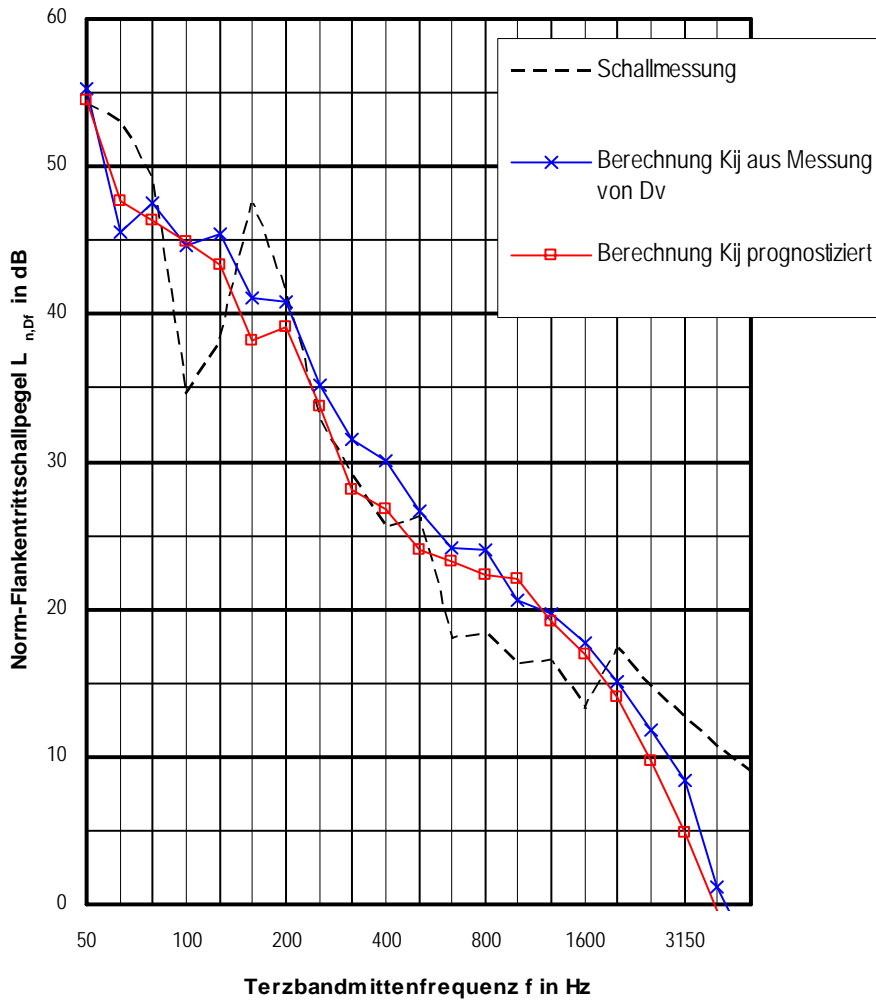


Abbildung 8-29: Messung und Berechnung des über die Flanken übertragenen Norm-Trittschallpegels  $L_{n,Df}$ . Dabei wird das für die Berechnung erforderliche  $K_{ij}$  einmal aus den gemessenen Schnellepegeldifferenzen  $D_v$  errechnet und einmal nach der dargestellten Methode prognostiziert und dem Ergebnis der Schallmessung gegenübergestellt

### 8.3.3 Kombination der Ergebnisse aus den beiden Übertragungswegen

Die Ermittlung des Norm-Trittschallpegels der Gesamtkonstruktion erfolgt aus der Kombination der beiden obig beschriebenen Übertragungswege nach Gleichung 2-21. Die komplette Berechnung für die Situation ohne Verschraubung, mit Baulager D, inklusive Flanken für die geprüfte Deckenkonstruktion Lignatur 160 mm ist in Tabelle 8-10 dargestellt.

Tabelle 8-10: Berechnung des Norm-Trittschallpegels in situ  $L'_n$  der Geschosdecke gemäß Abbildung 8-24 oben, unter Berücksichtigung der Flankenübertragung auf 4 Massivholzwände aus KLH 3s 10cm

$f$ [Hz]	Prognose $K_{ij}$					Berechnung	Berechn. direkt+Flanken		Messung
	unbed. Stoß $K_{ij}$ [dB]	$10\log f$	Lager D $K_{ij}$ [dB]	Lager D Fit $K_{ij}$ [dB]	Lager D rech $K_{ij}$ [dB]	$L_{n,Df}$ [dB]	Decke direkt $L_{n,D}$ [dB]	$L'_n$ [dB]	$L'_n$ [dB]
10	9,0	10,0		7,4	9,0				
13	9,0	11,1		8,4	9,0				
16	9,0	12,0		9,4	9,0				
20	9,0	13,0		10,2	10,0				
25	9,0	14,0		11,2	11,0				
32	9,0	15,0		12,1	12,0				
40	9,0	16,0		13,1	13,0				
50	9,0	17,0	13,9	14,0	13,9	54,5	65,7	66,0	66,0
63	9,0	18,0	17,9	14,9	14,9	47,7	54,1	55,0	56,6
80	9,0	19,0	15,5	15,9	16,0	46,3	57,4	57,7	58,0
100	9,0	20,0	18,1	16,8	17,0	45,0	50,9	51,9	51,0
125	9,0	21,0	16,7	17,7	17,9	43,3	47,2	48,7	47,7
160	9,0	22,0	17,0	18,7	19,0	38,2	43,0	44,2	48,8
200	9,0	23,0	19,0	19,6	20,0	39,1	39,5	42,3	43,5
250	9,0	24,0	20,3	20,5	20,9	33,7	34,4	37,1	36,7
315	9,0	25,0	19,4	21,5	21,9	28,1	28,7	31,4	31,9
400	9,0	26,0	20,6	22,4	23,0	26,8	25,3	29,1	28,4
500	9,0	27,0	22,2	23,3	23,9	24,1	22,5	26,4	27,8
630	9,0	28,0	24,8	24,3	24,9	23,2	21,8	25,6	23,3
800	9,0	29,0	25,2	25,2	26,0	22,3	22,2	25,3	23,7
1000	9,0	30,0	29,3	26,1	27,0	22,1	22,7	25,4	23,6
1250	9,0	31,0	28,3	27,0	27,9	19,2	19,1	22,2	21,0
1600	9,0	32,0	29,1	28,1	29,0	17,0	18,6	20,9	19,7
2000	9,0	33,0	29,8	29,0	30,0	14,0	17,0	18,8	20,2
2500	9,0	34,0	29,7	29,9	30,9	9,7	16,0	16,9	18,4
3150	9,0	35,0	29,2	30,8	31,9	4,9	14,4	14,9	16,6
4000	9,0	36,0	32,4	31,8	33,0	-0,3	13,3	13,5	15,2
5000	8,99	36,99	31,90	32,68	33,94	-6,3	13,1	13,1	14,5

Die Übereinstimmung des berechneten und gemessenen Frequenzverlaufes von  $L'_n$  kann Abbildung 8-30 entnommen werden. Dargestellt sind die Ergebnisse mit und ohne Befestigungsmittel unter Berücksichtigung des unter der Decke eingelegten Baulagers D.

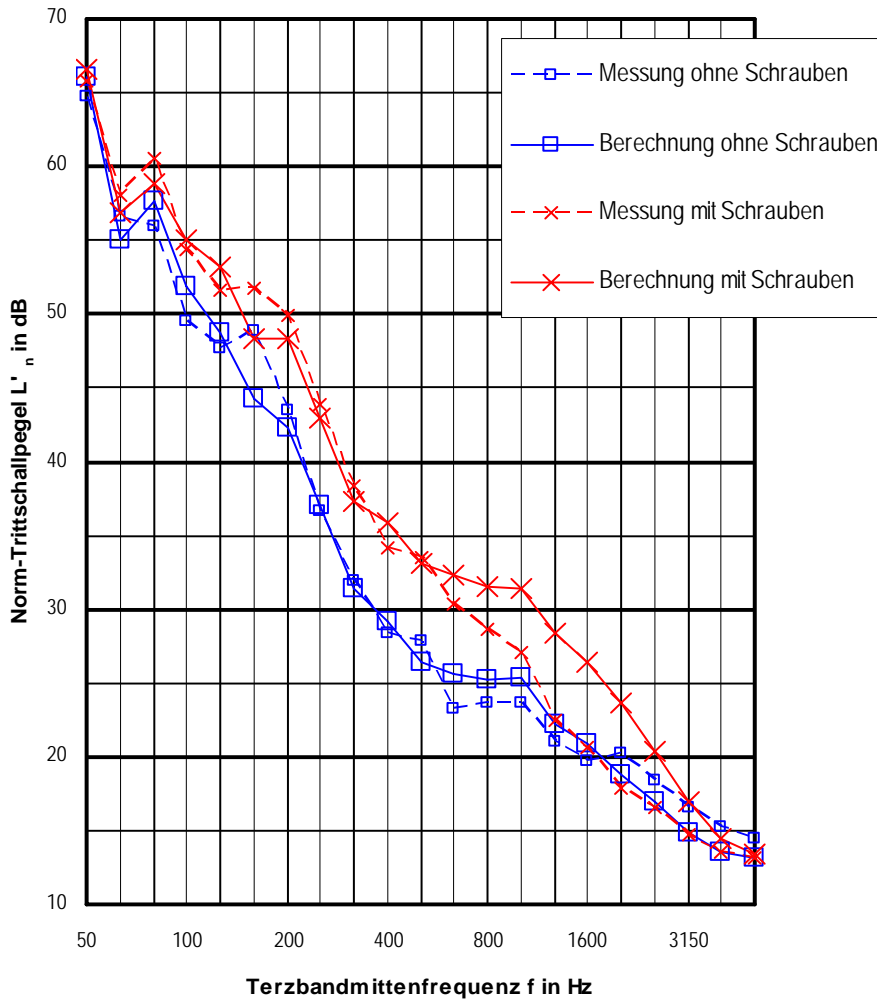


Abbildung 8-30: Messung und Berechnung des Norm-Trittschallpegels  $L'_{n}$  mit und ohne Schrauben. Die Berechnung erfolgte unter Anwendung des beschriebenen Prognoseverfahrens

Betrachtet man die Einzahlangaben  $L'_{n,w}$  in Tabelle 8-11, so sind Differenzen zw. Messung und Berechnung von bis zu 1 dB zu erkennen. Eine Genauigkeit die durchaus im für eine bauakustische Prognose vertretbaren Bereich liegt.

Tabelle 8-11: Bewerteter Norm-Trittschallpegel  $L'_{n,w}$  mit und ohne Befestigungsmittel, Messung und Berechnung

LIGNATUR	ohne Schrauben		mit Schrauben	
	gemessen	berechnet	gemessen	berechnet
Lager D				
$L'_{n,w}$ [dB]	38	37	42	42

## 9 Zusammenfassung

Nachdem mehrgeschossige Wohnbauten in Massivholzkonstruktion auch im urbanen Umfeld mehr und mehr an Bedeutung gewinnen, wächst der Bedarf an zuverlässiger Prognose der Schalldämmung. Die Vorhersage erfolgt üblicherweise gemäß EN 12354, welche jedoch für mineralische Massivkonstruktionen entwickelt wurde und keine Eingangsdaten für Massivholzkonstruktionen enthält. In einem ersten Schritt ist demnach die Anwendbarkeit erwähnter Norm zu untersuchen und erforderliche Eingangsdaten zu ermitteln.

Zur Erstellung einer umfangreichen Datensammlung zur Direkt- und Flankenübertragung bei Massivholzkonstruktionen war die Planung und Errichtung von Prüfständen erforderlich. Dabei wurde neben drei verschiedenen Massivdeckenvarianten auch der Einfluss von 4 verschiedenen, ebenfalls von Firmenpartnern zur Verfügung gestellten, Baulagern für die Fälle mit und ohne zusätzlicher Belastung eruiert.

Die an den Prüfständen ermittelten Eingangsdaten wurden in die Berechnung der Schalldämmung nach EN 12354 für den Trittschall eingesetzt und mit den aus Schallmessungen gewonnenen Ergebnissen verglichen um die Anwendbarkeit erwähnter Norm zu verifizieren. Bei den Einzahlangaben stimmt die normgemäße Prognose nach ÖNORM EN 12354-2 (Österreichisches Normungsinstitut 2000 11b) gut mit den bauakustisch gemessenen Ergebnissen überein. Hier wurden Differenzen der berechneten und gemessenen bewerteten Norm-Trittschallpegel von 0 bis 2 dB ermittelt. Bei genauerer Betrachtung des Frequenzganges ist jedoch Verbesserungspotential im Frequenzbereich um 800 Hz vorhanden. Für die Stoßstelle wurden dabei ausschließlich im Prüfstand gemessene Werte eingesetzt, welche in der Baupraxis nicht zur Verfügung stehen und auch in erwähnter Norm für flexible Zwischenschichten in Stoßstellen nicht in für deren Anwendung befriedigender Weise abgehandelt werden.

In einem weiteren Schritt wurde die Übertragbarkeit der Messergebnisse auf die Bausituation durch den Einbau bauüblicher Befestigungsmittel geklärt. Parallel waren hierzu Methoden zu entwickeln, die eine mögliche Verschlechterung der Flankendämmung durch Befestigungsmittel verhindern bzw. reduzieren.

Es wurde der Einfluss von den im Massivholzbau statisch erforderlichen Befestigungsmitteln auf die Flankenübertragung bei Verwendung von elastischen Zwischenschichten mittels Schall- und Schwingungsmessungen nachgewiesen. Verschlechterungen der bewerteten Norm-Schallpegeldifferenz um bis zu 10 dB und des bewerteten Norm-Trittschallpegels um bis zu 6 dB durch die Anordnung von standardisierten Befestigungsmitteln wurden gemessen.

Da die Befestigungsmittel je nach Konstruktion teilweise zu massiven Verschlechterungen der Flankendämmung führten, wurden schalltechnisch optimierte Befestigungsmittel am Markt gesucht und teilweise mit Projektpartnern neu entwickelt und am Prüfstand bauakustischen Untersuchungen unterzogen. Dabei konnte die Verbesserung der Flankendämmung durch den Einsatz akustisch optimierter Befestigungsmittel an einem Versuchsaufbau mit Trockenestrich und abgehängter Decke quantifiziert werden. Aus diesen Untersuchungen resultierte auch ein neues Produkt. Ein schalltechnisch optimierter Winkelverbinder (Abbildung 8-20), welcher nach der Durchführung der erforderlichen Zulassungsprüfungen am Markt erhältlich sein soll.

Unter Berücksichtigung vorangegangener Erkenntnisse aus den durchgeführten Messreihen am Prüfstand wurde ein Prognosemodell erstellt, anhand dessen sich die Stoßstelle nur über die Lagereigenschaften und die aktuelle Belastung und Befestigung definiert. Ein Vergleich zwischen Messung und Berechnung führte zu zufriedenstellenden Ergebnissen.

## 10 Ausblick

Der Einfluss von Befestigungsmitteln auf die Flankenübertragung bei Verwendung von elastischen Zwischenschichten konnte mittels Schall- und Schwingungsmessungen nachgewiesen werden. Während für Baulager mit rechteckigem Querschnitt eine Prognose mit erläuterten Verfahren mit zufriedenstellender Genauigkeit möglich ist, müssen für Lager mit unregelmäßigem Querschnitt noch Stoßstellendämm-Maße unter unterschiedlicher Belastung ermittelt werden um eine belastungsabhängige Kurve für die Steigung oberhalb der Frequenzgrenze  $f_1$  annähern zu können. Weiters sind Untersuchungen mit höherer und geringerer Anzahl von Verschraubungen durchzuführen um die Frequenzgrenze für verschiedene Befestigungsfälle definieren zu können. Ebenso stehen zu wenig Daten bezüglich der Körperschall-Nachhallzeit  $T_s$  von Massivholzelementen für unterschiedliche Belastungen und Abmessungen zur Verfügung.

In gegenständlichem Forschungsprojekt wurden unterschiedliche vereinfachte Modelle weiterentwickelt und kombiniert. Die Validierung dieses Berechnungsverfahrens durch Anwendung auf weitere schalltechnisch gemessene Konstruktionen wäre notwendig. Weiters könnte durch weitere Schallmessungen am Prüfstand mit unterschiedlichen Belastungen eine Datenbank angelegt werden, die es ermöglicht das Prognoseverfahren auch auf nicht rechteckige, inhomogene Baulager anzuwenden.

Ein tieferes Verständnis für die Schwingungsvorgänge in Massivholzplatten ist jedoch erforderlich, eine Modellierung mittels geeigneter, rechnerunterstützter Verfahren, die durch weitere Versuchsreihen validiert werden, daher sinnvoll. Als nächster Schritt hierzu wird an



einem 2x3x1 m großen Rahmen aus Brettsper Holz KLH 3s-Platten die Körperschallausbreitung und Schwingung dieser Holzkonstruktion im Labor untersucht.

Bezüglich der akustisch optimierten Befestigungsmittel wurde deren schalltechnische Wirksamkeit nachgewiesen sowie die statische Eignung der optimierten Schrauben im Rahmen von Vorversuchen geprüft. Für die akustisch verbesserten Winkelverbinder ist nach produktionstechnischer Optimierung noch eine Europäische Technische Zulassung zu beantragen.

## 11 Literatur

Bednar, T., Vodicka, M., Dreyer, J. (2000): Entwicklung im mehrgeschossigen Holzbau am Beispiel des Schallschutzes der Trenndecken: ÖPG 2000.

Böhmer, S. (2006): Stoßstellendämmung einschaliger Bauteile mit elastischen Zwischenschichten. Diplomarbeit. Hochschule für Technik Stuttgart.

Cremer, L., Heckl, M. (1995): Körperschall. Physikalische Grundlagen und technische Anwendungen. 2., völlig neubearbeitete Auflage: Springer-Verlag GmbH & Co. KG.

Fasold, W., Sonntag, E., Winkler Helgo (1987): Bau- und Raumakustik. Bauphysikalische Entwurfslehre. Berlin: VEB Verlag für Bauwesen.

Fasold, W., Veres, E. (2003): Schallschutz und Raumakustik in der Praxis. Planungsbeispiele und konstruktive Lösungen. 2. Aufl. Berlin: Huss-Medien Verl. Bauwesen.

Fischer, H.-M., Freymuth, H., Häupl, P., Homann, M., Jenisch, R., Richter, E., Stohrer, M. (2008): Lehrbuch der Bauphysik. Schall - Wärme - Feuchte - Licht - Brand - Klima. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden.

Gerretsen, E. (2003): Prediction of sound insulation in buildings: A tool to improve the acoustic quality. In: DEGA (Hg.): DAGA 2003. Aachen.

Gudmundsson, S. (1984): Transmission of structure-borne sound at various types of junctions with thin elastic layers. Report TVBA-3016. Schweden.

Holtz, F., Buschbacher H.P., Rabold, A. (1997): Schallschutzversuche an Holzbalken- und Brettstapeldecken. 17.03.1997. Stephanskirchen.

Holtz, F., Hessinger, J., Buschbacher, H.P., Rabold, A. (1999): Schalldämmende Holzbalken- und Brettstapeldecken. Informationsdienst Holz (Holzbau Handbuch, Reihe 3, Teil 3, Folge 3).

Holtz, F., Rabold, A., Hessinger, J., Buschbacher, H., Dedio, M., Biermann, A. (2003): Verringerung der Schallabstrahlung von Holzständerwänden bei Trittschall-Anregung im mehrgeschossigen Holz-Wohnungsbau. Abschlussbericht. Stephanskirchen.

Hopkins, C. (2007): Sound insulation. 1. ed. Amsterdam: Elsevier.

Knust, B. (2007): Anwendung der DIN EN 12354 auf Konstruktionen des Holztafelbaus. Diplomarbeit. Hildesheim. Hochschule für angewandte Wissenschaften und Kunst, Fakultät Bauwesen.

Kühn, B., Blickle, R. (2004): Berechnung der Gehgeräusche-Immissionen und Trittschalldämmung von Geschossdecken aus Holz im Frequenzbereich von 16 Hz bis 200 Hz. In: wksb, 2004, 52. S. 17–20.

Lang, J. (1997): Qualitätsmanagement-Handbuch für schalltechnische Messungen und Berechnungen. Reports R-136. Wien.

Meier, A. (2000): Die Bedeutung des Verlustfaktors bei der Bestimmung der Schalldämmung im Prüfstand. Dissertation. Betreut von M. Vorländer und M. Möser. Aachen. Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen.

Metzen, H.A. (2007): Berechnung des Schallschutzes im Holz-Leichtbau - Möglichkeiten zur Verbesserung der Prognosegenauigkeit. In: DEGA (Hg.): DAGA 2007. Stuttgart.

Müller, G., Möser, M. (2004): Taschenbuch der technischen Akustik. Berlin: Springer.

ÖNORM EN 29052-1 (1993 04): Akustik - Bestimmung der dynamischen Steifigkeit - Teil 1: Materialien, die unter schwimmenden Estrichen in Wohngebäuden verwendet werden. Österreichisches Normungsinstitut.

ÖNORM EN ISO 140-4 (1999 07): Akustik - Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen - Teil 4: Messung der Luftschalldämmung zwischen Räumen in Gebäuden. Österreichisches Normungsinstitut.

ÖNORM EN ISO 140-6 (1999 07): Akustik - Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen - Teil 6: Messung der Trittschalldämmung von Decken in Prüfständen. Österreichisches Normungsinstitut.

ÖNORM EN ISO 140-7 (1999 07): Akustik - Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen - Teil 7: Messung der Trittschalldämmung von Decken in Gebäuden. Österreichisches Normungsinstitut.

ÖNORM EN 12354-1 (2000 11): Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften - Teil1: Luftschalldämmung zwischen Räumen. Österreichisches Normungsinstitut.

ÖNORM EN 12354-2 (2000 11): Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften - Teil2: Trittschalldämmung zwischen Räumen. Österreichisches Normungsinstitut.

ÖNORM EN 1991-1-1 bis 4 (2003/2005): Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil 1-1 bis 4: Allgemeine Einwirkungen. Österreichisches Normungsinstitut.

ÖNORM EN 1998-1 (2005 06): Eurocode 8: Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten. Österreichisches Normungsinstitut.

ÖNORM EN ISO 140-1 (2005 03): Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen - Teil 1: Anforderung an Prüfstände mit unterdrückter Flankenübertragung. Österreichisches Normungsinstitut.

ÖNORM EN ISO 140-3 (2005 04): Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen - Teil 3: Messung der Luftschalldämmung von Bauteilen in Prüfständen. Österreichisches Normungsinstitut.

ÖNORM EN ISO 717-1 (2006 12): Akustik - Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen - Teil 1: Luftschalldämmung. Österreichisches Normungsinstitut.

ÖNORM EN ISO 717-2 (2006 12): Akustik - Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen - Teil 2: Trittschalldämmung. Österreichisches Normungsinstitut.

ÖNORM EN 1995-1-1 (2006 01): Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1: Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau. Österreichisches Normungsinstitut.

ÖNORM EN ISO 10848-1 (2006 08): Messung der Flankenübertragung von Luftschall und Trittschall zwischen benachbarten Räumen in Prüfständen - Teil1: Rahmendokument. Österreichisches Normungsinstitut.

- ÖNORM B 8115-2 (2006 12): Schallschutz und Raumakustik im Hochbau - Teil 2: Anforderungen an den Schallschutz. Österreichisches Normungsinstitut.
- Östman, B., Jarnerö, K., Sjökvist, L.-G., Larsson, K., Tillberg, K. (2008): Acoustics in wooden buildings. State of the art 2008. SP Report 2008:16. Stockholm.
- Pedersen, D.B. (1995): Estimation of Vibration Attenuation through Junctions of Building Structures. In: Applied Acoustics, 46. S. 285–305.
- PTB Braunschweig: Messanleitung zur Bestimmung des Verlustfaktors (1997).
- PTB Braunschweig: Messanleitung zur Bestimmung des Stoßstellendämm-Maßes (2000).
- Ruff, A., Schneider, M., Fischer, H.-M. (2007): Flankendämmung von elastisch entkoppelten Gips-Wandbauplatten. In: DEGA (Hg.): DAGA 2007. Stuttgart.
- Schneider, M., Fischer, H.-M. (2005): Verminderung der Schallübertragung leichter flankierender Bauteile durch Entkopplung über elastische Zwischenschichten. In: DEGA (Hg.): DAGA 2005. München.
- Schoenwald, S., Heiko, M.J., Gerresten, E. (2004): Aspects of the measurement of Kij at junctions of lightweight assembled structures. In: DEGA (Hg.): DAGA 2004. Straßburg.
- Schumacher, R., Saß, B., Pütz, M. (2001): Grundlagenuntersuchung zum Stoßstellendämm-Maß im Holzbau. Abschlussbericht. Rosenheim.
- Weber, L., Scholl, W. (2000): Stoßstellendämmung von Leichtbauwänden. In: DEGA (Hg.): DAGA 2000. Oldenburg.

## 12 Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 2-1: Kurven gleicher Lautstärke
- Abbildung 2-2: Frequenzbewertungskurven
- Abbildung 2-3: Anregung durch Luftschall im Senderraum und Abstrahlung von Luftschall im Empfangsraum
- Abbildung 2-4: Charakteristische Abschnitte der Luftschalldämmung einschaliger Bauteile
- Abbildung 2-5: Koinzidenz
- Abbildung 2-6: Schalldämm-Maß zweischaliger Bauteile
- Abbildung 2-7: Berechnetes Schalldämm-Maß von fugenlosen Massivholzplatten in Abhängigkeit von deren Stärke (Bednar et al. 2000)
- Abbildung 2-8: Körperschall wird als Luftschall abgestrahlt
- Abbildung 2-9: Reduktion von Körperschall
- Abbildung 2-10: Luftschall- und Trittschallübertragungswege zwischen benachbarten Räumen
- Abbildung 2-11: Horizontale Schall-Längsleitung
- Abbildung 3-1: Einteilung der Holzbauweisen im Wohnbau

Abbildung 3-2: Holzbalkendecke

Abbildung 3-3: Hohlkastenelement

Abbildung 3-4: Hohlkastenelement mit Schwingungstilgern

Abbildung 3-5 Brettstapeldecke

Abbildung 3-6: Brettsperrholzdecke

Abbildung 3-7: Holz-Beton-Verbunddecke

Abbildung 5-1: Befestigungsmittel Standard (links) und schalltechnisch optimiert (rechts)

Abbildung 6-1: Prüfstand bei KLH Massivholz GmbH in der Umbausituation

Abbildung 6-2: Funktionsschema Prüfstand bei KLH Massivholz GmbH

Abbildung 8-1: Aufbau der geprüften Geschossdecke

Abbildung 8-2: Aufbau der Stoßstelle Wand-Decke mit Übertragungswegen  $D_d$  und  $D_f$

Abbildung 8-3: Norm-Schallpegeldifferenz der Konstruktion mit unterschiedlichen Baulagervarianten

Abbildung 8-4: Norm-Trittschallpegel der Konstruktion mit unterschiedlichen Baulagervarianten

Abbildung 8-5: Richtungsgemittelte Schnellepegeldifferenzen ohne Belastung bzw. mit Belastung die einen Dreigeschosser simuliert

Abbildung 8-6: Mit Betonelementen (rote Markierung), Gesamtgewicht 240 kN, belasteter Deckenprüfstand

Abbildung 8-7: Stoßstellendämm-Maß  $K_{ij}$  Decke-Flanke

Abbildung 8-8: Vergleich von Messung und Berechnung der über die Flanken übertragenen Norm-Trittschallpegel  $L_{n,Df}$  ohne Baulager

Abbildung 8-9: Vergleich von Messung und Berechnung der über die Flanken übertragenen Norm-Trittschallpegel  $L_{n,Df}$  für Baulager A

Abbildung 8-10: Vergleich von Messung und Berechnung der über die Flanken übertragenen Norm-Trittschallpegel  $L_{n,Df}$  für Baulager B

Abbildung 8-11: Vergleich von Messung und Berechnung der über die Flanken übertragenen Norm-Trittschallpegel  $L_{n,Df}$  für Baulager C

Abbildung 8-12: Vergleich von Messung und Berechnung der über die Flanken übertragenen Norm-Trittschallpegel  $L_{n,Df}$  für Baulager D

Abbildung 8-13: Vergleich von Messung und Berechnung der Norm-Trittschallpegel  $L'_n$ .  
Ohne Lager, Baulager A und B

Abbildung 8-14: Vergleich von Messung und Berechnung der Norm-Trittschallpegel  $L'_n$ .  
Ohne Lager, Baulager C und D

Abbildung 8-15: Aufbau der Stoßstelle Wand-Decke mit Befestigungsmitteln

Abbildung 8-16: Norm-Schallpegeldifferenz  $D_n$  der Konstruktion mit unterschiedlichen Baulagern, mit und ohne Verschraubung der Rohdecke mit der darunter liegenden Wand. Dargestellt für ein Lignatur Flächenelement

Abbildung 8-17: Norm-Trittschallpegel  $L'_n$  der Konstruktion mit unterschiedlichen Baulagern, mit und ohne Verschraubung der Rohdecke mit der darunter liegenden Wand. Dargestellt für ein Lignatur Flächenelement

Abbildung 8-18: Richtungsgemittelte Schnellepegeldifferenzen mit und ohne Verschraubung sowie mit Verschraubung und zusätzlicher Belastung bei Lager B und D

Abbildung 8-19: Schalltechnisch optimierte Verschraubung

Abbildung 8-20: Schalltechnisch optimierter Winkelverbinder

Abbildung 8-21: Aufbau der geprüften Geschossdecke

Abbildung 8-22: Norm-Schallpegeldifferenz  $D_n$  für unterschiedliche Befestigungsvarianten, elastisches Zwischenlager D über und unter der Rohdecke KLH 5s angeordnet

Abbildung 8-23: Norm-Trittschallpegel  $L'_n$  für unterschiedliche Befestigungsvarianten, elastisches Zwischenlager D über und unter der Rohdecke KLH 5s angeordnet

Abbildung 8-24: Geprüfte Deckenkonstruktionen Lignatur Flächenelement 160 mm mit und ohne Unterdecke

Abbildung 8-25: Norm-Trittschallpegel  $L_n$  der obigen Geschossdecken gemessen und berechnet nach (Kühn, Blickle 2004)

Abbildung 8-26: Stoßstellendämm-Maße  $K_{ij}$  unterschiedlicher Lager

Abbildung 8-27: Stoßstellendämm-Maße  $K_{ij}$  von Lager D mit und ohne Verschraubung

Abbildung 8-28: Stoßstellendämm-Maße  $K_{ij}$  von Lager A und D mit und ohne Belastung

Abbildung 8-29: Messung und Berechnung des über die Flanken übertragenen Norm-Trittschallpegels  $L_{n,Df}$ . Dabei wird das für die Berechnung erforderliche  $K_{ij}$  einmal aus den gemessenen Schnellepegeldifferenzen  $D_v$  errechnet und einmal nach der dargestellten Methode prognostiziert und dem Ergebnis der Schallmessung gegenübergestellt

Abbildung 8-30: Messung und Berechnung des Norm-Trittschallpegels  $L'_n$  mit und ohne Schrauben. Die Berechnung erfolgte unter Anwendung des beschriebenen Prognoseverfahrens

## 13 Anhang

### Anhang A Messprotokolle Schallmessungen

Anhang A1 Messprotokolle von Luft- und Trittschallmessungen: KLH

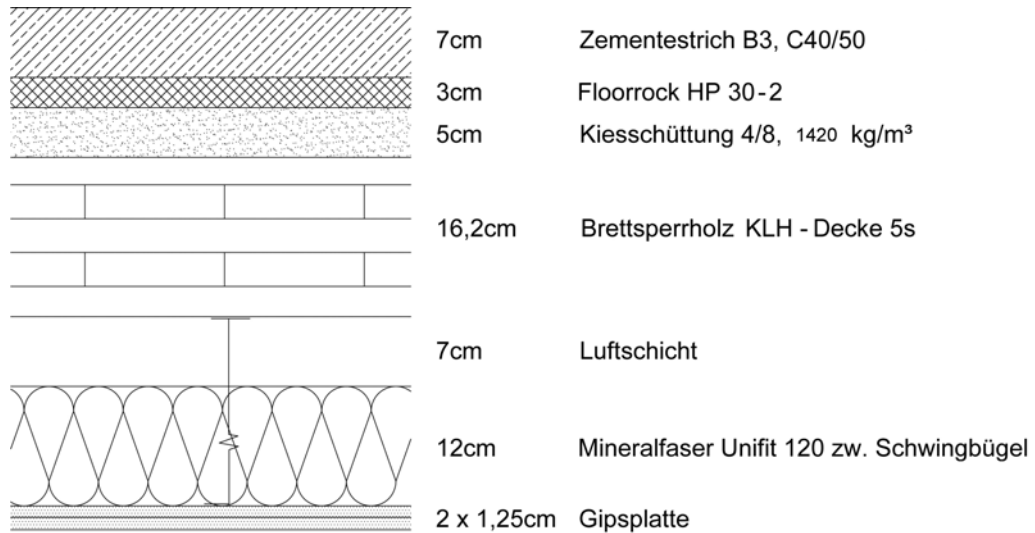


Abbildung A1: gemessener Fußbodenaufbau – Rohdecke KLH Brettsperrholz 5s

## Messung der Luftschalldämmung zw. Räumen in Gebäuden nach ÖNORM EN ISO 140-4 Ausgabe 1.Juli 1999

Prüfdatum: **03.04.2007** Auftraggeber:  
Prüfobjekt: **Messbox KLH** Prüfgegenstand: **Geschoßdecke lt. Angabe**

<b>Senderraum</b> Lage: <b>OG</b> Volumen: <b>98 m³</b> Fläche des Trennbauteils: <b>31 m²</b>	<b>Empfangsraum</b> Lage: <b>EG</b> Volumen: <b>76 m³</b>
--	--

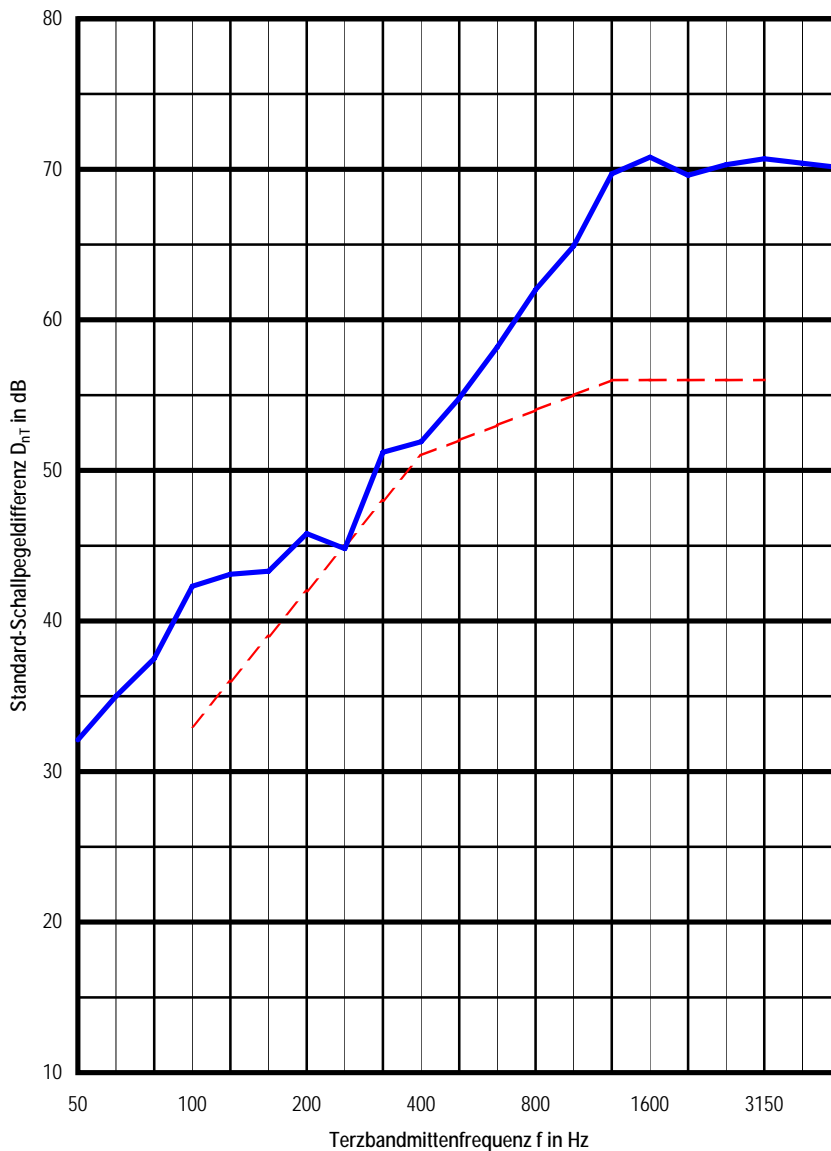
Aufbau Prüfgegenstand: **70 mm Zementestrich C40/50, B3, GK 16**  
**28 mm Floorrock HP 30-2**  
**PAE-Folie**  
**50 mm Splittschüttung ungebunden, Körnung 4/8**  
**162 mm KLH-Massivholzdecke 5s**  
**190 mm abgehängte Decke mit Mineralfaser 12 cm Knauf Unifit**  
**25 mm 2x12,5mm GKB**

Einbau: **keine Lager**

Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-1

bewertete Standard-Schallpegeldifferenz  
 **$D_{nT,w} \geq 59 (-2;-6) \text{ dB}$**

$C_{50-5000} = -1 \text{ dB}$   
 $C_{tr,50-5000} = -9 \text{ dB}$



----- Bezugskurve



## Messung der Luftschalldämmung zw. Räumen in Gebäuden nach ÖNORM EN ISO 140-4 Ausgabe 1. Juli 1999

Prüfdatum: **03.04.2007** Auftraggeber:  
Prüfobjekt: **Messbox KLH** Prüfgegenstand: **Geschoßdecke lt. Angabe**

<b>Senderraum</b> Lage: <b>OG</b> Volumen: <b>98 m³</b> Fläche des Trennbauteils: <b>31 m²</b>	<b>Empfangsraum</b> Lage: <b>EG</b> Volumen: <b>76 m³</b>
--	--

Aufbau Prüfgegenstand: **70 mm Zementestrich C40/50, B3, GK 16**  
**28 mm Floorrock HP 30-2**  
**PAE-Folie**  
**50 mm Splittschüttung ungebunden, Körnung 4/8**  
**162 mm KLH-Massivholzdecke 5s**  
**190 mm abgehängte Decke mit Mineralfaser 12 cm Knauf Unifit**  
**25 mm 2x12,5mm GKB**

Einbau: **Lager A**

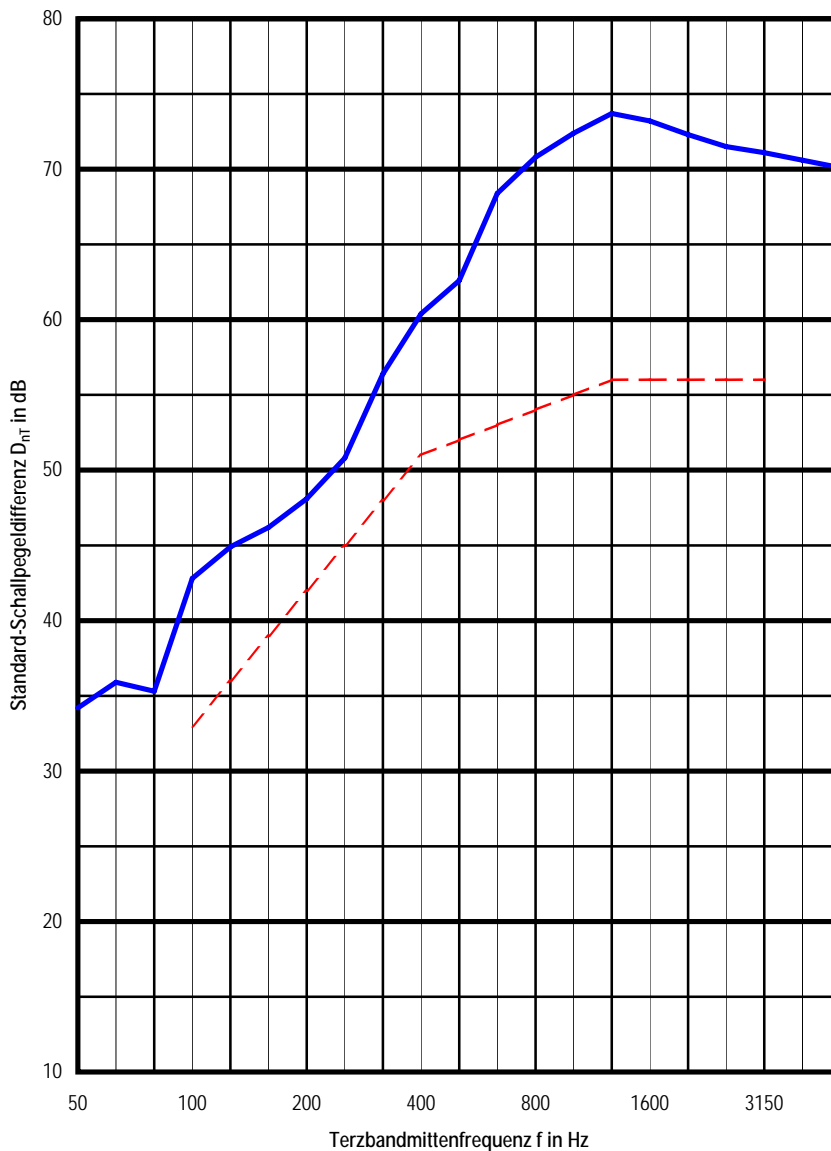
Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-1

bewertete Standard-Schallpegeldifferenz

**$D_{nT,w} \geq 64 (-2;-7) \text{ dB}$**

$C_{50-5000} = -3 \text{ dB}$

$C_{tr,50-5000} = -12 \text{ dB}$



----- Bezugskurve

## Messung der Luftschalldämmung zw. Räumen in Gebäuden nach ÖNORM EN ISO 140-4 Ausgabe 1.Juli 1999

Prüfdatum: **04.04.2007**      Auftraggeber:  
Prüfobjekt: **Messbox KLH**      Prüfgegenstand: **Geschoßdecke lt. Angabe**

<b>Senderraum</b> Lage: <b>OG</b> Volumen: <b>98 m³</b> Fläche des Trennbauteils: <b>31 m²</b>	<b>Empfangsraum</b> Lage: <b>EG</b> Volumen: <b>76 m³</b>
--	--

Einbau: **Lager B**

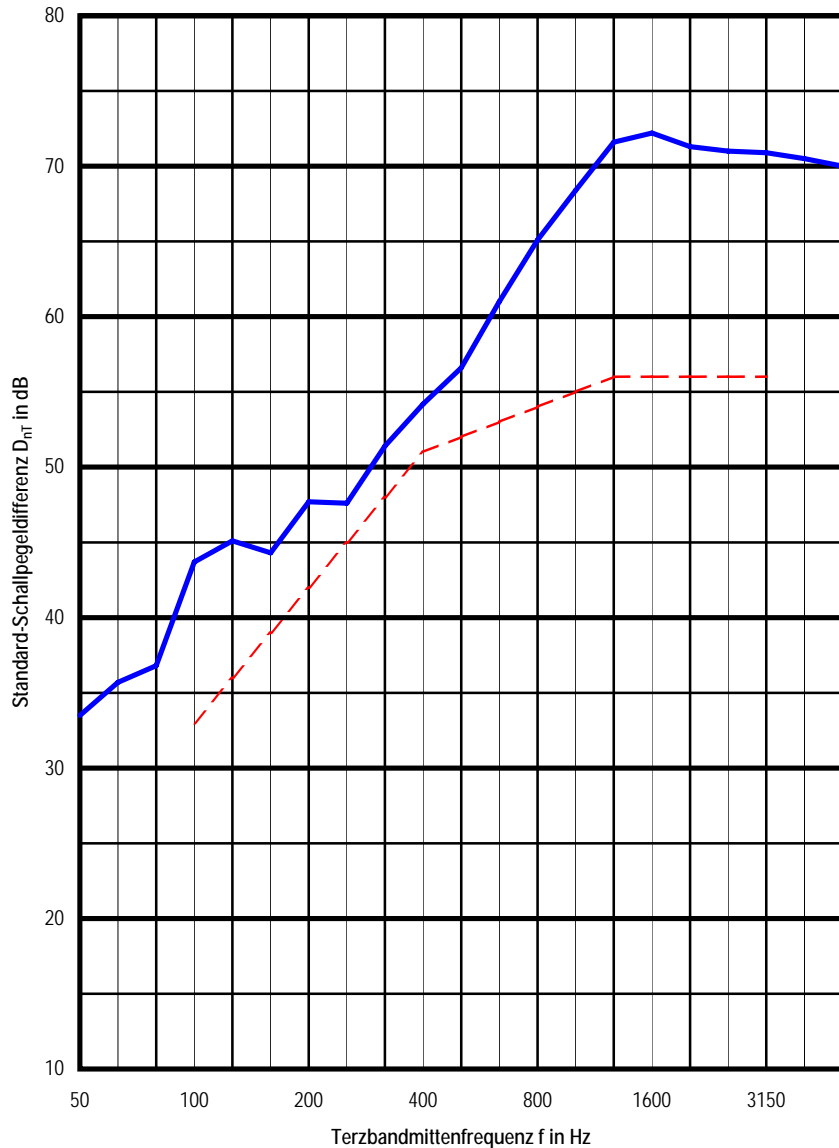
Aufbau Prüfgegenstand:

- 70 mm Zementestrich C40/50, B3, GK 16
- 28 mm Floorrock HP 30-2
- PAE-Folie
- 50 mm Splittschüttung ungebunden, Körnung 4/8
- 162 mm KLH-Massivholzdecke 5s
- 190 mm abgehängte Decke mit Mineralfaser 12 cm Knauf Unifit
- 25 mm 2x12,5mm GKB

Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-1

bewertete Standard-Schallpegeldifferenz  
 **$D_{nT,w} \geq 61 (-3;-6) \text{ dB}$**

$C_{50-5000} = -2 \text{ dB}$   
 $C_{tr,50-5000} = -10 \text{ dB}$



----- Bezugskurve

## Messung der Luftschalldämmung zw. Räumen in Gebäuden nach ÖNORM EN ISO 140-4 Ausgabe 1.Juli 1999

Prüfdatum: **04.04.2007** Auftraggeber:  
Prüfobjekt: **Messbox KLH** Prüfgegenstand: **Geschoßdecke lt. Angabe**

<b>Senderraum</b> Lage: <b>OG</b> Volumen: <b>98 m³</b> Fläche des Trennbauteils: <b>31 m²</b>	<b>Empfangsraum</b> Lage: <b>EG</b> Volumen: <b>76 m³</b>
--	--

Aufbau Prüfgegenstand: **70 mm Zementestrich C40/50, B3, GK 16**  
**28 mm Floorrock HP 30-2**  
**PAE-Folie**  
**50 mm Splittschüttung ungebunden, Körnung 4/8**  
**162 mm KLH-Massivholzdecke 5s**  
**190 mm abgehängte Decke mit Mineralfaser 12 cm Knauf Unifit**  
**25 mm 2x12,5mm GKB**

