

Moritz Späh, Lutz Weber

# **Schall-Längsdämmung von Gipskarton-Ständerwänden**

F 2953

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlussberichtes einer vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung -BMVBS- im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

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

© by Fraunhofer IRB Verlag

2015

ISBN 978-3-8167-9516-2

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

**Fraunhofer IRB Verlag**

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon 07 11 9 70 - 25 00

Telefax 07 11 9 70 - 25 08

E-Mail [irb@irb.fraunhofer.de](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

[www.baufachinformation.de](http://www.baufachinformation.de)

[www.irb.fraunhofer.de/tauforschung](http://www.irb.fraunhofer.de/tauforschung)

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Forschung, Entwicklung,  
Demonstration und Beratung auf  
den Gebieten der Bauphysik

Zulassung neuer Baustoffe,  
Bauteile und Bauarten

Bauaufsichtlich anerkannte Stelle für  
Prüfung, Überwachung und Zertifizierung

**Institutsleitung**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Sedlbauer

Bericht B-BA 2/2015

## Schall-Längsdämmung von Gipskarton-Ständerwänden

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung BBSR gefördert  
Aktenzeichen:

II 3-F20-12-1-184 / SWD-10.08.18.7 – 13.44

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor.

Der Bericht umfasst  
106 Seiten Text  
7 Tabellen  
49 Bilder

Dr. Moritz Späh  
Dr. Lutz Weber

Stuttgart, 01.04.2015

Institutsleiter



Univ.-Prof. Dr.-Ing.  
Klaus Sedlbauer

Abteilungsleiter



Prof. Dr.-Ing. P. Leistner

Bearbeiter



Dr. Moritz Späh

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung und Forschungsziel</b>	<b>4</b>
1.1	Einleitung	4
1.2	Forschungsziele	4
<b>2</b>	<b>Übersicht über bestehende Literatur</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>6</b>
3.1	Einleitung	6
3.2	Resultierendes Schalldämm-Maß $R'_w$	6
3.3	Bewertetes Flankenschalldämm-Maß $R_{Ff,w}$	7
3.4	Bewertete Norm-Flankenpegeldifferenz $D_{n,f,w}$	7
3.5	Schalldämmung von Gipskarton-Ständerwänden	8
3.5.1	Doppelschalen-Resonanzfrequenz	8
3.5.2	Koinzidenz-Grenzfrequenz	9
3.5.3	Abstrahlgrad	10
3.5.4	Abstrahlmaß	11
3.5.5	Schalldämmung unterhalb der Doppelschalen-Resonanzfrequenz	11
3.5.6	Schalldämmung im Bereich der Doppelschalen-Resonanzfrequenz	11
3.5.7	Schalldämmung oberhalb der Doppelschalen-Resonanzfrequenz	12
3.5.8	Schalldämmung im Bereich der Koinzidenz-Grenzfrequenz	12
3.5.9	Schalldämmung oberhalb der Koinzidenz-Grenzfrequenz	12
3.6	Ausbreitungsdämpfung in Gipskarton-Ständerwänden	13
3.7	Flankierende Schallübertragungswege an einer horizontalen Stoßstelle	15
3.8	Kritische Differenz von Messergebnissen	17
3.9	Untersuchungsmethoden	17
3.9.1	Prüfstand	17
3.9.2	Messung der Luftschalldämmung	20
3.9.3	Messung der Nachhallzeit	21
3.9.4	Messung der Norm-Flankenschallpegeldifferenz	21
3.9.5	Messung der Diagonal-Flankenschallpegeldifferenz	22
3.9.6	Norm-Flankenschalldämmmaß	22
3.9.7	Messung der Schnellepegel	23
3.9.8	Ermittlung der Ausbreitungsdämpfung in dB/m auf den Gipskarton-Ständerwänden	24
3.9.9	Ermittlung des Abstrahlmaßes	24
3.9.10	Messung des Schalldruckpegels im Wandhohlraum	25

