

# Bewertung und Ertüchtigung von Bestandsdecken in der Sanierung

Fabian Schöpfer  
M.Eng.  
HS-Rosenheim  
DE-Rosenheim





# Bewertung und Ertüchtigung von Bestandsdecken in der Sanierung

## 1. Einführung

Im Rahmen einer Altbausanierung müssen die oftmals vorzufindenden Holzbalkendecken nach der Sanierung die normativen Vorgaben der DIN 4109 an den Schallschutz erfüllen. Die schalltechnischen Sanierungsmaßnahmen waren bisher mit großen Unsicherheiten verbunden. Die aktuelle Fassung der DIN 4109 enthält nur zwei Ausführungsbeispiele für Holzbalkendecken. Deshalb wurden im Rahmen eines Forschungsprojektes am ift-Rosenheim Planungsdaten für die Konstruktionsvielfalt bei der Sanierung von Holzbalkendecken erarbeitet [1]. Der Einfluss der flankierenden Übertragung wurde dabei nicht betrachtet. Im Rahmen eines Anschlussprojektes, bearbeitet in Kooperation zwischen dem ift-Rosenheim und der Hochschule Rosenheim, wurde dieser Einfluss nun geklärt. Es wird ein einfaches Berechnungsmodell zur Prognose der Schallübertragung inklusive der Flankenbeiträge bei Holzbalkendecken im Massivbau bereitgestellt.

## 2. Ausgangssituation

### 2.1. Schallübertragungswege

Bei der Schallübertragung kann neben der direkten Übertragung über das trennende Bauteil die Übertragung über flankierende Bauteile eine Rolle spielen. Die relevanten Übertragungswege sind in Abbildung 1 für die Luft- und Trittschallübertragung separat dargestellt.

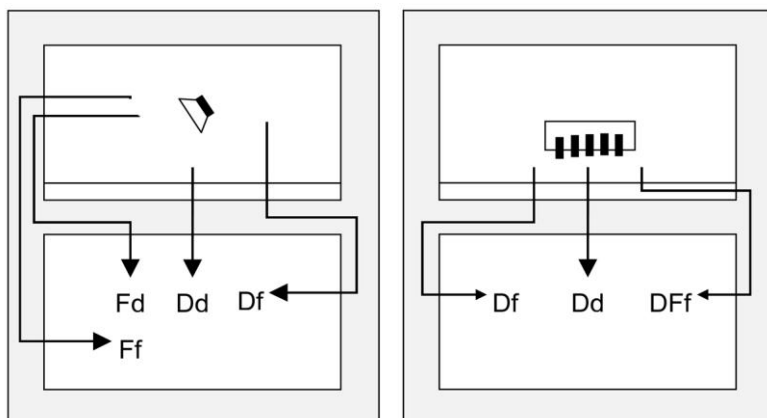


Abbildung 1: Schallübertragungswege. Bild links: Bei Luftschallanregung. Bild rechts: Bei Trittschallanregung

Die Übertragungswege werden dabei jeweils mit einem Groß- und einem Kleinbuchstaben gekennzeichnet. Der an erster Stelle stehende Großbuchstabe bezeichnet das Bauteil im Senderaum, in welches die Schallenergie eingebracht wird. Der an zweiter Stelle stehende Buchstabe bezeichnet das Bauteil im Empfangsraum, welches die Schallenergie abstrahlt. So wird die direkte Übertragung beispielsweise mit der Bezeichnung Dd gekennzeichnet.

Nach dem in Abbildung 1 gezeigtem Schema ergeben sich bei vier Flankenbauteilen  $4 \times 3 + 1 = 13$  Übertragungswege bei Luftschallanregung. Bei der Trittschallübertragung entfallen die Übertragungswege Fd und Ff, im Holz- und Skelettbau wird allerdings ein weiterer Übertragungsweg Dff berücksichtigt, der die Einleitung von Schallenergie vom Bodenaufbau in die Flankenbauteile beschreibt. So ergeben sich für die Trittschallübertragung im Holz- und Skelettbau  $4 \times 2 + 1 = 9$  Übertragungswege. Für den Massivbau entfällt der zusätzliche Übertragungsweg Dff, wodurch  $4 \times 1 + 1 = 5$  Übertragungswege von Relevanz sind.