Einbau: **Lager C**

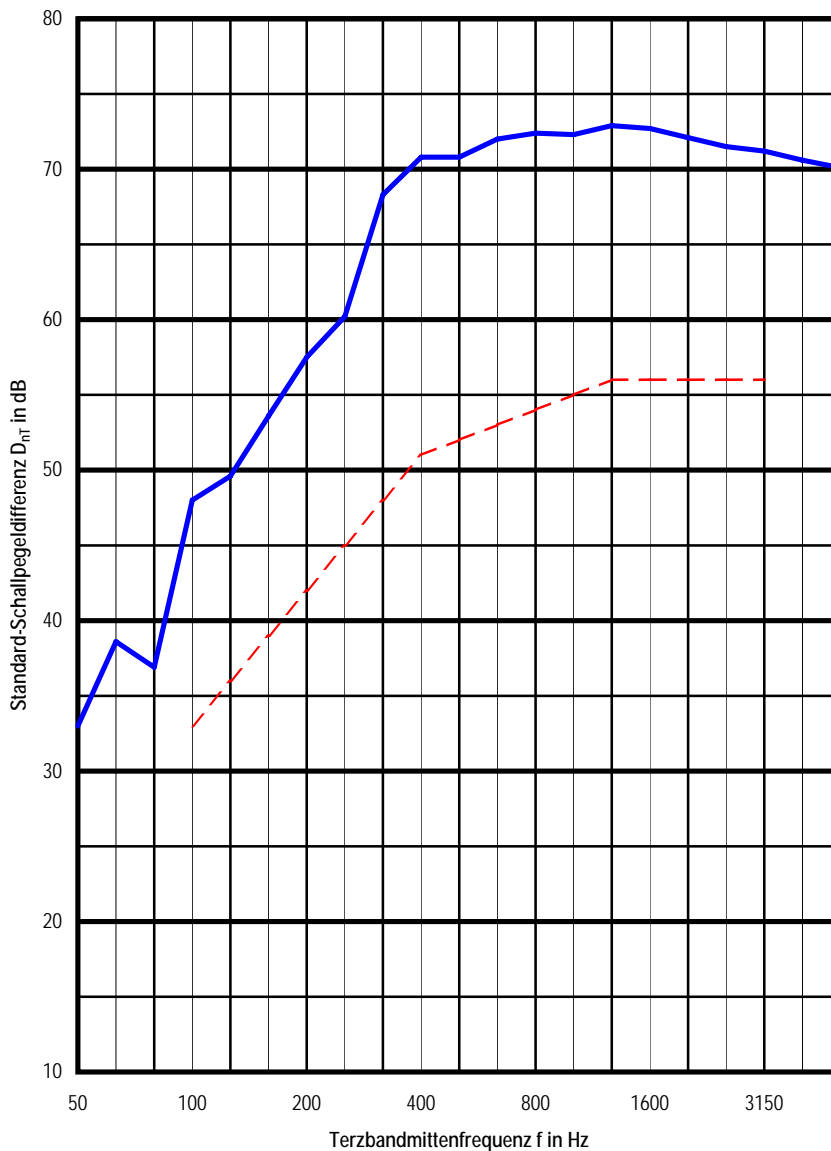
Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-1

bewertete Standard-Schallpegeldifferenz

**$D_{nT,w} \geq 70 (-2;-7) \text{ dB}$**

$C_{50-5000} = -5 \text{ dB}$

$C_{tr,50-5000} = -16 \text{ dB}$



----- Bezugskurve

## Messung der Luftschalldämmung zw. Räumen in Gebäuden nach ÖNORM EN ISO 140-4 Ausgabe 1.Juli 1999

Prüfdatum: **04.04.2007**      Auftraggeber:  
Prüfobjekt: **Messbox KLH**      Prüfgegenstand: **Geschoßdecke lt. Angabe**

<b>Senderraum</b> Lage: <b>OG</b> Volumen: <b>98 m³</b> Fläche des Trennbauteils: <b>31 m²</b>	<b>Empfangsraum</b> Lage: <b>EG</b> Volumen: <b>76 m³</b>
--	--

Aufbau Prüfgegenstand: **70 mm Zementestrich C40/50, B3, GK 16**  
**28 mm Floorrock HP 30-2**  
**PAE-Folie**  
**50 mm Splittschüttung ungebunden, Körnung 4/8**  
**162 mm KLH-Massivholzdecke 5s**  
**190 mm abgehängte Decke mit Mineralfaser 12 cm Knauf Unifit**  
**25 mm 2x12,5mm GKB**

Einbau: **Lager D, oberhalb und unterhalb der Geschoßdecke**

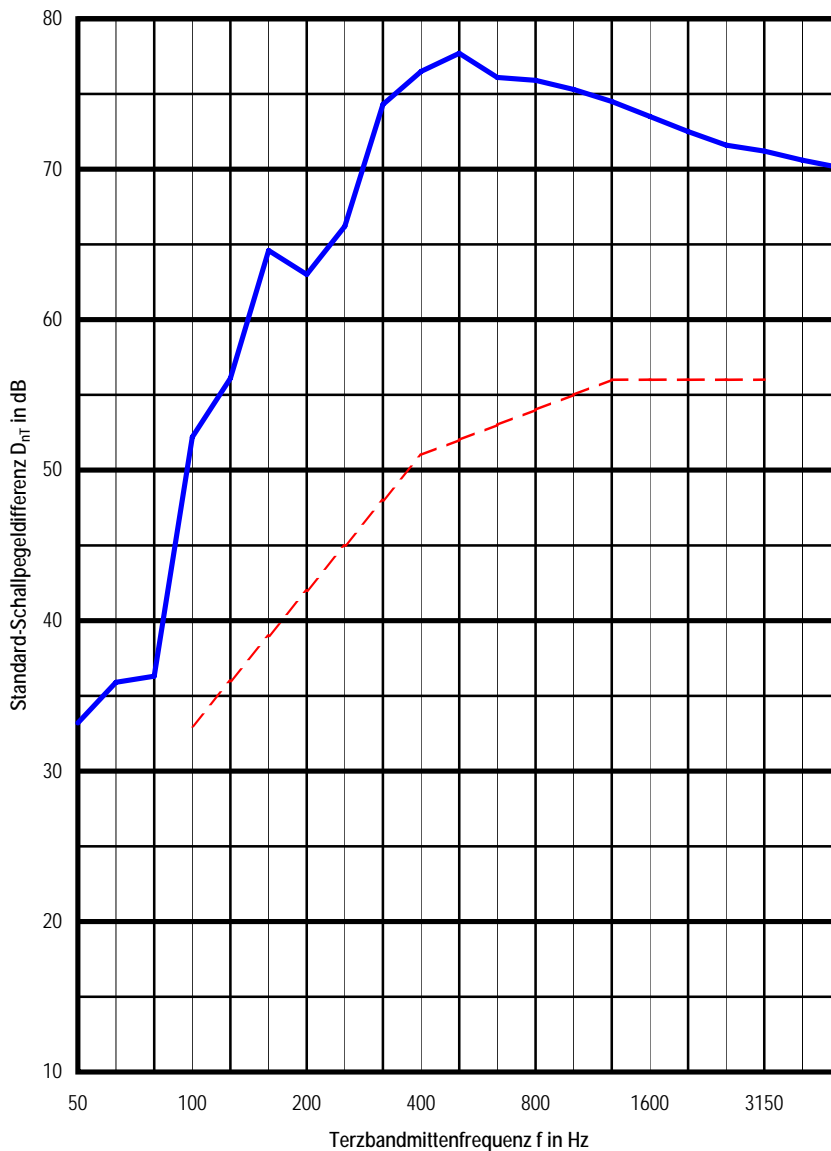
Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-1

bewertete Standard-Schallpegeldifferenz

**$D_{nT,w} \geq 73 (-1;-5) \text{ dB}$**

$C_{50-5000} = -7 \text{ dB}$

$C_{tr,50-5000} = -20 \text{ dB}$



----- Bezugskurve

## Messung der Luftschalldämmung zw. Räumen in Gebäuden nach ÖNORM EN ISO 140-4 Ausgabe 1.Juli 1999

Prüfdatum: **10.04.2007** Auftraggeber:  
Prüfobjekt: **Messbox KLH** Prüfgegenstand: **Geschoßdecke lt. Angabe**

<b>Senderraum</b> Lage: <b>OG</b> Volumen: <b>98 m³</b> Fläche des Trennbauteils: <b>31 m²</b>	<b>Empfangsraum</b> Lage: <b>EG</b> Volumen: <b>76 m³</b>
--	--

Aufbau Prüfgegenstand: **70 mm Zementestrich C40/50, B3, GK 16**  
**28 mm Floorrock HP 30-2**  
**PAE-Folie**  
**50 mm Splittschüttung ungebunden, Körnung 4/8**  
**162 mm KLH-Massivholzdecke 5s**

Einbau: **keine Lager**

Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-1

bewertete Standard-Schallpegeldifferenz

**$D_{nT,w} \geq 57 (-2;-6) \text{ dB}$**

$C_{50-5000} = -2 \text{ dB}$

$C_{tr,50-5000} = -12 \text{ dB}$



----- Bezugskurve

## Messung der Trittschalldämmung von Decken in Gebäuden nach ÖNORM EN ISO 140-7, Ausgabe 1.Juli 1998

Prüfdatum: **03.04.2007** Auftraggeber:  
Prüfobjekt: **Messbox KLH** Prüfgegenstand: **Geschoßdecke lt. Angabe**

Senderraum **OG** Empfangsraum **EG** Volumen: **76** m<sup>3</sup>  
Fläche des Trennbauteils: **31** m<sup>2</sup>

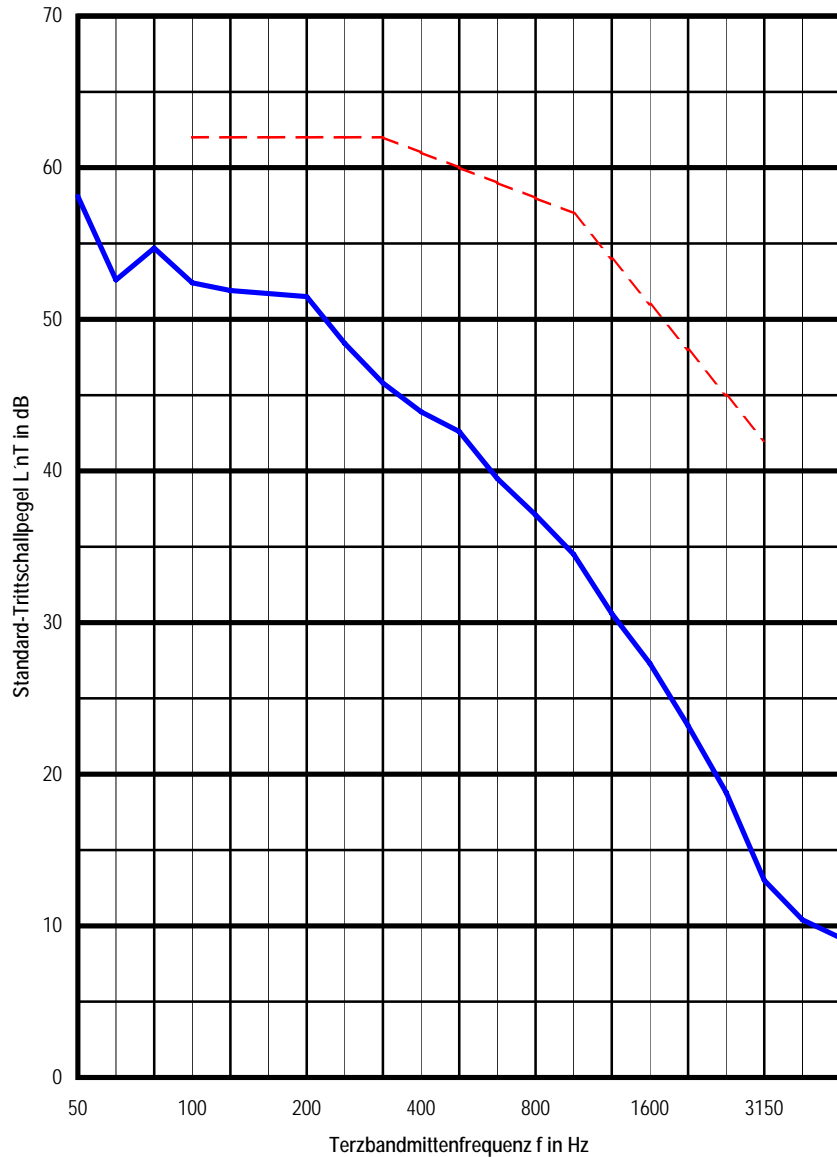
Einbau: **keine Lager**

Aufbau Prüfgegenstand: **70 mm Zementestrich C40/50, B3, GK 16**  
**28 mm Floorrock HP 30-2**  
**PAE-Folie**  
**50 mm Splittschüttung ungebunden, Körnung 4/8**  
**162 mm KLH-Massivholzdecke 5s**  
**190 mm abgehängte Decke mit Mineralfaser 12 cm Knauf Unifit**  
**25 mm 2x12,5mm GKB**

Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-2

bewerteter Standard-Trittschallpegel  
 **$L'_{nT,w} (C_1) = 43 (1)$  dB**

$C_{1,50-2500} = 5$  dB  
 $L'_{n,w} = 47$  dB



----- Bezugskurve

## Messung der Trittschalldämmung von Decken in Gebäuden nach ÖNORM EN ISO 140-7, Ausgabe 1.Juli 1998

Prüfdatum: **03.04.2007** Auftraggeber:  
Prüfobjekt: **Messbox KLH** Prüfgegenstand: **Geschoßdecke lt. Angabe**

Senderraum **OG** Empfangsraum **EG** Volumen: **76** m<sup>3</sup>  
Fläche des Trennbauteils: **31** m<sup>2</sup>

Einbau: Lager A

Aufbau Prüfgegenstand: **70 mm Zementestrich C40/50, B3, GK 16**  
**28 mm Floorrock HP 30-2**  
**PAE-Folie**  
**50 mm Splittschüttung ungebunden, Körnung 4/8**  
**162 mm KLH-Massivholzdecke 5s**  
**190 mm abgehängte Decke mit Mineralfaser 12 cm Knauf Unifit**  
**25 mm 2x12,5mm GKB**

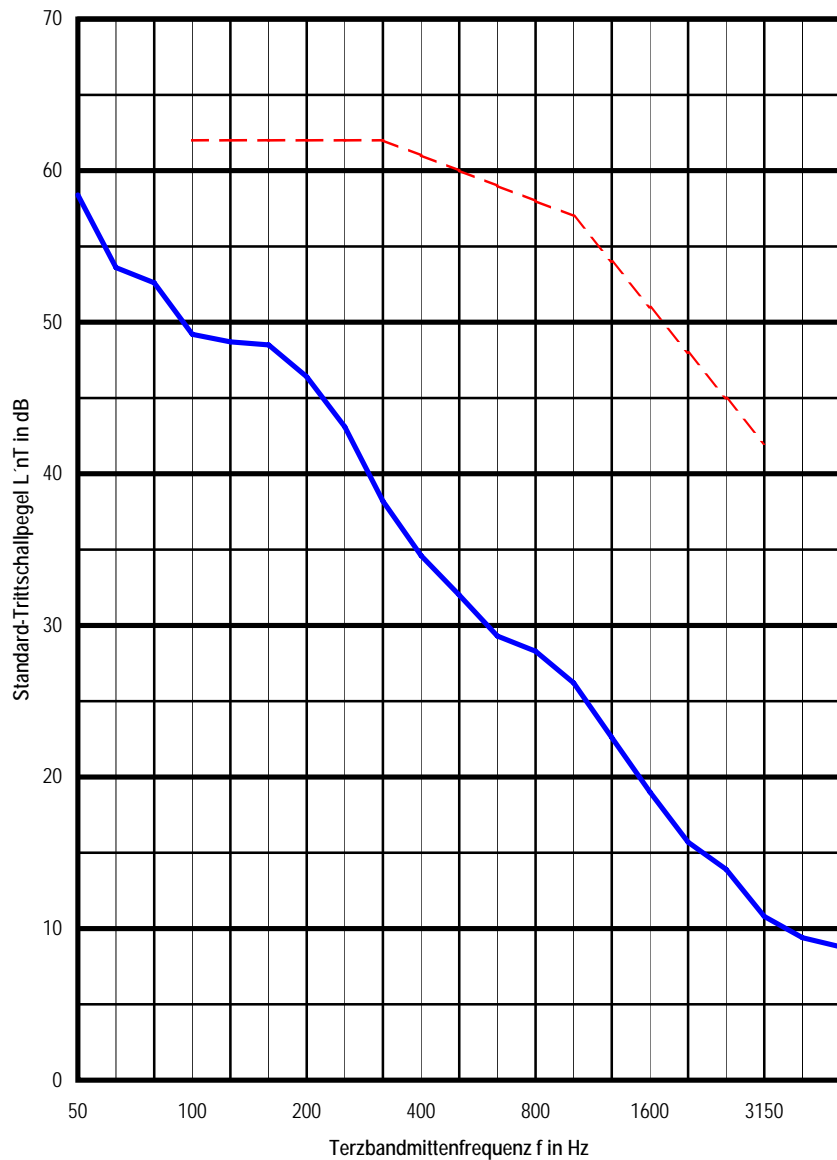
Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-2

bewerteter Standard-Trittschallpegel

$$L'_{nT,w} (C_1) = \mathbf{39 (1)} \text{ dB}$$

$$C_{1,50-2500} = 7 \text{ dB}$$

$$L'_{n,w} = 43 \text{ dB}$$



----- Bezugskurve

## Messung der Trittschalldämmung von Decken in Gebäuden nach ÖNORM EN ISO 140-7, Ausgabe 1.Juli 1998

Prüfdatum: 04.04.2007      Auftraggeber:  
Prüfobjekt: Messbox KLH      Prüfgegenstand: Geschoßdecke lt. Angabe

Senderraum **OG**      Empfangsraum **EG**      Volumen: **76** m<sup>3</sup>  
Fläche des Trennbauteils: **31** m<sup>2</sup>

Einbau: Lager B

Aufbau Prüfgegenstand: 70 mm Zementestrich C40/50, B3, GK 16  
28 mm Floorrock HP 30-2  
PAE-Folie  
50 mm Splittschüttung ungebunden, Körnung 4/8  
162 mm KLH-Massivholzdecke 5s  
190 mm abgehängte Decke mit Mineralfaser 12 cm Knauf Unifit  
25 mm 2x12,5mm GKB

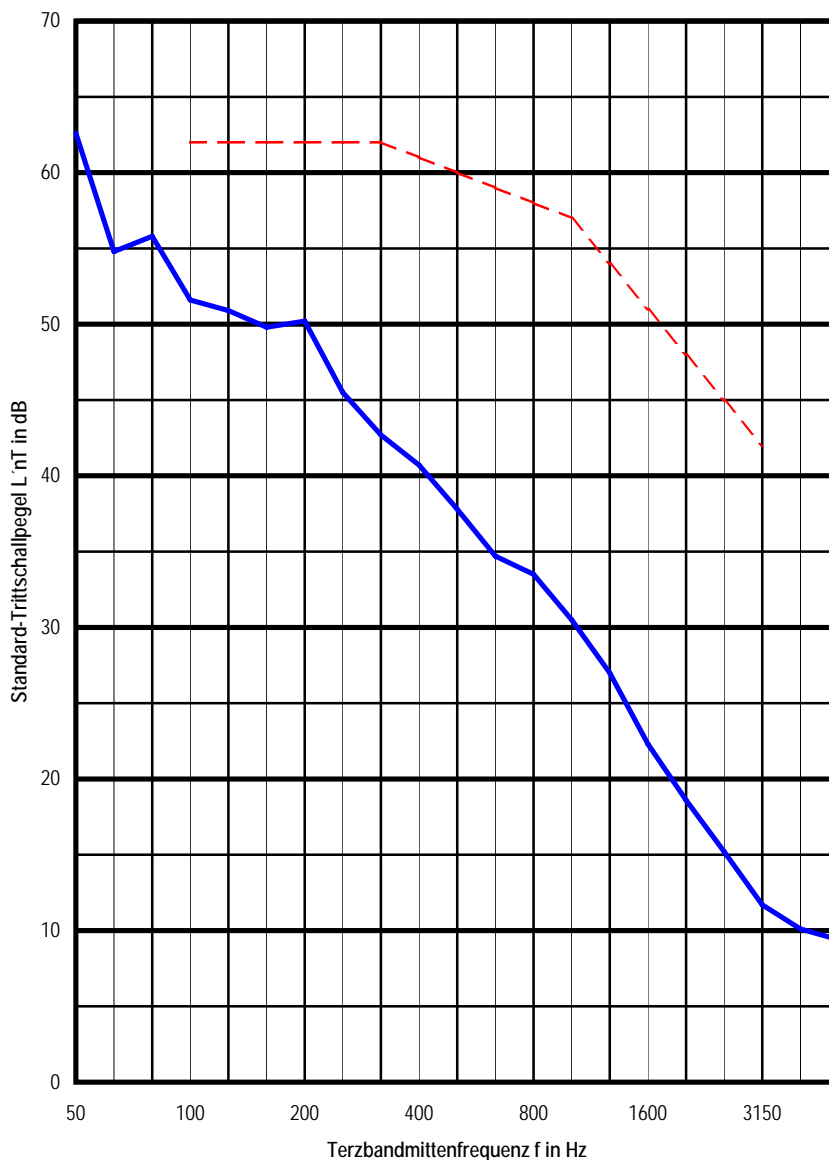
Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-2

bewerteter Standard-Trittschallpegel

$$L'_{nT,w} (C_1) = 42 (0) \text{ dB}$$

$$C_{1,50-2500} = 8 \text{ dB}$$

$$L'_{n,w} = 46 \text{ dB}$$



----- Bezugskurve



## Messung der Trittschalldämmung von Decken in Gebäuden nach ÖNORM EN ISO 140-7, Ausgabe 1.Juli 1998

Prüfdatum: **04.04.2007** Auftraggeber:  
Prüfobjekt: **Messbox KLH** Prüfgegenstand: **Geschoßdecke lt. Angabe**

Senderraum **OG** Empfangsraum **EG** Volumen: **76** m<sup>3</sup>  
Fläche des Trennbauteils: **31** m<sup>2</sup>

Einbau: Lager C

Aufbau Prüfgegenstand: **70 mm Zementestrich C40/50, B3, GK 16**  
**28 mm Floorrock HP 30-2**  
**PAE-Folie**  
**50 mm Splittschüttung ungebunden, Körnung 4/8**  
**162 mm KLH-Massivholzdecke 5s**  
**190 mm abgehängte Decke mit Mineralfaser 12 cm Knauf Unifit**  
**25 mm 2x12,5mm GKB**

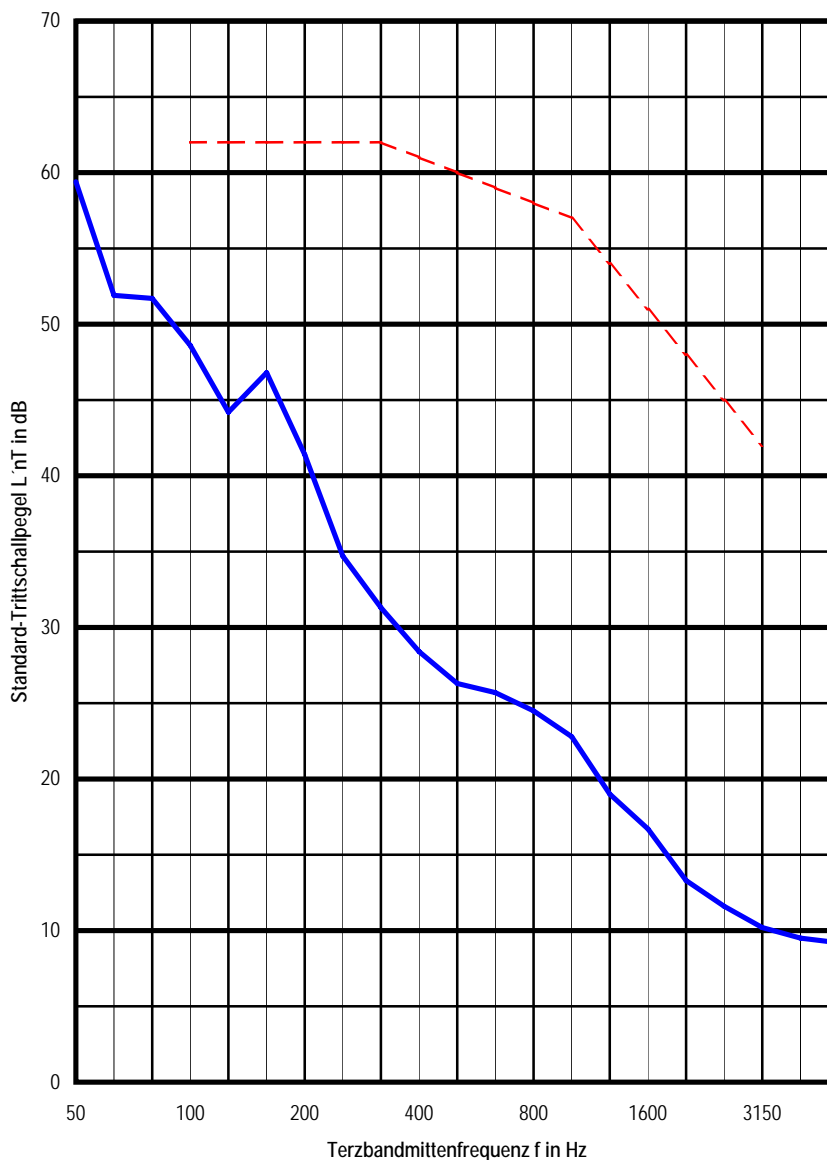
Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-2

bewerteter Standard-Trittschallpegel

$L'_{nT,w} (C_1) = 36 (1)$  dB

$C_{1,50-2500} = 10$  dB

$L'_{n,w} = 40$  dB



----- Bezugskurve

## Messung der Trittschalldämmung von Decken in Gebäuden nach ÖNORM EN ISO 140-7, Ausgabe 1.Juli 1998

Prüfdatum: 04.04.2007      Auftraggeber:  
Prüfobjekt: Messbox KLH      Prüfgegenstand: Geschoßdecke lt. Angabe

Senderraum **OG**      Empfangsraum **EG**      Volumen: **76** m<sup>3</sup>  
Fläche des Trennbauteils: **31** m<sup>2</sup>

Aufbau Prüfgegenstand: 70 mm Zementestrich C40/50, B3, GK 16  
28 mm Floorrock HP 30-2  
PAE-Folie  
50 mm Splittschüttung ungebunden, Körnung 4/8  
162 mm KLH-Massivholzdecke 5s  
190 mm abgehängte Decke mit Mineralfaser 12 cm Knauf Unifit  
25 mm 2x12,5mm GKB

Einbau: Lager D, oberhalb und unterhalb der Geschoßdecke

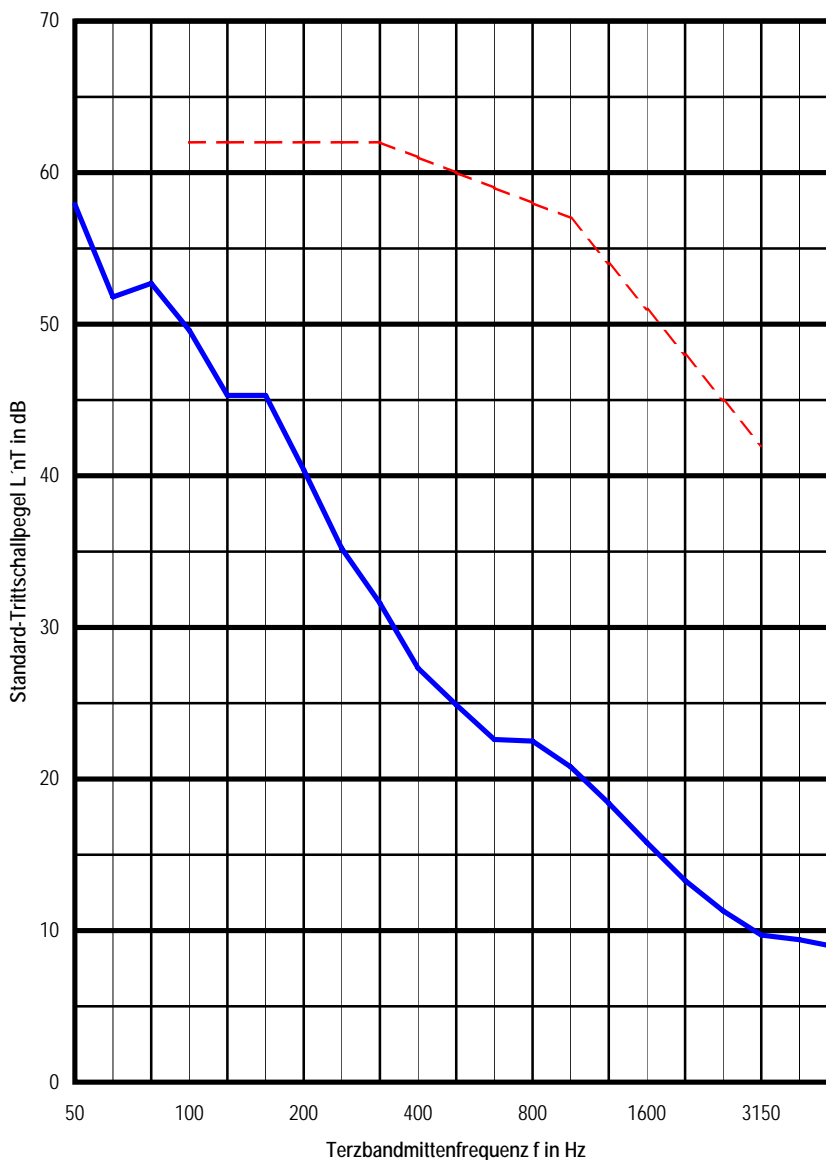
Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-2

bewerteter Standard-Trittschallpegel

$$L'_{nT,w} (C_1) = 36 (1) \text{ dB}$$

$$C_{1,50-2500} = 10 \text{ dB}$$

$$L'_{n,w} = 39 \text{ dB}$$



----- Bezugskurve

## Messung der Trittschalldämmung von Decken in Gebäuden nach ÖNORM EN ISO 140-7, Ausgabe 1.Juli 1998

Prüfdatum: 10.04.2007      Auftraggeber:  
Prüfobjekt: Messbox KLH      Prüfgegenstand: Geschoßdecke lt. Angabe

Senderraum **OG**      Empfangsraum **EG**      Volumen: **76** m<sup>3</sup>  
Fläche des Trennbauteils: **31** m<sup>2</sup>

Aufbau Prüfgegenstand: **70 mm Zementestrich C40/50, B3, GK 16**  
**28 mm Floorrock HP 30-2**  
**PAE-Folie**  
**50 mm Splittschüttung ungebunden, Körnung 4/8**  
**162 mm KLH-Massivholzdecke 5s**

Einbau: keine Lager

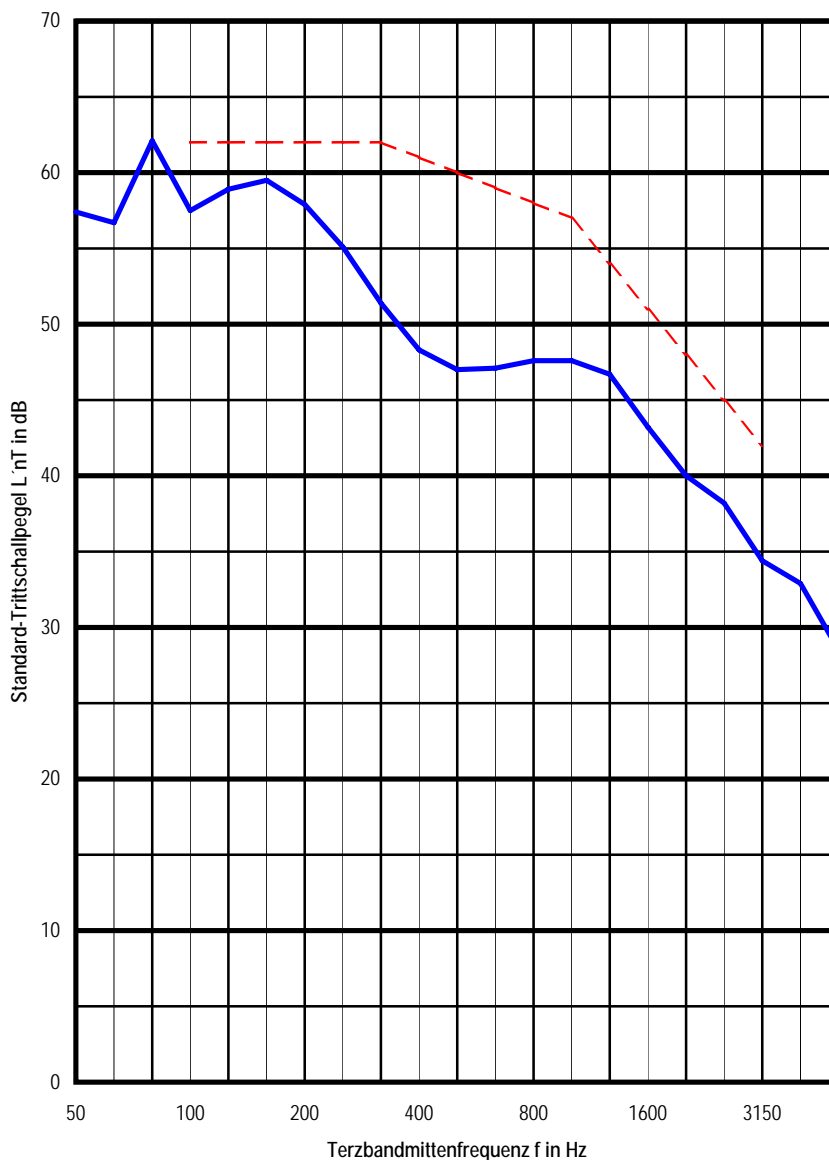
Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-2

bewerteter Standard-Trittschallpegel

$$L'_{nT,w} (C_1) = \mathbf{51 (0)} \text{ dB}$$

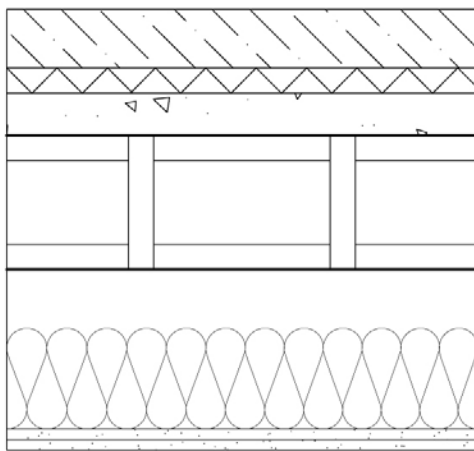
$$C_{1,50-2500} = 2 \text{ dB}$$

$$L'_{n,w} = 55 \text{ dB}$$



----- Bezugskurve

Anhang A2 Messprotokolle von Luft- und Trittschallmessungen: Lignatur Flächenelement



70 mm	Zementestrich B3, C40/50
30 mm	Floorrock HP 30-2
50 mm	Kiesschüttung 4/8, 1420 kg/m <sup>3</sup> ungebunden
160 mm	Lignatur Flächenelement
70 mm	Luftschicht
120 mm	Mineralfaser Unifit 120 zw. Schwingbügel
2 x 12,5 mm	Gipskartonplatte

Abbildung A2: gemessener Fußbodenaufbau – Lignatur Flächenelement

## Messung der Luftschalldämmung zw. Räumen in Gebäuden nach ÖNORM EN ISO 140-4 Ausgabe 1.Juli 1999

Prüfdatum: 16.04.2007	Autraggeber:
Prüfobjekt: Messbox KLH	Prüfgegenstand: Geschoßdecke lt. Angabe

<b>Senderraum</b> Lage: <b>OG</b> Volumen: <b>98 m³</b> Fläche des Trennbauteils: <b>31 m²</b>	<b>Empfangsraum</b> Lage: <b>EG</b> Volumen: <b>76 m³</b>
--	--

Aufbau Prüfgegenstand:

- 70 mm Zementestrich C40/50, B3, GK 16
- 28 mm Floorrock HP 30-2
- PAE-Folie
- 50 mm Splittschüttung ungebunden, Körnung 4/8
- 160 mm Lignatur Kastenelement
- 190 mm abgehängte Decke mit Mineralfaser 12 cm Knauf Unifit
- 25 mm 2x12,5mm GKB

Einbau: keine Lager

Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-1

bewertete Standard-Schallpegeldifferenz

**$D_{nT,w} \geq 57 (-1;-4) \text{ dB}$**

**$D_{n,w} = 53 \text{ dB}$**



----- Bezugskurve

## Messung der Luftschalldämmung zw. Räumen in Gebäuden nach ÖNORM EN ISO 140-4 Ausgabe 1.Juli 1999

Prüfdatum: 18.04.2007	Autraggeber:
Prüfobjekt: Messbox KLH	Prüfgegenstand: Geschoßdecke lt. Angabe

<b>Senderraum</b> Lage: <b>OG</b> Volumen: <b>98 m³</b> Fläche des Trennbauteils: <b>31 m²</b>	<b>Empfangsraum</b> Lage: <b>EG</b> Volumen: <b>76 m³</b>
--	--

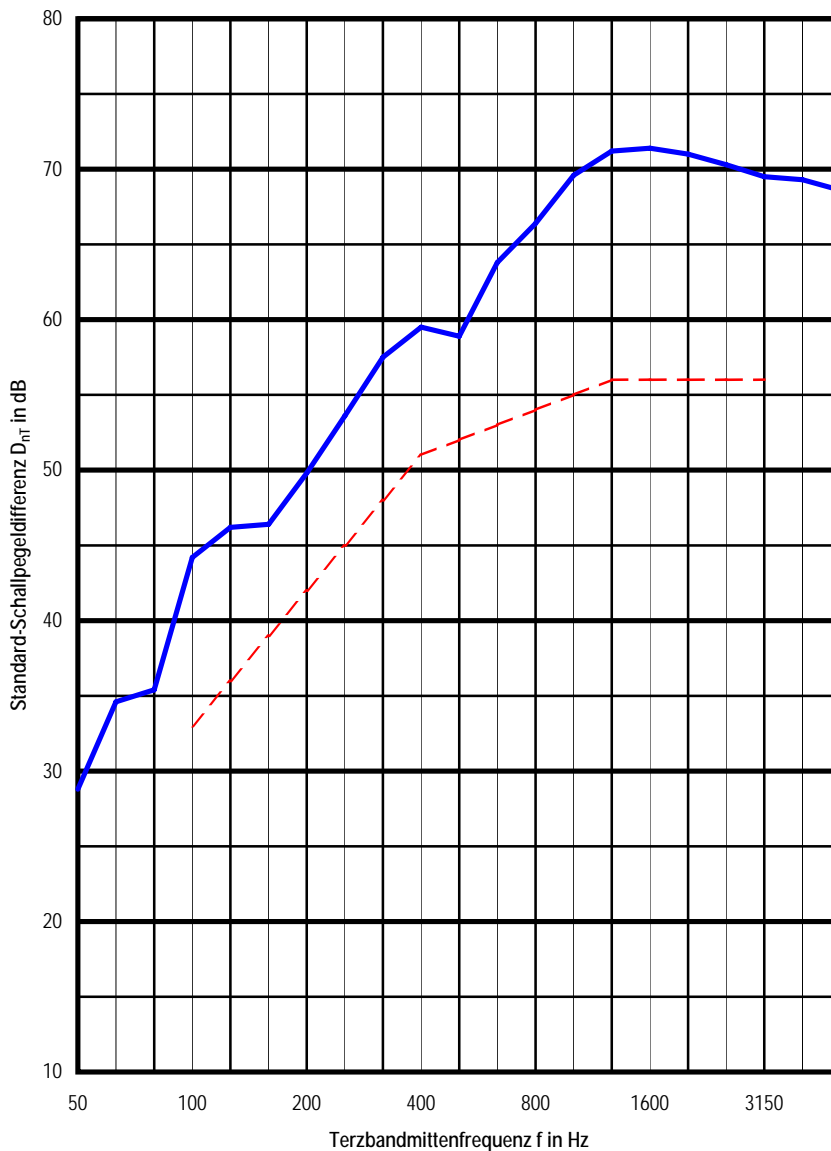
Aufbau Prüfgegenstand: 70 mm Zementestrich C40/50, B3, GK 16  
 28 mm Floorrock HP 30-2  
 PAE-Folie  
 50 mm Splittschüttung ungebunden, Körnung 4/8  
 160 mm Lignatur Kastenelement  
 190 mm abgehängte Decke mit Mineralfaser 12 cm Knauf Unifit  
 25 mm 2x12,5mm GKB

Einbau: Lager A unter der Decke

Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-1

bewertete Standard-Schallpegeldifferenz  
 $D_{nT,w} \geq 64 (-2;-6) \text{ dB}$

$D_{n,w} = 60 \text{ dB}$



----- Bezugskurve

## Messung der Luftschalldämmung zw. Räumen in Gebäuden nach ÖNORM EN ISO 140-4 Ausgabe 1. Juli 1999

Prüfdatum: 19.04.2007      Auftraggeber:  
Prüfobjekt: Messbox KLH      Prüfgegenstand: Geschoßdecke lt. Angabe

<b>Senderraum</b> Lage: OG      Volumen: 98 m <sup>3</sup> Fläche des Trennbauteils: 31 m <sup>2</sup>	<b>Empfangsraum</b> Lage: EG      Volumen: 76 m <sup>3</sup>
--	---

Aufbau Prüfgegenstand:

- 70 mm Zementestrich C40/50, B3, GK 16
- 28 mm Floorrock HP 30-2
- PAE-Folie
- 50 mm Splittschüttung ungebunden, Körnung 4/8
- 160 mm Lignatur Kastenelement
- 190 mm abgehängte Decke mit Mineralfaser 12 cm Knauf Unifit
- 25 mm 2x12,5mm GKB

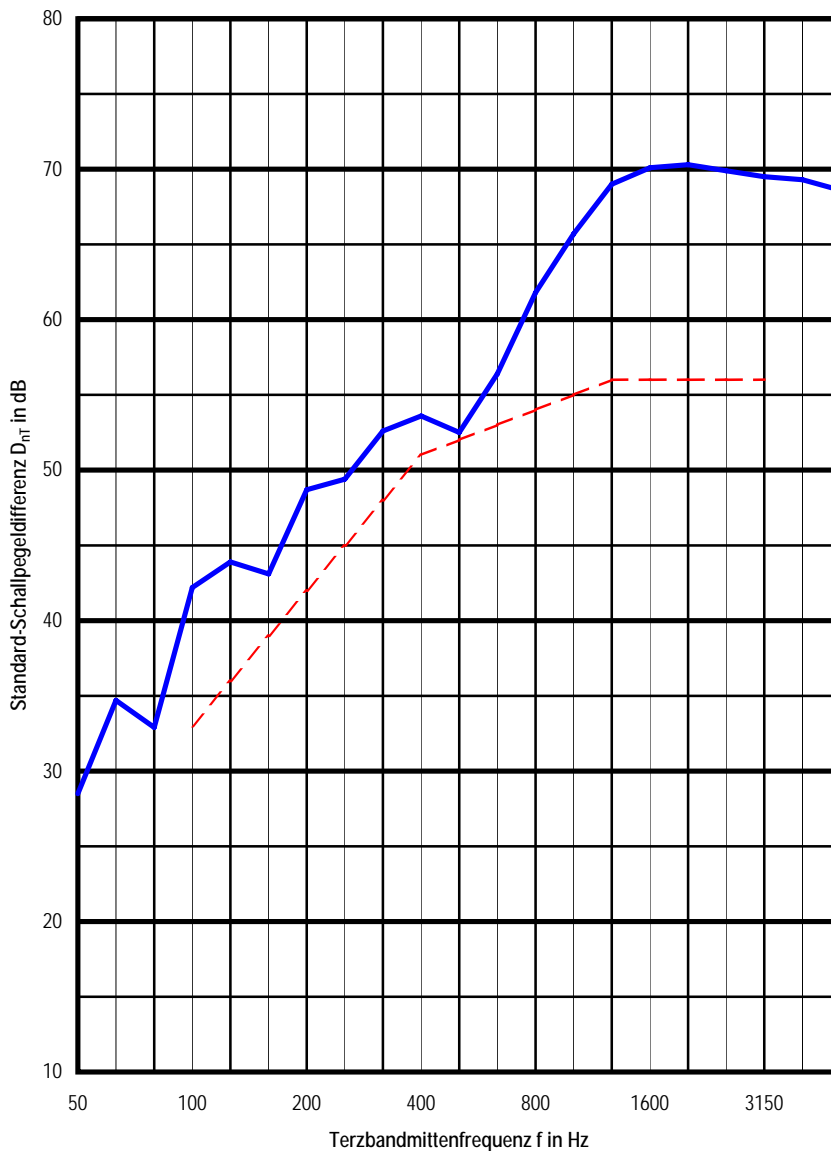
Einbau: Lager B unter der Decke

Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-1

bewertete Standard-Schallpegeldifferenz

**$D_{nT,w} \geq 60 (-2;-6) \text{ dB}$**

**$D_{n,w} = 56 \text{ dB}$**



----- Bezugskurve

## Messung der Luftschalldämmung zw. Räumen in Gebäuden nach ÖNORM EN ISO 140-4 Ausgabe 1.Juli 1999

Prüfdatum: 18.04.2007	Autraggeber:
Prüfobjekt: Messbox KLH	Prüfgegenstand: Geschoßdecke lt. Angabe

<b>Senderraum</b> Lage: <b>OG</b> Volumen: <b>98 m³</b> Fläche des Trennbauteils: <b>31 m²</b>	<b>Empfangsraum</b> Lage: <b>EG</b> Volumen: <b>76 m³</b>
--	--

Aufbau Prüfgegenstand: 70 mm Zementestrich C40/50, B3, GK 16  
 28 mm Floorrock HP 30-2  
 PAE-Folie  
 50 mm Splittschüttung ungebunden, Körnung 4/8  
 160 mm Lignatur Kastenelement  
 190 mm abgehängte Decke mit Mineralfaser 12 cm Knauf Unifit  
 25 mm 2x12,5mm GKB

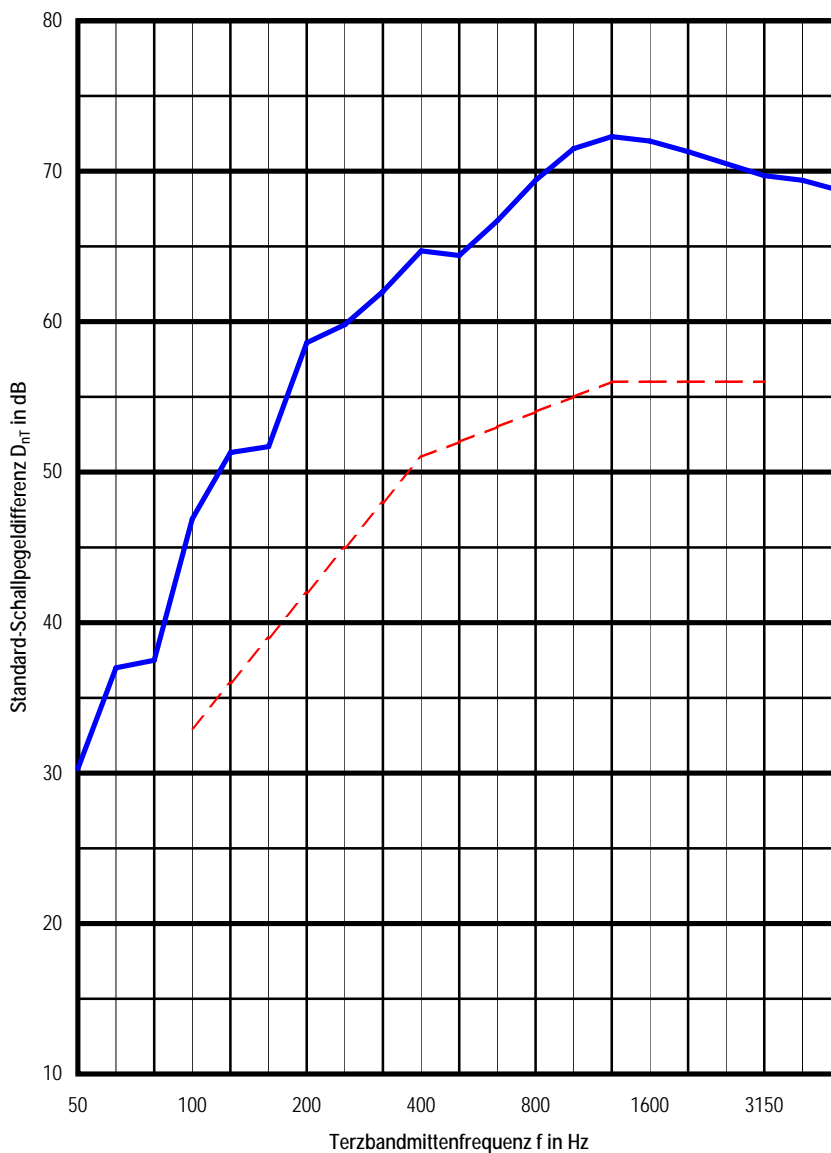
Einbau: Lager C unter der Decke

Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-1

bewertete Standard-Schallpegeldifferenz

**$D_{nT,w} \geq 68 (-1;-6) \text{ dB}$**

**$D_{n,w} = 64 \text{ dB}$**



----- Bezugskurve



## Messung der Luftschalldämmung zw. Räumen in Gebäuden nach ÖNORM EN ISO 140-4 Ausgabe 1.Juli 1999

Prüfdatum: **17.04.2007**      Auftraggeber:  
Prüfobjekt: **Messbox KLH**      Prüfgegenstand: **Geschoßdecke lt. Angabe**