<b>4</b>	<b>Messaufbauten</b>	<b>26</b>
4.1	Einleitung	26
4.2	Messgeräte	26
4.3	Ausbildung des Stoßes	27
4.3.1	Durchlaufende oder unterbrochene Innenschale	27
4.3.2	T-Stoß oder X-Stoß	27
4.3.3	Knauf-Wandanschluss	28
4.4	Überblick über die untersuchten Wandkonstruktionen	29
4.5	Hochschalldämmende Trennwand	31
<b>5</b>	<b>Messergebnisse</b>	<b>33</b>
5.1	Einleitung	33
5.2	Einfachständerwand, Innenschale durchlaufend	33
5.2.1	Vergleich mit früheren Messungen	33
5.2.2	Flansche mit Bleiverkleidung	35
5.2.3	Wand zwischen Raum 2 und 3 geschlossen, T und X-Stoß	36
5.3	Einfachständerwand, Innenschale unterbrochen	48
5.4	Doppelständerwand mit durchlaufender Innenschale	67
5.5	Doppelständerwand mit unterbrochener Innenschale	77
5.6	Vergleich von Einzahlwerten mit Werten der neuen DIN 4109 sowie dem PTB-Bericht	80
5.7	Maßnahmen für die Erhöhung der Flankendämmung	84
<b>6</b>	<b>Daten für den Bauteilkatalog</b>	<b>91</b>
<b>7</b>	<b>Vorhersagemodell für die bewertete Norm- Flankenpegeldifferenz <math>D_{n,f,w}</math></b>	<b>93</b>
7.1	Übertragungsweg über die Außenschale, Weg 1	95
7.2	Übertragungsweg über den Wandzwischenraum, Weg 2	97
7.3	Übertragungsweg über die Innenschale, Weg 3	97
7.4	Berechnete bewertete Norm-Flankenpegeldifferenz	98
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>103</b>
8.1	Zusammenfassung	103
8.2	Ausblick	104

# 1 Einleitung und Forschungsziel

## 1.1 Einleitung

Gipskarton-Ständerwände werden sowohl im Gewerbe- wie auch im Wohnungsbau in großem Umfang eingesetzt. Dabei müssen sie Schallschutzanforderungen erfüllen, für die sowohl die Durchgangsdämmung als auch die Längsdämmung der Bauteile maßgebend ist. Während die Durchgangsdämmung vieler Wände weitgehend bekannt ist, liegen für die Längsdämmung bislang nur wenige zuverlässige Daten vor. Deshalb muss hierfür bei der Planung im Wesentlichen auf die Beispiele im Beiblatt 1 zu DIN 4109-89 [1] zurückgegriffen werden.

Das Problem ist, dass die in DIN 4109-89 enthaltenen Daten nunmehr fast dreißig Jahre alt sind und nur einen kleinen Teil der praxisüblichen Konstruktionen abdecken. Überdies wurden bei einer vor einiger Zeit durchgeführten Untersuchung der PTB [2] schwerwiegende Fehler einiger Daten zur Längsdämmung in DIN 4109-89 festgestellt, wobei die Daten teilweise bis zu 20 dB über den tatsächlichen Werten liegen.

Ziel des Forschungsvorhabens ist es deshalb, die Ursachen für die fehlerhaften Schalldämm-Werte aufzuklären und zuverlässige Angaben für akustische Planungen zu ermitteln. Des Weiteren soll der Bauteilkatalog für die neue DIN 4109 erweitert und aktualisiert werden. Als letzter Schritt sollen die im Vorhaben gewonnenen Erkenntnisse dazu genutzt werden, akustisch optimierte Konstruktionen mit erhöhter Schall-Längsdämmung zu entwickeln.

## 1.2 Forschungsziele

Die im Forschungsvorhaben angestrebten Forschungsziele sind:

Die Klärung der Ursachen für die fehlerhaften Angaben in DIN 4109 durch Bestimmung der für die Längsleitung maßgebenden Übertragungswege und des akustischen Einflusses der Stoßstelle.

Die Bereitstellung von zuverlässigen Messdaten für die bauakustische Normung und die bauliche Schallschutzplanung.

Eine Erweiterung des unzureichenden Datenbestands zur Längsdämmung von Gipskarton-Ständerwänden durch ergänzende Messungen an bauüblichen Wandkonstruktionen.

Die Entwicklung von akustisch optimierten Bauweisen mit verbesserter Schall-Längsdämmung.