## 2.2. Vorhandene Berechnungsmodelle

Als Grundlage für das Berechnungsmodell dienten bereits vorhandene Modelle, die allerdings nicht für Holzbalkendecken mit Mauerwerksflanken gültig sind. So wurde für die Luftschallübertragung die Anwendbarkeit des in der DIN EN 12354 beschriebenen vereinfachten Modells, welches auf den Massivbau beschränkt ist, untersucht.

Bei diesem Modell werden die Schallübertragungswege (Abbildung 1) separat betrachtet und zum Bau-Schalldämm-Maß  $R'_w$  nach Gleichung (1) energetisch aufsummiert.

$$R'_w = -10 \lg \left( 10^{-0,1 \cdot R_{Dd,w}} + \sum 10^{-0,1 \cdot R_{ij,w}} \right) \quad [\text{dB}] \quad (1)$$

$R'_w$  Schalldämm-Maß inklusive der Flankenübertragung (Einzahlwert)

$R_{Dd,w}$  Schalldämm-Maß der Trennbauteils (Einzahlwert)

$R_{ij,w}$  Schalldämm-Maß auf den Übertragungswegen Ff, Df und Fd (Einzahlwert)

Zur Berechnung der Trittschallübertragung ist in der DIN EN 12354 ebenfalls ein vereinfachtes, für den Massivbau gültiges Modell beschrieben. Die Flankenübertragung wird dabei durch einen Korrektursummanden K berücksichtigt (Gleichung (2)).

$$L'_{n,w} = L_{n,w} + K \quad [\text{dB}] \quad (2)$$

$L'_{n,w}$  Norm-Trittschallpegel inklusive der Flankenübertragung (Einzahlwert)

K Korrektursummand für die Flankenübertragung

Ergänzend wurde im Rahmen eines weiteren Forschungsvorhabens ([3] [4]) ein Modell zur Berechnung der Trittschallübertragung im Holz- und Skelettbau erstellt. Darin wird der zusätzliche Übertragungsweg Dff vom Estrichaufbau in das flankierende Bauteil betrachtet (Abbildung 1, Bild rechts). Bei der Berechnung wird dieser Weg über einen zusätzlichen Korrektursummanden  $K_2$  berücksichtigt (Gleichung (3)).

$$L'_{n,w} = L_{n,w} + K_1 + K_2 \quad [\text{dB}] \quad (3)$$

$K_1$  Korrektursummand für die Flankenübertragung auf dem Weg Df

$K_2$  Korrektursummand für die Flankenübertragung auf dem Weg Dff

Aufbauend auf diese Modelle wurde das Modell zur Berechnung der Luft- und Trittschalldämmung von Holzbalkendecken in der Altbausanierung erstellt.

## 3. Labormessungen

Um die Flankenübertragung zu untersuchen wurden im Labor des ift-Rosenheim unterschiedliche Konstruktionen für Holzbalkendecken mit unterschiedlichen flankierenden Wänden geprüft. Hierfür wurde im Deckenprüfstand ein T-Stoß aus einer flankierenden Wand und der Trenndecke aufgebaut. Die Holzbalken der Decke wurden dabei jeweils in der flankierenden Mauerwerkswand aufgelagert. Die Flankenübertragung wurde auf diese eine Mauerwerkswand beschränkt. Die übrigen Übertragungswege wurden im Prüfstand durch konstruktive Maßnahmen unterdrückt.

Im Rahmen der Labormessungen wurde an der jeweils aufgebauten Mauerwerkswand die Flankenübertragung bei Luft- und Trittschallanregung gemessen. Zusätzlich wurden das Stoßstellendämm-Maß sowie die Körperschall-Nachhallzeit der Flankenbauteile gemessen.

Die Messungen im Prüfstand zeigten, dass die Flankenübertragung bei Luftschallanregung auf dem Weg Ff stark dominiert. Bei der Trittschallanregung zeigte sich, dass der Anteil der Flankenübertragung stark von der Sanierungsvariante abhängig ist. So gewinnt der Weg Df mehr an Einfluss, wenn nur eine Sanierung von unten durchgeführt wird, da eine mögliche Unterdecke die direkte Übertragung abmindert, die Übertragung auf dem Weg Df aber ungehindert bleibt. Bei der Sanierung von oben wird die Übertragung hingegen auf dem Weg Df gleichermaßen reduziert wie auf dem Weg Dd.