<b>Senderraum</b> Lage: <b>OG</b> Volumen: <b>98 m³</b> Fläche des Trennbauteils: <b>31 m²</b>	<b>Empfangsraum</b> Lage: <b>EG</b> Volumen: <b>76 m³</b>
--	--

Aufbau Prüfgegenstand: **70 mm Zementestrich C40/50, B3, GK 16**  
**28 mm Floorrock HP 30-2**  
**PAE-Folie**  
**50 mm Splittschüttung ungebunden, Körnung 4/8**  
**160 mm Lignatur Kastenelement**  
**190 mm abgehängte Decke mit Mineralfaser 12 cm Knauf Unifit**  
**25 mm 2x12,5mm GKB**

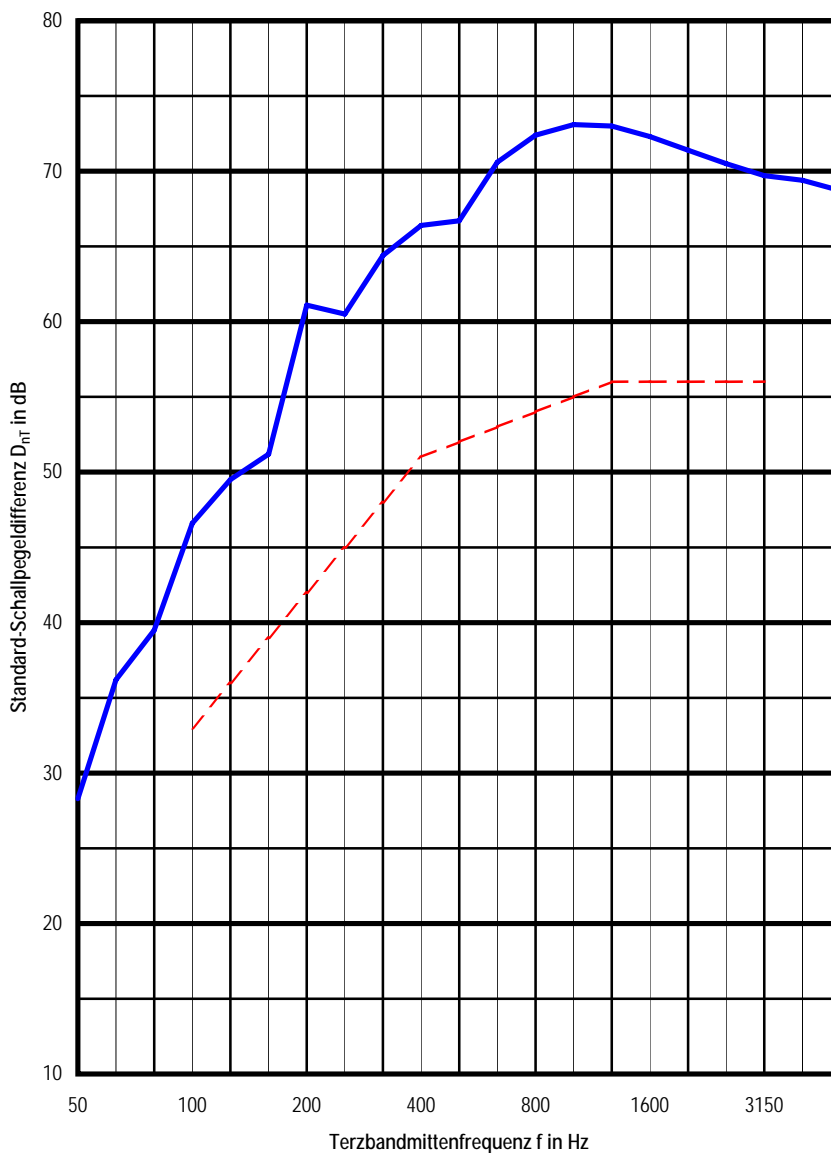
Einbau: **Lager D unter der Decke**

Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-1

bewertete Standard-Schallpegeldifferenz

**$D_{nT,w} \geq 69 (-2;-7) \text{ dB}$**

**$D_{n,w} = 65 \text{ dB}$**



----- Bezugskurve

## Messung der Luftschalldämmung zw. Räumen in Gebäuden nach ÖNORM EN ISO 140-4 Ausgabe 1.Juli 1999

Prüfdatum: 16.04.2007      Auftraggeber:  
Prüfobjekt: Messbox KLH      Prüfgegenstand: Geschoßdecke lt. Angabe

<b>Senderraum</b> Lage: OG      Volumen: 98 m <sup>3</sup> Fläche des Trennbauteils: 31 m <sup>2</sup>	<b>Empfangsraum</b> Lage: EG      Volumen: 76 m <sup>3</sup>
--	---

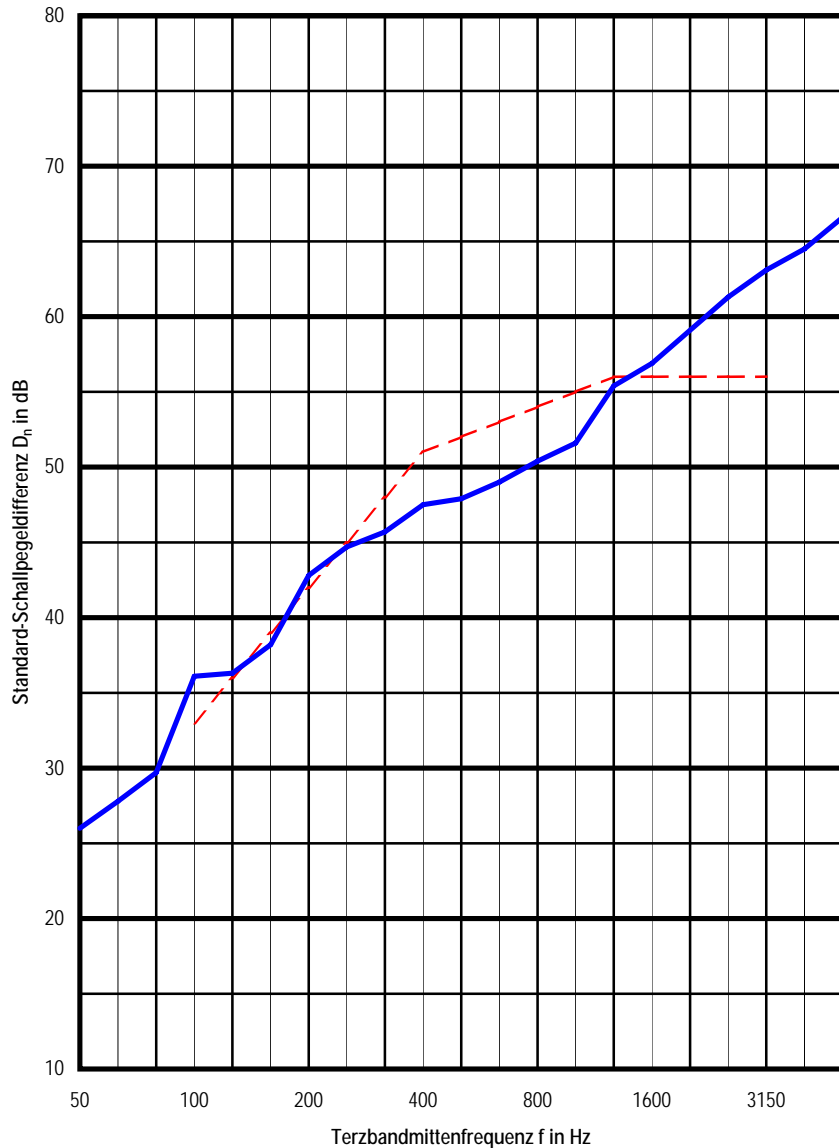
Aufbau Prüfgegenstand: 70 mm Zementestrich C40/50, B3, GK 16  
28 mm Floorrock HP 30-2  
PAE-Folie  
50 mm Splittschüttung ungebunden, Körnung 4/8  
160 mm Lignatur Kastenelement  
abgehängte Decke mit Mineralfaser 12 cm Knauf Unifit

Einbau: keine Lager

Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-1

bewertete Standard-Schallpegeldifferenz  
 **$D_{nT,w} \geq 52 (-1;-4) \text{ dB}$**

**$D_{n,w} = 49 \text{ dB}$**



----- Bezugskurve

## Messung der Trittschalldämmung von Decken in Prüfständen nach ÖNORM EN ISO 140-6, Ausgabe 1.Juli 1999

Prüfdatum: 16.04.2007      Auftraggeber:  
Prüfobjekt: Messbox KLH      Prüfgegenstand: Geschoßdecke lt. Angabe

Senderraum **OG**      Empfangsraum **EG**      Volumen: **76** m<sup>3</sup>  
Fläche des Trennbauteils: **31** m<sup>2</sup>

Aufbau Prüfgegenstand: 70 mm Zementestrich C40/50, B3, GK 16  
28 mm Floorrock HP 30-2  
PAE-Folie  
50 mm Splittschüttung ungebunden, Körnung 4/8  
160 mm Lignatur Kastelement  
190 mm abgehängte Decke mit Mineralfaser 12 cm Knauf Unifit  
25 mm 2x12,5mm GKB

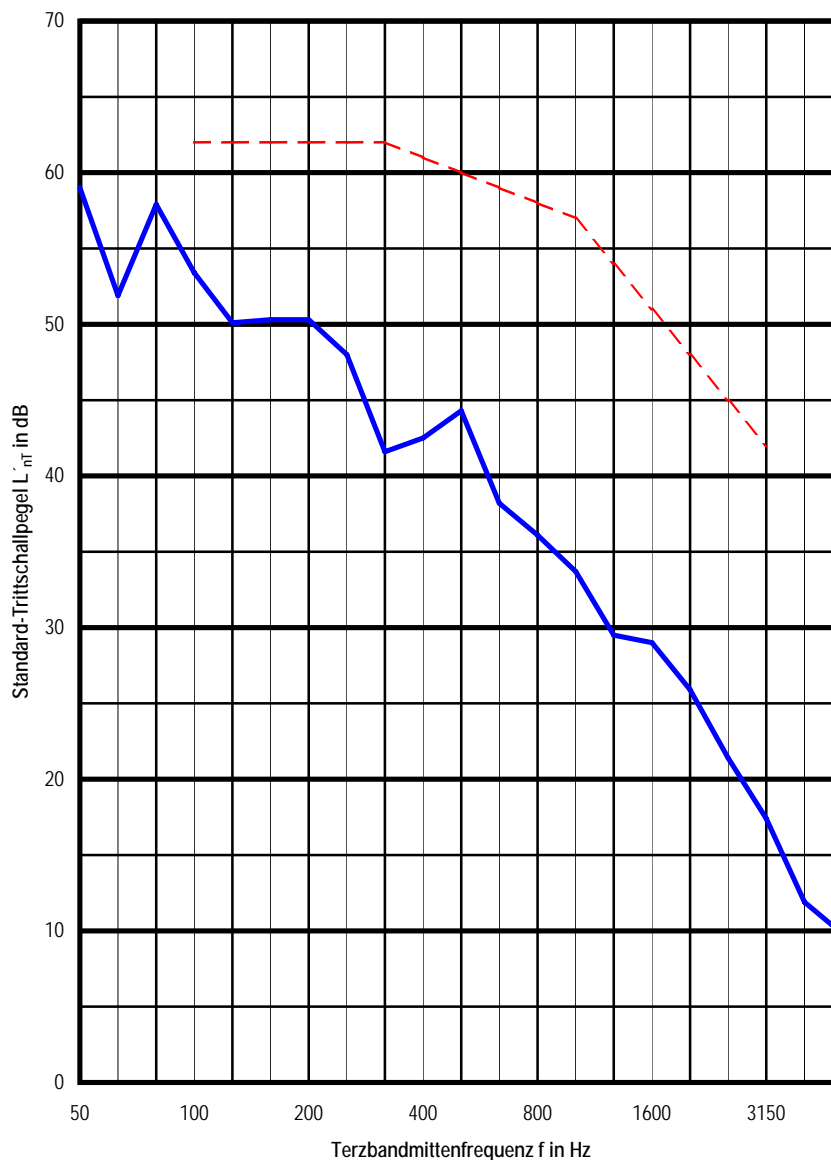
Einbau: keine Lager

Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-2

bewerteter Standard-Trittschallpegel

$$L'_{nT,w} (C_1) = \mathbf{43 (0)} \text{ dB}$$

$$C_{1,50-2500} = \mathbf{6} \text{ dB}$$



----- Bezugskurve

## Messung der Trittschalldämmung von Decken in Prüfständen nach ÖNORM EN ISO 140-6, Ausgabe 1.Juli 1999

Prüfdatum: 18.04.2007      Auftraggeber:  
Prüfobjekt: Messbox KLH      Prüfgegenstand: Geschoßdecke lt. Angabe

Senderraum **OG**      Empfangsraum **EG**      Volumen: **76** m<sup>3</sup>  
Fläche des Trennbauteils: **31** m<sup>2</sup>

Aufbau Prüfgegenstand: 70 mm Zementestrich C40/50, B3, GK 16  
28 mm Floorrock HP 30-2  
PAE-Folie  
50 mm Splittschüttung ungebunden, Körnung 4/8  
160 mm Lignatur Kastelement  
190 mm abgehängte Decke mit Mineralfaser 12 cm Knauf Unifit  
25 mm 2x12,5mm GKB

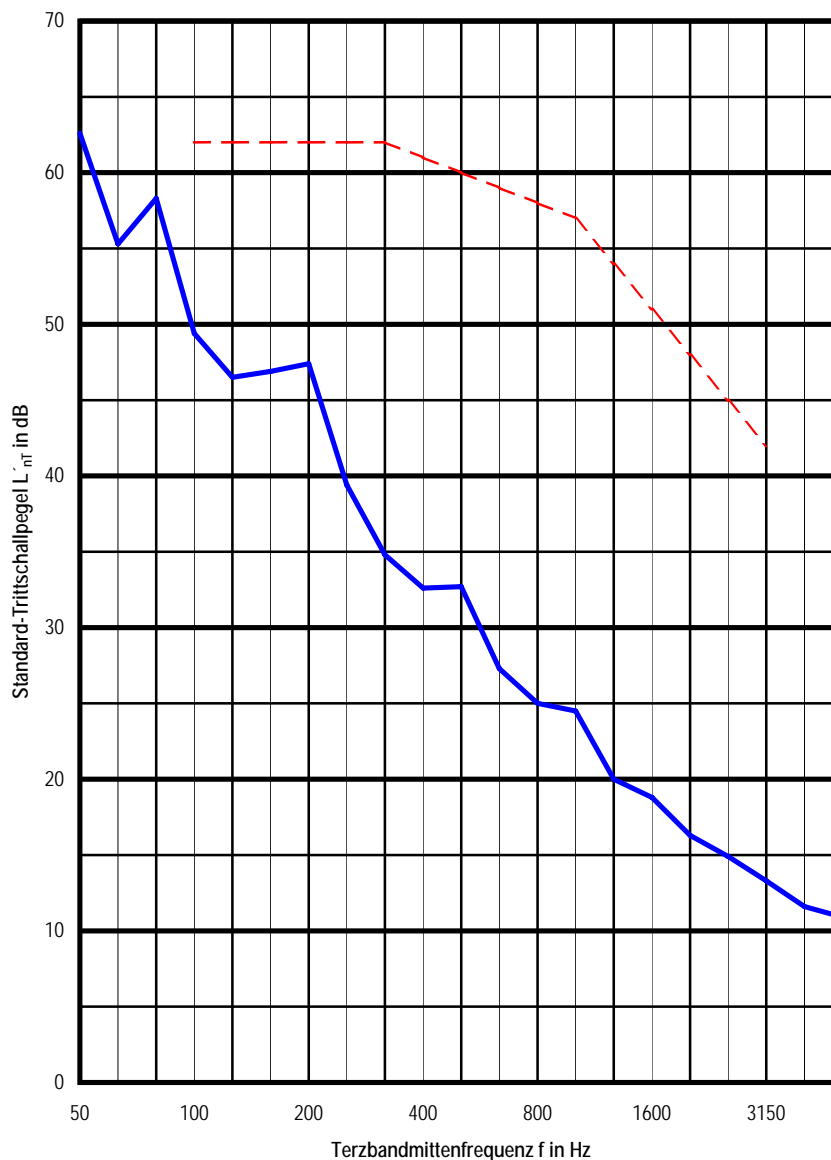
Einbau: Lager A unter der Decke

Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-2

bewerteter Standard-Trittschallpegel

$$L'_{nT,w} (C_1) = 38 (1) \text{ dB}$$

$$C_{1,50-2500} = 12 \text{ dB}$$



----- Bezugskurve

## Messung der Trittschalldämmung von Decken in Prüfständen nach ÖNORM EN ISO 140-6, Ausgabe 1.Juli 1999

Prüfdatum: 19.04.2007      Auftraggeber:  
Prüfobjekt: Messbox KLH      Prüfgegenstand: Geschoßdecke lt. Angabe

Senderraum **OG**      Empfangsraum **EG**      Volumen: **76** m<sup>3</sup>  
Fläche des Trennbauteils: **31** m<sup>2</sup>

Aufbau Prüfgegenstand: 70 mm Zementestrich C40/50, B3, GK 16  
28 mm Floorrock HP 30-2  
PAE-Folie  
50 mm Splittschüttung ungebunden, Körnung 4/8  
160 mm Lignatur Kastelement  
190 mm abgehängte Decke mit Mineralfaser 12 cm Knauf Unifit  
25 mm 2x12,5mm GKB

Einbau: Lager B unter der Decke

Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-2

bewerteter Standard-Trittschallpegel

$$L'_{nT,w} (C_1) = 42 (1) \text{ dB}$$

$$C_{1,50-2500} = 8 \text{ dB}$$



----- Bezugskurve

## Messung der Trittschalldämmung von Decken in Prüfständen nach ÖNORM EN ISO 140-6, Ausgabe 1.Juli 1999

Prüfdatum: 18.04.2007      Auftraggeber:  
Prüfobjekt: Messbox KLH      Prüfgegenstand: Geschoßdecke lt. Angabe

Senderraum **OG**      Empfangsraum **EG**      Volumen: **76** m<sup>3</sup>  
Fläche des Trennbauteils: **31** m<sup>2</sup>

Einbau: Lager C unter der Decke

Aufbau Prüfgegenstand:

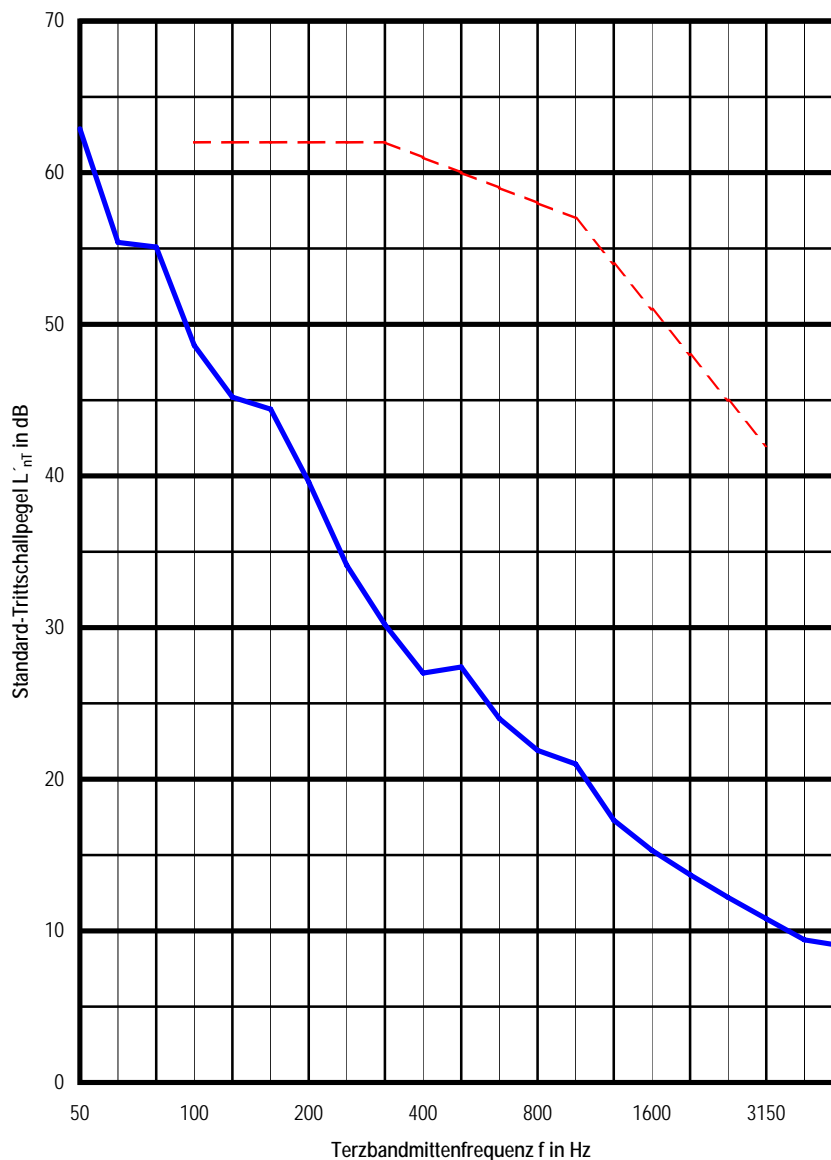
- 70 mm Zementestrich C40/50, B3, GK 16
- 28 mm Floorrock HP 30-2
- PAE-Folie
- 50 mm Splittschüttung ungebunden, Körnung 4/8
- 160 mm Lignatur Kastelement
- 190 mm abgehängte Decke mit Mineralfaser 12 cm Knauf Unifit
- 25 mm 2x12,5mm GKB

Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-2

bewerteter Standard-Trittschallpegel

$$L'_{nT,w} (C_1) = \mathbf{35 (2)} \text{ dB}$$

$$C_{1,50-2500} = 14 \text{ dB}$$



----- Bezugskurve

## Messung der Trittschalldämmung von Decken in Prüfständen nach ÖNORM EN ISO 140-6, Ausgabe 1.Juli 1999

Prüfdatum: 17.04.2007      Auftraggeber:  
Prüfobjekt: Messbox KLH      Prüfgegenstand: Geschoßdecke lt. Angabe

Senderraum **OG**      Empfangsraum **EG**      Volumen: **76** m<sup>3</sup>  
Fläche des Trennbauteils: **31** m<sup>2</sup>

Aufbau Prüfgegenstand: 70 mm Zementestrich C40/50, B3, GK 16  
28 mm Floorrock HP 30-2  
PAE-Folie  
50 mm Splittschüttung ungebunden, Körnung 4/8  
160 mm Lignatur Kastelement  
190 mm abgehängte Decke mit Mineralfaser 12 cm Knauf Unifit  
25 mm 2x12,5mm GKB

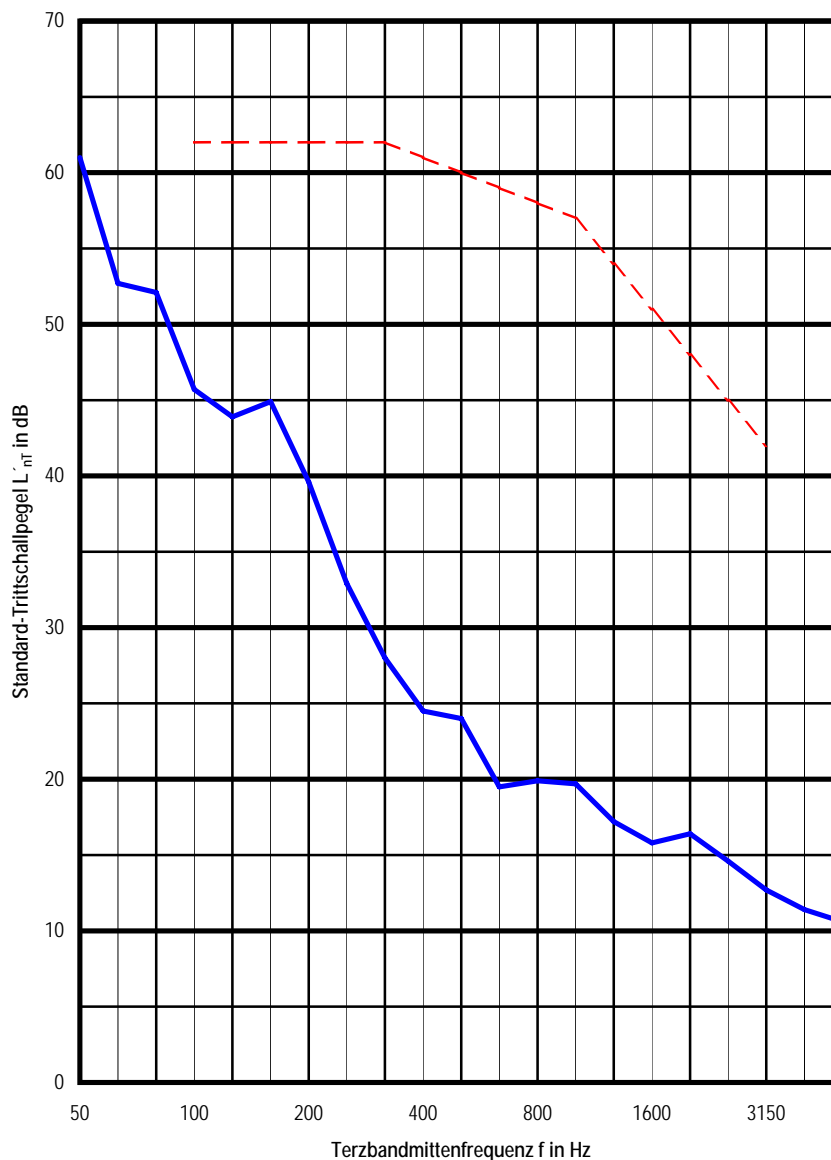
Einbau: Lager D unter der Decke

Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-2

bewerteter Standard-Trittschallpegel

$$L'_{nT,w} (C_1) = 34 (1) \text{ dB}$$

$$C_{1,50-2500} = 13 \text{ dB}$$



----- Bezugskurve

## Messung der Trittschalldämmung von Decken in Prüfständen nach ÖNORM EN ISO 140-6, Ausgabe 1.Juli 1999

Prüfdatum: 23.04.2007      Auftraggeber:  
Prüfobjekt: Messbox KLH      Prüfgegenstand: Geschoßdecke lt. Angabe

Senderraum **OG**      Empfangsraum **EG**      Volumen: **76** m<sup>3</sup>  
Fläche des Trennbauteils: **31** m<sup>2</sup>

Einbau: aufliegend

Aufbau Prüfgegenstand: 70 mm Zementestrich C40/50, B3, GK 16  
28 mm Floorrock HP 30-2  
PAE-Folie  
50 mm Splittschüttung ungebunden, Körnung 4/8  
160 mm Lignatur Kastelement  
abgehängte Decke mit Mineralfaser 12 cm Knauf Unifit

Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-2

bewerteter Standard-Trittschallpegel  
 **$L'_{nT,w} (C_1) = 54 (-1)$  dB**

$C_{1,50-2500} = 2$  dB



----- Bezugskurve



Anhang A3 Messprotokolle von Luft- und Trittschallmessungen: Lignatur Flächenelement Silence

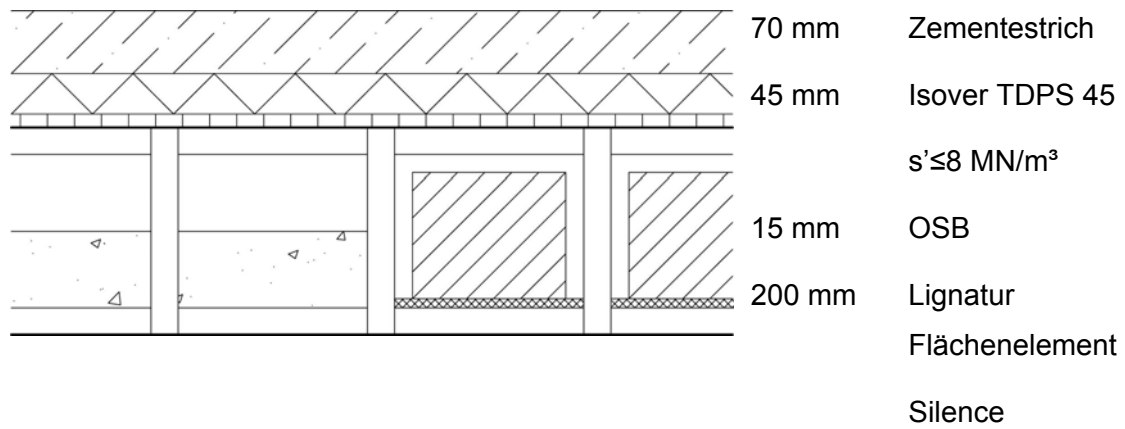


Abbildung A3: gemessener Fußbodenaufbau – Lignatur Flächenelement Silence

## Messung der Luftschalldämmung zw. Räumen in Gebäuden nach ÖNORM EN ISO 140-4 Ausgabe 1. Juli 1999

Prüfdatum: **02.05.2007** Auftraggeber:  
Prüfobjekt: **Messbox KLH** Prüfgegenstand: **Geschoßdecke lt. Angabe**

Senderraum		Empfangsraum	
Lage: <b>OG</b>	Volumen: <b>98 m<sup>3</sup></b>	Lage: <b>EG</b>	Volumen: <b>76 m<sup>3</sup></b>
Fläche des Trennbauteils: <b>31 m<sup>2</sup></b>			

Aufbau Prüfgegenstand: **70 mm Zementestrich C40/50, B3, GK 16**  
**45 mm TDPS 45**  
**15 mm OSB**  
**200 mm LIGNATUR Flächenelement silence**

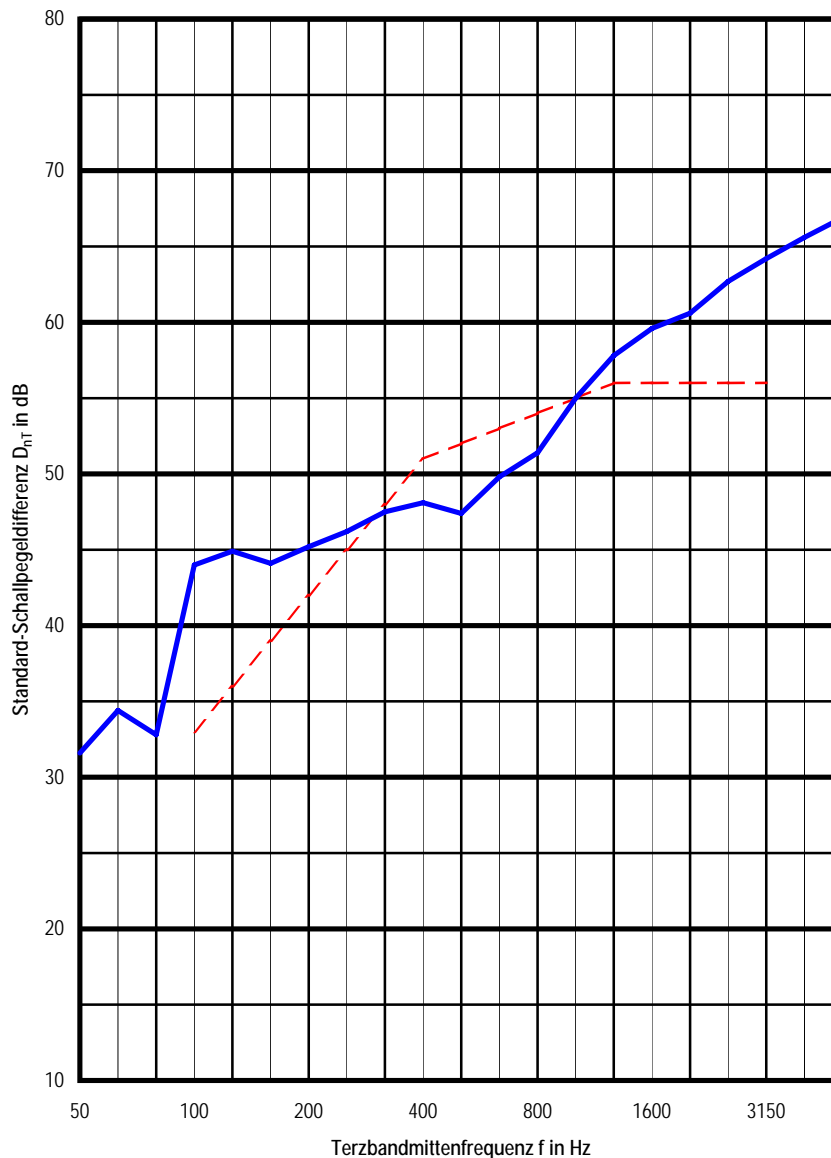
Einbau: **keine Lager**

Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-1

bewertete Standard-Schallpegeldifferenz

**$D_{nT,w} \geq 54 (-1;-3) \text{ dB}$**

$D_{n,w} = 50 \text{ dB}$



----- Bezugskurve

## Messung der Luftschalldämmung zw. Räumen in Gebäuden nach ÖNORM EN ISO 140-4 Ausgabe 1.Juli 1999

Prüfdatum: **02.05.2007** Auftraggeber:  
Prüfobjekt: **Messbox KLH** Prüfgegenstand: **Geschoßdecke lt. Angabe**

<b>Senderraum</b> Lage: <b>OG</b> Volumen: <b>98 m³</b> Fläche des Trennbauteils: <b>31 m²</b>	<b>Empfangsraum</b> Lage: <b>EG</b> Volumen: <b>76 m³</b>
--	--

Aufbau Prüfgegenstand: **70 mm Zementestrich C40/50, B3, GK 16**  
**45 mm TDPS 45**  
**15 mm OSB**  
**200 mm LIGNATUR Flächenelement silence**

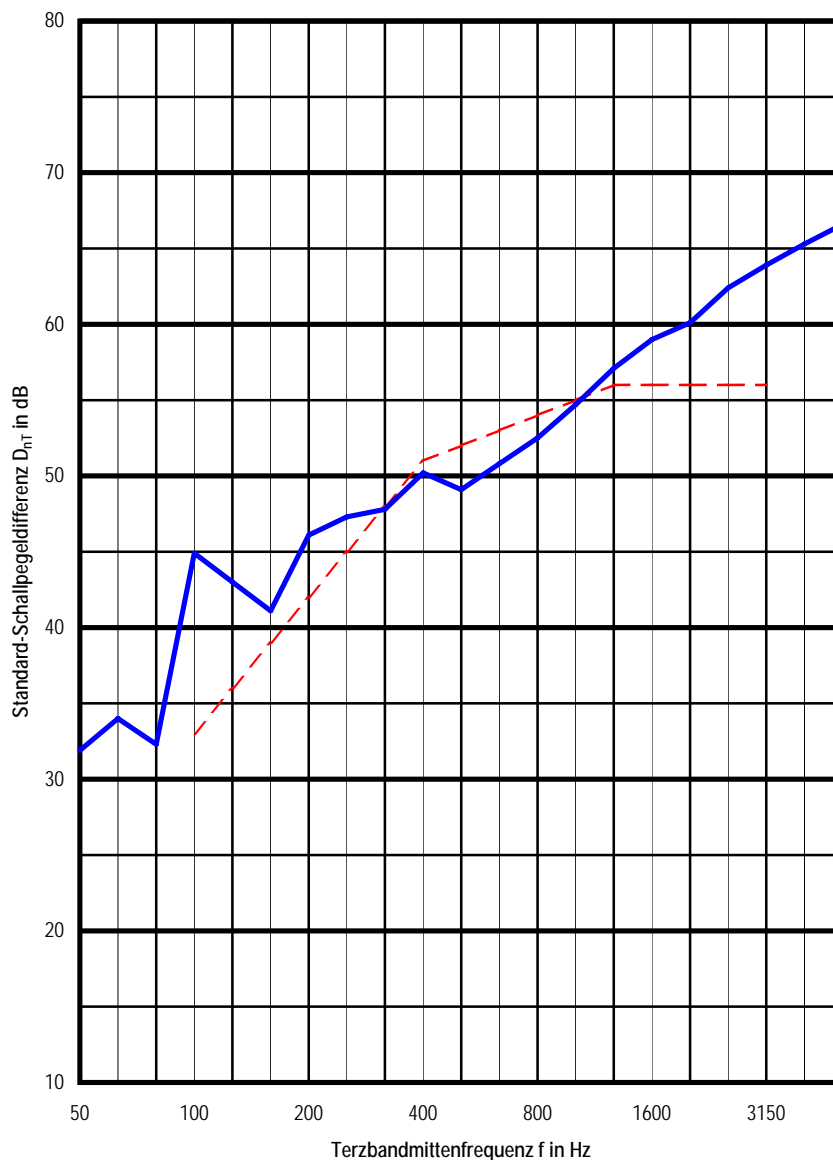
Einbau: **Lager A unter der Decke**

Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-1

bewertete Standard-Schallpegeldifferenz

**$D_{nT,w} \geq 55 (-1;-4) \text{ dB}$**

$D_{n,w} = 51 \text{ dB}$



----- Bezugskurve

## Messung der Luftschalldämmung zw. Räumen in Gebäuden nach ÖNORM EN ISO 140-4 Ausgabe 1.Juli 1999

Prüfdatum: **02.05.2007** Auftraggeber:  
Prüfobjekt: **Messbox KLH** Prüfgegenstand: **Geschoßdecke lt. Angabe**

<b>Senderraum</b> Lage: <b>OG</b> Volumen: <b>98 m³</b> Fläche des Trennbauteils: <b>31 m²</b>	<b>Empfangsraum</b> Lage: <b>EG</b> Volumen: <b>76 m³</b>
--	--

Aufbau Prüfgegenstand: **70 mm Zementestrich C40/50, B3, GK 16**  
**45 mm TDPS 45**  
**15 mm OSB**  
**200 mm LIGNATUR Flächenelement silence**

Einbau: **Lager D unter der Decke**

Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-1

bewertete Standard-Schallpegeldifferenz

**$D_{nT,w} \geq 54 (-1;-4) \text{ dB}$**

$D_{n,w} = 50 \text{ dB}$



----- Bezugskurve

## Messung der Trittschalldämmung von Decken in Prüfständen nach ÖNORM EN ISO 140-6, Ausgabe 1.Juli 1999

Prüfdatum: **04.05.2007** Auftraggeber:  
Prüfobjekt: **Messbox KLH** Prüfgegenstand: **Geschoßdecke lt. Angabe**

Senderraum **OG** Empfangsraum **EG** Volumen: **76** m<sup>3</sup>  
Fläche des Trennbauteils: **31** m<sup>2</sup>

Aufbau Prüfgegenstand: **70 mm Zementestrich C40/50, B3, GK 16**  
**45 mm TDPS 45**  
**15 mm OSB**  
**200 mm LIGNATUR Flächenelement silence**

Einbau: **keine Lager**

Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-2

bewerteter Standard-Trittschallpegel

$L'_{nT,w} (C_1) = \mathbf{53 (-4)} \text{ dB}$

$C_{1,50-2500} = -3 \text{ dB}$

$L'_{n,w} = 57 \text{ dB}$



----- Bezugskurve

## Messung der Trittschalldämmung von Decken in Prüfständen nach ÖNORM EN ISO 140-6, Ausgabe 1.Juli 1999

Prüfdatum: 04.05.2007      Auftraggeber:  
Prüfobjekt: Messbox KLH      Prüfgegenstand: Geschoßdecke lt. Angabe

Senderraum **OG**      Empfangsraum **EG**      Volumen: **76** m<sup>3</sup>  
Fläche des Trennbauteils: **31** m<sup>2</sup>

Aufbau Prüfgegenstand: 70 mm Zementestrich C40/50, B3, GK 16  
45 mm TDPS 45  
15 mm OSB  
200 mm LIGNATUR Flächenelement silence

Einbau: Lager A unter der Decke

Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-2

bewerteter Standard-Trittschallpegel

$$L'_{nT,w} (C_1) = 52 (-4) \text{ dB}$$

$$C_{1,50-2500} = -3 \text{ dB}$$

$$L'_{n,w} = 56 \text{ dB}$$



----- Bezugskurve

## Messung der Trittschalldämmung von Decken in Prüfständen nach ÖNORM EN ISO 140-6, Ausgabe 1.Juli 1999

Prüfdatum: 04.05.2007      Auftraggeber:  
Prüfobjekt: Messbox KLH      Prüfgegenstand: Geschoßdecke lt. Angabe

Senderraum **OG**      Empfangsraum **EG**      Volumen: **76** m<sup>3</sup>  
Fläche des Trennbauteils: **31** m<sup>2</sup>

Aufbau Prüfgegenstand: 70 mm Zementestrich C40/50, B3, GK 16  
45 mm TDPS 45  
15 mm OSB  
200 mm LIGNATUR Flächenelement silence

Einbau: Lager D unter der Decke

Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-2

bewerteter Standard-Trittschallpegel

$$L'_{nT,w} (C_1) = 52 (-4) \text{ dB}$$

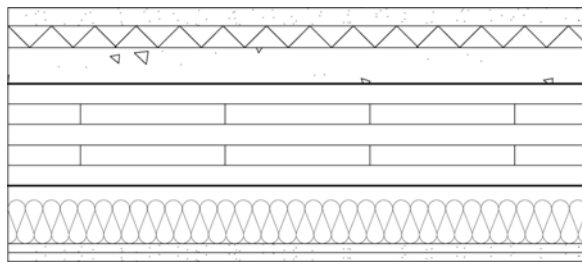
$$C_{1,50-2500} = -3 \text{ dB}$$

$$L'_{n,w} = 56 \text{ dB}$$



----- Bezugskurve

## Anhang A4 Messprotokolle von Luft- und Trittschallmessungen mit Befestigungsmitteln



25 mm	Rigidur Estrichelement (Gipsfaser)
30 mm	Floorrock GP 30-1
50 mm	Kiesschüttung 4/8, 1420 kg/m <sup>3</sup>
140 mm	Brettsper Holz KLH 5s
20 mm	Luftschicht
60 mm	Holzfaserdämmung Steico Flex zw. Schwingbügel
25 mm	2 x 12,5mm GKB

Abbildung A4: gemessener Fußbodenaufbau mit Befestigungsmitteln - Rohdecke KLH Brettsper Holz 5s



## Messung der Luftschalldämmung zw. Räumen in Gebäuden nach ÖNORM EN ISO 140-4 Ausgabe 1.Juli 1999

<b>Prüfdatum:</b> 31.03.2008	<b>Autraggeber:</b>
<b>Prüfobjekt:</b> Messbox KLH	<b>Prüfgegenstand:</b> Geschoßdecke lt. Angabe

<b>Senderraum</b>	<b>Empfangsraum</b>
Lage: <b>OG</b> Volumen: <b>98</b> m <sup>3</sup>	Lage: <b>EG</b> Volumen: <b>76</b> m <sup>3</sup>
Fläche des Trennbauteils: <b>31</b> m <sup>2</sup>	

Aufbau Prüfgegenstand:

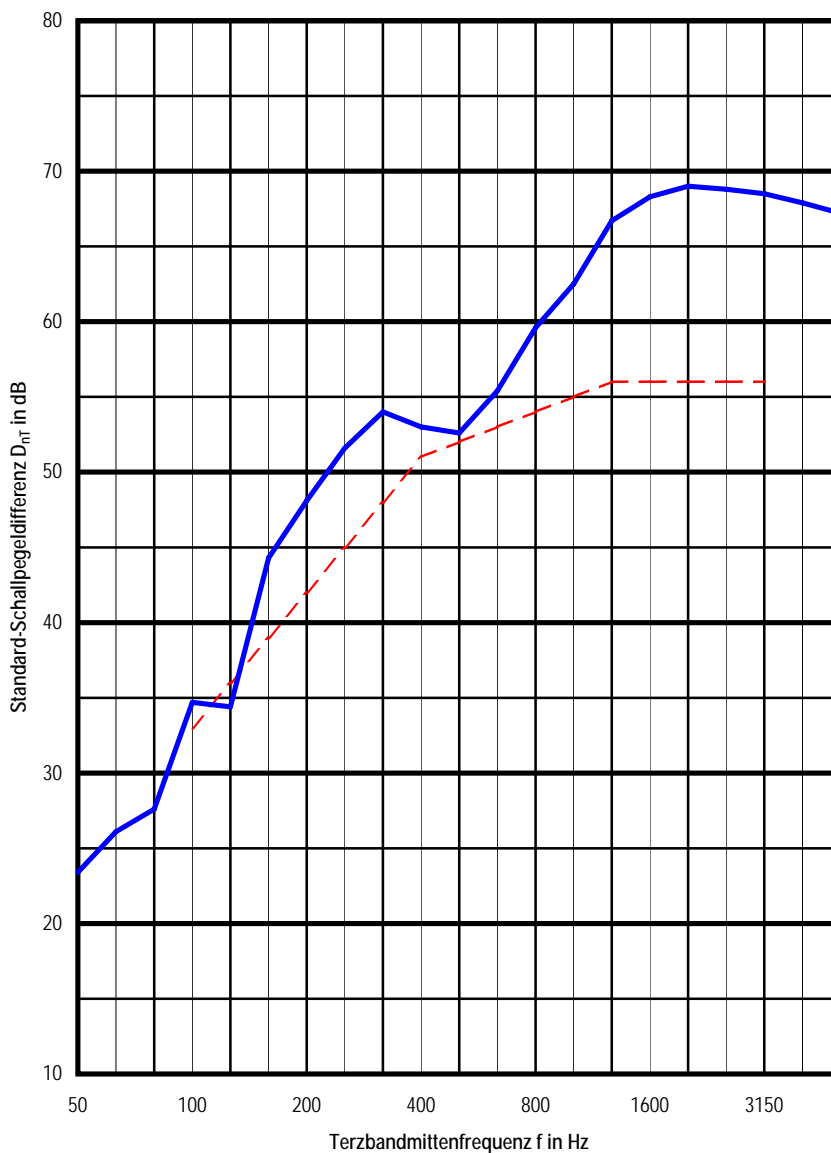
- 25 mm Rigidur
- 29 mm Floorrock GP 30-1
- PAE-Folie
- 50 mm Splittschüttung ungebunden, Körnung 4/8
- 140 mm KLH-Massivholzdecke 5s
- 80 mm abgehängte Decke gefüllt mit STEICO Flex
- 25 mm 2x12,5mm GKB

Einbau: keine Lager  
keine Befestigungsmittel

Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-1

bewertete Standard-Schallpegeldifferenz

**$D_{nT,w} \geq 58 (-2;-8)$  dB**



----- Bezugskurve

## Messung der Luftschalldämmung zw. Räumen in Gebäuden nach ÖNORM EN ISO 140-4 Ausgabe 1.Juli 1999

Prüfdatum: **31.03.2008** Auftraggeber:  
Prüfobjekt: **Messbox KLH** Prüfgegenstand: **Geschoßdecke lt. Angabe**

Senderraum		Empfangsraum	
Lage: <b>OG</b>	Volumen: <b>98 m<sup>3</sup></b>	Lage: <b>EG</b>	Volumen: <b>76 m<sup>3</sup></b>
Fläche des Trennbauteils: <b>31 m<sup>2</sup></b>			

Aufbau Prüfgegenstand:

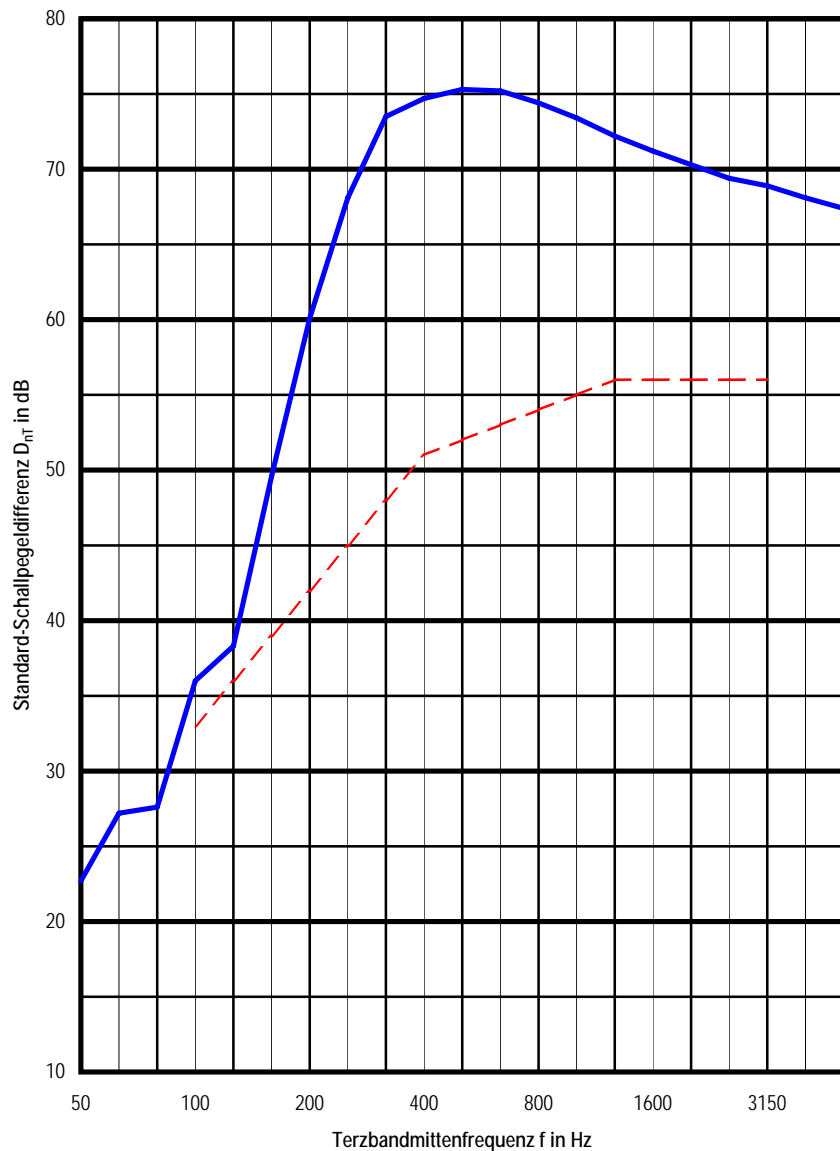
- 25 mm Rigidur
- 29 mm Floorrock GP 30-1
- PAE-Folie
- 50 mm Splittschüttung ungebunden, Körnung 4/8
- 140 mm KLH-Massivholzdecke 5s
- 80 mm abgehängte Decke gefüllt mit STEICO Flex
- 25 mm 2x12,5mm GKB

Einbau: Lager D über und unter der Decke  
keine Befestigungsmittel

Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-1

bewertete Standard-Schallpegeldifferenz

**$D_{nT,w} \geq 66 (-5;-12)$  dB**



----- Bezugskurve

## Messung der Luftschalldämmung zw. Räumen in Gebäuden nach ÖNORM EN ISO 140-4 Ausgabe 1.Juli 1999

Prüfdatum: <b>31.03.2008</b>	Autraggeber:
Prüfobjekt: <b>Messbox KLH</b>	Prüfgegenstand: <b>Geschoßdecke lt. Angabe</b>

<b>Senderraum</b> Lage: <b>OG</b> Volumen: <b>98 m³</b> Fläche des Trennbauteils: <b>31 m²</b>	<b>Empfangsraum</b> Lage: <b>EG</b> Volumen: <b>76 m³</b>
--	--

Aufbau Prüfgegenstand:

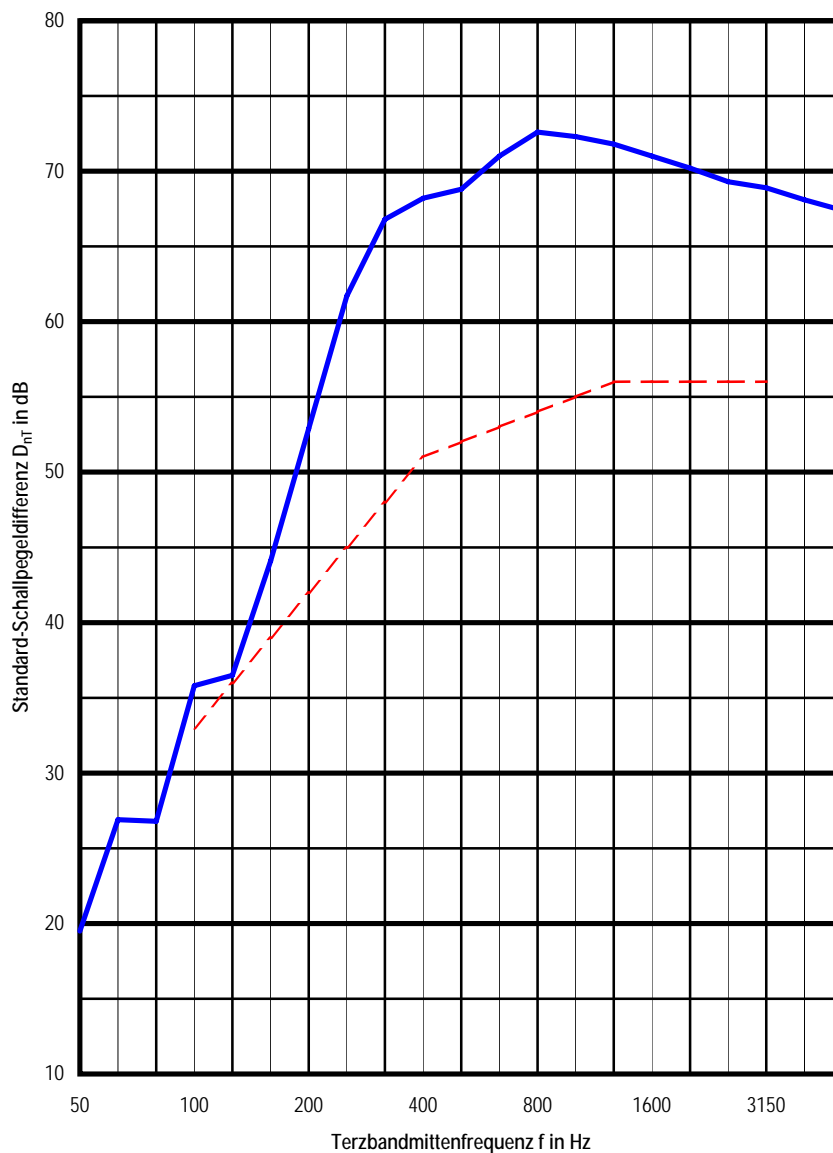
- 25 mm Rigidur
- 29 mm Floorrock GP 30-1
- PAE-Folie
- 50 mm Splittschüttung ungebunden, Körnung 4/8
- 140 mm KLH-Massivholzdecke 5s
- 80 mm abgehängte Decke gefüllt mit STEICO Flex
- 25 mm 2x12,5mm GKB

Einbau: Lager D über und unter der Decke  
Schrauben e=50 cm, Winkel e=125 cm

Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-1

bewertete Standard-Schallpegeldifferenz

**$D_{nT,w} \geq 64 (-5;-12)$  dB**



----- Bezugskurve

## Messung der Luftschalldämmung zw. Räumen in Gebäuden nach ÖNORM EN ISO 140-4 Ausgabe 1.Juli 1999

<b>Prüfdatum:</b> 31.03.2008	<b>Autraggeber:</b>
<b>Prüfobjekt:</b> Messbox KLH	<b>Prüfgegenstand:</b> Geschoßdecke lt. Angabe

<b>Senderraum</b>	<b>Empfangsraum</b>
Lage: <b>OG</b> Volumen: <b>98</b> m <sup>3</sup>	Lage: <b>EG</b> Volumen: <b>76</b> m <sup>3</sup>
Fläche des Trennbauteils: <b>31</b> m <sup>2</sup>	

Aufbau Prüfgegenstand:

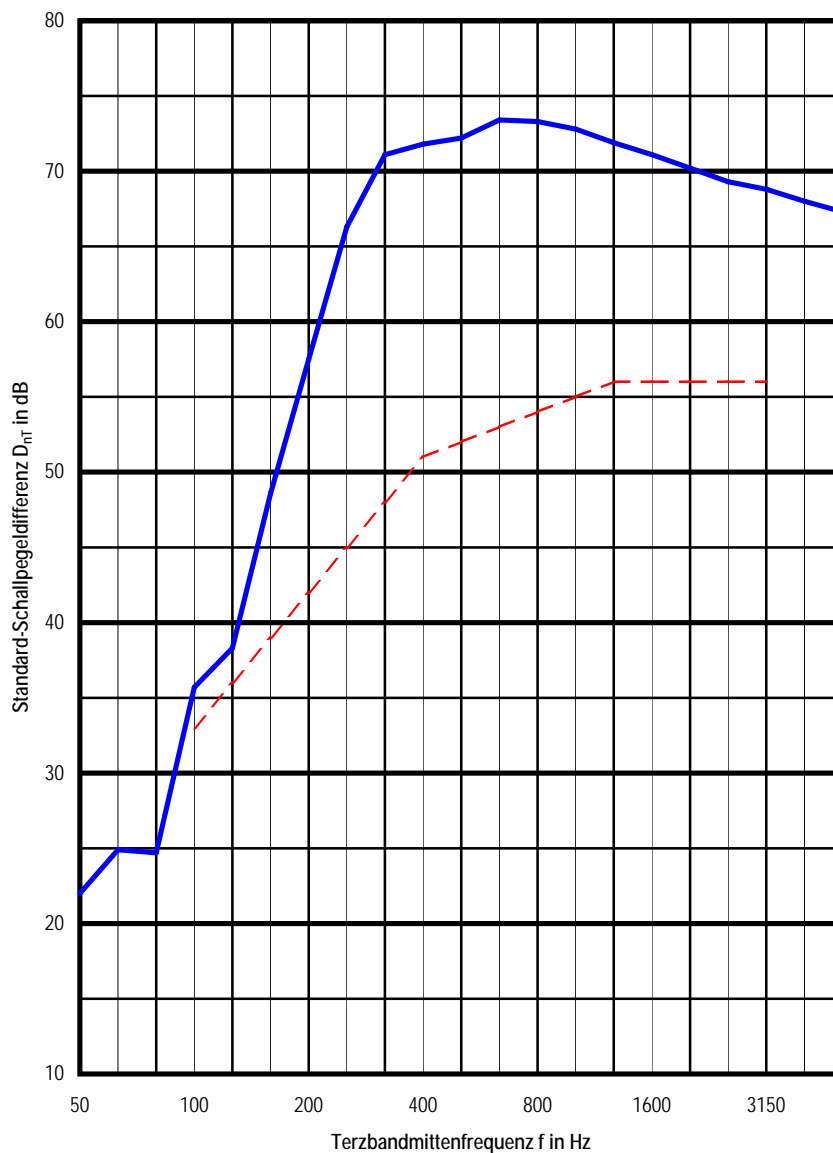
- 25 mm Rigidur
- 29 mm Floorrock GP 30-1
- PAE-Folie
- 50 mm Splittschüttung ungebunden, Körnung 4/8
- 140 mm KLH-Massivholzdecke 5s
- 80 mm abgehängte Decke gefüllt mit STEICO Flex
- 25 mm 2x12,5mm GKB

Einbau: Lager D über und unter der Decke  
optimierte Schrauben e=50 cm, optimierte Winkel e=125 cm

Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-1

bewertete Standard-Schallpegeldifferenz

**$D_{nT,w} \geq 66 (-5;-13)$  dB**



----- Bezugskurve

## Messung der Trittschalldämmung von Decken in Gebäuden nach ÖNORM EN ISO 140-7, Ausgabe 1.Juli 1998

Prüfdatum: 31.03.2008      Auftraggeber:  
Prüfobjekt: Messbox KLH      Prüfgegenstand: Geschoßdecke lt. Angabe

Senderraum **OG**      Empfangsraum **EG**      Volumen: **76** m<sup>3</sup>  
Fläche des Trennbauteils: **31** m<sup>2</sup>

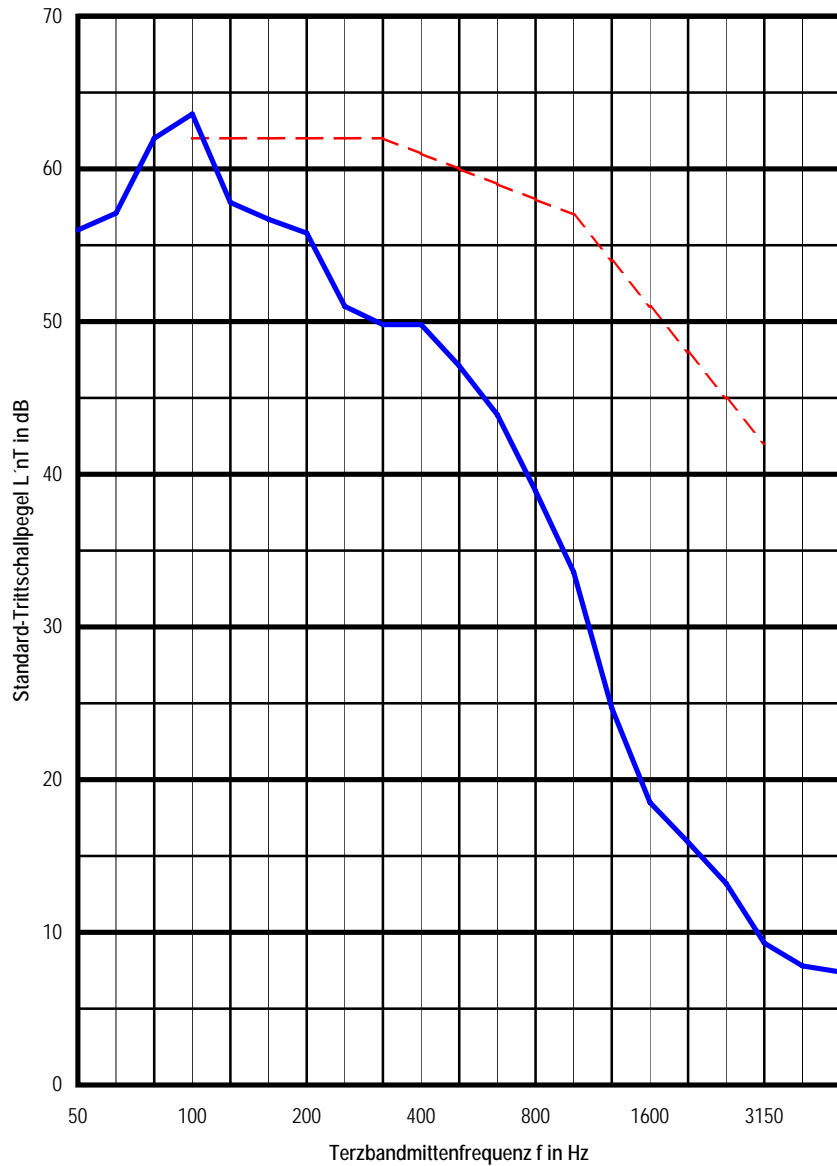
Aufbau Prüfgegenstand: 25 mm Rigidur  
29 mm Floorrock GP 30-1  
PAE-Folie  
50 mm Splittschüttung ungebunden, Körnung 4/8  
140 mm KLH-Massivholzdecke 5s  
80 mm abgehängte Decke gefüllt mit STEICO Flex  
25 mm 2x12,5mm GKB

Einbau: keine Lager  
keine Befestigungsmittel

Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-2

bewerteter Standard-Trittschallpegel  
 **$L'_{nT,w} (C_1) = 49 (2)$  dB**

$C_{1,50-2500} = 4$  dB  
 $L'_{n,w} = 53$  dB



----- Bezugskurve

## Messung der Trittschalldämmung von Decken in Gebäuden nach ÖNORM EN ISO 140-7, Ausgabe 1.Juli 1998

Prüfdatum: 31.03.2008      Auftraggeber:  
Prüfobjekt: Messbox KLH      Prüfgegenstand: Geschoßdecke lt. Angabe

Senderraum **OG**      Empfangsraum **EG**      Volumen: **76** m<sup>3</sup>  
Fläche des Trennbauteils: **31** m<sup>2</sup>

Aufbau Prüfgegenstand: 25 mm Rigidur  
29 mm Floorrock GP 30-1  
PAE-Folie  
50 mm Splittschüttung ungebunden, Körnung 4/8  
140 mm KLH-Massivholzdecke 5s  
80 mm abgehängte Decke gefüllt mit STEICO Flex  
25 mm 2x12,5mm GKB

Einbau: Lager D über und unter der Decke  
keine Befestigungsmittel

Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-2

bewerteter Standard-Trittschallpegel

$$L'_{nT,w} (C_1) = 45 (4) \text{ dB}$$

$$C_{1,50-2500} = 7 \text{ dB}$$

$$L'_{n,w} = 49 \text{ dB}$$



----- Bezugskurve

## Messung der Trittschalldämmung von Decken in Gebäuden nach ÖNORM EN ISO 140-7, Ausgabe 1.Juli 1998

Prüfdatum: 31.03.2008      Auftraggeber:  
Prüfobjekt: Messbox KLH      Prüfgegenstand: Geschoßdecke lt. Angabe

Senderraum **OG**      Empfangsraum **EG**      Volumen: **76** m<sup>3</sup>  
Fläche des Trennbauteils: **31** m<sup>2</sup>

Aufbau Prüfgegenstand: 25 mm Rigidur  
29 mm Floorrock GP 30-1  
PAE-Folie  
50 mm Splittschüttung ungebunden, Körnung 4/8  
140 mm KLH-Massivholzdecke 5s  
80 mm abgehängte Decke gefüllt mit STEICO Flex  
25 mm 2x12,5mm GKB

Einbau: Lager D über und unter der Decke  
Schrauben e=50 cm, Winkel e=125 cm

Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-2

bewerteter Standard-Trittschallpegel

$$L'_{nT,w} (C_1) = 46 (3) \text{ dB}$$

$$C_{1,50-2500} = 7 \text{ dB}$$

$$L'_{n,w} = 50 \text{ dB}$$



----- Bezugskurve

## Messung der Trittschalldämmung von Decken in Gebäuden nach ÖNORM EN ISO 140-7, Ausgabe 1.Juli 1998

Prüfdatum: **31.03.2008** Auftraggeber:  
Prüfobjekt: **Messbox KLH** Prüfgegenstand: **Geschoßdecke lt. Angabe**

Senderraum **OG** Empfangsraum **EG** Volumen: **76** m<sup>3</sup>  
Fläche des Trennbauteils: **31** m<sup>2</sup>

Aufbau Prüfgegenstand:  
25 mm Rigidur  
29 mm Floorrock GP 30-1  
PAE-Folie  
50 mm Splittschüttung ungebunden, Körnung 4/8  
140 mm KLH-Massivholzdecke 5s  
80 mm abgehängte Decke gefüllt mit STEICO Flex  
25 mm 2x12,5mm GKB

Einbau: Lager D über und unter der Decke  
optimierte Schrauben e=50 cm, optimierte Winkel e=125 cm

Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-2

bewerteter Standard-Trittschallpegel  
 **$L'_{nT,w} (C_1) = 45 (3)$  dB**

$C_{1,50-2500} = 7$  dB  
 $L'_{n,w} = 49$  dB



----- Bezugskurve



## Anhang A5 Messprotokolle von Luft- und Trittschallmessungen der Rohdecken

KLH 5s 160 mm

KLH 5s 140 mm

Lignatur Flächenelement 160 mm

Lignatur Flächenelement Silence 200 mm

## Messung der Luftschalldämmung zw. Räumen in Gebäuden nach ÖNORM EN ISO 140-4 Ausgabe 1.Juli 1999

Prüfdatum: **12.04.2007** Auftraggeber:  
Prüfobjekt: **Messbox KLH** Prüfgegenstand: **Geschoßdecke lt. Angabe**

Senderraum	Empfangsraum
Lage: <b>OG</b> Volumen: <b>98</b> m <sup>3</sup>	Lage: <b>EG</b> Volumen: <b>76</b> m <sup>3</sup>
Fläche des Trennbauteils: <b>31</b> m <sup>2</sup>	

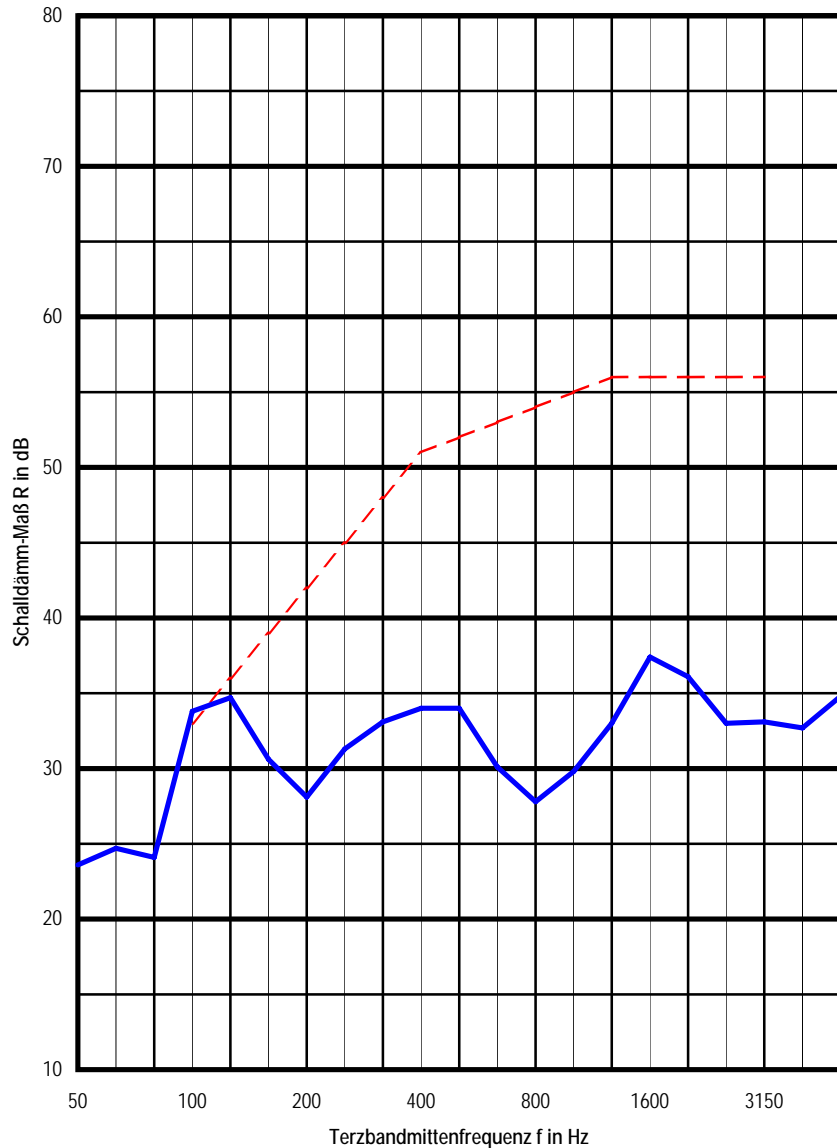
Aufbau Prüfgegenstand: **162 mm KLH-Massivholzdecke 5s**

Einbau: **entkoppelt**

Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-1

bewertetes Schalldämm-Maß

**R<sub>w</sub> ≥ 33 (-1,-2) dB**



----- Bezugskurve

## Messung der Luftschalldämmung zw. Räumen in Gebäuden nach ÖNORM EN ISO 140-4 Ausgabe 1.Juli 1999

Prüfdatum: **17.09.2008** Auftraggeber:  
Prüfobjekt: **Messbox KLH** Prüfgegenstand: **Rohdecke**

Senderraum	Empfangsraum
Lage: <b>OG</b> Volumen: <b>98</b> m <sup>3</sup>	Lage: <b>EG</b> Volumen: <b>76</b> m <sup>3</sup>
Fläche des Trennteils: <b>31</b> m <sup>2</sup>	

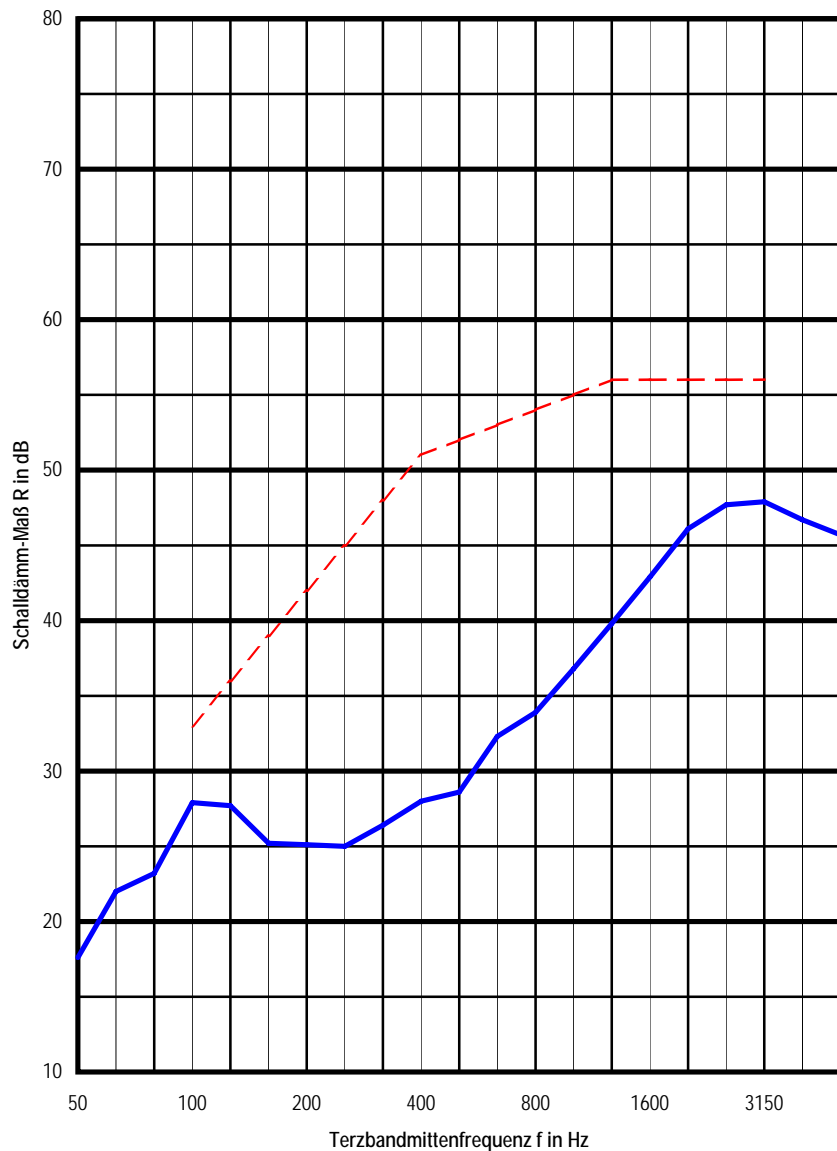
Aufbau Prüfgegenstand: **140 mm KLH-Massivholzdecke 5s**

Einbau: **entkoppelt**

Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-1

bewertetes Schalldämm-Maß

**R<sub>w</sub> ≥ 35 (-1,-3) dB**



----- Bezugskurve

## Messung der Luftschalldämmung zw. Räumen in Gebäuden nach ÖNORM EN ISO 140-4 Ausgabe 1.Juli 1999

Prüfdatum: 17.04.2007      Auftraggeber:  
Prüfobjekt: Messbox KLH      Prüfgegenstand: Geschoßdecke lt. Angabe

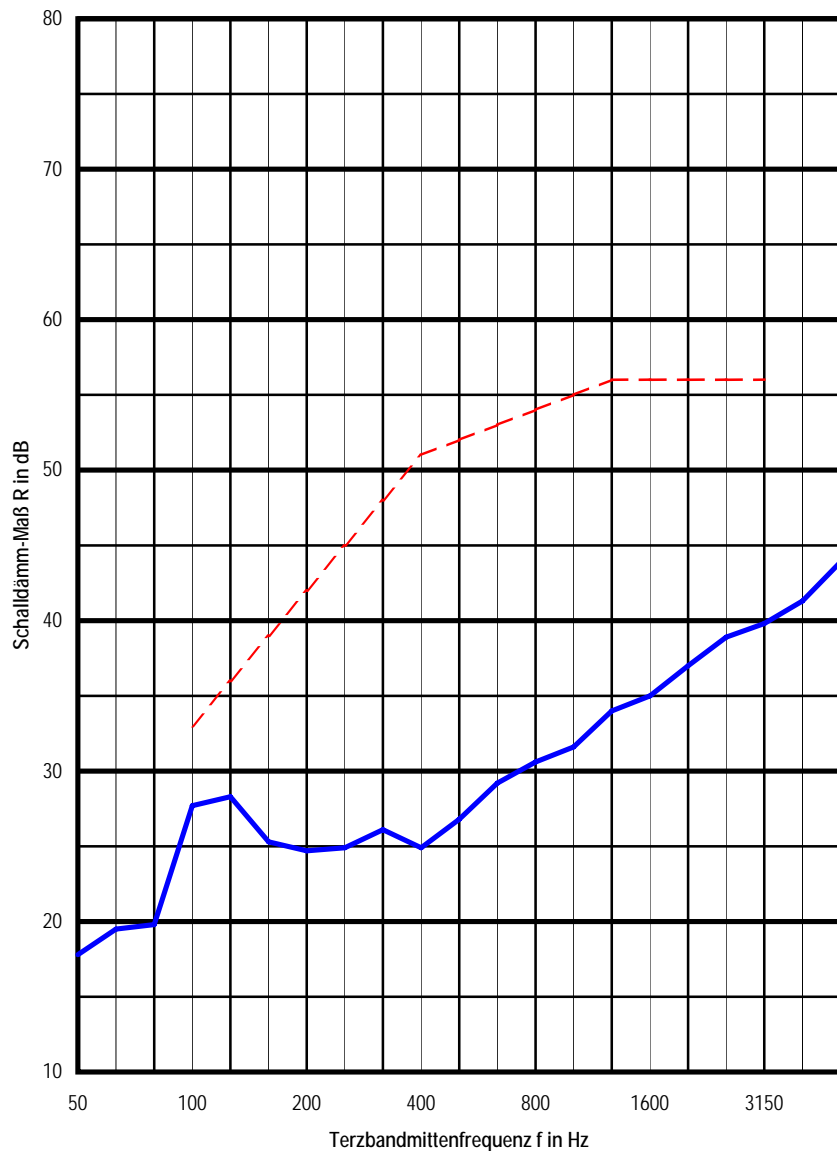
<b>Senderraum</b> Lage: OG      Volumen: 98 m <sup>3</sup> Fläche des Trennbauteils: 31 m <sup>2</sup>	<b>Empfangsraum</b> Lage: EG      Volumen: 76 m <sup>3</sup>
--	---

Aufbau Prüfgegenstand: 160 mm Lignatur Flächenelement

Einbau: entkoppelt

Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-1

bewertetes Schalldämm-Maß  
**R<sub>w</sub> ≥ 35 (-1,-3) dB**



----- Bezugskurve

## Messung der Luftschalldämmung zw. Räumen in Gebäuden nach ÖNORM EN ISO 140-4 Ausgabe 1.Juli 1999

Prüfdatum: **02.05.2007** Auftraggeber:  
Prüfobjekt: **Messbox KLH** Prüfgegenstand: **Geschoßdecke lt. Angabe**

Senderraum	Empfangsraum
Lage: <b>OG</b> Volumen: <b>98</b> m <sup>3</sup>	Lage: <b>EG</b> Volumen: <b>76</b> m <sup>3</sup>
Fläche des Trennbauteils: <b>31</b> m <sup>2</sup>	

Aufbau Prüfgegenstand: **15 mm OSB**  
**200 mm LIGNATUR Flächenelement silence**

Einbau: **entkoppelt**

Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-1

bewertetes Schalldämm-Maß

**R<sub>w</sub> ≥ 43 (0,-1) dB**



----- Bezugskurve

## Messung der Trittschalldämmung von Decken in Gebäuden nach ÖNORM EN ISO 140-7, Ausgabe 1.Juli 1998

Prüfdatum: 12.04.2007      Auftraggeber:  
Prüfobjekt: Messbox KLH      Prüfgegenstand: Geschoßdecke lt. Angabe

Senderraum **OG**      Empfangsraum **EG**      Volumen: **76** m<sup>3</sup>  
Fläche des Trennbauteils: **31** m<sup>2</sup>

Aufbau Prüfgegenstand: **162 mm KLH-Massivholzdecke 5s**

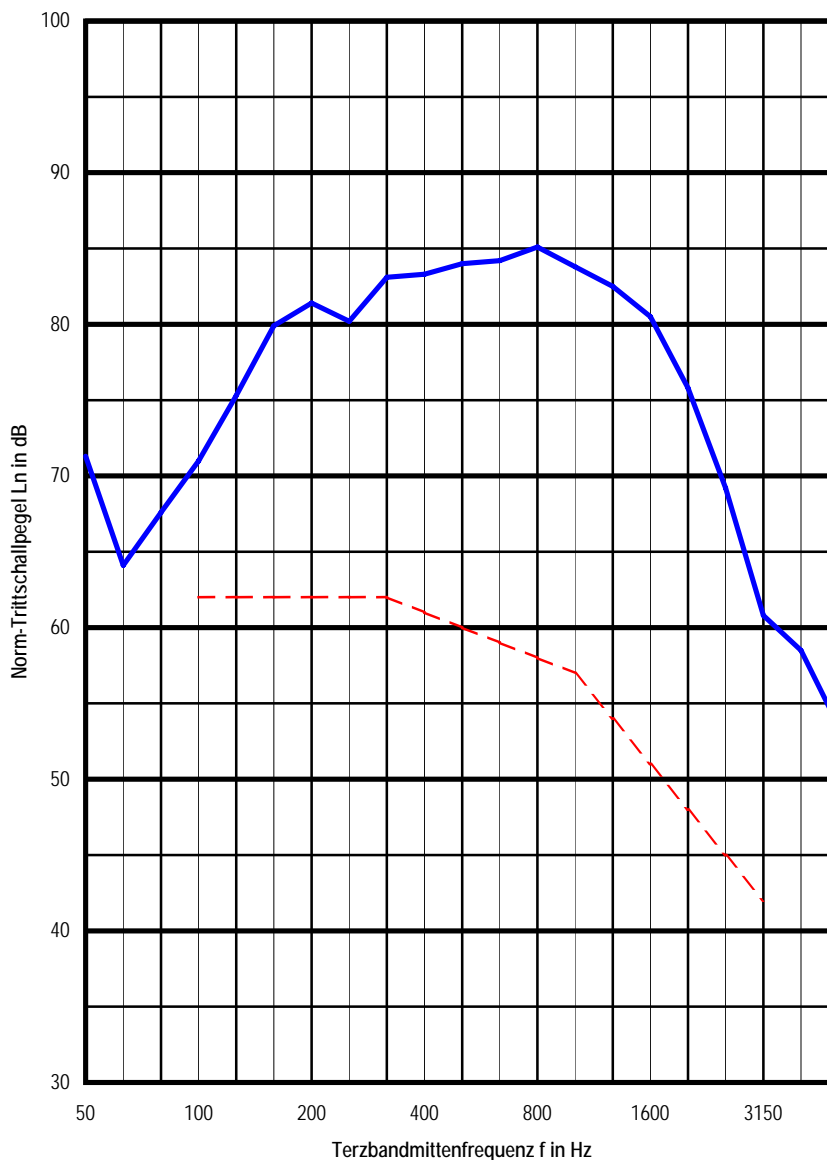
Einbau: **entkoppelt**

Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-2

bewerteter Norm-Trittschallpegel

**$L_{n,w} (C_1) = 83 (-5)$  dB**

$C_{1,50-2500} = -4$  dB



----- Bezugskurve

## Messung der Trittschalldämmung von Decken in Prüfständen nach ÖNORM EN ISO 140-6, Ausgabe 1.Juli 1999

Prüfdatum: 17.09.2008      Auftraggeber:  
Prüfobjekt: Messbox KLH      Prüfgegenstand: Rohdecke

Senderraum OG      Empfangsraum EG      Volumen: 85 m<sup>3</sup>  
Fläche des Trennbauteils: 31 m<sup>2</sup>

Aufbau Prüfgegenstand: 140 mm KLH-Massivholzdecke 5s

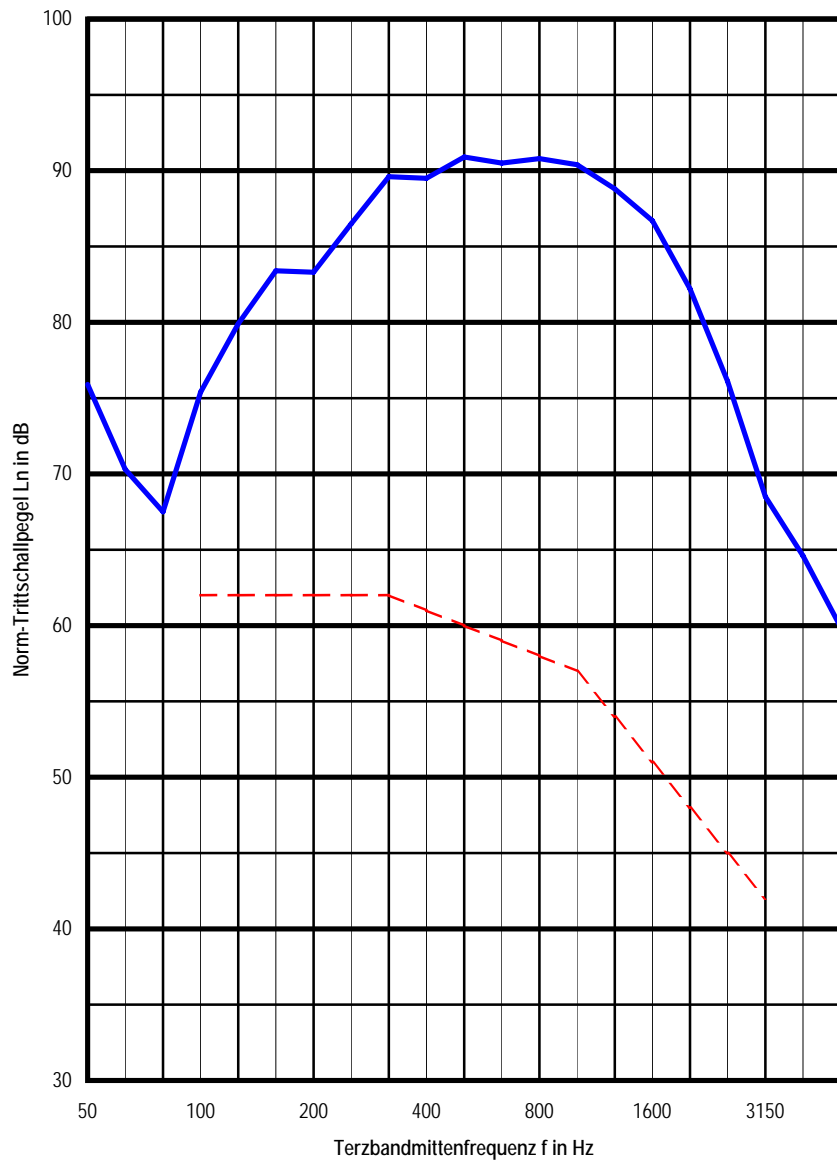
Einbau: entkoppelt

Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-2

bewerteter Norm-Trittschallpegel

$L_{n,w} (C_1) = 90 (-5) \text{ dB}$

$C_{1,50-2500} = -5 \text{ dB}$



----- Bezugskurve

## Messung der Trittschalldämmung von Decken in Prüfständen nach ÖNORM EN ISO 140-6, Ausgabe 1. Juli 1999

Prüfdatum: 17.04.2007      Auftraggeber:  
Prüfobjekt: Messbox KLH      Prüfgegenstand: Geschoßdecke lt. Angabe

Senderraum **OG**      Empfangsraum **EG**      Volumen: **76** m<sup>3</sup>  
Fläche des Trennbauteils: **31** m<sup>2</sup>

Aufbau Prüfgegenstand: **160 mm Lignatur Flächenelement**

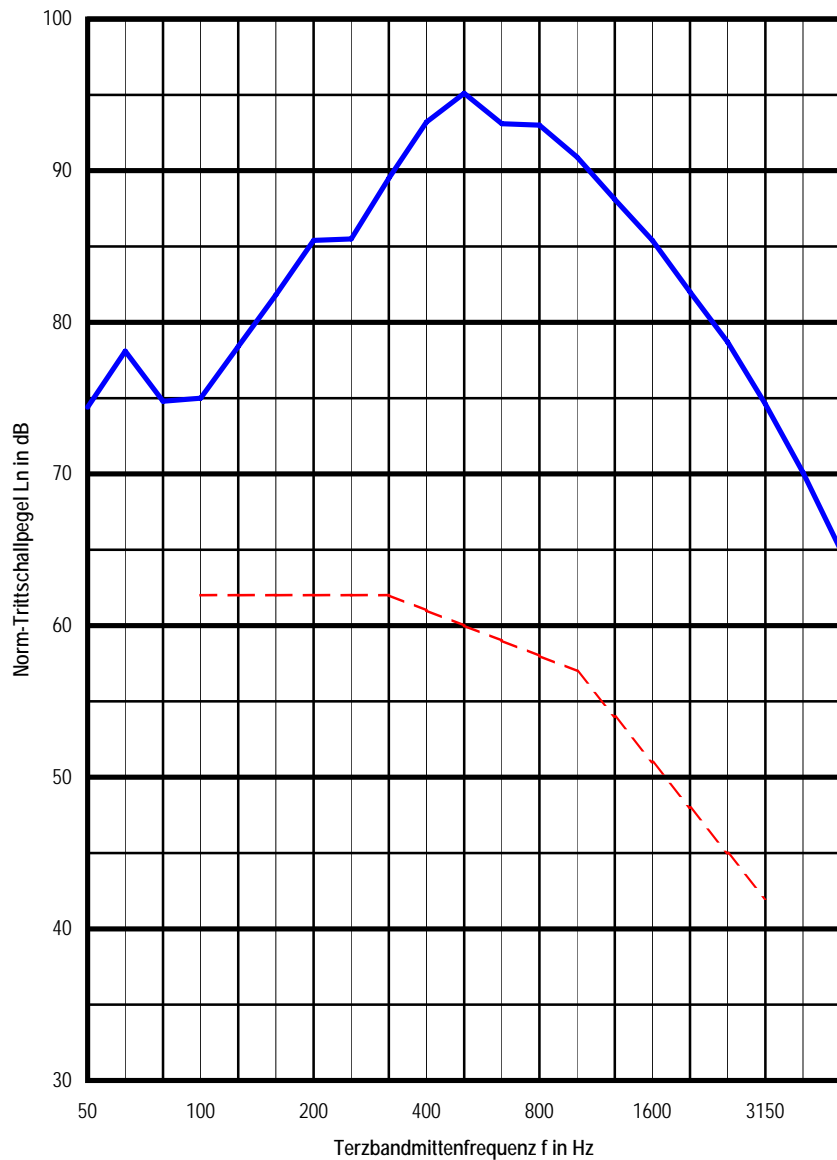
Einbau: **entkoppelt**

Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-2

bewerteter Norm-Trittschallpegel

**$L_{n,w} (C_1) = 91 (-5)$  dB**

$C_{1,50-2500} = -5$  dB



----- Bezugskurve



## Messung der Trittschalldämmung von Decken in Prüfständen nach ÖNORM EN ISO 140-6, Ausgabe 1.Juli 1999

Prüfdatum: 02.05.2007      Auftraggeber:  
Prüfobjekt: Messbox KLH      Prüfgegenstand: Geschoßdecke lt. Angabe

Senderraum **OG**      Empfangsraum **EG**      Volumen: **76** m<sup>3</sup>  
Fläche des Trennbauteils: **31** m<sup>2</sup>

Aufbau Prüfgegenstand: **15 mm OSB**  
**200 mm LIGNATUR Flächenelement silence**

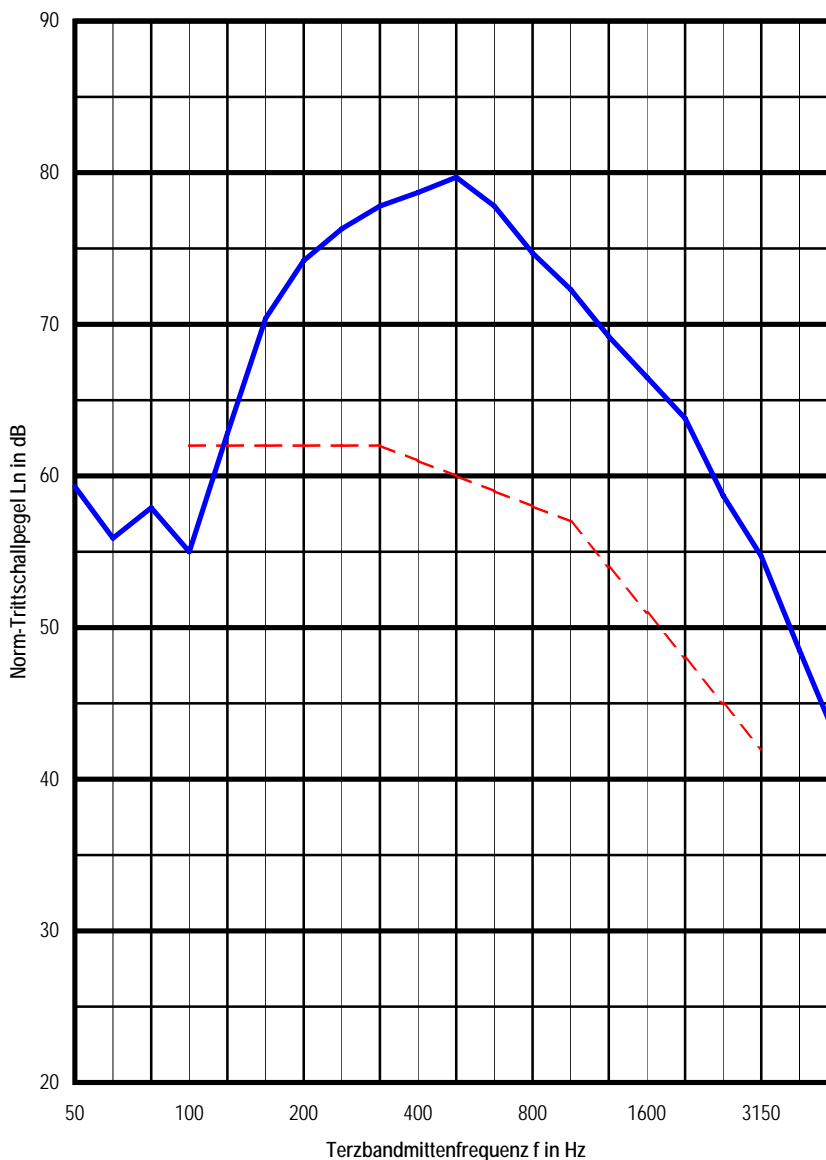
Einbau: **entkoppelt**

Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-2

bewerteter Norm-Trittschallpegel

**$L_{n,w} (C_1) = 74 (-3)$  dB**

$C_{1,50-2500} = -3$  dB



----- Bezugskurve

Anhang A6 Messprotokolle von Luft- und Trittschallmessungen an Holz-Beton-Verbunddecken