Analog zum reinen Holz- und Skelletbau wurde der Einfluss des Übertragungsweges Df (s. Abbildung 1, rechtes Bild) untersucht. Dabei wurde festgestellt, dass dieser Übertragungsweg nur bei schalltechnisch sehr gut sanierten Holzbalkendecken und/oder sehr leichten Flankenbauteilen eine Rolle spielt.

## 4. Baumessungen

Von Seiten der Hochschule Rosenheim wurden ergänzend zu den Labormessungen Messungen an konkreten Bauobjekten durchgeführt, um das erstellte Berechnungsmodell zu validieren und Kenntnisse über die Schallübertragung in Altbauten zu gewinnen. Dabei wurden folgende Messungen durchgeführt:

- Messung des Bau-Schalldämm-Maßes  $R'$  sowie des Norm-Trittschallpegels am Bau  $L_n$
- Intensitätsmessungen bei Luft- und Trittschallanregung um die direkte Schallübertragung in der Bausituation zu ermitteln
- Körperschallmessungen an Flankenbauteilen zur Bestimmung des Flanken-Schalldämm-Maßes und des Norm-Flanken-Trittschallpegels sowie des Stoßstellendämm-Maßes auf dem Übertragungsweg Ff.

Durch den Vergleich der Intensitätsmessungen mit den Körperschallmessungen an den Flanken ist es möglich, die Anteile der direkten Übertragung und der Flankenübertragung direkt zu vergleichen. Der Vergleich zeigt, dass die flankierende Schallübertragung beim Luftschall- wie auch beim Trittschall erst nach einer Sanierung der Holzbalkendecke eine Rolle spielt. In Abbildung 2 sind hierfür die Ergebnisse der Intensitätsmessung, verglichen mit der Körperschallmessung an den Flanken für die Trittschallübertragung beispielhaft für ein Objekt vor- und nach der Sanierung dargestellt.

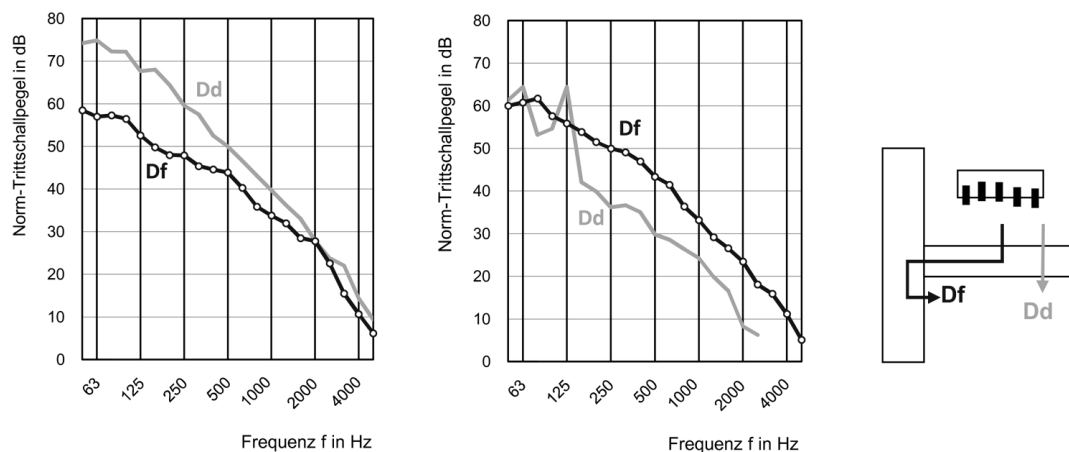


Abbildung 2: Einfluss der flankierenden Übertragung. Beispielhaft für Trittschallübertragung an einem Bauvorhaben. Links: vor der Sanierung, rechts: nach der Sanierung

Im Rahmen der Baumessungen wurde weiterhin untersucht, inwiefern die Einbindung der Holzbalken einen Einfluss auf die flankierende Schallübertragung hat. Zu diesem Zweck wurden die Einzahlwerte der flankierenden Luftschallübertragung über der flächenbezogenen Masse der Flankenbauteile aufgetragen, wobei zwischen streifendem Anschluss und eingebundenem Balkenlager unterschieden wurde. Dies ist in Abbildung 5 dargestellt.

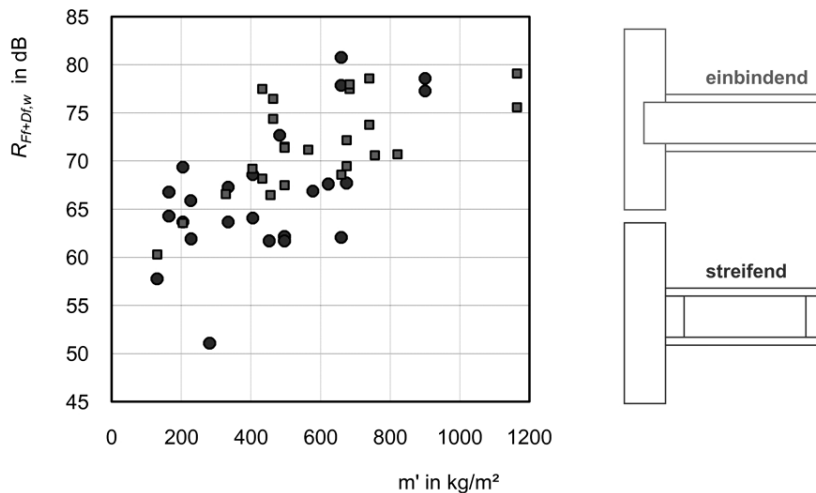


Abbildung 3: Abhängigkeit der flankierenden Übertragung von der flächenbezogenen Masse der flankierenden Bauteile. Einzahlwerte der Flankenübertragung (Weg Ff und Df in Summe) über der flächenbezogenen Masse der jeweiligen Flanke.

Aufgrund der gewonnenen Messdaten kann kein signifikanter Unterschied durch die Anbindung der Balken an die Flankenbauteile festgestellt werden. Dies bestätigt die im Labor gewonnene Erkenntnis des geringen Einflusses der gemischten Übertragungswege Df und Fd bei der Luftschallübertragung. Diese werden deshalb im Berechnungsmodell vernachlässigt.

Zur Berechnung der Schallübertragung auf dem Weg Ff nach dem vereinfachten Modell der DIN EN 12354 ist allerdings die Kenntnis des Stoßstellendämm-Maßes Voraussetzung. Der Stoß einer Holzbalkendecke mit einer Mauerwerkswand ist in den Berechnungsvarianten nach Anhang-E der DIN EN 12354 allerdings nicht enthalten. Die vorgeschlagenen Varianten zur Berechnung wurden deshalb mit den in den Bausituationen gemessenen Stoßstellendämm-Maßen verglichen. Dieser Vergleich ist in Abbildung 4 dargestellt.

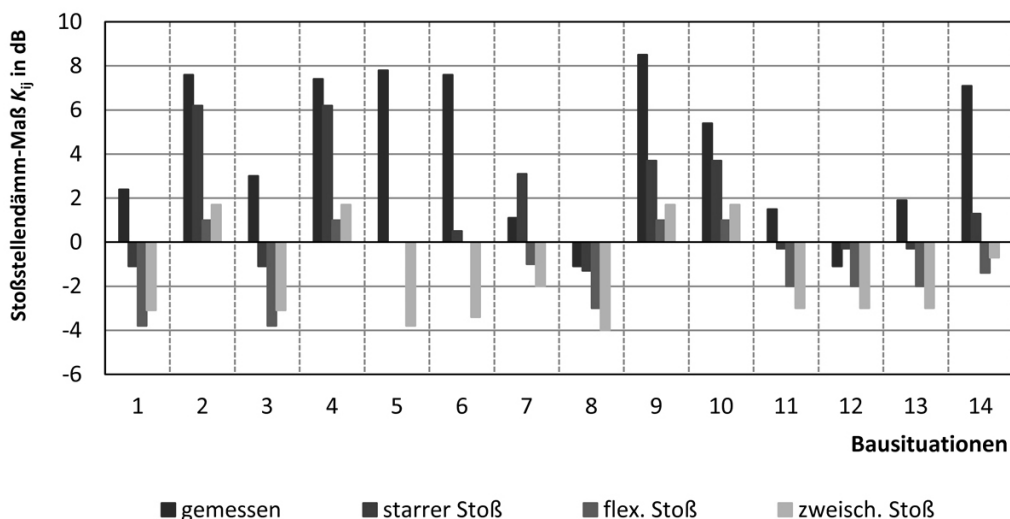


Abbildung 4: Vergleich der in der Bausituation gemessenen Stoßstellendämm-Maße mit den in der DIN EN 12354 gegebenen Berechnungsvarianten