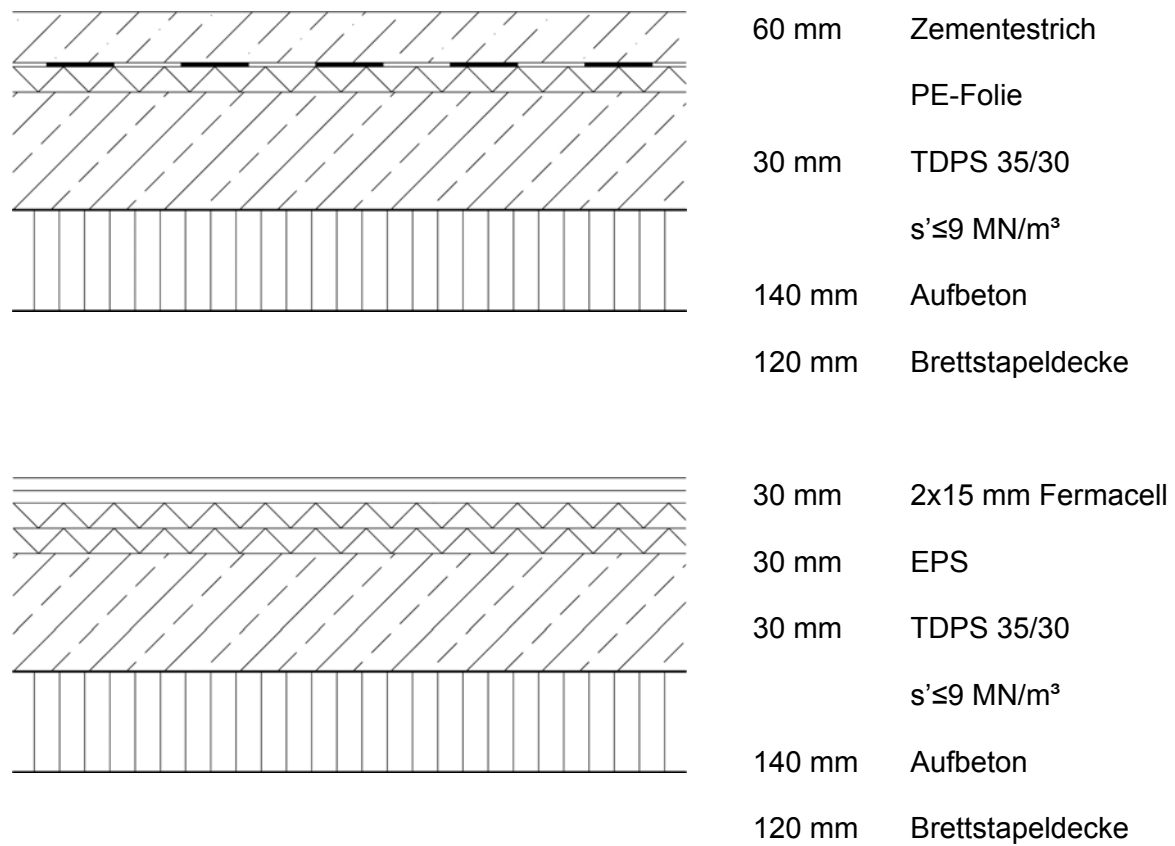


Abbildung A5: gemessene Aufbauten – Holz-Beton-Verbunddecke

## Messung der Luftschalldämmung zw. Räumen in Gebäuden nach ÖNORM EN ISO 140-4 Ausgabe 1.Juli 1999

Prüfdatum: <b>11.02.2008</b>	Autraggeber:
Prüfobjekt: <b>Messbox Sohm</b>	Prüfgegenstand: <b>Geschoßdecke lt. Angabe</b>

<b>Senderraum</b> Lage: <b>OG</b> Volumen: <b>69 m³</b> Fläche des Trennbauteils: <b>25 m²</b>	<b>Empfangsraum</b> Lage: <b>EG</b> Volumen: <b>62 m³</b>
--	--

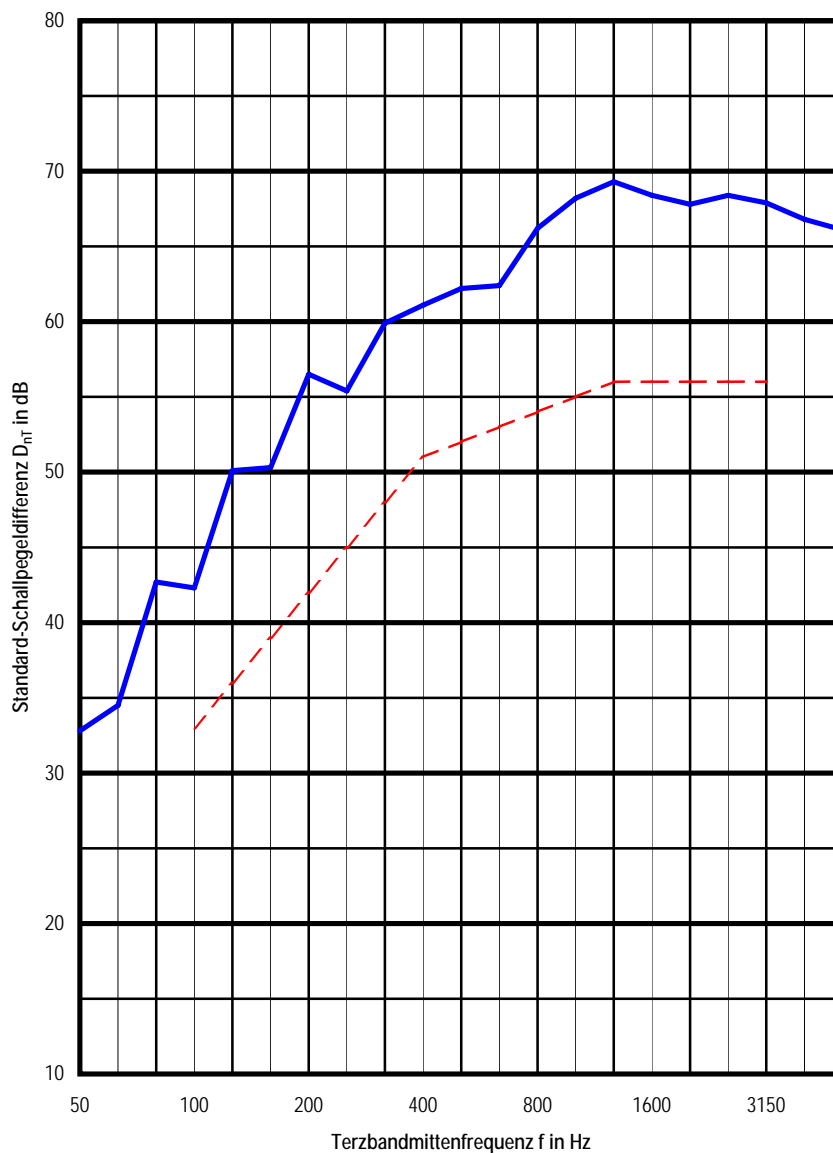
Aufbau Prüfgegenstand: **60 mm Zementestrich**  
**PE-Folie**  
**30 mm TDPS 35/30 s'≤9 MN/m³**  
**140 mm Aufbeton**  
**120 mm Brettstapeldecke**

Einbau: **keine Lager unter der Geschoßdecke**

Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-1

bewertete Standard-Schallpegeldifferenz

**$D_{nT,w} \geq 65 (-1;-6) \text{ dB}$**



----- Bezugskurve

## Messung der Luftschalldämmung zw. Räumen in Gebäuden nach ÖNORM EN ISO 140-4, Ausgabe 1.Juli 1999

Prüfdatum: **11.02.2008**      Auftraggeber:  
Prüfobjekt: **Messbox Sohm**      Prüfgegenstand: **Geschoßdecke lt. Angabe**

<b>Senderraum</b> Lage: <b>OG</b> Volumen: <b>69 m³</b> Fläche des Trennbauteils: <b>25 m²</b>	<b>Empfangsraum</b> Lage: <b>EG</b> Volumen: <b>62 m³</b>
--	--

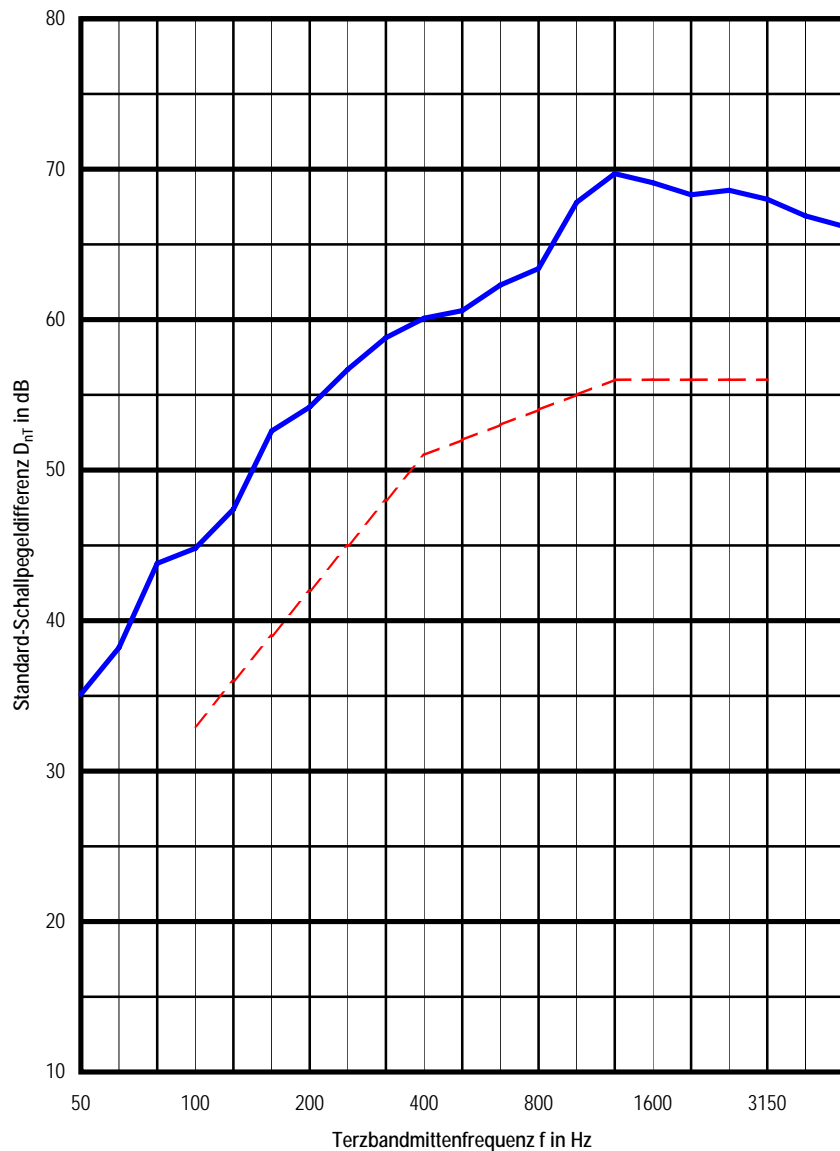
Aufbau Prüfgegenstand: **60 mm Zementestrich**  
**PE-Folie**  
**30 mm TDPS 35/30 s'≤9 MN/m³**  
**140 mm Aufbeton**  
**120 mm Brettstapeldecke**

Einbau: **entkoppelt unterhalb der Geschoßdecke**

Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-1

bewertete Standard-Schallpegeldifferenz

**$D_{nT,w} \geq 65 (-2;-5) \text{ dB}$**



----- Bezugskurve

## Messung der Luftschalldämmung zw. Räumen in Gebäuden nach ÖNORM EN ISO 140-4, Ausgabe 1.Juli 1999

Prüfdatum: **11.02.2008**      Auftraggeber:  
Prüfobjekt: **Messbox Sohm**      Prüfgegenstand: **Geschoßdecke lt. Angabe**

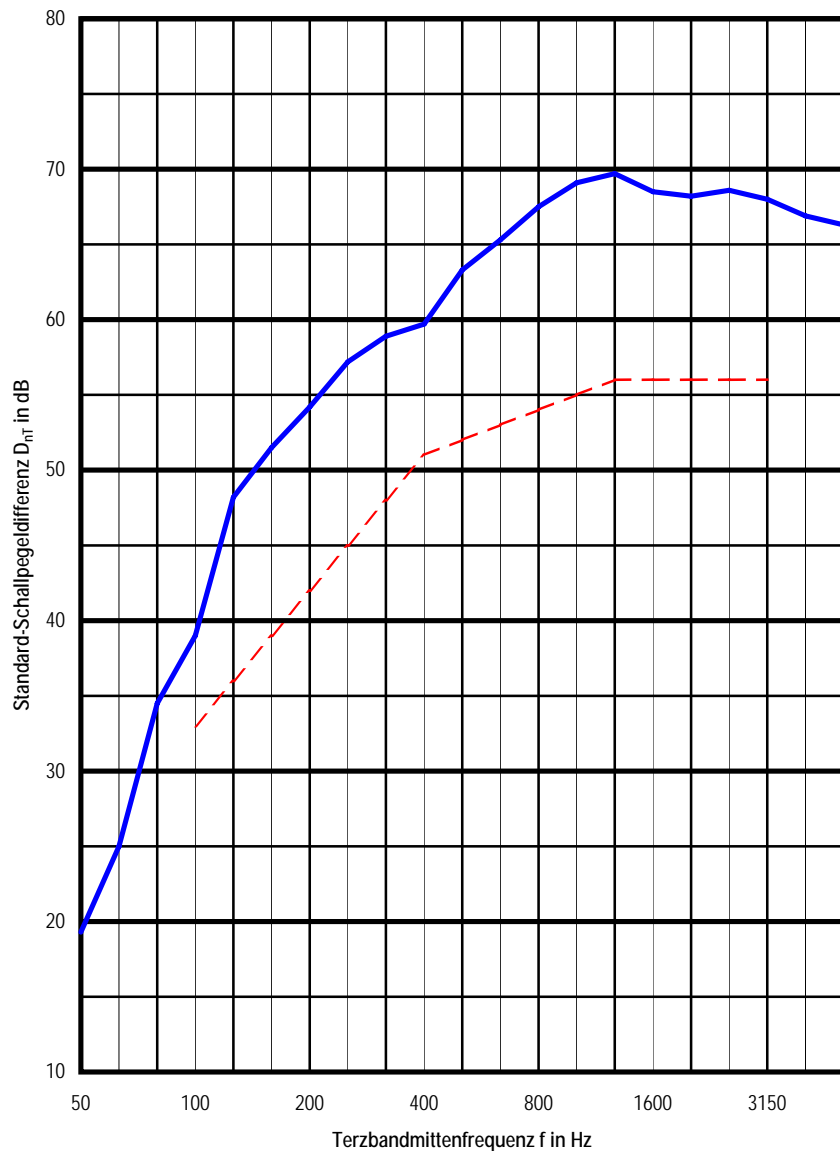
<b>Senderraum</b> Lage: <b>OG</b> Volumen: <b>69 m³</b> Fläche des Trennbauteils: <b>25 m²</b>	<b>Empfangsraum</b> Lage: <b>EG</b> Volumen: <b>62 m³</b>
--	--

Einbau: **Lager Getzner Sylodyn ND unterhalb der Geschoßdecke**

Aufbau Prüfgegenstand: **30 mm 2x15mm Fermacell  
30 mm EPS  
30 mm TDPS 35/30 s'≤9 MN/m³  
140 mm Aufbeton  
120 mm Brettstapeldecke**

Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-1

bewertete Standard-Schallpegeldifferenz  
 **$D_{nT,w} \geq 65 (-2;-8) \text{ dB}$**



----- Bezugskurve

## Messung der Luftschalldämmung zw. Räumen in Gebäuden nach ÖNORM EN ISO 140-4, Ausgabe 1.Juli 1999

Prüfdatum: <b>11.02.2008</b>	Autraggeber:
Prüfobjekt: <b>Messbox Sohm</b>	Prüfgegenstand: <b>Geschoßdecke lt. Angabe</b>

<b>Senderraum</b> Lage: <b>OG</b> Volumen: <b>69 m³</b> Fläche des Trennbauteils: <b>25 m²</b>	<b>Empfangsraum</b> Lage: <b>EG</b> Volumen: <b>62 m³</b>
--	--

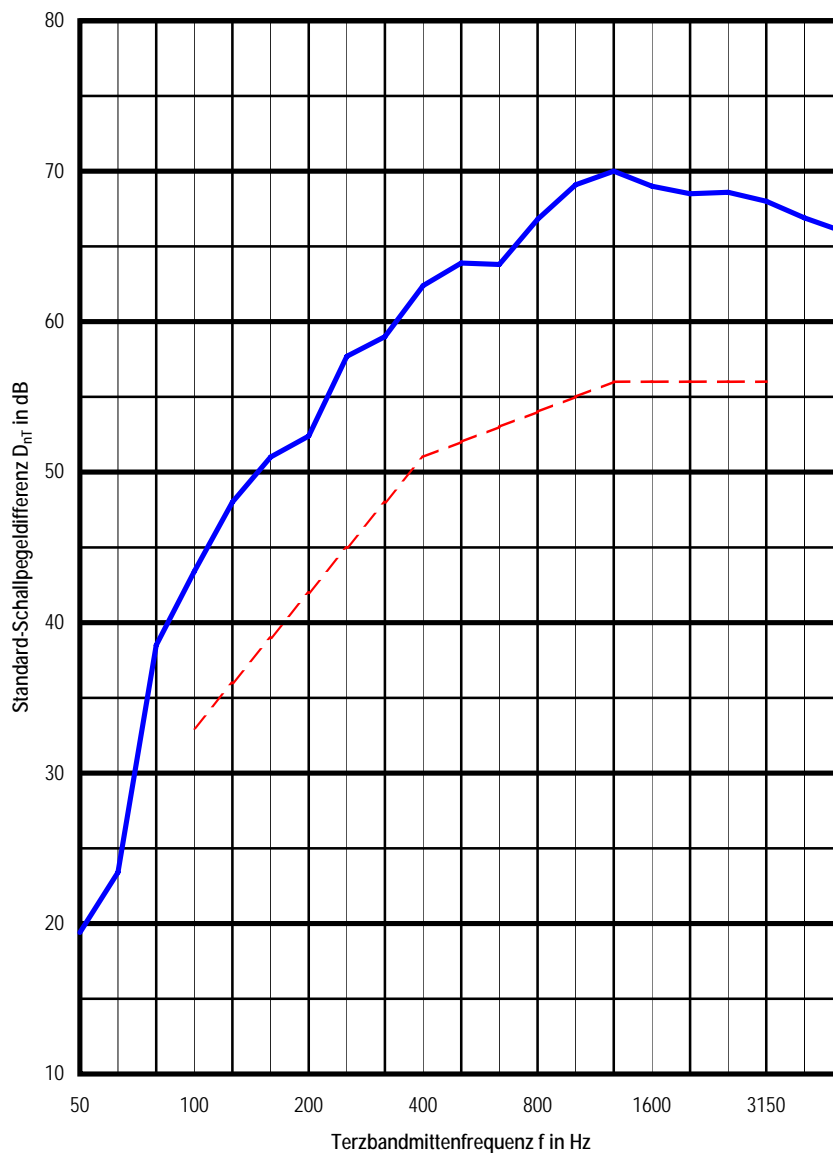
Aufbau Prüfgegenstand: **30 mm 2x15mm Fermacell**  
**30 mm EPS**  
**30 mm TDPS 35/30 s'≤9 MN/m³**  
**140 mm Aufbeton**  
**120 mm Brettstapeldecke**

Einbau: **entkoppelt unterhalb der Geschoßdecke**

Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-1

bewertete Standard-Schallpegeldifferenz

**$D_{nT,w} \geq 66 (-2;-7) \text{ dB}$**



----- Bezugskurve

## Messung der Luftschalldämmung zw. Räumen in Gebäuden nach ÖNORM EN ISO 140-4, Ausgabe 1.Juli 1999

Prüfdatum: **11.02.2008**      Auftraggeber:  
Prüfobjekt: **Messbox Sohm**      Prüfgegenstand: **Geschoßdecke lt. Angabe**

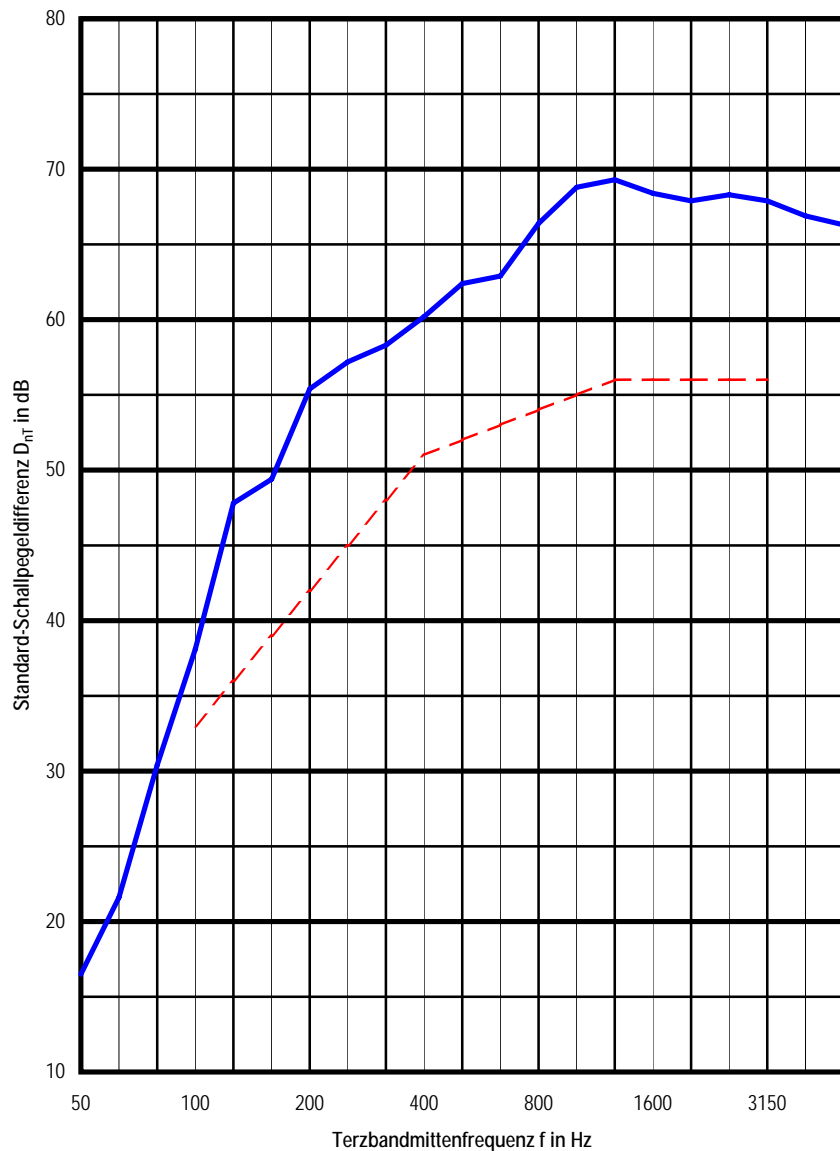
<b>Senderraum</b> Lage: <b>OG</b> Volumen: <b>69 m³</b> Fläche des Trennbauteils: <b>25 m²</b>	<b>Empfangsraum</b> Lage: <b>EG</b> Volumen: <b>62 m³</b>
--	--

Einbau: **keine Lager unterhalb der Geschoßdecke**

Aufbau Prüfgegenstand: **30 mm 2x15mm Fermacell  
30 mm EPS  
30 mm TDPS 35/30 s'≤9 MN/m³  
140 mm Aufbeton  
120 mm Brettstapeldecke**

Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-1

bewertete Standard-Schallpegeldifferenz  
 **$D_{nT,w} \geq 65 (-3;-9) \text{ dB}$**



----- Bezugskurve

## Messung der Trittschalldämmung von Decken in Gebäuden nach ÖNORM EN ISO 140-7, Ausgabe 1. Juli 1998

Prüfdatum: 11.02.2008      Auftraggeber:  
Prüfobjekt: Messbox Sohm      Prüfgegenstand: Geschoßdecke lt. Angabe

Senderraum **OG**      Empfangsraum **EG**      Volumen: **62** m<sup>3</sup>  
Fläche des Trennbauteils: **25** m<sup>2</sup>

Aufbau Prüfgegenstand: 60 mm Zementestrich  
PE-Folie  
30 mm TDPS 35/30 s'<sub>≤9</sub> MN/m<sup>3</sup>  
140 mm Aufbeton  
120 mm Brettstapeldecke

Einbau: keine Lager unter der Geschoßdecke

Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-2

bewerteter Standard-Trittschallpegel  
 **$L'_{nT,w} (C_1) = 43 (-5)$  dB**

$C_{1,50-2500} = 0$  dB

$L'_{n,w} = 46$  dB



----- Bezugskurve



## Messung der Trittschalldämmung von Decken in Gebäuden nach ÖNORM EN ISO 140-7, Ausgabe 1. Juli 1998

Prüfdatum: 11.02.2008      Auftraggeber:  
Prüfobjekt: Messbox Sohm      Prüfgegenstand: Geschoßdecke lt. Angabe

Senderraum **OG**      Empfangsraum **EG**      Volumen: **62** m<sup>3</sup>  
Fläche des Trennbauteils: **25** m<sup>2</sup>

Aufbau Prüfgegenstand: 60 mm Zementestrich  
PE-Folie  
30 mm TDPS 35/30 s'<sub>≤9</sub> MN/m<sup>3</sup>  
140 mm Aufbeton  
120 mm Brettstapeldecke

Einbau: entkoppelt unter der Geschoßdecke

Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-2

bewerteter Standard-Trittschallpegel

$$L'_{nT,w} (C_1) = 41 (-6) \text{ dB}$$

$$C_{1,50-2500} = -2 \text{ dB}$$

$$L'_{n,w} = 44 \text{ dB}$$



----- Bezugskurve

## Messung der Trittschalldämmung von Decken in Gebäuden nach ÖNORM EN ISO 140-7, Ausgabe 1.Juli 1998

Prüfdatum: 11.02.2008      Auftraggeber:  
Prüfobjekt: Messbox Sohm      Prüfgegenstand: Geschoßdecke lt. Angabe

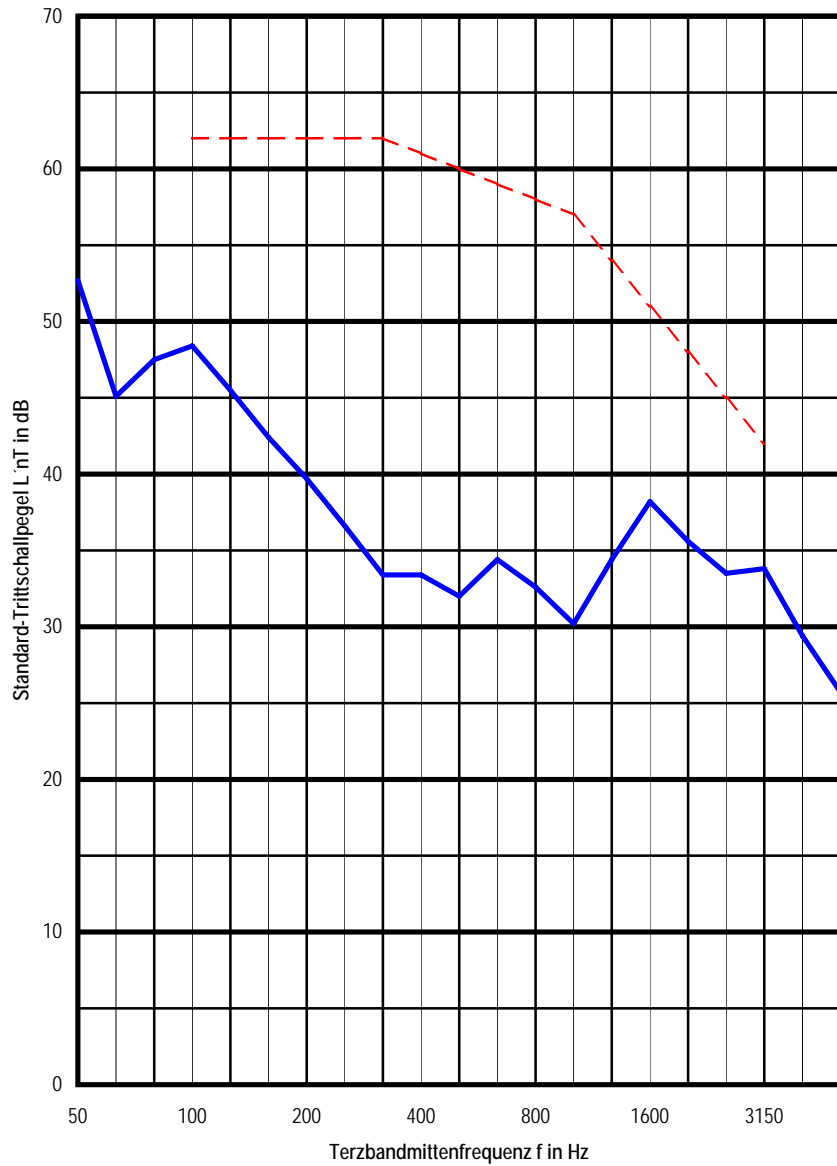
Senderraum **OG**      Empfangsraum **EG**      Volumen: **62** m<sup>3</sup>  
Fläche des Trennbauteils: **25** m<sup>2</sup>

Aufbau Prüfgegenstand: **60 mm Zementestrich**  
**PE-Folie**  
Einbau: **Lager Getzner Sylodyn ND unterhalb der Geschoßdecke**  
**30 mm TDPS 35/30 s'≤9 MN/m<sup>3</sup>**  
**140 mm Aufbeton**  
**120 mm Brettstapeldecke**

Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-2

bewerteter Standard-Trittschallpegel  
 **$L'_{nT,w} (C_1) = 43 (-6)$  dB**

$C_{1,50-2500} = -2$  dB  
 $L'_{n,w} = 46$  dB



----- Bezugskurve

## Messung der Trittschalldämmung von Decken in Gebäuden nach ÖNORM EN ISO 140-7, Ausgabe 1.Juli 1998

Prüfdatum: 11.02.2008      Auftraggeber:  
Prüfobjekt: Messbox Sohm      Prüfgegenstand: Geschoßdecke lt. Angabe

Senderraum **OG**      Empfangsraum **EG**      Volumen: **62** m<sup>3</sup>  
Fläche des Trennbauteils: **25** m<sup>2</sup>

Aufbau Prüfgegenstand: 30 mm 2x15mm Fermacell  
30 mm EPS  
30 mm TDPS 35/30 s'<sub>≤9</sub> MN/m<sup>3</sup>  
140 mm Aufbeton  
120 mm Brettstapeldecke

Einbau: Lager Getzner Sylodyn ND unterhalb der Geschoßdecke

Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-2

bewerteter Standard-Trittschallpegel

**$L'_{nT,w} (C_1) = 37 (1)$  dB**

$C_{1,50-2500} = 6$  dB

$L'_{n,w} = 40$  dB



----- Bezugskurve

## Messung der Trittschalldämmung von Decken in Gebäuden nach ÖNORM EN ISO 140-7, Ausgabe 1.Juli 1998

Prüfdatum: 11.02.2008      Auftraggeber:  
Prüfobjekt: Messbox Sohm      Prüfgegenstand: Geschoßdecke lt. Angabe

Senderraum **OG**      Empfangsraum **EG**      Volumen: **62** m<sup>3</sup>  
Fläche des Trennbauteils: **25** m<sup>2</sup>

Aufbau Prüfgegenstand: 30 mm 2x15mm Fermacell  
30 mm EPS  
30 mm TDPS 35/30 s'<sub>≤9</sub> MN/m<sup>3</sup>  
140 mm Aufbeton  
120 mm Brettstapeldecke

Einbau: entkoppelt unter der Geschoßdecke

Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-2

bewerteter Standard-Trittschallpegel

**$L'_{nT,w} (C_1) = 37 (1)$  dB**

$C_{1,50-2500} = 4$  dB

$L'_{n,w} = 40$  dB



----- Bezugskurve

## Messung der Trittschalldämmung von Decken in Gebäuden nach ÖNORM EN ISO 140-7, Ausgabe 1.Juli 1998

Prüfdatum: 11.02.2008      Auftraggeber:  
Prüfobjekt: Messbox Sohm      Prüfgegenstand: Geschoßdecke lt. Angabe

Senderraum **OG**      Empfangsraum **EG**      Volumen: **62** m<sup>3</sup>  
Fläche des Trennbauteils: **25** m<sup>2</sup>

Aufbau Prüfgegenstand: 30 mm 2x15mm Fermacell  
30 mm EPS  
30 mm TDPS 35/30 s'<sub>≤9</sub> MN/m<sup>3</sup>  
140 mm Aufbeton  
120 mm Brettstapeldecke

Einbau: keine Lager unter der Geschoßdecke

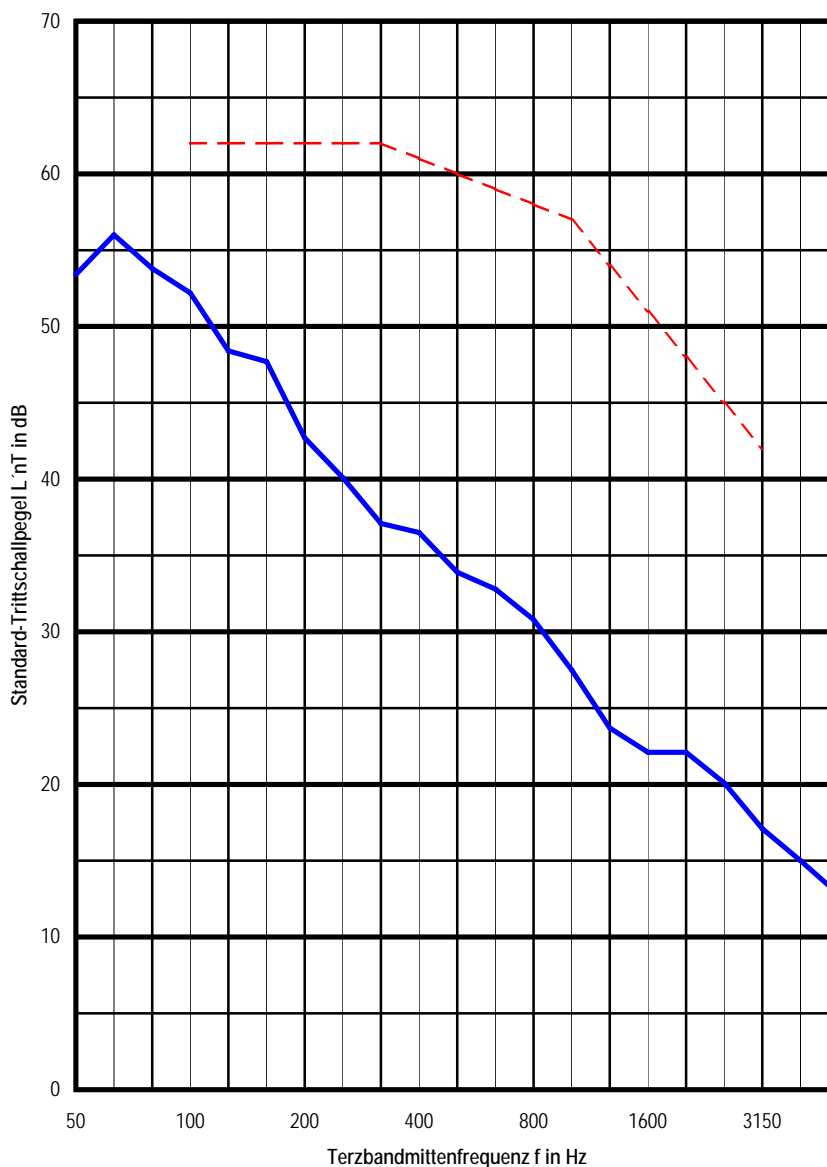
Bewertung nach ÖNORM EN ISO 717-2

bewerteter Standard-Trittschallpegel

**$L'_{nT,w} (C_1) = 38 (2)$  dB**

$C_{1,50-2500} = 8$  dB

$L'_{n,w} = 41$  dB



----- Bezugskurve

# Anhang B Messergebnisse Schwingungsmessungen

## Anhang B1 Schwingungsmessungen – Schnellepegeldifferenz

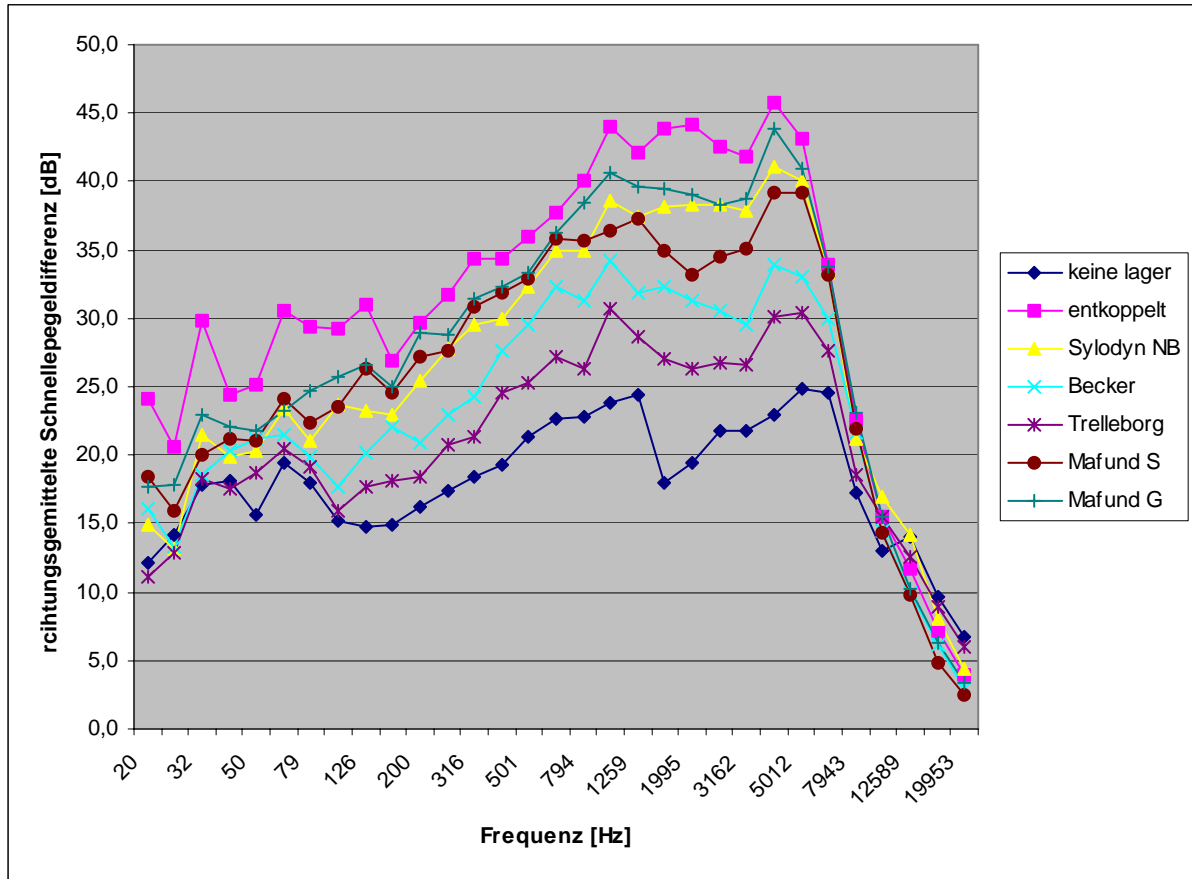


Abbildung B1: richtungsgemittelte Schnellepegeldifferenz  $\overline{D_v}$  mit unterschiedlichen Lagern unter der Decke eingelegt. Ohne Befestigungsmittel, ohne zusätzlicher Belastung.

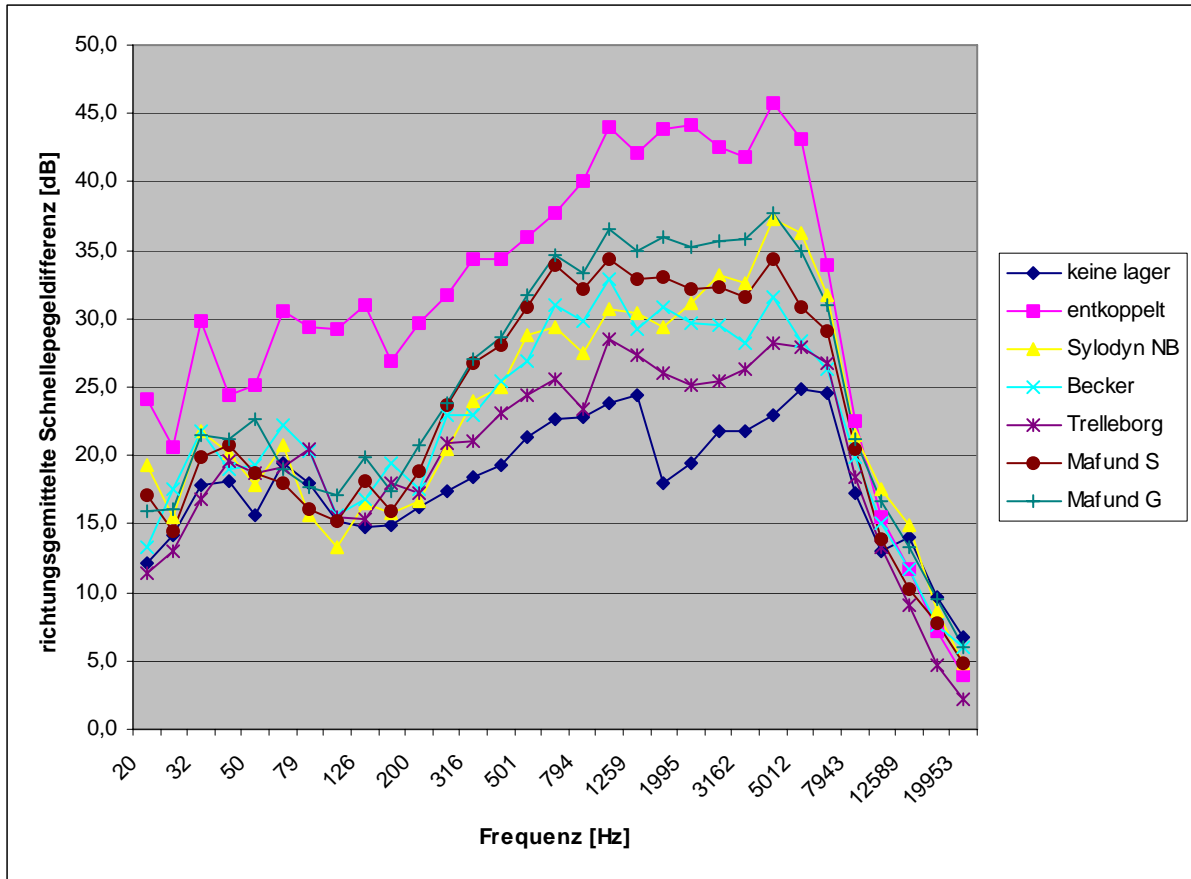


Abbildung B2: richtungsgemittelte Schnellepegeldifferenz  $\overline{D_v}$  mit unterschiedlichen Lagern unter der Decke eingelegt. Mit Befestigungsmittel, ohne zusätzlicher Belastung.

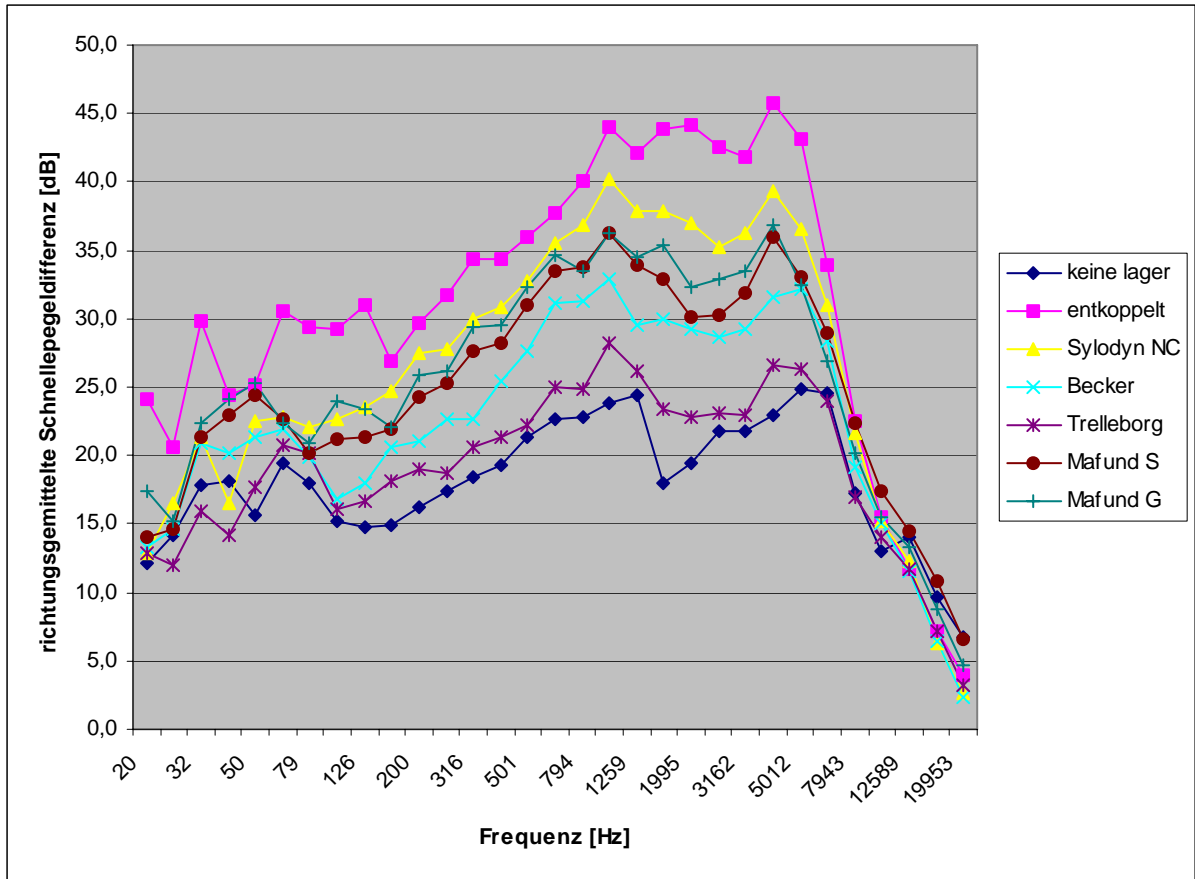


Abbildung B3: richtungsgemittelte Schnellepegeldifferenz  $\overline{D}_v$  mit unterschiedlichen Lagern unter der Decke eingelegt. Ohne Befestigungsmittel, mit zusätzlicher Belastung.