Der Vergleich zeigt, dass mit den gegebenen Berechnungsvarianten der Stoß einer Holzbalkendecke mit einer Mauerwerkswand nicht abgebildet werden kann. Am ift-Rosenheim konnte in Laborversuchen gezeigt werden, dass sich der Anschluss der Holzbalkendecke bei der Übertragung auf dem Weg Ff nicht als Stoßstelle zeigt.

## 5. Prognosemodell

Die bisher genannten Untersuchungen haben gezeigt, dass die gemischten Übertragungswege Fd und Df bei der Luftschallübertragung im Vergleich zur Übertragung auf dem Weg Ff eine sehr geringe Rolle spielen. Diese Übertragungswege können deshalb in guter Näherung vernachlässigt werden. Zur Prognose der Luftschallübertragung bei Holzbalkendecken mit massiven Flanken kann demnach Gleichung (1) vereinfacht geschrieben werden.

$$R'_w = -10 \lg \left( 10^{-0,1 \cdot R_{Dd,w}} + \sum 10^{-0,1 \cdot R_{Ff,w}} \right) \quad [\text{dB}] \quad (4)$$

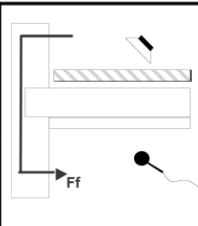
Dieses Prognoseverfahren entspricht dem in der DIN 4109:1989 beschriebenen Berechnungsverfahren. Das Flankenschalldämm-Maß  $R_{Ff,w}$  wird aus dem im Labor ermittelten Schalllängsdämm-Maß  $R_{L,w}$ , beziehungsweise der Norm-Flankenpegeldifferenz  $D_{n,f,w}$  für jede Flanke  $i$  ermittelt. Die Laborwerte werden dabei durch eine Korrektur über die gemeinsame Kantenlänge  $l_{\text{situ},i}$  und der Trennfläche  $S_{Tr}$  der Decke auf die Bausituation umgerechnet.

$$R_{Ff,w,i} = D_{n,f,w,i} + 10 \lg \left( \frac{S_{Tr}}{S_0} \right) - 10 \lg \left( \frac{l_{\text{situ},i}}{l_0} \right) \quad [\text{dB}] \quad (5)$$

- $R_{Ff,w,i}$       bewertetes Flankendämm-Maß des Flankenbauteils  $i$  in der Einbausituation;  
 $D_{n,f,w,i}$       Norm-Flankenpegeldifferenz des Flankenbauteils  $i$  in Abhängigkeit der flächenbezogenen Masse;  
 $S_{Tr}$           Fläche des Trennbauteils;  
 $l_{\text{situ},i}$       die gemeinsame Kantenlänge zwischen dem Flankenbauteil  $i$  und der Holzbalkendecke in der Einbausituation;  
 $S_0$           die Bezugsfläche von  $10 \text{ m}^2$ ;  
 $l_0$           die Bezugslänge von 2,8 m!

Die Werte für die Norm-Flankenpegeldifferenz können, in Abhängigkeit der flächenbezogenen Masse, Tabelle 1 entnommen werden. Weichen die Massen des Flankenbauteils im Sende- und Empfangsraum voneinander ab, wird die mittlere flächenbezogene Masse zur Bestimmung der Norm Flankenpegeldifferenz herangezogen.

Tabelle 1: Bewertete Norm Flankenpegeldifferenzen  $D_{n,f,w}$  in Abhängigkeit der flächenbezogenen Masse der flankierenden Wand. Ergebnisse bezogen auf  $l_0 = 2,80 \text{ m}$ ,  $S_0 = 10 \text{ m}^2$  und  $T_{s,\text{situ}}$  nach [5][6] (s. [2]).

	Flächenbezogene Masse der flankierenden Wände in $\text{kg/m}^2$								
	100	150	200	250	300	350	400	450	$\geq 500$
$D_{n,f,w}$ in dB	49	53	56	58	60	61	63	64	65

Die Prognose der Trittschalldämmung inklusive der Flankenübertragung kann in Anlehnung an das vereinfachte Modell der DIN EN 12354 durchgeführt werden. Der resultierende, bewertete Norm-Trittschallpegel kann somit nach Gleichung (5) berechnet werden.

$$L'_{n,w} = L_{n,w} + K \quad [\text{dB}] \quad (6)$$

- $L'_{n,w}$       Norm-Trittschallpegel inklusive der Flankenübertragung (Einzahlwert)  
 $K$           Korrektursummand für die Flankenübertragung

Der Korrektursummand K berücksichtigt dabei die Übertragung auf dem Weg Df. Der Korrektursummand wurde im Labor am ift-Rosenheim für verschiedene Rohdeckenkonstruktionen und die jeweils verschiedenen Massen der flankierenden Bauteile ermittelt. Dabei wurde die Annahme getroffen, dass die Übertragung auf dem Weg Df maßgeblich über die beiden Wände stattfindet, in welche die Deckenbalken einbinden.

Werte für K sind in Tabelle 2 gegeben. Der Korrektursummand kann daraus in Abhängigkeit der Deckengrundkonstruktion sowie der flächenbezogenen Masse der einbindenden Wände abgelesen werden.

Die im Holzbau zusätzlich betrachtete Übertragung auf dem Weg Dff ist für die Übertragungssituation von Holzbalkendecken mit massiven Flanken in der Regel vernachlässigbar. Bei akustisch hochwertigen Deckensanierungen, sowie bei Flankenbauteilen mit geringer flächenbezogener Masse kann dieser Übertragungsweg dennoch eine Rolle spielen. Für diese Fälle kann die Prognoserechnung mit Gleichung (7) durchgeführt werden.

$$L'_{n,w} = 10 \lg \left( 10^{0,1(L_{n,w}+K)} + \sum 10^{0,1L_{n,DFf,w,i}} \right) \quad [\text{dB}] \quad (7)$$

$$L_{n,DFf,w,i} = L_{n,DFf,w,lab} - 10 \lg \left( \frac{S_{Tr}}{S_0} \right) + 10 \lg \left( \frac{l_{situ,i}}{l_0} \right) \quad [\text{dB}] \quad (8)$$

$L_{n,DFf,w,i}$	der über das Flankenbauteil i auf dem Weg Dff übertragene Norm-Trittschallpegel;
$L_{n,DFf,w,lab}$	Laborwert für die Übertragung auf dem Weg Dff, bezogen auf $l_0 = 4,5 \text{ m}$ und $S_0 = 10 \text{ m}^2$
$S_{Tr}$	die Fläche der Holzbalkendecke in der Einbausituation;
$l_{situ,i}$	die gemeinsame Kantenlänge zwischen dem Flankenbauteil i und der Holzbalkendecke in der Einbausituation;
$S_0$	die Bezugsfläche von $10 \text{ m}^2$ ;
$l_0$	die Bezugslänge von <u>4,5 m</u> !



Tabelle 2: Korrektursummanden K (Erhöhung des Trittschallpegels durch Flankenübertragung), in Abhängigkeit der mittleren flächenbezogenen Masse der tragenden, flankierenden Wände und für verschiedene Rohdeckenkonstruktionen. Ergebnisse bezogen auf  $l = 2 \cdot 4,50 \text{ m}$ ,  $S_{Tr} = 20 \text{ m}^2$  und  $T_{s,situ}$  nach [5][6] (s. [2]).

		Rohdeckenbau				
		Balken teilweise sichtbar oder Unterdecke direkt montiert		Decke mit entkoppeltem Sekundärträger	Unterdecke abgehängt	
		Bestandsdecke vor Sanierung	mit Sanierungsmaßnahmen	Eigenfrequenz Auflager $f_0 \leq 80 \text{ Hz}$	Unterdecke zusätzlich zum Bestand	Bestandsunterdecke entfernt
		1	2	3	4	5
Flächenbezogene Masse der flankierenden Wände	100 kg/m <sup>2</sup>	0	1	3	8	13
	150 kg/m <sup>2</sup>	0	1	3	7	12
	200 kg/m <sup>2</sup>	0	1	2	6	10
	250 kg/m <sup>2</sup>	0	1	2	5	9
	300 kg/m <sup>2</sup>	0	1	2	4	8
	350 kg/m <sup>2</sup>	0	1	1	3	6
	400 kg/m <sup>2</sup>	0	1	1	2	5
	450 kg/m <sup>2</sup>	0	1	1	2	4
	≥ 500 kg/m <sup>2</sup>	0	1	1	1	3