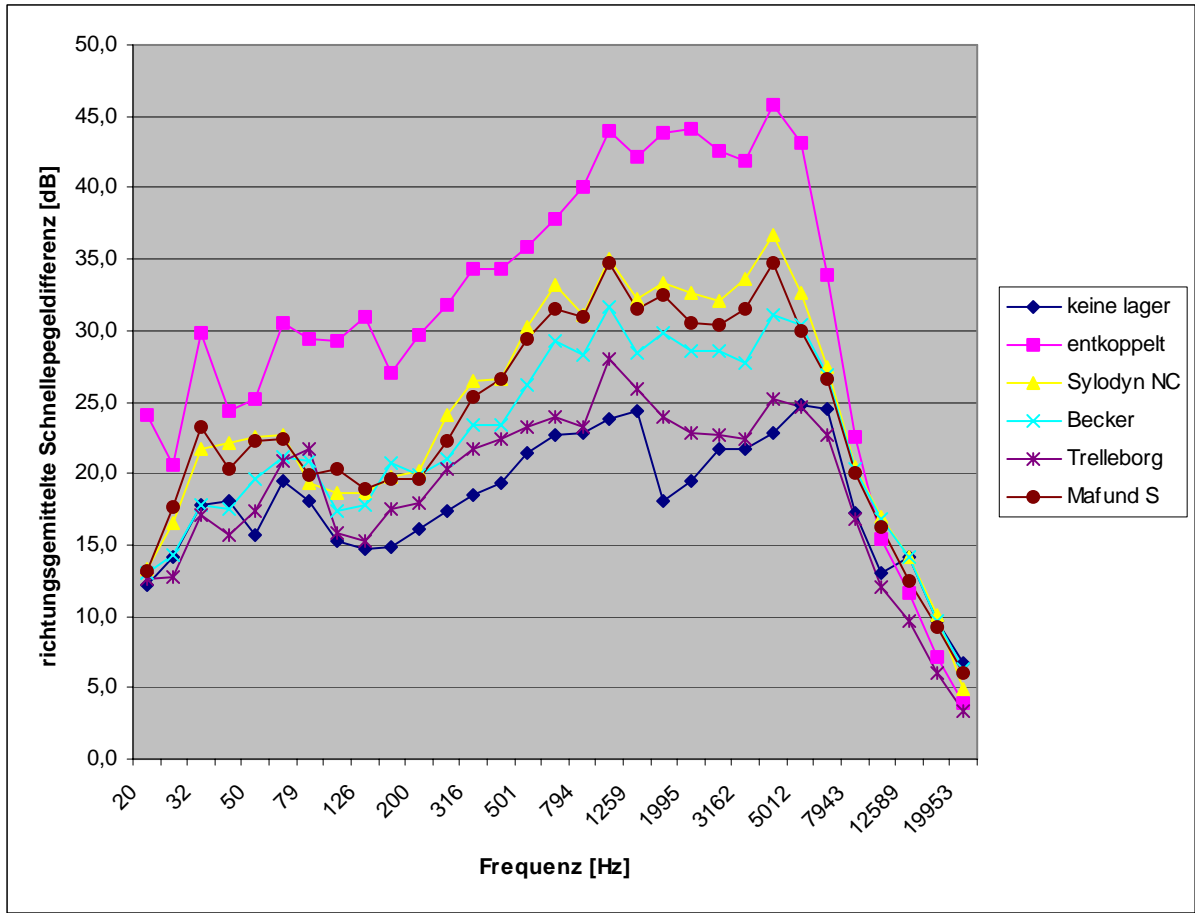


Abbildung B4: richtungsgemittelte Schnellepegeldifferenz  $\overline{D}_v$  mit unterschiedlichen Lagern unter der Decke eingelegt. Mit Befestigungsmittel, mit zusätzlicher Belastung.

Anhang B2 Schwingungsmessungen – Körperschallnachhallzeit

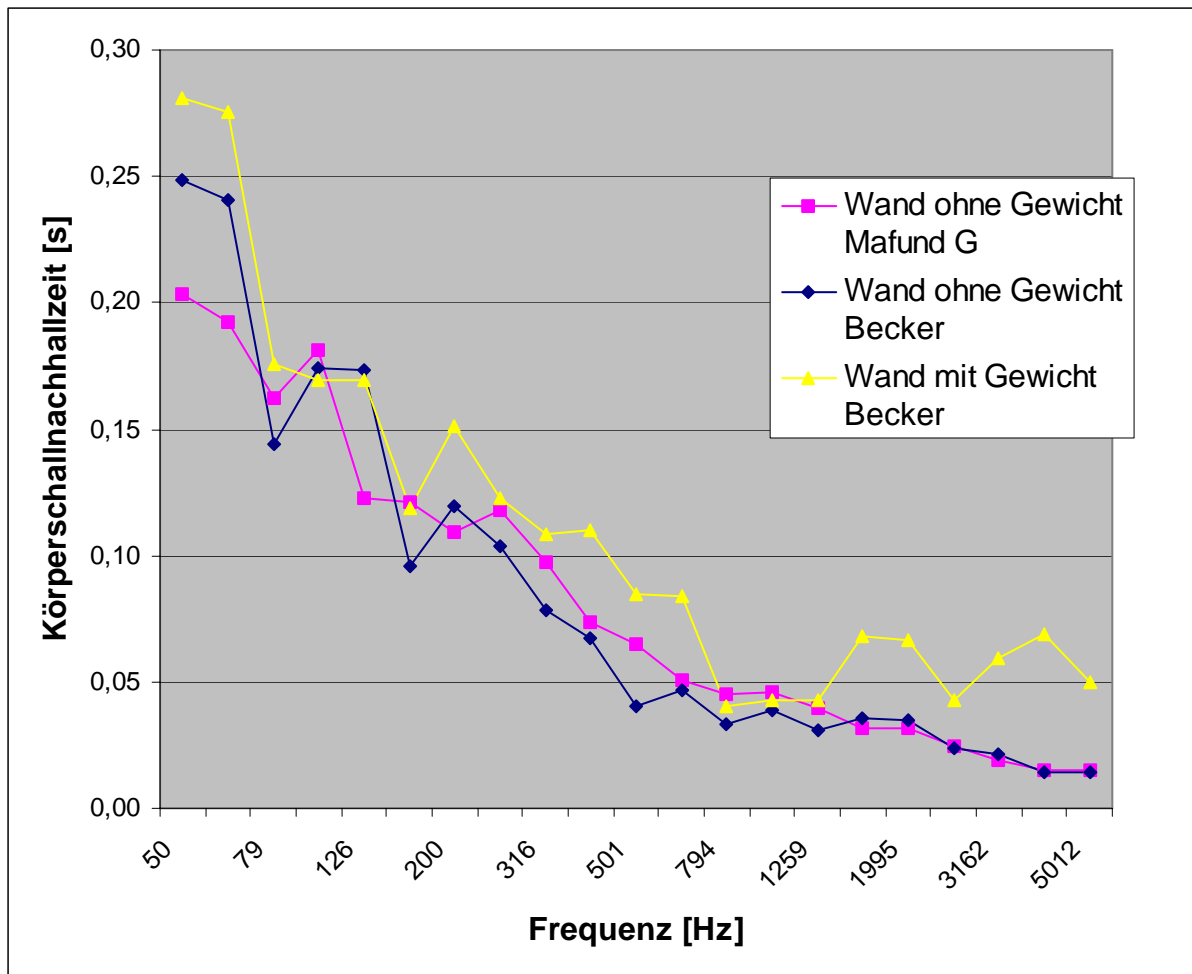


Abbildung B5: Körperschallnachhallzeit der Massivholzwände

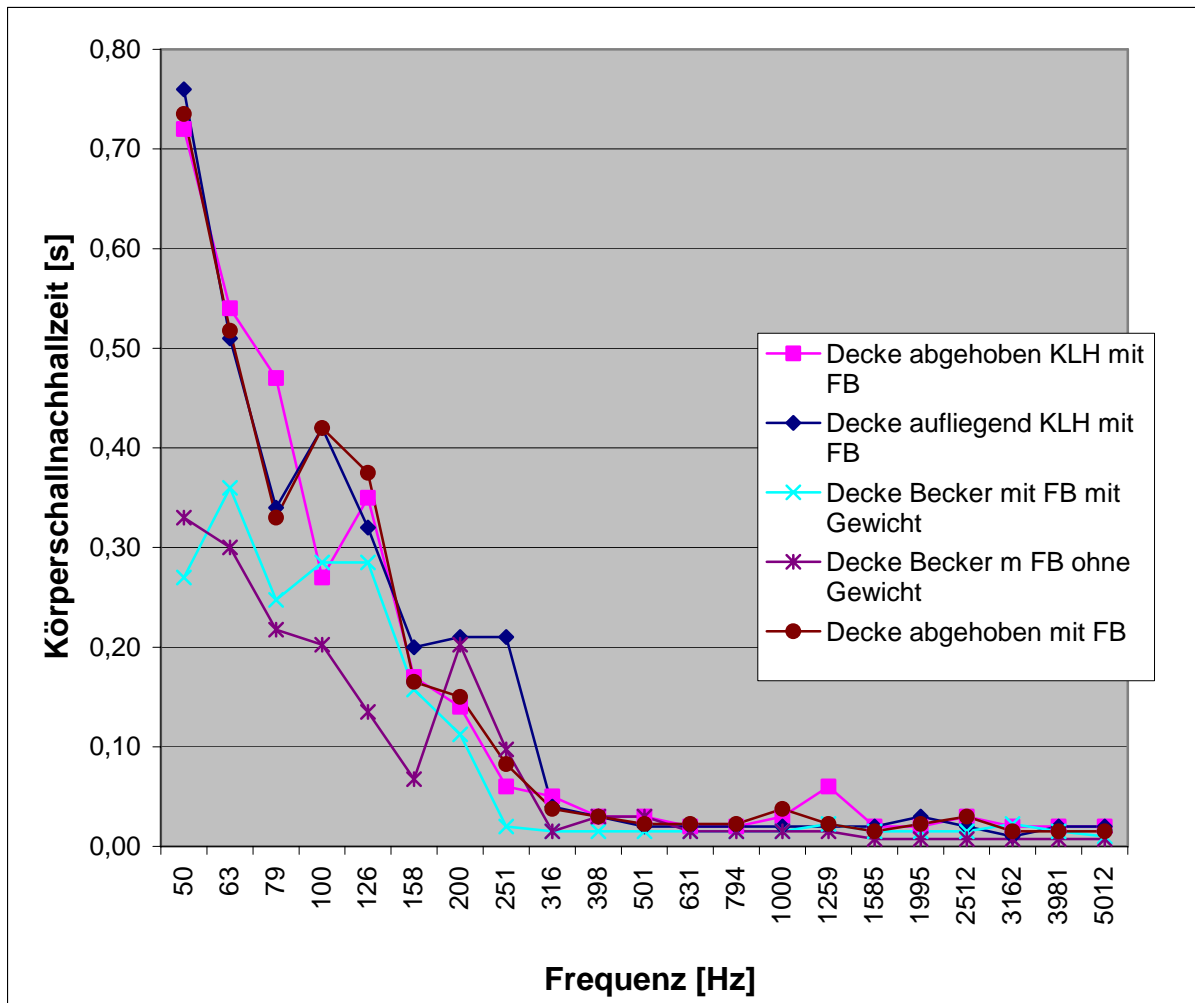


Abbildung B6: Körperschallnachhallzeit der Massivholzdecken

## **Anhang C statische Prüfung verschraubte Stoßstelle**

Statische Prüfung zur Verwendung von Schrauben mit Baulagern und akustisch optimierten Schrauben

Die schalltechnische Wirksamkeit von akustisch optimierten Befestigungsmitteln (Schrauben und Winkel) wurde im Rahmen dieses Forschungsprojektes nachgewiesen. Die statische Eignung von optimierten Winkeln wird im Rahmen eines Verfahrens zur Erlangung einer Europäischen Technischen Zulassung untersucht. Bezüglich des optimierten Verschraubungssystems wurden Vorversuche an Prüfeinrichtungen der Holzforschung Austria durchgeführt. Dazu wurden jeweils 3 Prüfkörper gemäß untenstehender Abbildung „Testvarianten“ errichtet, die den Bauteilknoten Wand-Decke darstellen. Auf Abscheren geprüft wurden die Basisvariante ohne Lager mit Standardverschraubung, eine Variante mit Baulager Getzner Sylodyn NB und Standardverschraubung sowie eine schalltechnisch optimierte Variante mit obig genanntem Baulager und dem auch bei den Schallmessungen verwendeten Kunststoff-Stahl-Beilagscheiben System der Fa. bs-technik.

Betrachtet man die mittlere Kraft bei einer Verschiebung von 15 mm, so kann die Variante mit Baulager nur etwa 82 % der Kraft der Standardvariante aufnehmen. Da das Versagen aufgrund des Einzuges des Schraubenkopfes auftritt, kann mit akustisch optimierten Verschraubung sogar eine um 16 % höhere Kraft eingebracht werden als bei der Basisvariante ohne Lager. Ergebnisse für eine Verschiebung von 1,5 mm können unten angeführter Ergebnistabelle entnommen werden.

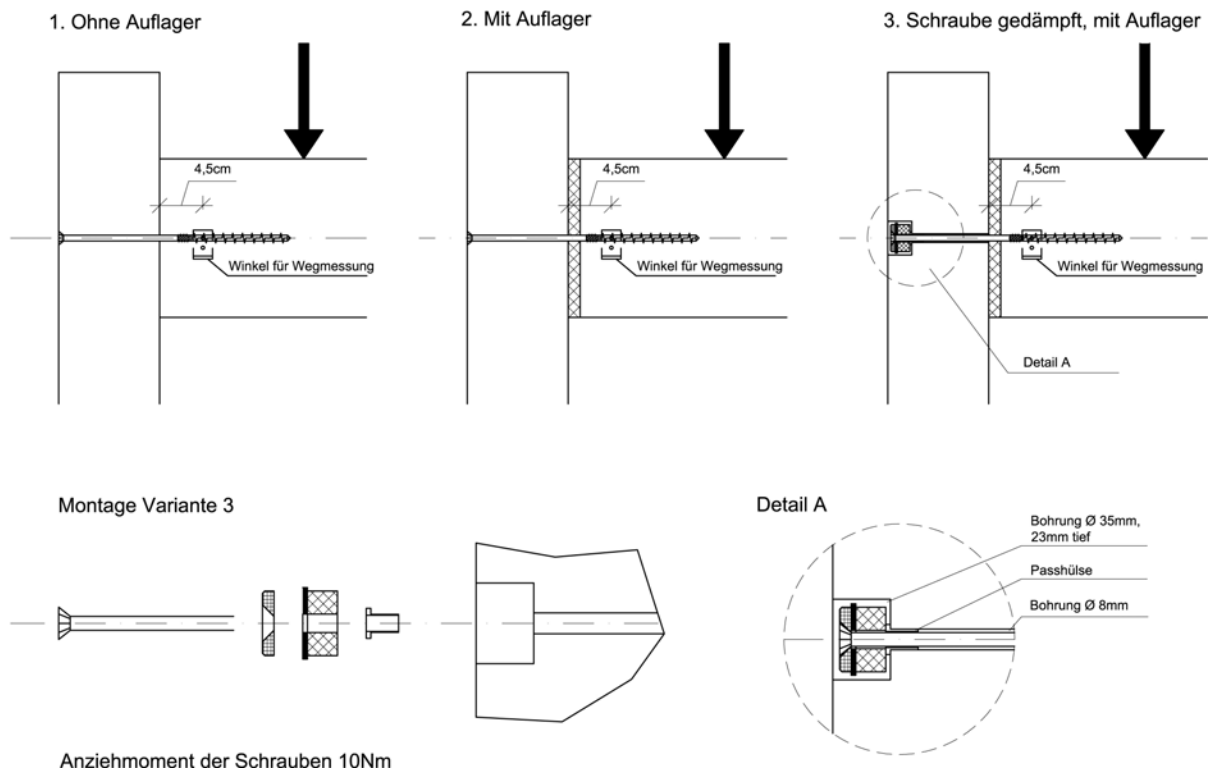


Abbildung C1: Aufbau der Prüfkörper für den Schubversuch

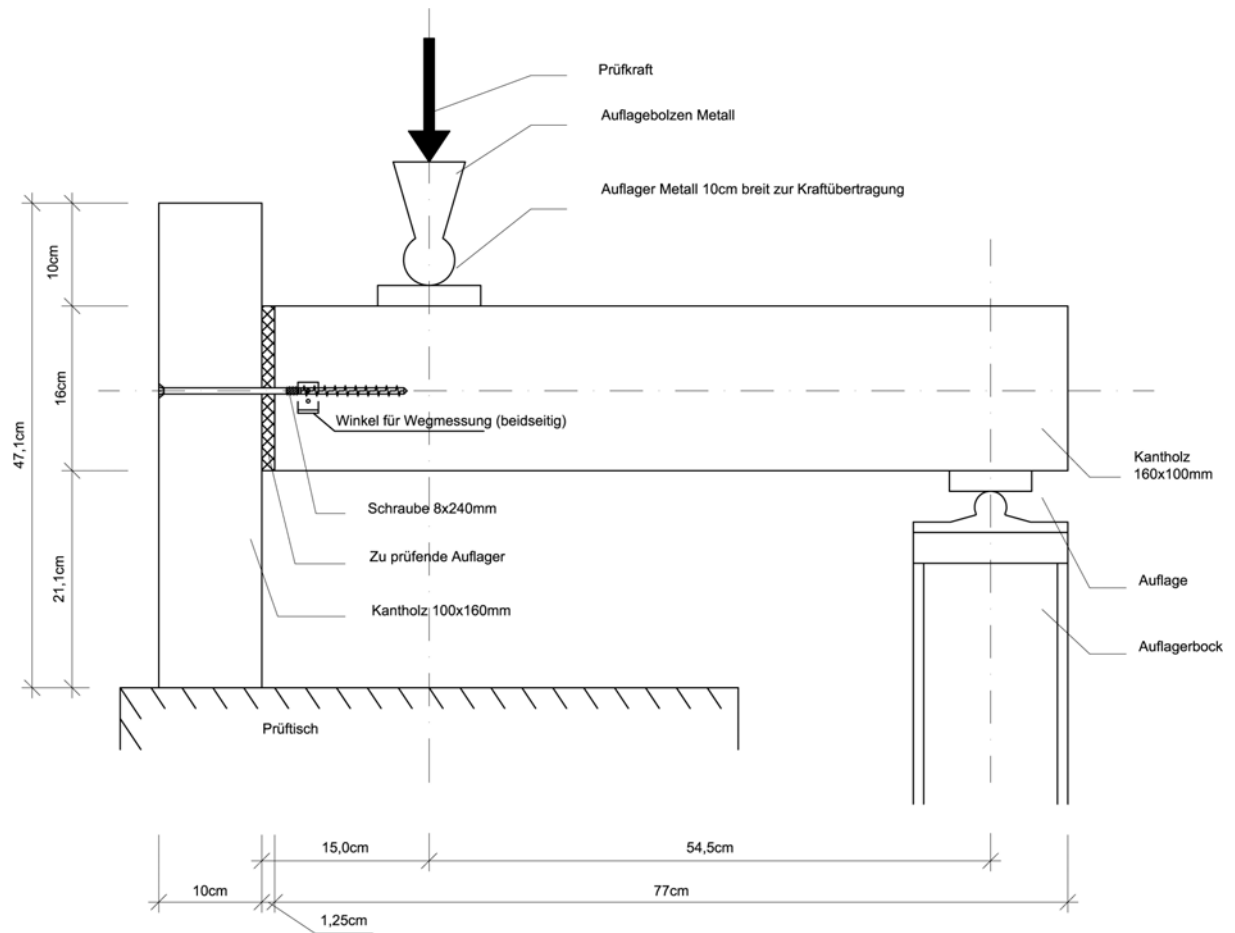


Abbildung C2: Versuchsaufbau für den Schubversuch

Tabelle C: Ergebnisse aus den Schubversuchen für die 3 unterschiedlichen Lagerungs- und Befestigungsvarianten

	Rohdichte "Decke"	Holzfeuchte	Rohdichte "Wand"	Holzfeuchte	Varianten	F <sub>1,5mm</sub>
Probe	[kg/m <sup>3</sup> ]	[%]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[%]		[kN]
1	384	13,5	408,4	12,1	<b>ohne Lager</b>	1,35
2	423	11,6	422,0	13,5		2,2
3	399	11,2	409,4	11,5		1,34
4	436	11,5	375,1	12,8	<b>Lager</b>	1,19
5	378	11,6	400,1	13,7		1,32
6	403	11,9	400,3	11,5		1,4
7	490	12,5	371,1	12,3	<b>Lager+opt.Schraube</b>	1,59
8	380	11,5	406,9	11,5		0,99
9	499	11,1	419,6	13		1,5
	F <sub>15mm</sub>	mittl. F <sub>1,5mm</sub>	mittl. F <sub>15mm</sub>	mittl. F <sub>1,5mm</sub>	mittl. F <sub>15mm</sub>	Versagensbild
Probe	[kN]	[kN]	[kN]	[%]	[%]	
1	5,74	1,6	5,5	100,0	<b>100,0</b>	Einpressung
2	5,6					Einpressung
3	5,14					Einpressung
4	4,63	1,3	4,5	80,0	<b>81,7</b>	Einpressung
5	4,79					Einpressung
6	4,04					Einpressung
7	6,85	1,4	6,4	83,4	<b>116,0</b>	Einpressung
8	5,31					Einpressung
9	6,96					Einpressung

## Anhang D Publikationen im Rahmen der vorliegenden Dissertation

- Dolezal, F.: Körperschall-Längsleitung von Massivholzkonstruktionen. Verbesserung der Flankendämmung durch den Einbau elastischer Zwischenschichten und Verifizierung der Anwendbarkeit der EN 12354. Tagungsbandbeitrag Doktorandenkolloquium Holzbau in Forschung und Praxis. Stuttgart März 2008, S. 153-158.
- Dolezal, F., Bednar, T.: Schall-Längsleitung bei Massivholzkonstruktionen. Tagungsbandbeitrag 34. Jahrestagung für Akustik DAGA 2008. Dresden. S. 695-696.
- Dolezal, F., Bednar, T., Teibinger, M.: Flankenübertragung bei Massivholzkonstruktionen. Teil 1: Verbesserung der Flankendämmung durch Einbau elastischer Zwischenschichten und Verifizierung der Anwendbarkeit von EN 12354. Bauphysik 30. Jahrgang, Juni 2008 Heft 3, S.143-151.
- Dolezal, F., Bednar, T., Teibinger, M.: Flankenübertragung bei Massivholzkonstruktionen. Teil 2: Einfluss von Befestigungsmitteln auf die Verbesserung durch den Einbau elastischer Zwischenschichten. Bauphysik 30. Jahrgang, Oktober 2008 Heft 5, S.143-151.



# Körperschall-Längsleitung von Massivholzkonstruktionen

## Verbesserung der Flankendämmung durch Einbau elastischer Zwischenschichten und Verifizierung der Anwendbarkeit der EN 12354

**Dolezal  
Franz  
Wissensch. Mitarbeiter  
Holzforschung Austria  
Franz Grill-Straße 7  
1030 Wien, Österreich  
f.dolezal@holzforschung.at**



Franz Dolezal, geboren 1970, studierte Architektur an der Technischen Universität in Wien und ist seit 2006 wissenschaftlicher Mitarbeiter der Holzforschung Austria.

### Zusammenfassung

Da für mehrgeschossige Wohngebäude verstärkt Holzkonstruktionen eingesetzt werden, steigt hierfür auch der Bedarf nach gesicherten schalltechnischen Prognosen. Die Berechnung erfolgt nach EN 12354, worin jedoch keine Eingangsdaten für Massivholzkonstruktionen zu finden sind. Anhand von Schall- und Schwingungsmessungen an Massivholz-Prüfständen werden die Flankenübertragung und die erforderlichen Eingangsdaten für die normgemäße Berechnung ermittelt. Für verschiedene elastische Zwischenschichten wird unter anderem der Norm-Trittschallpegel errechnet und mit der Messung verglichen. Dabei zeigen die bewerteten Einzahlangaben zufriedenstellende Übereinstimmung mit Abweichungen von 0 bis 2 dB. Betrachtet man jedoch den Frequenzverlauf der Pegel, so sind in einigen Terzbändern größere Differenzen zwischen Messung und Berechnung erkennbar, die eine genauere Untersuchungs beziehungsweise Modellierung erfordern.

### 1. Einleitung

Bei der Anwendung von Massivholzkonstruktionen ist besonderes Augenmerk auf den Schallschutz und dabei insbesondere auf die Problematik der Schall-Längsleitung zu legen. Prinzipiell erfolgt die Schallübertragung bei Bauteilkombinationen zwischen zwei Räumen über den Trennbauteil und über die flankierenden Bauteile. Die rege Forschungstätigkeit auf diesem Gebiet in den letzten Jahrzehnten hat zu einem allgemein akzeptierten Berechnungsmodell, der EN 12354-1 [1] für die Vorherbestimmung des Schallschutzes zwischen Räumen geführt, wobei dieses Verfahren in erster Linie für homogene, monolithische Bauteile entwickelt wurde. Für Leichtbaukonstruktionen (z.B. Holzrahmenbauweise oder Gipskartonständerwände) ist dieses Prognoseverfahren derzeit allerdings nur eingeschränkt geeignet [2], die Eignung für Massivholzkonstruktionen wurde bisher noch gar nicht untersucht.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurde in eigens dafür errichteten Prüfständen die Flanken-Übertragung von Massivholzkonstruktionen systematisch untersucht, mit dem Ziel, neben den über die Flanken übertragenen Norm-Trittschallpegeln der unterschiedlichen Konstruktionen (mit unterschiedlichen Baulagern und unterschiedlichen Befestigungsvarianten) auch die erforderlichen Eingangsdaten für die normgemäße Berechnung zu ermitteln. Diese werden in das Prognoseverfahren nach EN 12354-2 [3] eingesetzt und die Ergebnisse mit den gemessenen über die Flanken übertragenen Norm-Trittschallpegeln verglichen.

### 2. Prognosemodell und Massivholzkonstruktionen

Auf der physikalischen Basis von SEA Berechnungen (Statistische Energie Analyse) wurde mit der EN 12354 ein vereinfachtes Prognosemodell entwickelt, welches zwar auf SEA-Überlegungen beruht, aber geringere Komplexität aufweist und daher für den Praxiseinsatz geeigneter ist [4].

Dabei werden die einzelnen Schallübertragungswege zwischen zwei Räumen getrennt betrachtet (Bild 1) und die Gesamtschalldämmung  $L_n$  letztendlich für übereinanderliegende Räume aus den

Beiträgen der Direkt-  $L_{n,d}$  und der Flankenübertragung  $L_{n,ij}$  gemäß Gl. (1) berechnet.

$$L'_n = 10 \lg \left( 10^{\frac{L_{n,d}}{10}} + \sum_{j=1}^n 10^{\frac{L_{n,ij}}{10}} \right) \text{ dB} \quad (1)$$

Aufgrund ihrer Untersuchung der Stoßstellendämmung von Leichtbauwänden aus Metallständerprofilen und Gipskartonplatten sehen Weber und Scholl [5] die Übereinstimmung von normativem Rechenmodell und Messung als unbefriedigend an. Sie verweisen darauf, dass aufgrund der hohen inneren Dämpfung der im Leichtbau zum Einsatz kommenden Bauteile keine diffusen Körperschallfelder entstehen und die Reproduzierbarkeit der Messung der Stoßstellendämmung daher kaum gegeben ist. Die Anwendbarkeit des Rechenmodells nach EN 12354 ist ihrer Ansicht nach dadurch beeinträchtigt. Eine direkte Übertragung der gewonnenen Erkenntnisse aus dem Holzrahmenbau auf den Holzmassivbau ist jedoch zu prüfen, da sich diese beiden Bauweisen aus schallschutztechnischer Sicht wesentlich von einander unterscheiden. Während beim Holzrahmenbau die schallschutztechnischen Anforderungen mit biegeweichen Beplankungen erfüllt werden, stellen Massivholzplatten weder eine biegeweiche, noch eine biegesteife Konstruktion dar [6].

### 3. Ermittlung der Daten an Prüfständen

An eigens für die Messung der Schall-Längsleitung errichteten flexiblen, zweigeschossigen Prüfständen wurden sowohl Schall- als auch Schwingungsmessungen durchgeführt. Die Prüfstände erfüllen die von Schoenwald et al in [2] und von ÖNORM EN ISO 10848-1 [7] geforderten Bedingungen.

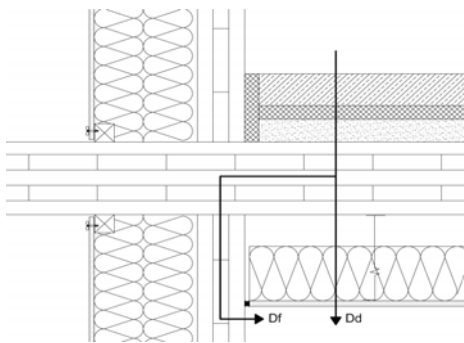


Bild 1: Aufbau der geprüften Geschossdecke

Eine Massivholzdecke mit dem Aufbau gemäß Bild 1 wurde zwischen 2 Geschossen mit Außenwänden bestehend aus jeweils Brettsperrholz KLH 3s 94 mm eingebaut. Um möglichst ungestört vom Außenlärm messen zu können, erhielt die Außenwand in beiden Geschossen allseitig eine 20 cm dicke, ausgedämmte Wetterschutz-Vorsatzschale mit einer Beplankung aus zementgebundenen Spanplatten. Der komplette Prüfstand ist auf Schienen gelagert und hochgradig flexibel ausgeführt: So kann etwa das Obergeschoss angehoben und das Untergeschoss samt Decke ausgefahren werden, um die Fußbodenkonstruktion auszutauschen bzw. auch um die Geschossdecke mit der Wand zu verschrauben (Bild 2).

#### 3.1 Schallmessungen

Zunächst wurden bei bauakustischen Messungen Norm-Schallpegeldifferenz und Norm- Trittschall-



Bild 2: Hochflexibler Prüfstand

pegel ermittelt. Zur weitgehenden Unterdrückung des direkten Übertragungsweges wurde neben dem Fußbodenaufbau noch eine, auch im tieffrequenten Bereich wirksame, 22 cm elastisch abgehängte, doppelt beplankte Decke angebracht. Es erfolgten Schallmessungen mit aufliegender und entkoppelter Decke, sowie mit den Baulagern der am Projekt beteiligten Unternehmen, die sukzessive hintereinander unter der Decke eingelegt wurden.

In einer weiteren Versuchsreihe wurde die Brettsperrholz-Rohdecke der KLH Massivholz GmbH durch ein Hohlkastenelement mit gleicher Höhe der Lignatur AG ersetzt und den gleichen bauakustischen Untersuchungen unterzogen. Die bewerteten Pegel sind in Tabelle 1 angegeben.

### 3.2 Schwingungsmessungen

Die Schwingungsmessungen, welche der Ermittlung der erforderlichen Eingangsparameter der normativen Berechnung dienen, wurden ausschließlich mit Fokus auf die Prognose der Trittschalldämmung durchgeführt.

Gemessen wurden die Schnellepegeldifferenzen mit Beschleunigungsaufnehmern an je 4 Aufnehmerpunkten an Wand und Decke in beide Richtungen sowohl mit abgehobener Geschossdecke, als auch aufliegend und mit verschiedenen, darunter eingelegten Baulagern, mit und ohne zusätzlicher Belastung. Messungen mit jeweils drei stationären Körperschall-Anregungspunkten, an der Wand mit einem Shaker und an der Decke mit dem Normhammerwerk, folgte die räumliche Mittelung nach Gl. (2). Richtungsgemittelte Ergebnisse für die unterschiedlichen Lagerungssituationen sind in Bild 3 ersichtlich. Aufgrund der Differenzbildung ist eine Umrechnung der Beschleunigungspegel  $L_a$  in Schnellepegel nicht erforderlich.

$$L_{a,m} = 10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_a}{10}} \right) \text{ dB} \quad (2)$$

Sämtliche Messungen wurden unter zusätzlicher Auflast von 240 kN nochmals durchgeführt um den Einfluss der Belastung im Gebrauchszustand eines Dreigeschoßers auf die Dämpfungseigenschaften der Baulager messtechnisch zu erfassen.

## 4. Ergebnisdiskussion

### 4.1 Ergebnisse aus den Schallmessungen

Durch Anordnung der Unterdecke kann die direkte Schallübertragung durch die Decke soweit verringert werden, dass hauptsächlich die Flankenübertragung mit Bauakustikmessungen bestimmt werden kann. Bewertet ergeben sich hier im Falle einer KLH Brettsper Holz-Rohdecke und eines Lignatur-Kastenelementes die in Tabelle 1 angegebenen Differenzen bei der Norm-Schallpegeldifferenz  $D_{n,w}$  von bis zu 14 dB und dem Norm-Trittschallpegel  $L_{n,w}$  von bis zu 9 dB. Ein signifikanter Einfluss elastischer Zwischenschichten ist somit nachgewiesen, Voraussetzung dafür ist jedoch die massive Unterdrückung des direkten Übertragungsweges.

Tabelle 1:  $D_{n,w}$  und  $L_{n,w}$  bei unterschiedlichen Baulagern für unterschiedliche Rohdeckenvarianten

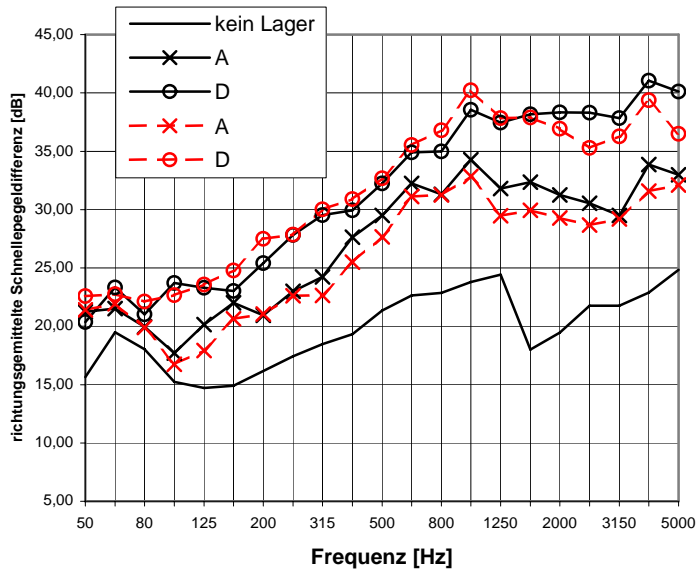
KLH	kein Lager	Lager A	Lager B	Lager C	Lager D <sup>1</sup>
$D_{n,w}$ [dB]	55	60	57	66	69
$L_{n,w}$ [dB]	47	43	46	40	39
LIGNATUR	kein Lager	Lager A	Lager B	Lager C	Lager D
$D_{n,w}$ [dB]	53	60	56	64	65
$L_{n,w}$ [dB]	47	42	46	39	38

<sup>1</sup> Lager D wurde in diesem Fall unter- und oberhalb der Decke eingelegt.

Betrachtet man den Frequenzverlauf des Norm-Trittschallpegels ohne abgehängte Unterdecke, so erkennt man eine Resonanz bei etwa 100 Hz, die gut mit der berechneten Resonanzfrequenz des Estrichaufbaus von 95 Hz korreliert. Weiters können Resonanzen bei etwa 200 Hz, wie schon von Bednar in [6] rechnerisch prognostiziert, 800 Hz und 3500 Hz festgestellt werden, die direkt mit Einbrüchen im Schalldämm-Maß der Rohdecke übereinstimmen.

### 4.2 Ergebnisse aus den Schwingungsmessungen

Für die Stoßstellen wird die Übertragung durch die richtungsgemittelte Schnellepegeldifferenz  $\overline{D_{v,ij}}$  gekennzeichnet. Die Ergebnisdifferenzen in Bild 3 entsprechen den an die unterschiedlichen Lager gestellten Erwartungen und finden Eingang in die Berechnungen nach EN 12354.



Vergleicht man die Verläufe der Schnellepegeldifferenzen mit und ohne Belastung, so können folgende Schlüsse gezogen werden:

a) Lager A und B werden für unterschiedliche Belastungen nicht verändert:

Über den kompletten, untersuchten Frequenzbereich ist bei zusätzlicher Auflast eine geringere Schnellepegeldifferenz messbar, da die Baulager stärker gepresst werden und sich dadurch deren dynamische Steifigkeit erhöht.

--- mit zusätzlicher Belastung  
 — ohne zusätzlicher Belastung

Bild 3: Richtungsgemittelte Schnellepegeldifferenzen

b) Lager C und D werden auf unterschiedliche Belastungen abgestimmt:

Das auf die hohe Belastung abgestimmte Baulager der Variante D weist noch eine höhere Pegeldifferenz auf als jenes, welches ohne zusätzlicher Auflast eingebaut wurde. Das System der verschiedenen Typen für die verschiedenen Belastungen funktioniert offenbar sehr gut.

Auch das Baulager C, das durch Erhöhen der Fläche an unterschiedliche Auflasten adaptiert wird, behält seine Dämpfungseigenschaften weitgehend unverändert bei.

Generell kann nach vorliegenden Untersuchungen gesagt werden, dass elastische Zwischenschichten, sofern sie nicht durch kraftschlüssige Befestigungen umgangen werden, ab etwa 100 Hz signifikant zur Verbesserung der Flankendämmung beitragen.

### 4.3 Einfluss von Befestigungsmitteln

Aufgrund des geringen spezifischen Gewichtes von Massivholzkonstruktionen ist die kraftschlüssige Verbindung der einzelnen Bauteile mit Befestigungsmitteln zur Abtragung horizontaler Kräfte erforderlich. In der Praxis erfolgt dies mittels Schrauben, die durch die Geschossdecke in die darunter angeordnete Wand geschraubt werden und mit Metallwinkeln, welche die Wand des darüber liegenden Geschosses mit der Decke verbinden. Werden nun zwischen den Bauteilen flexible Zwischenschichten angeordnet um die Schallübertragung über flankierende Bauteile zu reduzieren, so ist zu erwarten, dass diese durch die Metallteile in ihrer akustischen Wirksamkeit zumindest beeinträchtigt werden. Im Rahmen des vorliegenden Projektes wurden auch diesbezügliche Messungen durchgeführt. Dabei kann die Verschlechterung, je nach akustischer Qualität der eingelegten Baulager und der Anzahl der verwendeten Befestigungsmittel, bis zu 9 dB für die bewerteten Einzulangaben betragen.

Es ist daher unbedingt erforderlich an Lösungen zur akustischen Verbesserung von Verbindungsmitteln, unter Berücksichtigung der statischen Erfordernisse, zu arbeiten.

Gemeinsam mit der Industrie diesbezüglich bereits ausgearbeitete Konzepte sollen demnächst einer Tauglichkeitsprüfung unterzogen werden.

### 4.4 Verifizierung der Anwendbarkeit der EN 12354

Der Norm-Trittschallpegel flankierender Bauteile  $L_{n,f}$  ist definiert als der räumlich und zeitlich gemittelte Trittschallpegel im Empfangsraum, der durch ein Normhammerwerk an verschiedenen Stellen des Bauteils im Senderraum hervorgerufen wird, wenn die Übertragung nur über ein festgelegtes flankierendes Bauteil erfolgt. Normiert wird  $L_{n,f}$  auf die äquivalente Bezugs-

Absorptionsfläche (A0) im Empfangsraum die 10 m<sup>2</sup> beträgt. Die Berechnung erfolgt nach [3] aus Gl. (3). Da es sich bei der Trittschallübertragung nur noch um einen Flankenweg handeln wird in diesem Fall die Indizes i und j durch D für Decke und f für Flanke bzw. Wand ersetzt.

$$L_{n,Df} = L_n - \Delta L + \frac{R_D - R_f}{2} - \Delta R_f - \overline{D_{v,Df}} - 10 \lg \sqrt{\frac{S_D}{S_f}} \quad \text{dB} \quad (3)$$

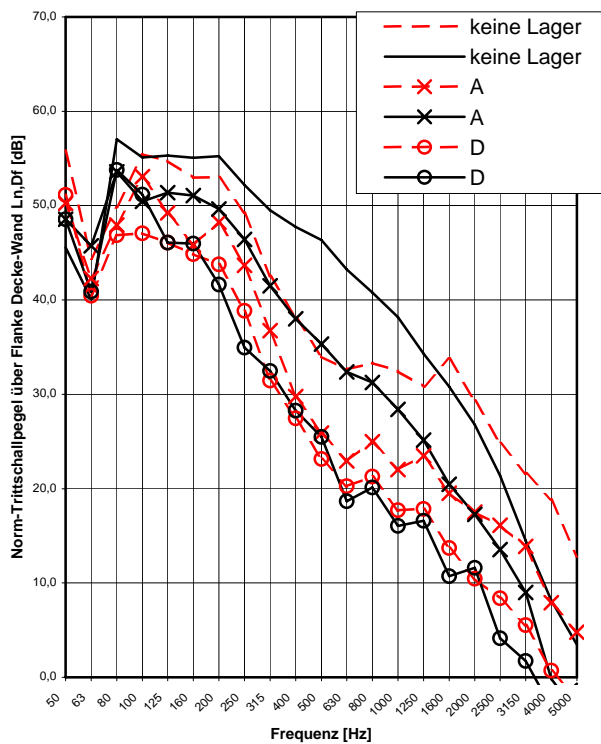
dabei sind  $L_n$  Normtrittschallpegel der Rohdecke,  $\Delta L$  Verbesserungsmaß des Estrichs

$R_D, R_f$  Schalldämm-Maß von Decke und Wand,  $\Delta R_f$  Verbesserungsmaß einer Vorsatzkonstruktion an der Flanke

$\overline{D_{v,Df}}$  richtungsgemittelte Schnellepegeldifferenz

$S_D, S_f$  Fläche von Decke und Wand

Die mittels Trittschallmessungen in Terzbändern ermittelten Verläufe der Flankenübertragung  $L_{n,Df}$ , sowie jene nach [3], unter Einbeziehung der direkt gemessenen Stoßstelle, prognostizierten, sind in Bild 4 beispielhaft zum Vergleich angegeben.



Zu erkennen ist eine massive Abweichung der gerechneten und gemessenen über die Flanken übertragenen Norm-Trittschallpegel bei Frequenzen um 800 Hz. Ein Frequenzbereich bei dem sich auch Resonanzen der Rohdecke zeigen. Dementsprechend ist eine starke Abhängigkeit der Korrelation von Messung und Berechnung von den Dämpfungseigenschaften der verwendeten Baulager erkennbar. Weiters ist ein Zusammenhang zwischen der Abweichung der Berechnung und der Wirksamkeit des Lagers zu erkennen. Die Prognose für den Normtrittschallpegel des Gesamtsystems  $L_n$  stimmt besser mit dem Messergebnis überein als dies bei den über die Flanken übertragenen Normtrittschallpegeln  $L_{n,Df}$  der Fall ist.

Bild 4: Vergleich von Messung und Berechnung der über die Flanken übertragenen Norm-Trittschallpegel  $L_{n,Df}$  beispielhaft an 2 Lagervarianten.

- - - berechnet  
 — gemessen

Wie bereits oben diskutiert, tritt dies besonders bei gut bedämpften Flankenwegen auf, ist aber in erster Linie auf die in diesen Fällen dominierende Direktübertragung durch die Decke zurückzuführen. Dabei dämmt die im Frequenzbereich um 800 Hz sehr wirksame Unterdecke die Resonanzen der Rohdecke. Bei den bewerteten Ergebnissen differieren die Messung und die Prognose maximal um 3 dB, allerdings kommt es bei der Berechnung offensichtlich zu einer konsequenten Unterschätzung der gemessenen Norm-Trittschallpegel.

## 5. Ausblick

Während bei den Einzulangaben die normgemäße Prognose recht gut mit den bauakustisch gemessenen Ergebnissen übereinstimmt, so ist bei genauerer Betrachtung des Frequenzganges sehr wohl Verbesserungspotential vorhanden. Es sind demnach noch andere Formen der Modellierung von Massivholzdecken und in weiterer Folge auch der Stoßstelle mit und ohne flexible Zwischenschichten zu untersuchen. Als weitere Basis für eine baupraktisch relevante Modellierung

der Stoßstelle wird auch der Einfluss von Befestigungsmitteln im Rahmen dieses Forschungsprojektes untersucht und in den Modellierungsansatz mit eingebunden.

Darüber hinaus werden Lösungsvorschläge zur weiteren Verbesserung der Konstruktionen erarbeitet und praxisnahe Lösungen für kraftschlüssige, aber schalltechnisch entkoppelte Befestigungsmittel entwickelt.

## Danksagung

Die Untersuchungen wurden im Rahmen der Fortsetzung des industriellen Kompetenzzentrums „Holztechnologie“ der Holzforschung Austria, welches vom Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, dem Fachverband der Holzindustrie Österreichs und den Österreichischen Bundesforsten gefördert wird, durchgeführt.

Weiters gilt unser Dank den beteiligten Firmen:

Holzdecken: KLH Massivholz GmbH, Lignatur AG, Sohm Holzbautechnik GesmbH

Baulager: Eichler KG, ESZ Wilfried Becker GmbH, Getzner Werkstoffe GmbH, Intumex GmbH, Vinzenz Harrer GmbH

## Literaturverzeichnis

- [1] ÖNORM EN 12354-1.2000-11: *Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften - Teil1: Luftschalldämmung zwischen Räumen*. Österreichisches Normungsinstitut. 2000.
- [2] S. Schönwald, H. Martin, and Gerretsen E. *Aspects of measurement of Kij at junctions of lightweight assembled structures*, CFA/DAGA. Strassburg. 2004.
- [3] ÖNORM EN 12354-2.2000-11: *Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften - Teil2: Trittschalldämmung zwischen Räumen*. Österreichisches Normungsinstitut. 2000.
- [4] A. Meier. *Die Bedeutung des Verlustfaktors bei der Bestimmung der Schalldämmung im Prüfstand*, Dissertation. RWTH Aachen.2000:
- [5] L. Weber, and W. Scholl. *Stoßstellendämmung von Leichtbauwänden*, DAGA. Oldenburg. 2000.
- [6] T. Bednar, M. Vodicka, and J. Dreyer. *Entwicklungen im mehrgeschoßigen Holzbau*, Jahrestagung der ÖPG-FA Akustik. Graz. 2000.
- [7] ÖNORM EN ISO 10848-1.2006-08: *Messung der Flankenübertragung von Luftschall und Trittschall zwischen benachbarten Räumen in Prüfständen - Teil1: Rahmendokument*. Österreichisches Normungsinstitut. 2006.

## Schall-Längsleitung bei Massivholzkonstruktionen

Franz Dolezal<sup>1</sup>, Thomas Bednar<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Holzforschung Austria, 1030 Wien, Österreich, Email: f.dolezal@holzforschung.at*

<sup>2</sup> *Technische Universität Wien, 1030 Wien, Österreich, Email: thomas.bednar@tuwien.ac.at*

### Einleitung

Bei der Anwendung von Massivholzkonstruktionen ist besonderes Augenmerk auf den Schallschutz und dabei insbesondere auf die Problematik der Schall-Längsleitung zu legen. Prinzipiell erfolgt die Schallübertragung bei Bauteilkombinationen zwischen zwei Räumen über den Trennbauteil und über die flankierenden Bauteile. Die Berechnung erfolgt nach EN 12354, allerdings wurde dieses Verfahren in erster Linie für homogene, monolithische Bauteile entwickelt. Für Leichtbaukonstruktionen (z.B. Holzrahmenbauweise oder Gipskartonständerwände) ist dieses Prognoseverfahren nur eingeschränkt geeignet, die Eignung für Massivholzkonstruktionen wurde bisher nicht untersucht.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurde in eigens dafür errichteten Prüfständen die Flanken-Übertragung von Massivholzkonstruktionen systematisch untersucht, mit dem Ziel, neben den über die Flanken übertragenen Norm-Trittschallpegeln der unterschiedlichen Konstruktionen (mit unterschiedlichen Baulagern und unterschiedlichen Befestigungsvarianten) auch die erforderlichen Eingangsdaten für die normgemäße Berechnung zu ermitteln. Diese werden in das Prognoseverfahren nach ÖNORM EN 12354-2 [1] eingesetzt und die Ergebnisse mit den gemessenen über die Flanken übertragenen Norm-Trittschallpegeln verglichen.