Legende:  
 Spalte 1: Bestandsdecken mit teilweise sichtbaren Deckenbalken oder direkt montierter Unterdecke  
 Spalte 2: Wie Spalte 1 mit Sanierungsmaßnahmen oberhalb der Rohdecke  
 Spalte 3: Decke mit Sekundärträgern, Auflager durch Elastomer entkoppelt ( $f_0 \leq 80 \text{ Hz}$ )  
 Spalte 4: Abgehängte Unterdecke zusätzlich zur Bestandsunterdecke montiert  
 Spalte 5: Abgehängte Unterdecke nach Entfernung der Bestandsunterdecke montiert

Die Eingangswerte für  $L_{n,DFf,w,lab}$  können Tabelle 3 in Abhängigkeit der flächenbezogenen Masse entnommen werden.

Tabelle 3: Norm- Trittschallpegel  $L_{n,DFf,w,lab}$  für den Übertragungsweg Dff (Estrich - Wand) in Abhängigkeit der flächenbezogenen Masse der flankierenden Wand. **Ergebnisse**

	Flächenbezogene Masse der flankierenden Wände in kg/m <sup>2</sup>									
	100	150	200	250	300	350	400	450	≥ 500	
$L_{n,DFf,w,lab}$ in dB	43	40	38	36	35	33	32	31	31	

## 6. Validierung

Entsprechend dem oben gezeigten Prognosemodell wurde die Luft- und Trittschallübertragung für alle 17 messtechnisch untersuchten Altbaudecken berechnet. In Abbildung 5 ist der Vergleich der Berechnungsergebnisse mit den Baumesungen dargestellt.

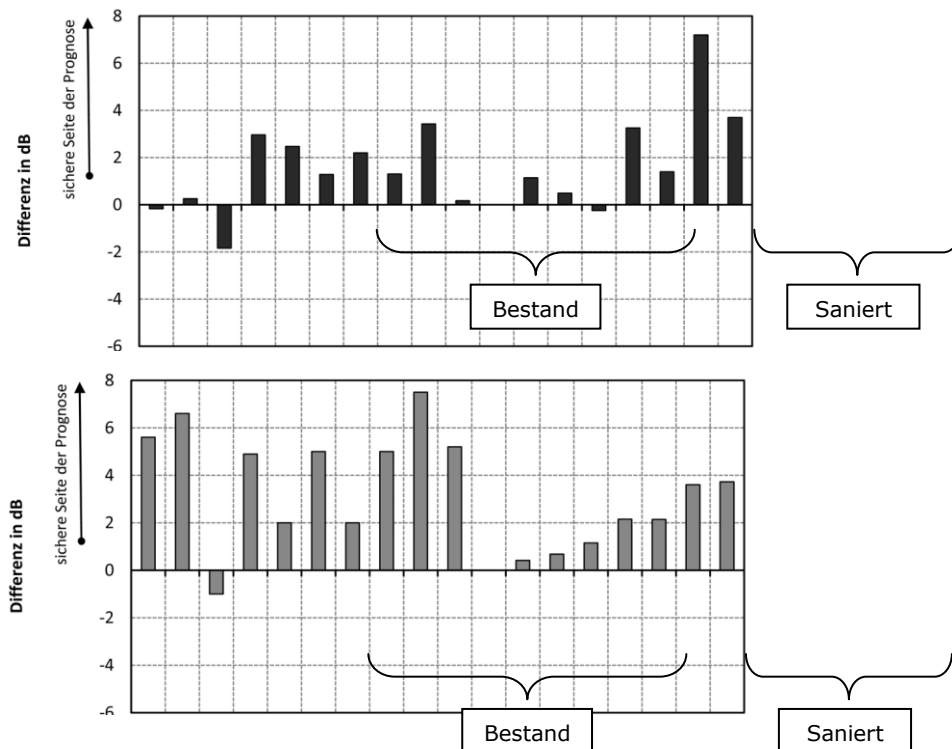


Abbildung 5: Abgleich der Luft- und Trittschallberechnung mit den Baumesungen. Oben für die Luftschallübertragung nach Gleichung (4). Unten für Trittschallübertragung nach Gleichung (7)

Der Vergleich der Berechnung mit den Ergebnissen aus den Baumesungen zeigt für die Luftschallübertragung eine gute Übereinstimmung. Im Mittel liegt die Abweichung zwischen Berechnung und Baumesung bei 1,7 dB, mit einer Standardabweichung von  $\sigma = 2,0$  dB. Die Trittschallübertragung inklusive der Flanken kann auf der Grundlage der durchgeführten Validierung mit einer mittleren Abweichung von 3,3 dB auf der sicheren Seite prognostiziert werden. Die Standardabweichung der Differenz zwischen Berechnung und Baumesung liegt bei  $\sigma = 2,4$  dB.

Die Validierung zeigt, dass die Prognose der Luft- und Trittschallübertragung inklusive der Flanken mit dem vorgeschlagenen Modell mit hoher Prognosesicherheit möglich ist.

## 7. Zusammenfassung

Als Ergebnis liegt ein einfaches Modell zur Berechnung der Luft- und Trittschallübertragung bei Holzbalkendecken in der Altbausanierung inklusive der Flankenübertragung vor. Das Modell beschränkt sich auf eine Berechnung mit Einzahlwerten. Die nötigen Planungsdaten als Eingangsgrößen zur Berechnung wurden im Labor am ift-Rosenheim ermittelt. Die Validierung des Berechnungsmodells anhand der Ergebnisse aus den 17 Baumesungen bestätigt eine auf der sicheren Seite liegende Prognose für das bewertete Schalldämm-Maß  $R'_w$  als auch für den Norm-Trittschallpegel  $L'_{n,w}$ . Ergänzend konnten im Rahmen der Baumesungen weitere Erkenntnisse bezüglich der Schallübertragung und der akustischen Wirkung von Bauteilen im Altbau gewonnen werden.

## 8. Danksagung

Die Ergebnisse dieses Beitrages wurden im Rahmen des IGF-Vorhaben 16377 N/1 der Forschungsvereinigung iVTH über die AiF gefördert.

Mein Dank geht an die Co-Autoren und Projektmitarbeiter:

Dr.-Ing. Andreas Rabold, Dipl. Ing. (FH) Stefan Bacher und Markus Schramm, M.Eng. vom ift Rosenheim sowie Prof. Dr. Ulrich Schanda und Dr. Andreas Mayr von der Hochschule Rosenheim.

Besonderer Dank gilt auch den beteiligten Industriefirmen für ihr großes zeitliches und finanzielles Engagement:

Fibo Exclay Deutschland GmbH, Getzner-Werkstoffe-GmbH, Gutex Holzfaserplattenwerk, Knauf Gips KG, Lignatur AG, Pavatex SA, SFS intec AG, Saint-Gobain Rigips Austria GesmbH, Spillner Spezialbaustoffe GmbH, STEICO Aktiengesellschaft, Xella Trockenbausysteme GmbH

## 9. Literaturverweise

- [1] Rabold, A., Bacher, S., Hessinger, J.: Holzbalken-decken in der Altbausanierung Teil 1: Direktschalldämmung, ift Forschungsbericht 2008
- [2] Mayr, A., Schöpfer, F., Schanda, U., Rabold, A., Hessinger, J., Bacher, S., Schramm, M.: Holzbalken-decken in der Altbausanierung Teil2: Flankenschalldämmung, ift Forschungsbericht 2012
- [3] Scholl, W., Bietz, H., „Integration des Holz- und Skelettbaus in die neue DIN 4109“, DGfH-Forschungsbericht der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt 2005
- [4] Holtz, F., Rabold, A., Hessinger, J., Bacher, S., „Ergänzende Messungen zum Vorhaben: Integration des Holz- und Skelettbaus in die neue DIN 4109“, DGfH-Forschungsbericht des Labor für Schall- und Wärmemesstechnik 2005
- [5] Fischer, H.M., Schneider, M., Blessing, S., Einheitliches Konzept zur Berücksichtigung des Verlustfaktors bei Messung und Berechnung der Schalldämmung massiver Wände, Tagungsband DAGA 2001
- [6] Schneider, M., Fischer, H.M., Einfluss des Verlustfaktors auf die Schalldämmung von Lochsteinmauerwerk, Bauphysik, 30, 2009, 453-462