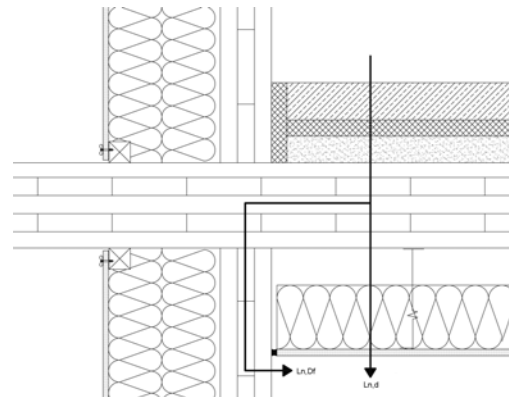
### Prognosemodell und Massivholzkonstruktionen

Umfangreiche Untersuchungen der Stoßstellendämmung von Leichtbauwänden aus Metallständerprofilen und Gipskartonplatten ergaben eine unbefriedigende Übereinstimmung von normativem Rechenmodell und Messung, da in diesen Bauteilen keine diffusen Körperschallfelder entstehen. Eine direkte Übertragung der gewonnenen Erkenntnisse aus dem Holzrahmenbau auf den Holzmassivbau ist jedoch zu prüfen, da sich diese beiden Bauweisen aus schallschutztechnischer Sicht wesentlich von einander unterscheiden. Während beim Holzrahmenbau die schallschutztechnischen Anforderungen mit biegeweichen Beplankungen erfüllt werden, stellen Massivholzplatten weder eine biegeweiche, noch eine biegesteife Konstruktion dar [2]. Prinzipiell erfolgt die Berechnung des über die Flanken übertragenen Norm-Trittschallpegels  $L_{n,Df}$  nach [1] aus Gleichung (1). Erforderlich hierfür ist die Kenntnis der richtungsgemittelten Schnellepegeldifferenz des Übertragungsweges Decke-Flanke  $D_{v,Dfquer}$ , die Schalldämm-Maße  $R_D$  und  $R_f$  der beteiligten Bauteile, sowie die Verbesserungsmaße  $\Delta L$  und  $\Delta R_f$  von Vorsatzkonstruktionen und der Norm-Trittschallpegel der Rohdecke  $L_n$ .

$$L_{n,Df} = L_n - \Delta L + \frac{R_D - R_f}{2} - \Delta R_f - \overline{D_{v,Df}} - 10 \lg \sqrt{\frac{S_D}{S_f}} \quad [\text{dB}] \quad (1)$$

### Ermittlung der Daten an Prüfständen

An eigens für die Messung der Schall-Längsleitung errichteten flexiblen, zweigeschossigen Prüfständen wurden sowohl Schall- als auch Schwingungsmessungen durchgeführt. Die Prüfstände erfüllen die von ÖNORM EN ISO 10848-1 [3] geforderten Bedingungen.



**Abbildung 1:** Aufbau der geprüften Geschosdecke mit den Übertragungswegen über die Flanken und direkt ( $L_{n,d}$ ).

Eine Massivholzdecke aus Brettsper Holz 162 mm mit dem Aufbau gemäß Abbildung 1 wurde zwischen 2 Geschossen mit Außenwänden bestehend aus jeweils Brettsper Holz 94 mm eingebaut und mit einem Fußbodenaufbau aus Estrich, Trittschalldämmung und Schüttung versehen. Der komplette Prüfstand ist auf Schienen gelagert (Abbildung 2).



**Abbildung 2:** Hochflexibler Massivholz-Prüfstand, auf Schienen gelagert.

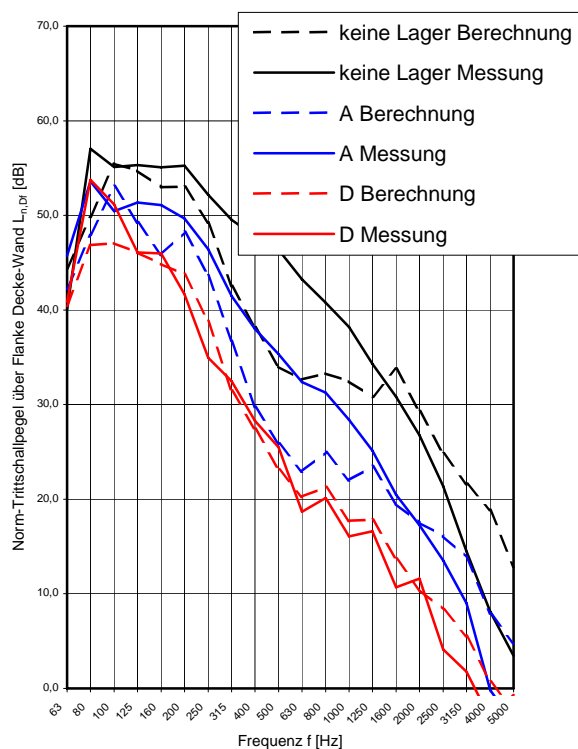
Zunächst wurden bei bauakustischen Messungen Norm-Schallpegeldifferenz und Norm-Trittschallpegel bei aufliegender und entkoppelter Decke, sowie mit den Baulagern der am Projekt beteiligten Unternehmen, die sukzessive hintereinander unter der Decke eingelegt wurden, ermittelt. Die Messungen mit Baulagern wurden auch mit baupraktischen Befestigungsmitteln durchgeführt.

Nach Entfernen der Unterdecke wurden die Schnellepegeldifferenzen mit Beschleunigungsaufnehmern in beide Richtungen sowohl mit abgehobener Geschossdecke, als auch aufliegend und mit verschiedenen, darunter eingelegten Baulagern, mit und ohne zusätzlicher Belastung von 240 kN gemessen.

### Verifizierung der Anwendbarkeit der EN 12354

Durch Anordnung der Unterdecke kann die direkte Schallübertragung durch die Decke soweit verringert werden, dass hauptsächlich die Flankenübertragung mit Bauakustikmessungen bestimmt werden kann. Bewertet ergeben sich hier im Falle einer Brettspertholz-Rohdecke und eines Kastenelementes Unterschiede bei den Norm-Schallpegeldifferenzen von bis zu 14 dB und den Norm-Trittschallpegeln von bis zu 9 dB. Ein signifikanter Einfluss elastischer Zwischenschichten ist somit nachgewiesen, Voraussetzung dafür ist jedoch die massive Unterdrückung des direkten Übertragungsweges.

Die mittels Trittschallmessungen in Terzbändern ermittelten Verläufe der Flankenübertragung  $L_{n,Df}$ , sowie jene nach [3], unter Einbeziehung der direkt gemessenen Stoßstelle, prognostizierten, sind in Abbildung 3 angegeben.



**Abbildung 3:** Vergleich von Messung und Berechnung der über die Flanken übertragenen Norm-Trittschallpegel  $L_{n,Df}$  beispielhaft an 2 Lagervarianten.

Zu erkennen ist eine massive Abweichung der gerechneten und gemessenen über die Flanken übertragenen Norm-Trittschallpegel bei Frequenzen um 800 Hz. Ein Frequenzbereich bei dem sich auch Resonanzen der Rohdecke zeigen. Dementsprechend ist eine starke Abhängigkeit der Korrelation von Messung und Berechnung von den Dämpfungseigenschaften der verwendeten Baulager erkennbar.

Bei den bewerteten Ergebnissen differieren die Messung und die Prognose maximal um 3 dB, allerdings kommt es bei der Berechnung offensichtlich zu einer konsequenten Unterschätzung der gemessenen über die Flanken übertragenen Norm-Trittschallpegel  $L_{n,Df}$ . Da sich der Norm-Trittschallpegel  $L_n$  aus der Flanken- und Direktübertragung zusammensetzt und erwähnte Resonanz der Rohdecke von der Unterdecke unterdrückt wird, erhält man diesbezüglich eine Prognosegenauigkeit von 0 bis 2 dB. Aufgrund der massiven Abweichung bei etwa 800 Hz ist jedoch eine genauere Untersuchung erforderlich.

### Zusammenfassung

Da für mehrgeschossige Wohngebäude verstärkt Holzkonstruktionen eingesetzt werden, steigt hierfür auch der Bedarf nach gesicherten schalltechnischen Prognosen. Die Berechnung erfolgt nach EN 12354, worin jedoch keine Eingangsdaten für Massivholzkonstruktionen angeführt sind. Anhand von Schall- und Schwingungsmessungen an Massivholz-Prüfständen werden die Flankenübertragung und die erforderlichen Eingangsdaten für die normgemäße Berechnung ermittelt. Für verschiedene elastische Zwischenschichten wird unter anderem der Norm-Trittschallpegel errechnet und mit der Messung verglichen. Dabei zeigen die bewerteten Einzahlangaben zufriedenstellende Übereinstimmung mit Abweichungen von 0 bis 2 dB. Betrachtet man jedoch den Frequenzverlauf der Pegel, so sind in einigen Terzbändern größere Differenzen zwischen Messung und Berechnung erkennbar, die eine genauere Untersuchung beziehungsweise Modellierung erfordern. Die baupraktisch erforderliche Anordnung von Befestigungsmitteln führt zu einer massiven Verschlechterung der mit elastischen Zwischenschichten erreichten Verbesserung. An der schalltechnischen Verbesserung von Befestigungsmitteln ist zu arbeiten.

### Literatur

- [1] ÖNORM EN 12354-2: Berechnung der akustischen Eigenschaften von Bauteilen aus den Bauteileigenschaften, Teil2: Trittschalldämmung zw. Räumen. Österreichisches Normungsinstitut, 2000.
- [2] Bednar, T., Vodicka, M., Dreyer, J.: Entwicklungen im mehrgeschossigen Holzbau. Jahrestagung der ÖPG-FA Akustik. Graz, 2000.
- [3] ÖNORM EN ISO 10848-1: Messung der Flankenübertragung von Luftschall und Trittschall zwischen benachbarten Räumen in Prüfständen, Teil 1: Rahmendokument. Österreichisches Normungsinstitut, 2006.



# Flankenübertragung bei Massivholzkonstruktionen\*

## Teil 1: Verbesserung der Flankendämmung durch Einbau elastischer Zwischenschichten und Verifizierung der Anwendbarkeit von EN 12354

Da für mehrgeschossige Wohngebäude verstärkt Holzkonstruktionen eingesetzt werden, steigt hierfür auch der Bedarf nach gesicherten schalltechnischen Prognosen. Die Berechnung erfolgt nach EN 12354, worin jedoch keine Eingangsdaten für Massivholzkonstruktionen zu finden sind. Anhand von Schall- und Schwingungsmessungen an Massivholz-Prüfständen werden die Flankenübertragung und die erforderlichen Eingangsdaten für die normgemäße Berechnung ermittelt. Für verschiedene elastische Zwischenschichten wird unter anderem der Norm-Trittschallpegel errechnet und mit der Messung verglichen. Dabei zeigen die bewerteten Einzahlangaben zufriedenstellende Übereinstimmung mit Abweichungen von 0 bis 2 dB. Betrachtet man jedoch den Frequenzverlauf der Pegel, so sind in einigen Terzbändern größere Differenzen zwischen Messung und Berechnung erkennbar, die eine genauere Untersuchung beziehungsweise Modellierung erfordern.

**Flanking-Transmission at Solid Wood Constructions. Part 1: Improvement of Flanking Transmission by Application of Flexible Interlayers and Verification of Applicability of EN 12354.** *Since solid wood constructions are more frequently applied for multi-storey residential buildings the demand for reliable prediction of sound insulation is increasing. Prediction is carried out following EN 12354 which, however, does not contain any input data for solid wood constructions. Therefore, sound- and vibration measurements are realized on solid wood test facilities where flanking transmission and input data for standardized predictions are acquired. The normalized impact sound pressure level is calculated for different flexible interlayers and compared to the results of the measurements. Single number quantities show satisfactory accordance between measurement and prediction with deviations between 0 and 2 dB. Considering frequency dependent values major deviations, which can be detected in a certain frequency range, require more accurate modelling.*

### 1 Einleitung

Mehrgeschossige Wohnbauten in Holzmassivkonstruktion gewinnen auch im urbanen Umfeld mehr und mehr an Bedeutung. Neben der immer wichtiger werdenden Nachhal-

tigkeit von Baukonstruktionen bieten Holzmassivkonstruktionen aber auch noch andere Vorteile, wie etwa einen höheren Vorfertigungsgrad und geringere Baufeuchte, gegenüber dem konventionellen Massivbau, sowie geringere Geschossdeckenhöhen und höhere statische Wirksamkeit gegenüber dem Holzrahmenbau.

Gleichzeitig ist bei der Anwendung jedoch besonderes Augenmerk auf den Schallschutz und dabei insbesondere auf die Problematik der Schall-Längsleitung zu legen. Prinzipiell erfolgt die Schallübertragung bei Bauteilkombinationen zwischen zwei Räumen über das Trennbauteil und über die flankierenden Bauteile. Die rege Forschungstätigkeit auf diesem Gebiet in den letzten Jahrzehnten hat zu einem allgemein akzeptierten Berechnungsmodell nach EN 12354-1 [1] für die Vorherbestimmung des Schallschutzes zwischen Räumen geführt, wobei dieses Verfahren in erster Linie für homogene, monolithische Bauteile entwickelt wurde. Für Leichtbaukonstruktionen (z. B. Holzrahmenbauweise oder Gipskartonständerwände) ist dieses Prognoseverfahren derzeit allerdings nur eingeschränkt geeignet [2], die Eignung für Massivholzkonstruktionen wurde bisher noch nicht untersucht.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurde in eigenem dafür errichteten Prüfständen die Flankenübertragung von Massivholzkonstruktionen systematisch untersucht, mit dem Ziel, neben der Norm-Schallpegeldifferenz, dem Norm-Trittschallpegel und dem über die Flanken übertragenen Norm-Trittschallpegel der unterschiedlichen Konstruktionen (mit unterschiedlichen Baulagern und unterschiedlichen Befestigungsvarianten) auch die erforderlichen Eingangsdaten für die normgemäße Berechnung zu ermitteln. Diese werden in das Prognoseverfahren nach EN 12354-2 [3] eingesetzt und die Ergebnisse mit den gemessenen über die Flanken übertragenen Norm-Trittschallpegeln verglichen.

### 2 Problemstellung

Auf der physikalischen Basis von SEA Berechnungen (Statistische Energie Analyse), wurde mit EN 12354 ein vereinfachtes Prognosemodell entwickelt, welches zwar auf SEA-Überlegungen beruht, aber geringere Komplexität aufweist und daher für den Praxiseinsatz geeigneter ist [4]. Dabei werden die einzelnen Schallübertragungswege zwischen zwei Räumen getrennt betrachtet (Bild 1) und die Gesamtschalldämmung letztendlich für übereinanderlie-

\* Dieses Thema wird in zwei Aufsätzen zur Flankenübertragung abgehandelt. Während in Teil 1 die Funktion elastischer Zwischenschichten untersucht wird, beschäftigt sich Teil 2 mit dem Einfluss von Befestigungsmitteln auf die Verbesserung durch den Einbau elastischer Zwischenschichten.

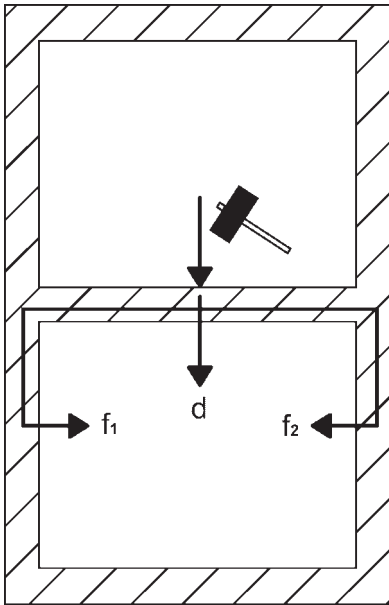


Bild 1. Körperschallübertragungswege zwischen zwei übereinanderliegenden Räumen  
 Fig. 1. Impact sound transmission paths between two adjacent rooms

gende Räume gemäß Gl. (1) aus den Beiträgen der Direkt- und der Flankenübertragung berechnet.

$$L'_n = 10 \lg \left( 10^{\frac{L_{n,d}}{10}} + \sum_{j=1}^n 10^{\frac{L_{n,ij}}{10}} \right) \text{ db} \quad (1)$$

mit:

- $L'_n$  Norm-Trittschallpegel
- $L_{n,d}$  direkt übertragener Norm-Trittschallpegel
- $L_{n,ij}$  Norm-Trittschallpegel flankierender Bauteile.

Aufgrund ihrer Untersuchung der Stoßstellendämmung von Leichtbauwänden aus Metallständerprofilen und Gipskartonplatten sehen Weber und Scholl [5] die Übereinstimmung von normativem Rechenmodell und Messung als unbefriedigend an. Sie verweisen darauf, dass aufgrund der hohen inneren Dämpfung der im Leichtbau zum Einsatz kommenden Bauteile keine diffusen Körperschallfelder entstehen und die Reproduzierbarkeit der Messung der Stoßstellendämmung daher kaum gegeben ist. Die Anwendbarkeit des Rechenmodells nach EN 12354 ist ihrer

Ansicht nach dadurch beeinträchtigt. Untersuchungen wurden diesbezüglich auch von Schumacher, Saß und Pütz [6] an Holzständerwänden durchgeführt, die wertvolle Empfehlungen zur Messung des Stoßstellendämmmaßes  $K_{ij}$  geben.

Eine direkte Übertragung der gewonnenen Erkenntnisse aus dem Holzrahmenbau auf den Holzmassivbau ist jedoch zu prüfen, da sich diese beiden Bauweisen aus schallschutztechnischer Sicht wesentlich voneinander unterscheiden. Während beim Holzrahmenbau die schallschutztechnischen Anforderungen mit biegeweichen Beplankungen erfüllt werden, stellen Massivholzplatten weder eine biegeweiche, noch eine biegesteife Konstruktion dar [7].

Auch Holtz et al. erwähnen in [8], dass im Holzbau die Flankenübertragung nur mit großer Ungenauigkeit durch die direkte Ermittlung der Übertragung auf dem Weg Df gemessen werden kann und ein Vergleich der gemessenen Flankenübertragung mit der Prognose nach EN 12354 Aussagen über deren Anwendbarkeit und deren erforderliche Modifikationen gibt.

Generell gilt sowohl für das Prognoseverfahren nach EN 12354 als auch für SEA-Berechnungen, dass zuverlässige Eingangsdaten zur Beschreibung der Kopplungspfade zwischen den Bauteilen erforderlich sind und unter anderem davon die Genauigkeit der Vorhersage abhängt [9].

### 3 Untersuchung

An eigens für die Messung der Schall-Längsleitung errichteten flexiblen, zweigeschossigen Prüfständen wurden sowohl Schall- als auch Schwingungsmessungen durchgeführt. Die Prüfstände erfüllen die von Schoenwald et al. in [2] und von ÖNORM EN ISO 10848-1 [10] geforderten Bedingungen.

Eine Massivholzdecke mit dem Aufbau gemäß Bild 2 wurde zwischen 2 Geschossen mit Außenwänden bestehend aus jeweils Brettsperrholz KLH 3s 94 mm eingebaut (Bild 3). Um möglichst ungestört vom Außenlärm messen zu können, erhielt die Außenwand in beiden Geschossen allseitig eine 20 cm dicke, mit Steinwolle ausgedämmte Wetterschutz-Vorsatzschale mit einer Beplankung aus zementgebundenen Spanplatten. Der komplette Prüfstand ist auf Schienen gelagert und hochgradig flexibel ausgeführt. So kann etwa das Obergeschoss angehoben und das Untergeschoss samt Decke ausgefahren werden, um die

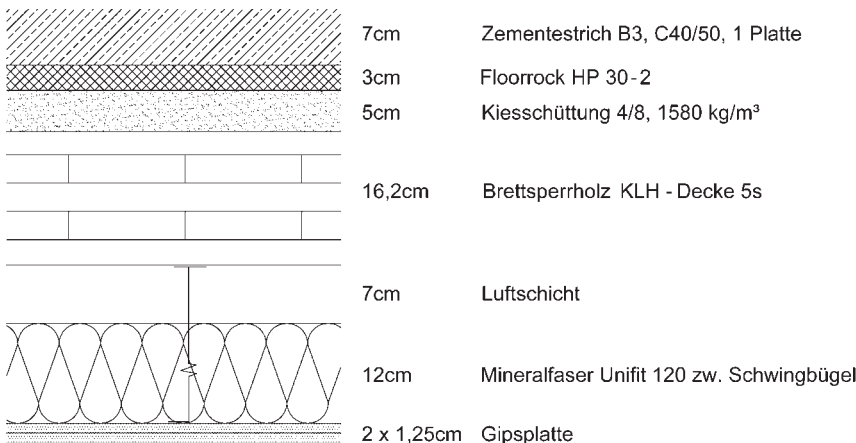


Bild 2. Aufbau der geprüften Geschossdecke  
 Fig. 2. Construction of the examined ceiling

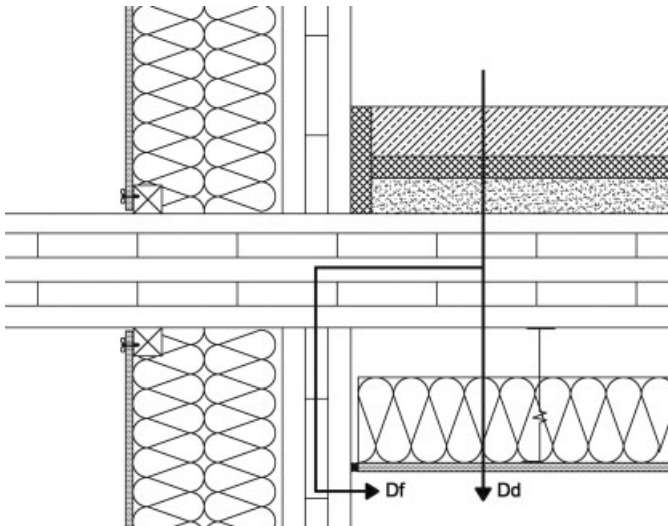


Bild 3. Aufbau der Stoßstelle Wand-Decke  
Fig. 3. Construction of the wall-ceiling junction

Fußbodenkonstruktion auszutauschen bzw. auch um die Geschossdecke mit der Wand zu verschrauben (Bild 4). Um etwa Baulager unter der Geschossdecke einzulegen bzw. für Messungen mit Flankenwegsunterdrückung besteht auch die Möglichkeit, die komplette Obergeschosskonstruktion samt Decke anzuheben.

### 3.1 Schallmessungen

Zunächst wurden bei bauakustischen Messungen Norm-Schallpegeldifferenz (Bild 5) und Norm-Trittschallpegel (Bild 6) ermittelt, wobei sämtliche Messungen gemäß [11] bzw. [12] durchgeführt wurden. Zur weitgehenden Unterdrückung des direkten Übertragungsweges wurde neben dem Fußbodenaufbau noch eine, auch im tieffrequenten Bereich wirksame, 22 cm elastisch abgehängte, doppelt beplante Decke angebracht (Bild 2). Diesbezüglich wurde eine Resonanzfrequenz von etwa 29 Hz errechnet.

Zur Bestimmung des Schalldämm-Maßes und des Norm-Trittschallpegels der Decke selbst wurden Schallmessungen mit komplett abgehobenem Obergeschoss vorge-



Bild 4. Hochflexibler Massivholz-Deckenprüfstand, errichtet im Rahmen des Schallschutzprojektes von KLH Massivholz GmbH  
Fig. 4. Highly flexible solid wood test facility, built by KLH Massivholz GmbH

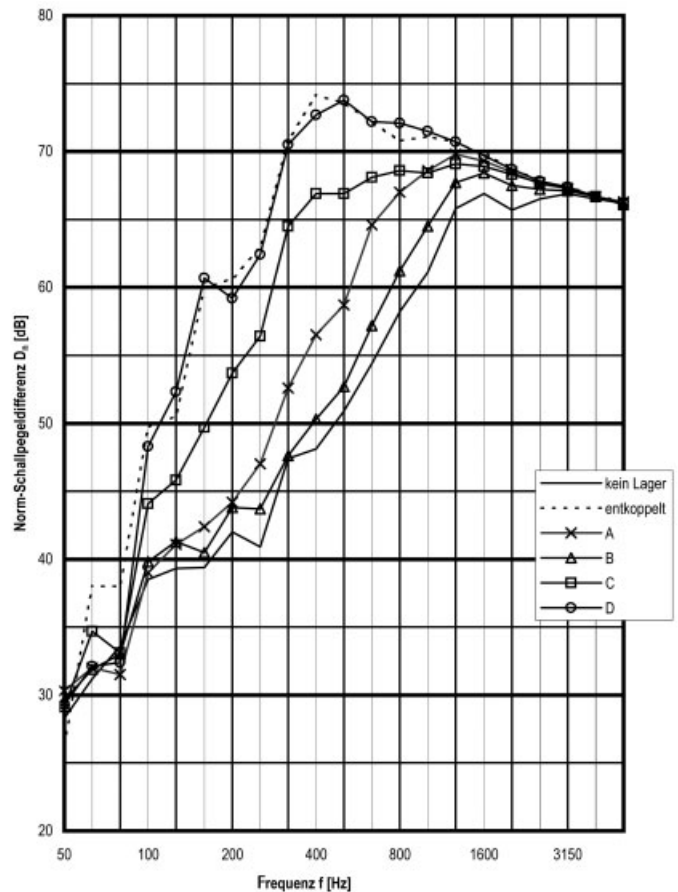


Bild 5. Norm-Schallpegeldifferenz der Konstruktion mit unterschiedlichen Baulagervarianten  
Fig. 5. Normalized sound pressure level difference of the construction with different flexible interlayers

nommen, um so die Flankenübertragung gemäß [13] zu unterdrücken. Im Anschluss erfolgten Schallmessungen mit aufliegender Decke und mit den Baulagern der am Projekt beteiligten Unternehmen, die sukzessive hintereinander unter der Decke eingelegt wurden. Weiterhin wurde auch der Luftschallbeitrag des Hammerwerks nach [14] Prüfanweisung Nr. 7 gemessen und für nicht relevant befunden.

In einer weiteren Versuchsreihe wurde die Brettsperrholz-Rohdecke der KLH Massivholz GmbH durch ein Hohlkastenelement mit gleicher Höhe der Lignatur AG ersetzt und den gleichen bauakustischen Untersuchungen unterzogen. Die Frequenzverläufe der gemessenen Pegel werden hier nicht explizit angeführt, die Einzahlangaben sind in Tabelle 1 zu finden.

### 3.2 Schwingungsmessungen

Die Schwingungsmessungen, welche der Ermittlung der erforderlichen Eingangparameter der normativen Berechnung dienen, wurden ausschließlich mit Fokus auf die Prognose der Trittschalldämmung durchgeführt. Dies resultiert unter anderem aus der Auswertung der von der Holzforschung Austria an bestehenden Objekten durchgeführten Messungen, die zeigen, dass die normgemäßen Anforderungen an den Luftschallschutz von Holzmassivdeckenkonstruktionen wesentlich leichter zu erfüllen sind, als jene an den Trittschallschutz.

Für die Messung der Eingangparameter für eine Berechnung nach [3] stehen neben [6] auch Messanleitun-

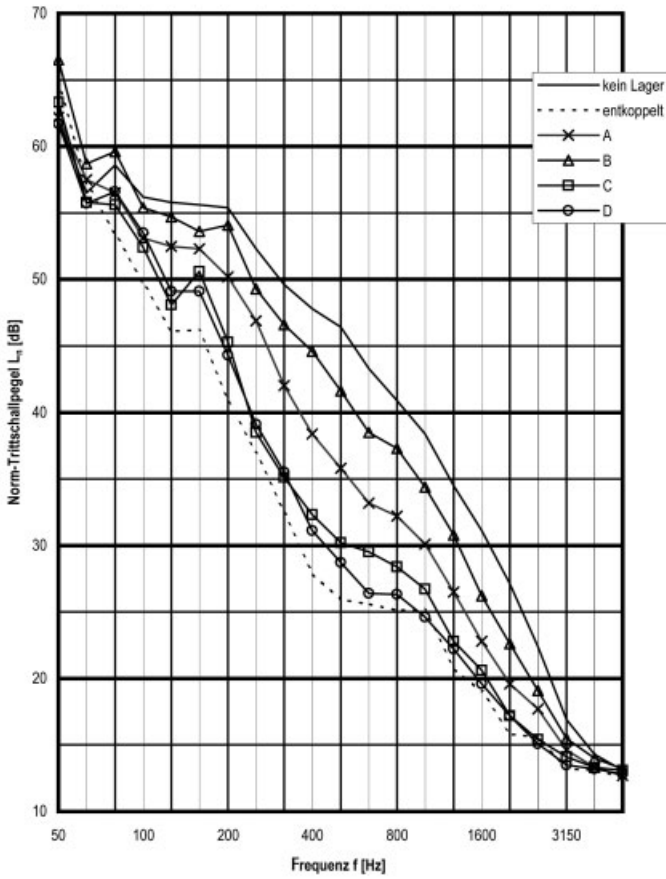


Bild 6. Norm-Trittschallpegel der Konstruktion mit unterschiedlichen Baulagervarianten  
 Fig. 6. Normalized impact sound pressure level with variation of flexible interlayers

gen der PTB Braunschweig [15], [16] zur Verfügung. Wertvolle diesbezügliche Hinweise sind auch bei Metzger in [17] zu finden. Er empfiehlt die höhere Bauteildämmung bei Leichtbaukonstruktionen getrennt bei der Modellie-

rung zu berücksichtigen und regt an, dass durch Beschränkung bei der Messung auf stoßstellennahe Bereiche auch bei der Messung der Schnellepegeldifferenzen davon ausgegangen werden kann, dass die maßgebliche Dämpfung im Stoßstellendämm-Maß enthalten ist.

Nach Demontage der abgehängten Decke erfolgte die entsprechende Applikation der Beschleunigungsaufnehmer an der Wandinnenseite und der Unterseite der Decke, die sich nun als Holzuntersicht der Brettsper Holzrohdecke präsentiert, gemäß erwähnten Anweisungen.

Gemessen wurden die Schnellepegeldifferenzen mit Beschleunigungsaufnehmern an je 4 Aufnehmerpunkten an Wand und Decke in beide Richtungen sowohl mit abgehobener Geschossdecke, als auch aufliegend und mit verschiedenen, darunter eingelegten Baulagern, mit und ohne zusätzliche Belastung. Die Messungen erfolgten im Frequenzbereich von 20 Hz bis 20 kHz, wobei als Bezugsbeschleunigung  $a_0 = 10^{-6} \text{ m/s}^2$  nach [10] in Gl. (2) eingesetzt wurde. Messungen mit jeweils drei stationären Körperschall-Anregungspunkten, an der Wand mit einem Shaker und an der Decke mit dem Normhammerwerk, folgte die räumliche Mittelung nach Gl. (3). Richtungs-gemittelte Ergebnisse für die unterschiedlichen Lagerungssituationen sind in Bild 7 ersichtlich. Aufgrund der Differenzbildung ist eine Umrechnung der Beschleunigungspegel in Schnellepegel nicht erforderlich.

$$L_a = 20 \lg \frac{a}{a_0} \text{ db} \tag{2}$$

$$L_{a,m} = 10 \lg \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_{a,i}}{10}} \right) \text{ db} \tag{3}$$

- Darin sind:  
 $L_a$  Beschleunigungspegel  
 $L_{a,m}$  mittlerer Beschleunigungspegel  
 $a$  Beschleunigung.

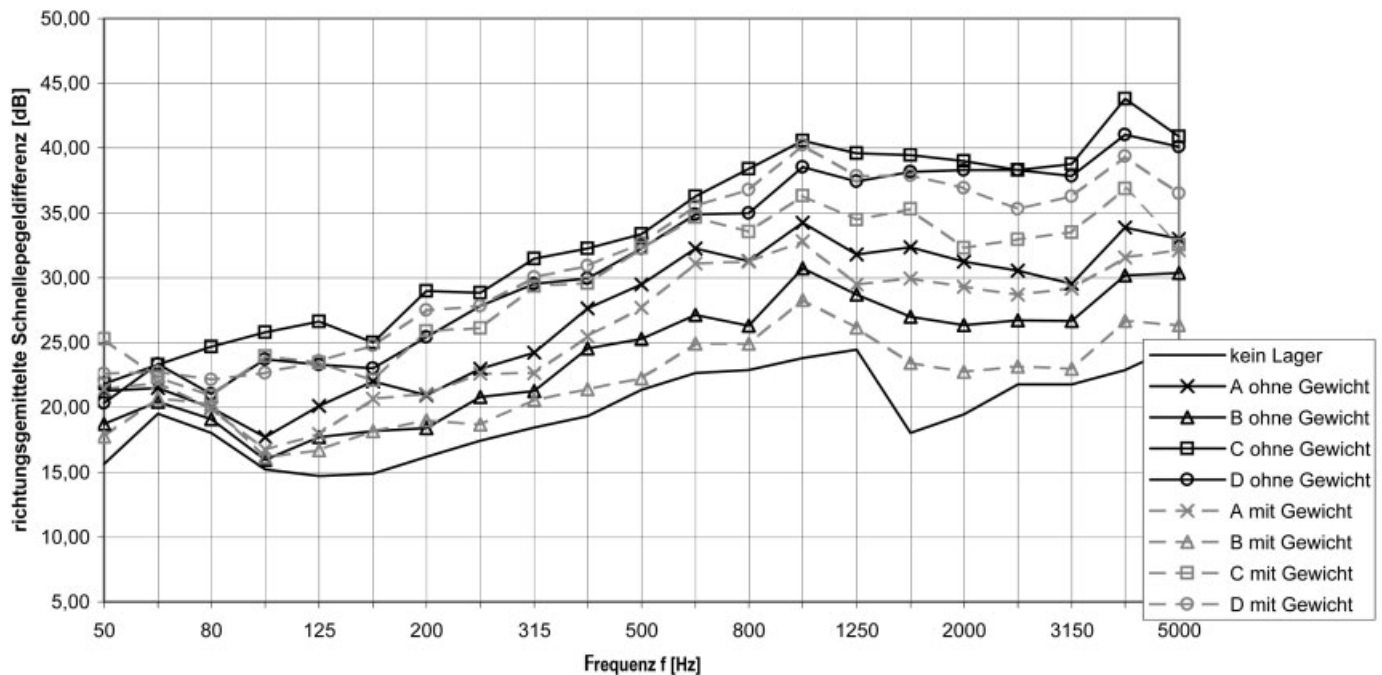


Bild 7. Richtungsgemittelte Schnellepegeldifferenzen ohne Belastung bzw. mit Belastung, die einen Dreigeschosser simuliert  
 Fig. 7. Direction-averaged velocity level difference without load and a load simulating a three-storey building, respectively



Bild 8. Mit Betonelementen, Gesamtgewicht 240 kN, belasteter Prüfstand

Fig. 8. With concrete elements, total weight 240 kN, loaded test facility

Sämtliche Messungen wurden unter zusätzlicher Auflast von 240 kN nochmals durchgeführt, um den Einfluss der Belastung im Gebrauchszustand eines Dreigeschoßers auf die Dämpfungseigenschaften der Baulager messtechnisch zu erfassen. Die Belastung erfolgte mit sechs Betonelementen mit je 40 kN Eigengewicht, die, um eine gleichmäßige Lastverteilung zu erreichen, in regelmäßigen Abständen am Dach der Prüfeinrichtung aufgelegt wurden (Bild 8). Bei zwei der vier untersuchten Baulager erfolgt eine Abstimmung auf die höhere Belastung. So wird bei dem punktförmig angeordneten Auflager (Lager C) die Fläche durch Einbringung weiterer Lagerstücke erhöht. Beim vollflächig verlegten geschlossenzelligen Polyurethan (Lager D) muss aufgrund der feinen Abstufung der Druckfestigkeitsklassen dieses Lagertyps gegen einen für die höheren Belastungen konzipierten getauscht werden.

Die beiden Lagertypen A und B werden nicht auf unterschiedliche Belastungen abgestimmt.

Die Körperschall-Nachhallzeit  $T_s$  wird aus den Abklingkurven der Beschleunigungspegel des Bauteils ermittelt. Die Messung der Körperschall-Nachhallzeiten erfolgte mittels Hammeranregung nach obigen Anweisungen bei aufgelegter und abgehobener Decke. Dabei standen drei Anregungspunkten acht, über das Bauteil verteilte Aufnehmerpunkte gegenüber. Weitere Messungen ohne Fußbodenaufbau wurden ebenfalls durchgeführt, bei denen beide in [10] empfohlene Verfahren – MLS und Hammeranregung – eingesetzt und die Ergebnisse verglichen werden konnten.

Das Stoßstellendämm-Maß  $K_{ij}$  wird aus Gl. (4) und (5) bestimmt und ist in Bild 9 für die Fälle ohne Baulager und mit Lager D beispielhaft dargestellt.

$$K_{ij} = \overline{D_{v,ij}} + 10 \lg \frac{l_{ij}}{\sqrt{a_i a_j}} \text{ dB} \quad (4)$$

mit

$$a_i = \frac{2, 2\pi^2 S_i}{c_0 T_{s,i}} \sqrt{\frac{f_{ref}}{f}}$$

$$a_j = \frac{2, 2\pi^2 S_j}{c_0 T_{s,j}} \sqrt{\frac{f_{ref}}{f}} \quad (5)$$

wobei:

- $\overline{D_{v,ij}}$  richtungsgemittelte Schnellepegeldifferenz
- $l_{ij}$  Länge der Stoßstelle
- $a_i, a_j$  äquivalente Absorptionslänge eines Bauteils
- $S_i$  Fläche des angeregten Bauteils (Decke)
- $S_j$  Fläche des abstrahlenden Bauteils (Wand)
- $f_{ref}$  Bezugsfrequenz,  $f_{ref} = 1.000 \text{ Hz}$

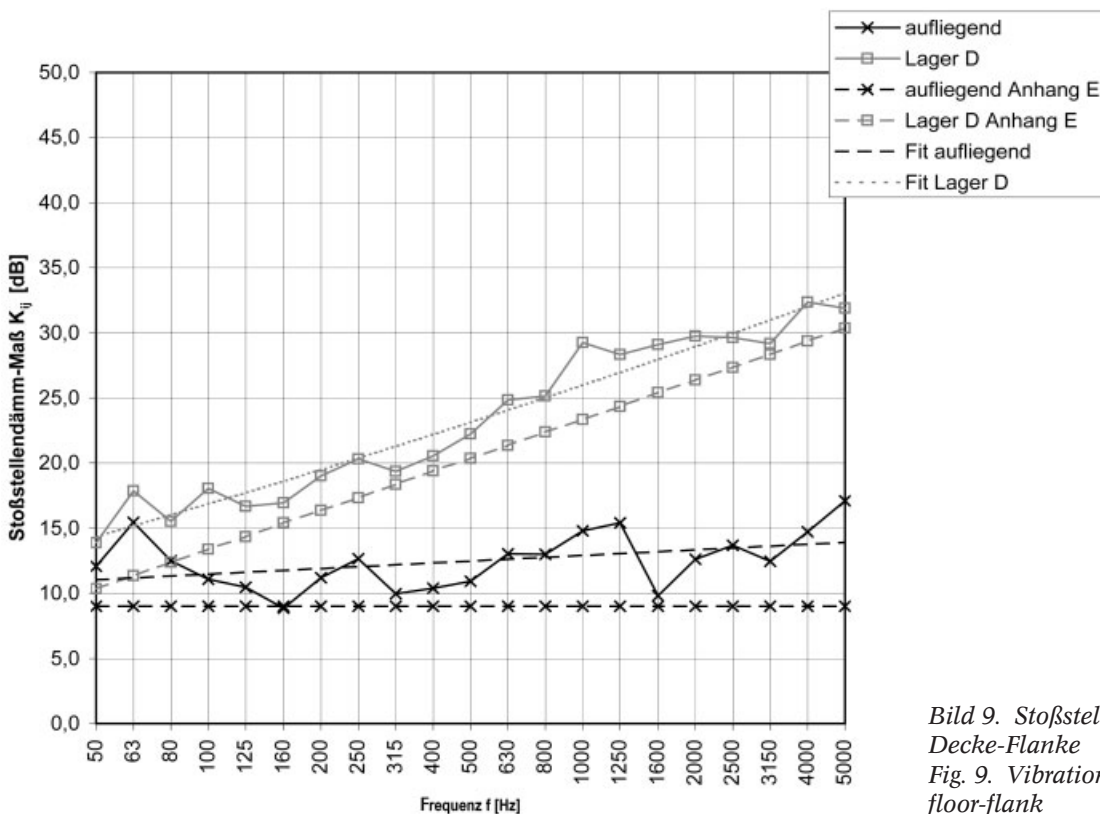


Bild 9. Stoßstellendämm-Maß  $K_{ij}$   
Decke-Flanke

Fig. 9. Vibration reduction index  $K_{ij}$   
floor-flank

Es zeigt sich ein frequenzunabhängiges, leicht zu hohen Frequenzen ansteigendes  $K_{ij}$  für den Fall des starren Stoßes und ein starkes Ansteigen des Stoßstellendämmmaßes bei höheren Frequenzen für den Fall der elastischen Zwischenschicht. Dies entspricht im Verlauf weitgehend den empirischen Angaben für massive mineralische Bauteile aus Anhang E von [1], allerdings liegen die gemessenen Werte im Schnitt etwa 3 dB über den prognostizierten.

#### 4 Ergebnisdiskussion

##### 4.1 Ergebnisse aus den Schallmessungen

Durch Anordnung der Unterdecke kann die direkte Schallübertragung durch die Decke soweit verringert werden, dass hauptsächlich die Flankenübertragung mit Bauakustikmessungen bestimmt werden kann. Wie in Bild 5 und 6 erkennbar, konnte der Einfluss der unterschiedlichen Baulager gut gemessen werden. Bewertet ergeben sich hier im Falle einer KLH Brettsperrholz-Rohdecke und eines Lignatur-Kastenelementes die in Tabelle 1 angegebenen Differenzen bei der Norm-Schallpegeldifferenz  $D_{n,w}$  von bis zu 14 dB und dem Norm-Trittschallpegel  $L_{n,w}$  von bis zu 9 dB. Ein signifikanter Einfluss elastischer Zwischenschichten ist somit nachgewiesen, Voraussetzung dafür ist jedoch die massive Unterdrückung des direkten Übertragungsweges. Erhöht sich der Anteil an Direkt-schall (etwa ohne Unterdecke), so verringert sich im selben Maße der Einfluss der Flanken und somit auch die Wirksamkeit von elastischen Zwischenschichten. An dieser Stelle ist jedoch zwischen Luftschall und Körperschall sowie der jeweiligen Anordnung der Baulager oberhalb bzw. unterhalb der Rohdecke zu unterscheiden, da bei Abdecken der Rohdecke durch die Anordnung eines schwimmenden Estriches (immer dessen fachgerechte Ausführung vorausgesetzt) Luftschall im Obergeschoss stärker in die oberen Flanken eingeleitet wird.

Betrachtet man den Frequenzverlauf des Norm-Trittschallpegels ohne abgehängte Unterdecke, so erkennt man eine Resonanz bei etwa 100 Hz, die gut mit der berechneten Resonanzfrequenz des Estrichaufbaus von 95 Hz korreliert. Weiterhin können Resonanzen bei etwa 200 Hz, wie schon von *Bednar* in [7] rechnerisch prognostiziert, 800 Hz und 3500 Hz festgestellt werden, die direkt mit Einbrüchen im Schalldämm-Maß der Rohdecke übereinstimmen.

##### 4.2 Ergebnisse aus den Schwingungsmessungen

Für die Stoßstellen wird die Übertragung durch die richtungsgemittelte Schnellepegeldifferenz  $\overline{D}_{v,ij}$  gekennzeichnet.

Die Ergebnisdifferenzen in Bild 7 entsprechen den an die unterschiedlichen Lager gestellten Erwartungen und finden Eingang in die Berechnungen nach EN 12354.

Vergleicht man die Verläufe der Schnellepegeldifferenzen mit und ohne Belastung, so können folgende Schlüsse gezogen werden:

a) Lager, die für alle Belastungen gleich blieben:

*Variante A und B*

Über den kompletten, untersuchten Frequenzbereich ist bei zusätzlicher Auflast eine geringere Schnellepegeldifferenz messbar, da die Baulager stärker gepresst werden und sich dadurch deren dynamische Steifigkeit erhöht. Die Lagervariante A zeigt, offenbar aufgrund ihrer Geometrie, nur sehr geringe Belastungsabhängigkeit.

b) Lager, die auf unterschiedliche Belastungen abgestimmt werden: *Variante C und D*

Das auf die hohe Belastung abgestimmte Baulager der Variante D weist noch eine höhere Pegeldifferenz auf als jenes, welches ohne zusätzlicher Auflast eingebaut wurde. Das System der verschiedenen Typen für die verschiedenen Belastungen funktioniert offenbar sehr gut. Auch das Baulager C, das durch Erhöhen der Fläche an unterschiedliche Auflasten adaptiert wird, behält seine Dämpfungseigenschaften weitgehend unverändert bei.

Generell kann nach vorliegenden Untersuchungen gesagt werden, dass elastische Zwischenschichten, sofern sie nicht durch kraftschlüssige Befestigungen umgangen werden, ab etwa 100 Hz signifikant zur Verbesserung der Flankendämmung beitragen. Der Einfluss von Befestigungsmitteln wird in einem zweiten Teil aufgezeigt.

##### 4.3 Abgleich der Untersuchungsergebnisse mit dem Prognoseverfahren nach ÖN EN ISO 12354

Der Norm-Trittschallpegel flankierender Bauteile  $L_{n,ij}$  ist definiert als der räumlich und zeitlich gemittelte Trittschallpegel im Empfangsraum, der durch ein Normhammerwerk an verschiedenen Stellen des Bauteils im Sende- raum hervorgerufen wird, wenn die Übertragung nur über ein festgelegtes flankierendes Bauteil erfolgt. Normiert wird  $L_{n,ij}$  auf die äquivalente Bezugs-Absorptionsfläche ( $A_0$ ) im Empfangsraum, die 10 m<sup>2</sup> beträgt. Die Berechnung erfolgt nach [3] aus Gl. (6). Da es sich bei der Trittschallübertragung nur noch um einen Flankenweg handelt, werden in diesem Fall die Indizes i und j durch D für Decke und f für Flanke bzw. Wand ersetzt.

Tabelle 1.  $D_{n,w}$  und  $L_{n,w}$  bei unterschiedlichen Baulagern für unterschiedliche Rohdeckenvarianten mit abgehängter Unterdecke  
Table 1.  $D_{n,w}$  and  $L_{n,w}$  for different flexible interlayers and variation of base floors with suspended ceiling

KLH	kein Lager	entkoppelt	Lager A	Lager B	Lager C	Lager D
$D_{n,w}$ [dB]	55	69	60	57	66	69
$L_{n,w}$ [dB]	47	36	43	46	40	39
LIGNATUR						
$D_{n,w}$ [dB]	53	67	60	56	64	65
$L_{n,w}$ [dB]	47	36	42	46	39	38

$$L_{n,Df} = L_n - \Delta L + \frac{R_D - R_f}{2} - \Delta R_f - \overline{D_{v,Df}} - 10 \lg \sqrt{\frac{S_D}{S_f}} \text{ dB} \quad (6)$$

mit:

- $L_{n,Df}$  Norm-Trittschallpegel Flankenweg Decke-Wand
- $L_n$  Norm-Trittschallpegel der Rohdecke
- $\Delta L$  Trittschallminderung der Deckenauflage
- $R_D$  Schalldämm-Maß der Rohdecke
- $R_f$  Schalldämm-Maß der Wand
- $\Delta R_f$  Luftschallverbesserungsmaß durch Vorsatzkonstruktion an der Flanke
- $\overline{D_{v,Df}}$  richtungsgemittelte Schnellepegeldifferenz des Weges Decke-Wand
- $S_D$  Fläche des angeregten Bauteils (Decke)
- $S_f$  Fläche des abstrahlenden Bauteils (Wand)

Bis auf  $R_f$  wurden durchweg die aus Schallmessungen nach [11] und [12] am gleichen Deckensystem ermittelten Messwerte eingesetzt.  $R_f$  wurde anhand von  $R_D$  (gleiches Material, gleicher Aufbau, jedoch geringere Stärke) abgeschätzt. Eine Berechnung der Eingangparameter nach der, wie erwähnt für mineralische Massivbauteile entwickelten EN 12354, erwies sich für Holzmassivkonstruktionen als nicht praktikabel.

Die mittels Trittschallmessungen in Terzbändern ermittelten Verläufe der Flankenübertragung  $L_{n,Df}$ , sowie jene nach [3], unter Einbeziehung der direkt gemessenen Stoßstelle, prognostizierten, sind in Bild 10 zum Vergleich angegeben. Zu erkennen ist eine massive Abweichung der gerechneten und gemessenen über die Flanken übertragenen

Norm-Trittschallpegel bei Frequenzen um 800 Hz. Ein Frequenzbereich, bei dem sich auch Resonanzen der Rohdecke zeigen. Dementsprechend ist eine starke Abhängigkeit der Korrelation von Messung und Berechnung von den Dämpfungseigenschaften der verwendeten Baulager erkennbar.

Betrachtet man die Ergebnisse in Bild 11, so ist zu erkennen, dass die Prognose für den Norm-Trittschallpegel des Gesamtsystems  $L'_n$  besser mit dem Messergebnis übereinstimmt als dies bei den über die Flanken übertragenen Norm-Trittschallpegeln  $L_{n,Df}$  der Fall ist. Wie bereits oben diskutiert, tritt dies besonders bei gut bedämpften Flankenwegen auf, ist aber in erster Linie auf die in diesen Fällen dominierende Direktübertragung durch die Decke zurückzuführen. Dabei dämmt die im Frequenzbereich um 800 Hz sehr wirksame Unterdecke die Resonanzen der Rohdecke. Aus Tabelle 2 ist abzulesen, dass bei den bewerteten Ergebnissen die Messung und die Prognose maximal um 3 dB differieren, allerdings kommt es bei der Berechnung offensichtlich zu einer konsequenten Unterschätzung der gemessenen Norm-Trittschallpegel.

### 5 Ausblick

Während bei den Einzahlangaben die normgemäße Prognose recht gut mit den bauakustisch gemessenen Ergebnissen übereinstimmt, so ist bei genauerer Betrachtung des Frequenzganges sehr wohl Verbesserungspotential vorhanden. Es sind demnach noch andere Formen der Modellierung von Massivholzdecken und in weiterer Folge auch der Stoßstelle mit und ohne flexible Zwischenschichten zu untersuchen. Als weitere Basis für eine baupraktisch relevante Modellierung der Stoßstelle wird

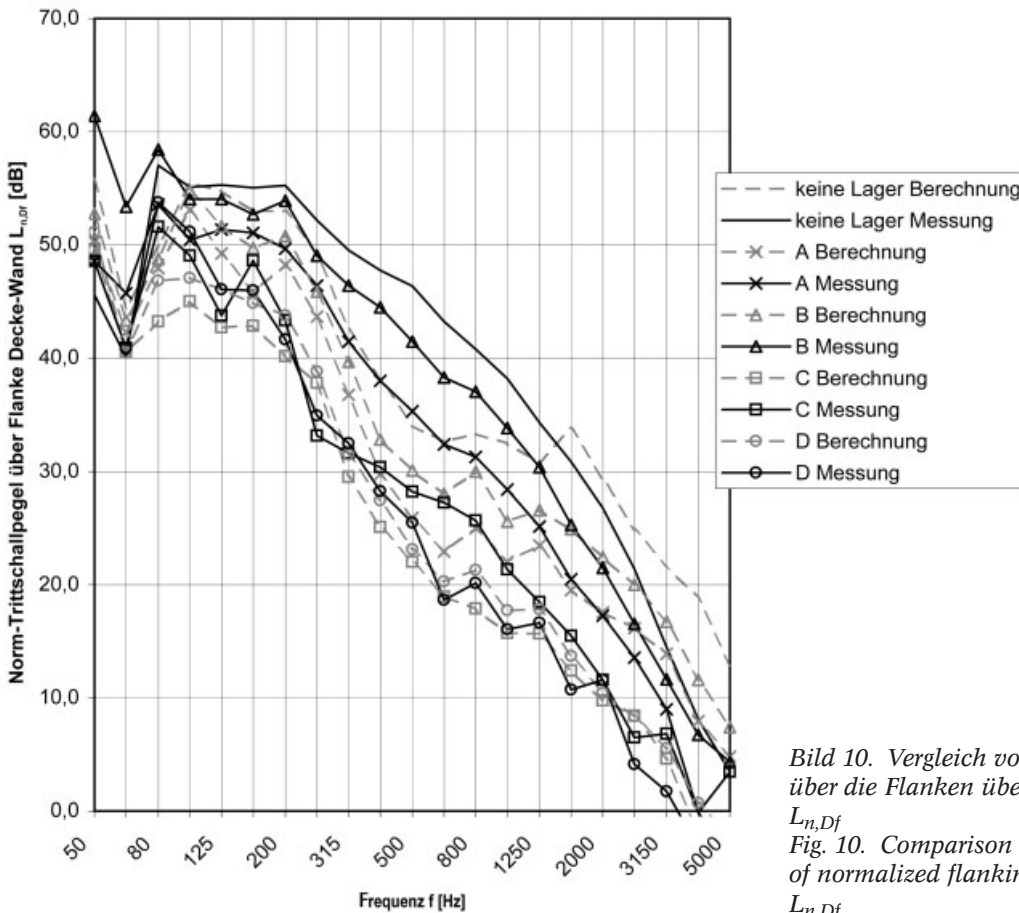


Bild 10. Vergleich von Messung und Berechnung der über die Flanken übertragenen Norm-Trittschallpegel  $L_{n,Df}$   
 Fig. 10. Comparison of measurement and calculation of normalized flanking impact sound pressure level  $L_{n,Df}$

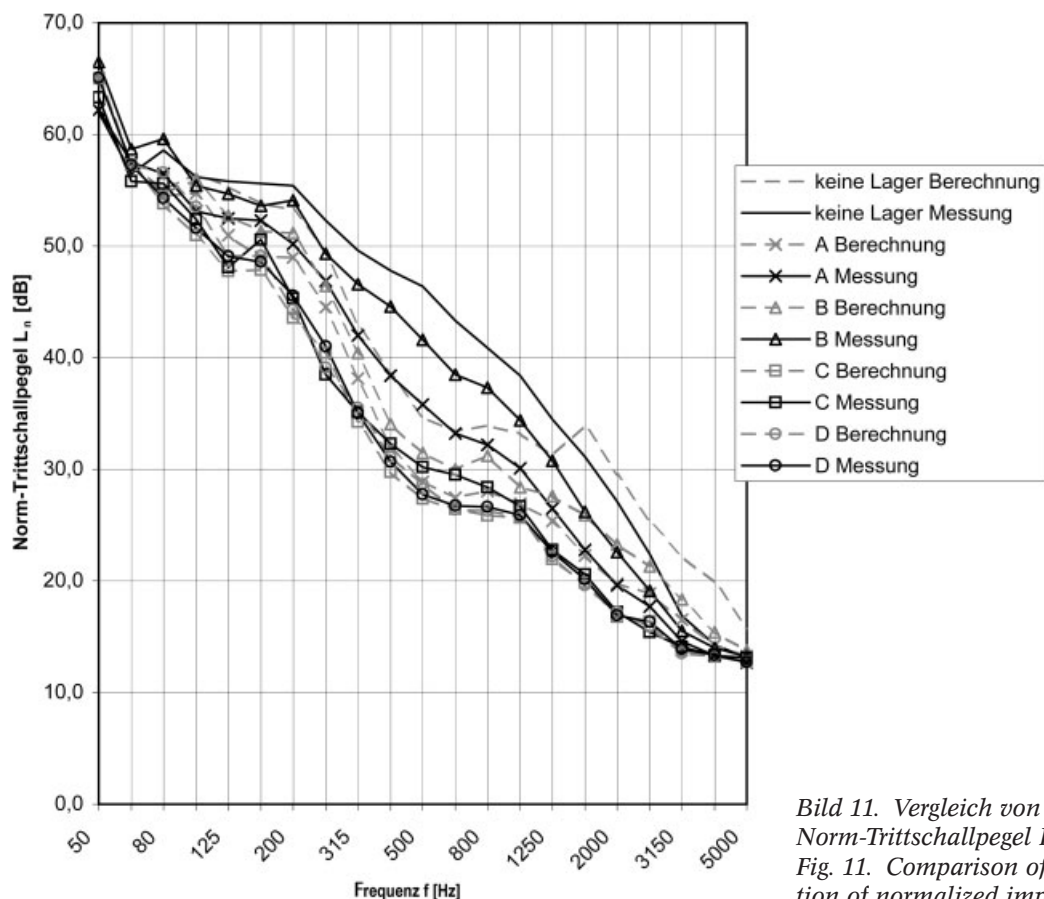


Bild 11. Vergleich von Messung und Berechnung der Norm-Trittschallpegel  $L_n$   
 Fig. 11. Comparison of measurement and calculation of normalized impact sound pressure level  $L_n$

Tabelle 2. Bewertete Norm-Trittschallpegel  $L_{n,w}$  und  $L_{n,Df,w}$  gemessen und berechnet  
 Table 2. Weighted normalized impact sound pressure level  $L_{n,w}$  and  $L_{n,Df,w}$  measured and calculated

KLH	kein Lager	entkoppelt	Lager A	Lager B	Lager C	Lager D
$L_{n,w}$ gemessen [dB]	47	36	43	46	40	39
$L_{n,w}$ berechnet [dB]	46		42	44	38	39
$L_{n,Df,w}$ gemessen [dB]	47		42	45	37	37
$L_{n,Df,w}$ berechnet [dB]	45		40	43	34	36

auch der Einfluss von Befestigungsmitteln im Rahmen dieses Forschungsprojektes untersucht und in den Modellierungsansatz mit eingebunden.

Darüber hinaus werden Lösungsvorschläge zur weiteren Verbesserung der Konstruktionen erarbeitet und praxisnahe Lösungen für kraftschlüssige, aber schalltechnisch entkoppelte Befestigungsmittel entwickelt.

### Danksagung

Die Untersuchungen wurden im Rahmen der Fortsetzung des industriellen Kompetenzzentrums „Holztechnologie“ der Holzforschung Austria, welches vom Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, dem Fachverband der Holzindustrie Österreichs und den Österreichischen Bundesforsten gefördert wird, durchgeführt.

Weiterhin gilt unser Dank den beteiligten Firmen:

#### Holzdecken

KLH Massivholz GmbH,  
 Lignatur AG,  
 Sohm Holzbautechnik GesmbH

#### Baulager

Eichler KG,  
 ESZ Wilfried Becker GmbH,  
 Getzner Werkstoffe GmbH,  
 Intumex GmbH,  
 Vinzenz Harrer GmbH

Außerdem möchten wir uns bei Herrn DI *Konder* vom Zentrum für Bauphysik und Bauakustik der TU Wien für seinen unermüdlichen Einsatz bedanken.

### Literatur

- [1] ÖNORM EN 12354-1:2000-11 Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften – Teil 1: Luftschalldämmung zwischen Räumen. Österreichisches Normungsinstitut, 2000.
- [2] Schönwald, S., Martin, H., Gerretsen E.: Aspects of measurement of  $K_{ij}$  at junctions of lightweight assembled structures. CFA/DAGA. Strassburg, 2004.



- [3] ÖNORM EN 12354-2:2000-11 Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften – Teil 2: Trittschalldämmung zwischen Räumen. Österreichisches Normungsinstitut, 2000.
- [4] Meier, A.: Die Bedeutung des Verlustfaktors bei der Bestimmung der Schalldämmung im Prüfstand. Dissertation. RWTH Aachen, 2000.
- [5] Weber, L., Scholl, W.: Stoßstellendämmung von Leichtbauwänden. DAGA. Oldenburg, 2000.
- [6] Schumacher, R., Saß, B., Pütz, M.: Grundlagenuntersuchungen zum Stoßstellendämm-Maß im Holzbau. Abschlussbericht Forschungsvorhaben, 2001.
- [7] Bednar, T., Vodicka, M., Dreyer, J.: Entwicklungen im mehrgeschossigen Holzbau. Jahrestagung der ÖPG-FA Akustik. Graz, 2000.
- [8] Holtz, F., Rabold, A., Hessinger, J., Buschbacher, H., Dedio, M., Biermann, A.: Verringerung der Schallabstrahlung von Holzständerwänden bei Trittschall-Anregung im mehrgeschossigen Holz-Wohnungsbau. Abschlussbericht. Stephanskirchen, 2003.
- [9] Gerretsen, E.: Prediction of sound insulation in buildings: a tool to improve the acoustic quality. DAGA. Aachen, 2003.
- [10] ÖNORM EN ISO 10848-1:2006-08 Messung der Flankenübertragung von Luftschall und Trittschall zwischen benachbarten Räumen in Prüfständen – Teil 1: Rahmendokument. Österreichisches Normungsinstitut, 2006.
- [11] ÖNORM EN ISO 140-3:2005-04 Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen – Teil 3: Messung der Luftschalldämmung von Bauteilen in Prüfständen. Österreichisches Normungsinstitut, 2005.
- [12] ÖNORM EN ISO 140-6:1999-07 Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen – Teil 6: Messung der Trittschalldämmung von Decken in Prüfständen. Österreichisches Normungsinstitut, 1999.
- [13] ÖNORM EN ISO 140-1:2005-03 Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen – Teil 1: Anforderung an Prüfstände mit unterdrückter Flankenübertragung. Österreichisches Normungsinstitut, 2005.
- [14] Lang, J.: Qualitätsmanagement-Handbuch für schalltechnische Messungen und Berechnungen. Reports R-136. Wien, 1997.
- [15] PTB Braunschweig, Messanleitung zur Bestimmung des Verlustfaktors, 1997.
- [16] PTB Braunschweig, Messanleitung zur Bestimmung des Stoßstellendämm-Maßes, 2000.
- [17] Metzner, H. A.: Berechnung des Schallschutzes im Holz-Leichtbau – Möglichkeiten zur Verbesserung der Prognosegenauigkeit. DAGA. Stuttgart, 2007.

**Autoren dieses Beitrages:**

DI Franz Dolezal, Holzforschung Austria, Franz Grill-Straße 7, 1030 Wien  
Ao.Univ.Prof. DI Dr. Thomas Bednar, Zentrum für Bauphysik und Bauakustik, TU Wien, Adolf Blamauergasse 1–3, 1030 Wien  
DI Dr. Martin Teibinger, Holzforschung Austria, Franz Grill-Straße 7, 1030 Wien



## Schallschutz im Holzbau

20dB Verbesserung im Tieftonbereich

LIGNATUR *silence* – Wohnungstrenndecken lassen das dumpfe Dröhnen und Poltern der Vergangenheit angehören. Sie wollen mehr wissen? Wir beraten Sie gerne.

LIGNATUR AG  
CH-9104 Waldstatt  
www.lignatur.ch

Tel. +41 (0)71 353 04 10  
Fax +41 (0)71 353 04 11  
info@lignatur.ch

**LIGNATUR®**  
Das tragende Element. Aus Holz.

# Flankenübertragung bei Massivholzkonstruktionen

## Teil 2: Einfluss von Befestigungsmitteln auf die Verbesserung durch den Einbau elastischer Zwischenschichten

Dieses Thema wird in zwei Aufsätzen zur Flankenübertragung abgehandelt. In Teil 1 wurde die Verbesserung der Flankendämmung durch den Einbau elastischer Zwischenschichten untersucht und die Anwendbarkeit der EN 12354 verifiziert. Während elastische Zwischenschichten, wie in Teil 1 erläutert, zu einer wesentlichen Erhöhung der Flankendämmung führen, wird diese jedoch durch die Anordnung von statisch erforderlichen Befestigungsmitteln massiv beeinträchtigt. Mittels Schall- und Schwingungsmessungen wird deren Einfluss quantifiziert und der jeweiligen Befestigungsmaßnahme zugeordnet. Schalltechnisch optimierte Befestigungsmittel werden präsentiert und deren akustisches Verbesserungspotential ausgelotet.

**Flanking-Transmission at Solid Wood Constructions. Part 2: Influence of Fasteners on the Improvement by Application of Flexible Interlayers.** *As shown in part 1, the application of elastic interlayers leads to significant improvement of flanking insulation. Their impact is, however, highly affected by installation of required metal fasteners. By means of sound and vibration measurements their influence is quantified and assigned to the particular connection. Optimized fasteners are presented and their acoustical potential is verified.*

### 1 Einleitung

Während in Teil 1 zum Thema Flankenübertragung bei Massivholzkonstruktionen bereits das Verbesserungspotential von elastischen Zwischenschichten quantifiziert und die Anwendbarkeit der Prognose der Schalldämmung nach EN 12354 verifiziert wurde [1], soll in Teil 2 der Einfluss der erforderlichen Befestigungsmittel auf die Verbesserung der Flankendämmung untersucht werden.

Bei Massivholzkonstruktionen sind kraftschlüssige Verbindungen der einzelnen Bauteile mit Befestigungsmitteln zur Abtragung horizontaler Kräfte erforderlich. Wurden nun zwischen den Bauteilen flexible Zwischenschichten angeordnet um, wie bereits in Teil 1 ausgeführt, die Schallübertragung über flankierende Bauteile zu reduzieren, so ist zu erwarten, dass diese durch die Befestigungsmittel in ihrer akustischen Wirksamkeit zumindest beeinträchtigt werden. Eine diesbezügliche Prognose ist nicht möglich, und damit generell die Sinnhaftigkeit der Anordnung von flexiblen Zwischenschichten zur Dämmung der Flankenübertragung in Frage gestellt, da diese durch statisch erforderliche Maßnahmen möglicherweise gänzlich ihrer Funktion beraubt werden.

In den im Rahmen dieses Forschungsvorhabens errichteten Prüfständen wurde der Einfluss von Befestigungsmitteln im Zusammenhang mit den jeweils applizierten Baulagern bauakustisch und schwingungstechnisch untersucht. Anhand der Ergebnisse werden die Auswirkungen unterschiedlicher Befestigungen auf die Norm-Schallpegeldifferenz und den Norm-Trittschallpegel quantifiziert und der jeweiligen Befestigungsmaßnahme zugeordnet.

Das akustische Verbesserungspotential durch die Anwendung schalltechnisch optimierter Befestigungsmittel wird bestimmt.

### 2 Elastische Zwischenschichten und Befestigungsmittel

Die statische Bemessung von Befestigungsmitteln im Holzbau erfolgt nach Eurocode 5 [2]. Als Grundlage für diese Berechnung dienen die nach Eurocode 1 [3] ermittelten Einwirkungen wie Nutzlast, Eigengewicht, Schneelast und Windlast, sowie im gegebenen Falle Eurocode 8 [4] für die Auslegung von Bauwerken in Erdbebengebieten. Das Ergebnis der Berechnung legt die erforderliche Anzahl der Befestigungsmittel fest.

In der Praxis des Massivholzbaus erfolgt die Verbindung der Bauteile mit Winkel und Schrauben. Dabei werden, wie in Bild 1 ersichtlich, die Schrauben durch die Ge-

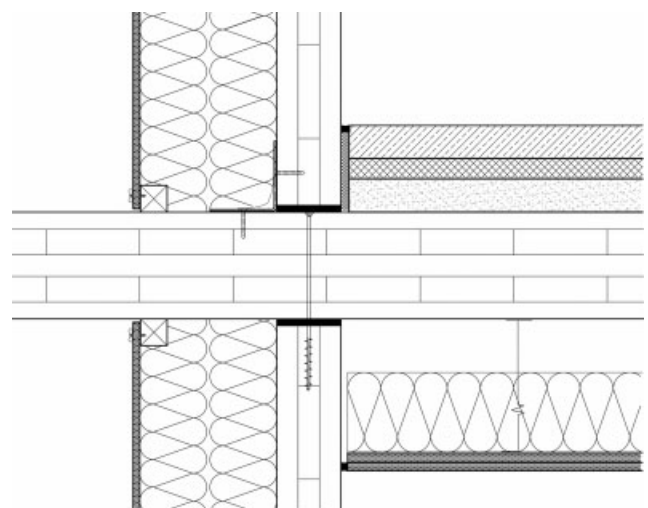


Bild 1. Aufbau der Stoßstelle Wand-Decke mit Verbindungsmittel

Fig. 1. Construction of the wall-floor-junction with fastener

schossdecke in die darunter angeordnete Wand geschraubt und mit Metallwinkeln die auf die Geschossdecke gestellte Wand mit dieser verbunden. Wird nun die Flankendämmung durch Anordnung von flexiblen Zwischenschichten zwischen den Bauteilen erhöht, so wird deren Verbesserung durch die statisch notwendigen metallischen Verbindungsmittel in ihrer akustischen Wirksamkeit begrenzt. Diesbezügliche Untersuchungen gibt es derzeit nicht.

Die Berechnung der Stoßstellendämmung mit elastischen Zwischenschichten erfolgt nach *Pedersen* [5] bis zu einer Frequenz  $f_1$  wie für starre Stöße, während sich für höhere Frequenzen das Stoßstellendämm-Maß mit 20 log durch zwei elastische Lager und mit 10 log für Transmission durch ein Lager verbessert. Für die Berechnung der Frequenzgrenze  $f_1$  wurde von *Pedersen* die Gl. (1) abgeleitet. Dabei stellen  $G$  den Schubmodul,  $d$  die Dicke und  $w$  die Breite der elastischen Zwischenschicht,  $\rho_1$  und  $\rho_2$  die Rohdichten der Bauteile und  $h_1$  die Auflagerbreite dar:

$$f_1 = 2,5 \cdot 10^{-6} \cdot \left( \frac{\sqrt{\rho_1 \rho_2}}{G} d \frac{h_1}{w} \right)^{-3/2}$$

Der im Anhang E der ÖNORM EN 12354-1 [6] angegebene Beispielwert für  $f_1$  von 125 Hz trifft nur für ein bestimmtes Verhältnis von Elastizitätsmodul und Schichtdicke zu. Eine Berechnung des Stoßstellendämm-Maßes von Stößen mit elastischen Zwischenschichten mit differierenden Eigenschaften ist daher nicht möglich.

Von *Schneider* et al. in [7] und der Holzforschung Austria durchgeführte Messungen lassen eine deutliche Verminderung des Stoßstellendämm-Maßes durch zusätzliche Lasten erkennen. Die aus der höheren Belastung resultierende erhöhte dynamische Steifigkeit der Zwischenschicht verschiebt auch die Frequenzgrenze  $f_1$  nach oben. Untersucht wurden auch die Auswirkungen einer Putzüberbrückung auf die Funktion der elastischen Zwischenschicht, mit dem Resultat, dass die Wirkung des Baulagers beinahe vollkommen aufgehoben wurde.

Diesbezüglich stellte auch *Ruff* et al. in [8] bei Messungen an mineralischen Massivbauteilen bereits durch dünne Überspachtelung der mit elastischen Zwischenschichten versehenen Stoßstelle eine deutliche Verschlechterung des Stoßstellendämm-Maßes fest.

Untersuchungen mit elastischen Zwischenschichten und der Verschraubung von Bauteilen wurden von *Knust* [9] an Holzständerwänden durchgeführt. Gegenüber der reinen Verschraubung der Bauteile konnte bei Anordnung einer elastischen Zwischenschicht und Verschraubung, trotz der zur Beantwortung dieser Fragestellung eher ungünstig gewählten Messsituation, eine geringe Verbesserung der Stoßstellendämmung gemessen werden.

Dass Befestigungsmittel zu einer Verschlechterung der Stoßstellendämmung beim Einsatz elastischer Zwischenschichten führen ist zu erwarten. Zu klären ist jedoch das Ausmaß und eine mögliche Abhilfe mit akustisch optimierten Befestigungen.

### 3 Untersuchung an Prüfständen

Die Schall- und Schwingungsmessungen erfolgten an den schon in Teil 1 vorgestellten zweigeschossigen Prüfständen. Der Deckenaufbau aus Teil 1, bestehend aus einer Massiv-

holz-Rohdecke mit Zementestrich, Trittschalldämmung und ungebundener Splittschüttung sowie einer mit Gipsplatten doppelt beplankten, abgehängten Unterdecke, wurde unverändert beibehalten und die jeweiligen Befestigungsmittel vor den Messungen angeordnet.

Zum Einsatz kamen Senkfräskopfschrauben 8,0 × 260/100, die durch die Decke in die darunter liegende Wand geschraubt wurden und Winkelverbinder 105 mit Rippe, mit denen die Wände des Obergeschosses mit der Trenndecke verbunden wurden. Dabei wurden die Abstände der Schrauben nach baustatischer Berechnung mit 45 cm und jene der Winkel mit 125 cm festgelegt. Weiterhin wurden Messungen bei doppelter Winkelanzahl durchgeführt um auch den Einfluss einer erhöhten Anzahl von Befestigungsmitteln abschätzen zu können.

### 3.1 Schallmessungen

Zunächst wurden bei bauakustischen Messungen Norm-Schallpegeldifferenz (auszugsweise in Bild 2 dargestellt) und Norm-Trittschallpegel (auszugsweise in Bild 3 ersichtlich) bei unterschiedlichen Lager- und Befestigungsvarianten ermittelt. Die Messungen wurden sowohl an der Brettsperrholz-Rohdecke der KLH Massivholz GmbH, als auch am

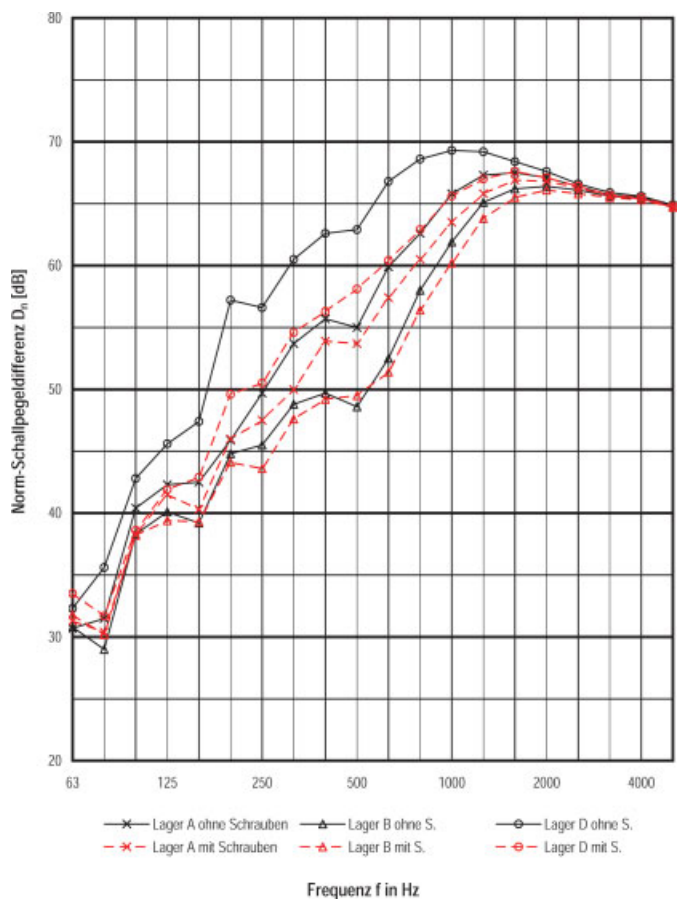


Bild 2. Norm-Schallpegeldifferenz  $D_n$  der Konstruktion mit unterschiedlichen Baulagern, mit und ohne Verschraubung der Rohdecke mit der darunter liegenden Wand; exemplarisch dargestellt an einem Lignatur Hohlkastenelement  
Fig. 2. Normalized sound pressure level difference  $D_n$  of the construction with different flexible interlayer, with and without screw connection of the base floor with subjacent wall; exemplarily shown at a Lignatur Element

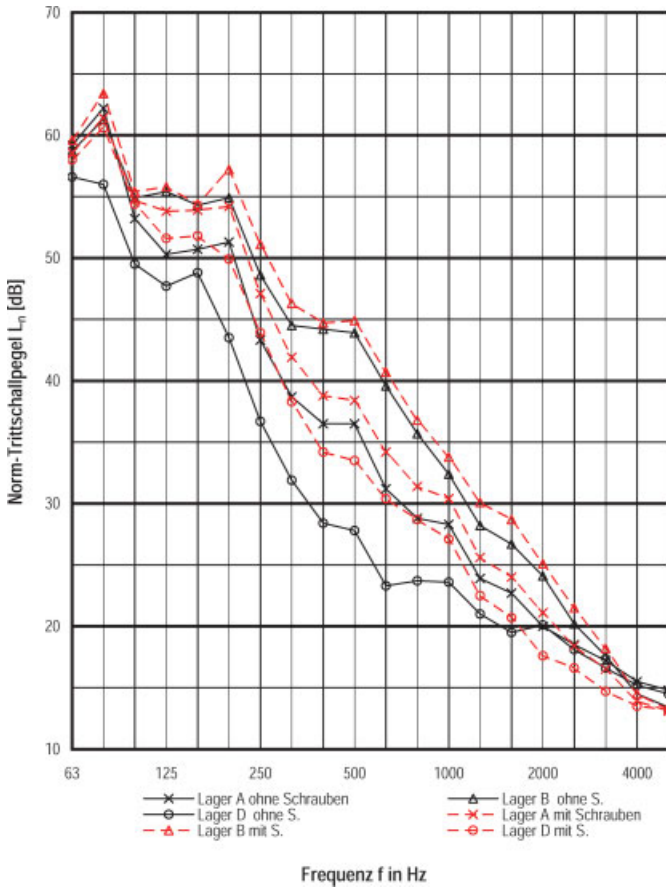


Bild 3. Norm-Trittschallpegel  $L_n$  der Konstruktion mit unterschiedlichen Baulagern, mit und ohne Verschraubung der Rohdecke mit der darunter liegenden Wand, exemplarisch dargestellt an einem Lignatur Hohlkastenelement  
 Fig. 3. Normalized impact sound pressure level  $L_n$  of the construction with different flexible interlayer, with and without screw connection of the base floor with subjacent wall; exemplarily shown at a Lignatur Element

Hohlkastenelement mit gleicher Höhe (Lignatur AG) vorgenommen. Werden die Einzahlangaben betrachtet, so können sowohl bei den Messungen der Norm-Schallpegeldifferenzen, als auch bei jenen der Norm-Trittschallpegel zwischen verschraubter und nicht verschraubter Decke, je nach Effizienz des Lagers, Differenzen von 1 bis 4 dB ermittelt werden.

### 3.2 Schwingungsmessungen

Gemessen wurden, wie bereits in Teil 1 beschrieben, Schnellepegeldifferenzen mit Verschraubung und Variation der unter der Decke eingelegten Baulager, mit und ohne zusätzliche Belastung von 240 kN. In Bild 4 sind für Lager B und D beispielhaft die Schnellepegeldifferenzen mit und ohne Verschraubung, sowie mit zusätzlicher Belastung und Verschraubung angeführt.

Ein großer Einfluss der Verschraubung auf die Dämmung der Stoßstelle ist vor allem beim effizienteren Lager an der geringeren Schnellepegeldifferenz und dem langsameren Anstieg bei höheren Frequenzen erkennbar. Wie schon im Teil 1 wird das Lager D der höheren Belastung angepasst, weshalb nur am Lager B der Einfluss der zusätzlichen Last erkennbar ist.

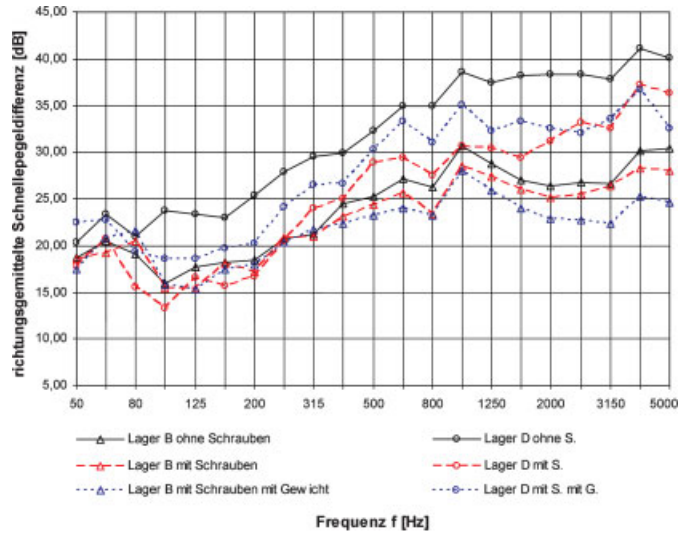


Bild 4. Richtungsgemittelte Schnellepegeldifferenzen mit und ohne Verschraubung sowie mit Verschraubung und zusätzlicher Belastung bei Lager B und D  
 Fig. 4. Direction-averaged velocity level difference with and without fasteners and also with fasteners and additional load, interlayer B and D

### 3.3 Einsatz schalltechnisch optimierter Befestigungsmittel

Aufgrund der durch vorangegangene Untersuchungen nachgewiesenen, offensichtlichen Verschlechterung der Stoßstellendämmung durch Befestigungsmittel bei Stoßstellen mit elastischen Zwischenschichten, wurde die akustische Wirksamkeit von schalltechnisch optimierten Befestigungsmitteln geprüft. Die Senkfräskopfschrauben wurden mit Unterlagsscheiben mit Gummiauflage versehen (ersichtlich in Bild 5) und die Winkelverbinder 105 durch eine Winkelkonstruktion gemäß Bild 6, bestehend aus einem Winkelverbinder mit aufkaschierten Baulagern, ersetzt. In beiden Fällen ist deren akustische Wirksamkeit auf den Einbau von zusätzlichen Federn zurückzuführen, wobei die statische Gebrauchstauglichkeit aufgrund der Anordnung zusätzlicher Metallelemente gewährleistet wird.

Die Untersuchungen erfolgten am in Teil 1 beschriebenen Massivholz-Prüfstand, in welchem ein Deckenaufbau gemäß Bild 7 eingebaut wurde. Gemessen wurden Norm-Schallpegeldifferenz  $D_n$  (Bild 8) und Norm-Trittschallpegel  $L_n$  (Bild 9) für den Einbaufall des effizientesten Baulagers. Das Verbesserungspotential von schalltechnisch optimierten Winkeln und Schrauben wurde durch Variation der Befestigungsmittel quantifiziert.



Bild 5. Schalltechnisch optimierte Verschraubung  
 Fig. 5. Acoustically optimized fastener



Bild 6. Schalltechnisch optimierter Winkelverbinder  
 Fig. 6. Acoustically optimized connector



Bild 7. Aufbau der geprüften Geschossdecke  
Fig. 7. Construction of the tested floor

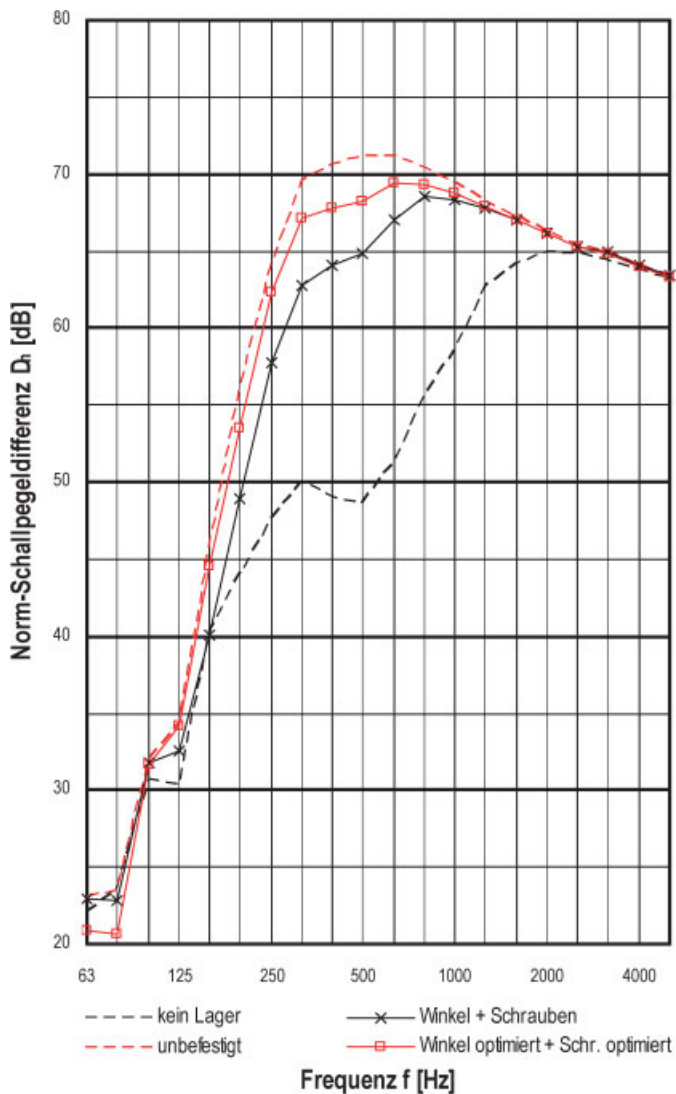


Bild 8. Norm-Schallpegeldifferenz  $D_n$  für unterschiedliche Befestigungsvarianten, elastisches Zwischenlager D über und unter der Rohdecke KLH 5s angeordnet  
Fig. 8. Normalized sound pressure level difference  $D_n$  with variation of fasteners, flexible interlayer D arranged above and below base floor KLH 5s

Tabelle 1. Bewertete Ergebnisse für  $D_n$  und  $L_n$  für unterschiedliche Befestigungsvarianten, elastisches Zwischenlager D über und unter der Rohdecke KLH 5s 162 mm angeordnet  
Table 1. Weighted results for  $D_n$  and  $L_n$  for several fastener measures, flexible interlayer D arranged above and below base floor KLH 5s 162 mm

KLH	kein Lager	unbefestigt	verschraubt + Winkel	verschraubt + Winkel 2x*
$D_{n,w}$ [dB]	55	69	62	59
$L_{n,w}$ [dB]	47	39	45	45

\* Winkel 2x: doppelte Winkelanzahl

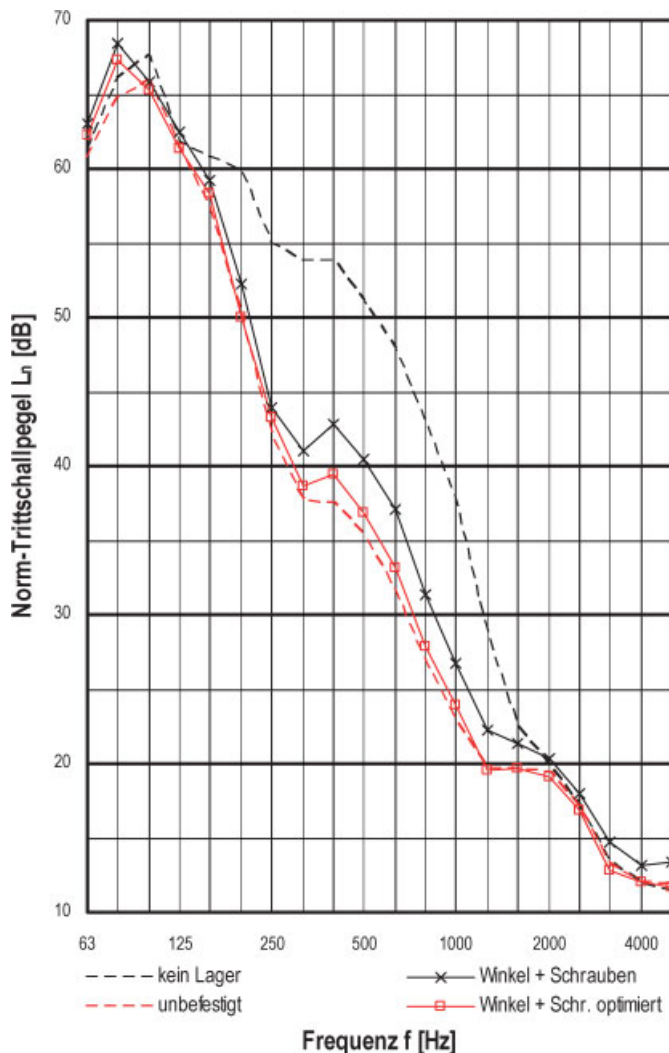


Bild 9. Norm-Trittschallpegel  $L_n$  für unterschiedliche Befestigungsvarianten, elastisches Zwischenlager D über und unter der Rohdecke KLH 5s angeordnet  
Fig. 9. Normalized impact sound pressure level  $L_n$  with variation of fasteners, flexible interlayer D arranged above and below base floor KLH 5s

#### 4 Ergebnisdiskussion

##### 4.1 Ergebnisse aus den Schallmessungen

Die bauakustische Verschlechterung der Konstruktion durch Anordnung von Befestigungsmitteln konnte nachgewiesen werden. Betrachtet man die Einzahlangaben in Tabelle 1, so kommt es für die bewertete Norm-Schallpegeldifferenz  $D_{n,w}$  zu einer Verschlechterung von 10 dB gegenüber der effizientesten Lagervariante ohne Befestigungsmittel. Dies entspricht nur noch einer um 4 dB hö-

heren bewerteten Norm-Schallpegeldifferenz gegenüber der ungedämmten Variante ohne Baulager. Ähnliches trifft auch für den bewerteten Norm-Trittschallpegel  $L_{n,w}$  zu. Während hier das effizienteste Baulager zu Verringerungen von bis zu 8 dB führt, erhöht sich  $L_{n,w}$  durch die Verschraubung wieder um 6 dB, was nur noch einer Verbesserung von 2 dB entspricht. Generell ist die Deterioration der Verbesserung durch elastische Zwischenschichten bei Anordnung von Befestigungsmitteln abhängig von der akustischen Qualität des Lagers, dem Aufbau des Trennbauteils und der Flankenbauteile sowie der Einbausituation.

Ein Zusammenhang besteht auch zwischen der Verschlechterung und der Anzahl der eingebauten Befestigungsmittel. Aus Schallmessungen mit der doppelten Anzahl von Winkelverbindern, welche bei höheren Windlasten erforderlich sind, resultierte eine Reduktion der bewerteten Norm-Schallpegeldifferenz von 3 dB.

Will man das Potential einer elastischen Zwischenschicht in höherem Maße ausschöpfen, so sind schalltechnisch optimierte Befestigungsmittel erforderlich.

### 4.2 Ergebnisse aus den Schwingungsmessungen

In Teil 1 konnte anhand von Schwingungsmessungen nachgewiesen werden, dass elastische Zwischenschichten ab etwa 100 Hz signifikant zur Verbesserung der Flankendämmung beitragen. Betrachtet man jedoch die Verläufe der richtungsgemittelten Schnellepegeldifferenzen  $\overline{D_{v,ij}}$  in Bild 4, so weisen die mit Befestigungsmittel versehene und mit elastischen Zwischenschichten bedämpften Stoßstellen bis etwa 250 Hz keine höhere Stoßstellendämmung auf als ohne elastische Zwischenschichten. Als besonders problematisch ist dies vor allem bezüglich der Trittschalldämmung anzusehen, da für die schalltechnische Beurteilung von Holzdecken, wie schon von Kühn und Blickle in [10] erwähnt, in erster Linie der tieffrequente Bereich bis etwa 200 Hz maßgebend ist.

### 4.3 Ergebnisse aus den Messungen mit schalltechnisch optimierten Befestigungsmitteln

Prinzipiell beeinflussen also zwei wesentliche Faktoren die Funktion der elastischen Zwischenschichten bei Anordnung von Befestigungsmitteln. Einerseits erhöht sich die dynamische Steifigkeit des Baulagers aufgrund des größeren Anpressdruckes durch die Verschraubung und andererseits kommt es durch die Verbindungsmittel generell zu einer Schall-Nebenwegsübertragung. Beide Faktoren führen zu einer Verminderung der Stoßstellendämmung, was die tatsächlich in der Baupraxis erreichbare Verbesserung durch elastische Zwischenschichten begrenzt.

Tabelle 2.  $D_{n,w}$  und  $L_{n,w}$  für unterschiedliche, teils optimierte, Befestigungsvarianten, elastisches Zwischenlager D über und unter der Rohdecke KLH 5s 140 mm angeordnet

Table 2.  $D_{n,w}$  and  $L_{n,w}$  for several fastener measures, partly optimized, flexible interlayer D arranged above and below base floor KLH 5s 140 mm

KLH	kein Lager	unbefestigt	Befestigung Standard	Befestigung optimiert
$D_{n,w}$ [dB]	54	62	60	62
$L_{n,w}$ [dB]	53	49	50	49

Die schalltechnischen Untersuchungen der Stoßstelle mit optimierten Befestigungsmitteln sind in Tabelle 2 mit den gemessenen, bewerteten Ergebnissen für den Bauteilaufbau aus Bild 7 angeführt. Dabei wurden bei der Messung des Norm-Trittschallpegels die Schrauben optimiert und bei der Messung der Norm-Schallpegeldifferenz die Winkelverbinder durch die in Bild 6 ersichtliche, optimierte Variante ersetzt. Die durch die Standardbefestigung verursachte Verschlechterung der Stoßstellendämmung konnte durch die Anordnung der optimierten Befestigungsmittel wieder komplett kompensiert werden.

Abschließend ist noch auf die an den Pegelverläufen in den Bildern 8 und 9 erkennbare massive Verbesserung ab 160 dB durch die Anordnung effizienter Baulager hinzuweisen. Nur geringe Auswirkungen hat die Anordnung von elastischen Zwischenschichten jedoch im auch für Normung und Beurteilung an Bedeutung gewinnenden tiefen Frequenzbereich unter 100 Hz.

### 5 Ausblick

Der Einfluss von Befestigungsmitteln auf die Flankenübertragung bei Verwendung von elastischen Zwischenschichten konnte mittels Schall- und Schwingungsmessungen nachgewiesen werden. Es müssen daher auch diese Ergebnisse, um eine baupraktisch relevante Berechnung zu gewährleisten, gemeinsam mit den Resultaten aus den Untersuchungen von Teil 1 in eine Modellierung der Stoßstelle bei Massivholzkonstruktionen eingehen.

Die Verbesserung der Flankendämmung durch den Einsatz akustisch optimierter Befestigungsmittel konnte an einem Versuchsaufbau mit Trockenestrich und abgehängter Decke quantifiziert werden. In weiterer Folge sind Untersuchungen zur Gebrauchstauglichkeit der schalltechnisch optimierten Befestigungsmittel im Rahmen der Erlangung einer bauaufsichtlichen Zulassung bzw. einer Europäischen Technischen Zulassung (ETA) erforderlich.

### Danksagung

Die Untersuchungen wurden im Rahmen der Fortsetzung des Industriellen Kompetenzzentrums „Holztechnologie“ der Holzforschung Austria, welches vom Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, dem Fachverband der Holzindustrie und den Österreichischen Bundesforsten gefördert wird, durchgeführt.

Weiterhin gilt der Dank der Autoren den beteiligten Firmen:

- Holzdecken
- KLH Massivholz GmbH
- Lignatur AG
- Sohm Holzbautechnik GesmbH

*Baulager*  
 Eichler KG  
 ESZ Wilfried Becker GmbH  
 Getzner Werkstoffe GmbH  
 Intumex GmbH  
 Vinzenz Harrer GmbH

*Schalltechnisch optimierte Befestigungsmittel*  
 Getzner Werkstoffe GmbH  
 bs technik

#### Literatur

- [1] *Dolezal, F., Bednar, Th., Teibinger, M.*: Flankenübertragung bei Massivholzkonstruktionen. Teil 1: Verbesserung der Flankendämmung durch Einbau elastischer Zwischenschichten und Verifizierung der Anwendbarkeit von EN 12354. *Bauphysik* 30 (2008), H. 3, S. 14–3–162.
- [2] ÖNORM EN 1995-1-1:2006-01 Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau. Österreichisches Normungsinstitut, 2006.
- [3] ÖNORM EN 1991-1-1 bis 4 Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil 1-1 bis 4: Allgemeine Einwirkungen. Österreichisches Normungsinstitut, 2003/2005.
- [4] ÖNORM EN 1998-1:2005-06 Eurocode 8: Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten. Österreichisches Normungsinstitut, 2005.
- [5] *Pedersen, D. B.*: Estimation of Vibration Attenuation through Junctions of Building Structures. *Applied Acoustics* 46 (1995), S. 285–305.
- [6] ÖNORM EN 12354-1:2000-11 Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften – Teil 1: Luftschalldämmung zwischen Räumen. Österreichisches Normungsinstitut, 2000.
- [7] *Schneider, M., Fischer, H.-M.*: Verminderung der Schallübertragung leichter flankierender Bauteile durch Entkopplung über elastische Zwischenschichten. DAGA München, 2005.
- [8] *Ruff, A., Schneider, M., Fischer, H.-M.*: Flankendämmung von elastisch entkoppelten Gips-Wandbauplatten. DAGA Stuttgart, 2007.
- [9] *Knust, B.*: Anwendung der DIN EN 12354 auf Konstruktionen des Holztafelbaus. Diplomarbeit, Hochschule für angewandte Wissenschaften und Kunst. Hildesheim, 2007.
- [10] *Kühn, B., Blickle, R.*: Berechnung der Gehgeräusch-Immissionen und Trittschalldämmung von Geschossdecken aus Holz im Frequenzbereich von 16 Hz bis 200 Hz. *wksb* 52 (2004), S. 17–20.

#### Autoren dieses Beitrags:

DI Franz Dolezal, DI Dr. Martin Teibinger, Holzforschung Austria, Franz-Grill Straße 7, 1030 Wien  
 Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Thomas Bednar, Zentrum für Bauphysik und Bauakustik, TU Wien, Adolf Blamauergasse 1–3, 1030 Wien