Die Ableitung einfacher empirischer Zusammenhänge zur Abschätzung der Längsdämmung bei Konstruktionen, für die keine Messwerte vorliegen.

## 2 Übersicht über bestehende Literatur

Daten für die Schallschutzplanung zur Schall-Längsdämmung von Gipskarton-Ständerwänden liegen nur in einem sehr geringen Umfang vor. Im Rahmen des neuesten Normenentwurfs der europäischen Norm EN 12354-1 [3] wird ein Berechnungsmodell für die Schall-Längsdämmung von leichten Konstruktionen vorgeschlagen, das aber noch nicht ausgereift ist und für das die benötigten Eingangswerte weitgehend fehlen. Es berücksichtigt die Ergebnisse aus COST Action 0702, die in [4] beschrieben sind. Für Gipskarton-Ständerwände liegen von Schönwald [5] einige grundlegende Untersuchungen zur Schall-Längsdämmung von Gipskarton-Ständerwänden vor. Auch von Crispin [6, 7] liegen Untersuchungen zur Schall-Längsdämmung mit Bezug auf die in EN 12354-1 vorgeschlagenen Berechnungsverfahren vor. Die Berechnungsverfahren sind aber zurzeit noch nicht soweit ausgereift, dass sie zur Schallschutzplanung zur Verfügung stehen.

Da sich die Schall-Längsdämmung von Gipskarton-Ständerwänden (noch) nicht rechnerisch bestimmen lässt, muss der Schallschutznachweis auf der Grundlage von Messwerten erfolgen. Wegen des hohen baulichen Aufwandes zur Prüfung solcher Wände und wegen den speziellen messtechnischen Anforderungen sind bislang nur wenige Messdaten verfügbar. Neben den Angaben in DIN 4109 [8], die mittlerweile fast dreißig Jahre alt sind, ist im Wesentlichen noch eine Untersuchung aus dem industriellen Umfeld zu nennen [9], die jedoch wegen abweichender Prüfbedingungen (die Messungen fanden in einem Prüfstand statt, der nicht für die Messung der Schall-Längsdämmung vorgesehen war) nur bedingt aussagefähig ist.

Weitere Messwerte sind durch eine vor einiger Zeit durchgeführten Untersuchung des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik [10] vorhanden. Diese Untersuchung hatte das Ziel, die in DIN 4109-89 [1] enthaltenen Angaben zur Längsdämmung von Gipskarton-Ständerwänden messtechnisch zu überprüfen. Die hierbei ermittelten Ergebnisse waren uneinheitlich: Während sich für einige Konstruktionen im Rahmen der Messgenauigkeit eine gute Übereinstimmung ergab, wurden für Wände mit unterbrochener Innenschale bedeutend geringere Schalldämm-Maße als in DIN 4109-89 ermittelt. Die Abweichungen betragen bis zu 20 dB, was einer um den Faktor 100 höheren Schall-Leistung entspricht. Die Ursache für diese Unterschiede soll im Rahmen dieses Forschungsvorhabens näher untersucht werden.

### 3 Grundlagen

#### 3.1 Einleitung

Bei Gebäuden in Leicht- und Skelettbauweise erfolgt die Schallübertragung zwischen angrenzenden Räumen im Wesentlichen über das trennende Bauteil (Weg Dd) sowie den Flankenweg Ff. Der Flankenweg Ff ist insgesamt viermal vorhanden (Boden, Decke und die beiden Seitenwände). Die Übertragungswege sind schematisch in Bild 1 dargestellt.

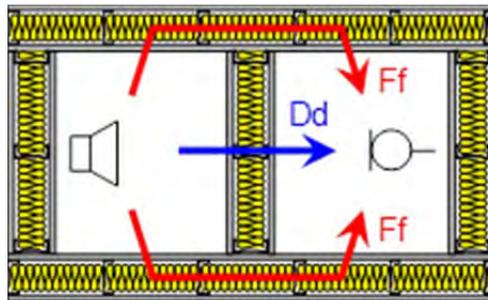


Bild 1:  
Maßgebende Schallübertragungswege im Leicht- und Skelettbau (Horizontalschnitt, schematisch).

Dabei setzt sich die Schalldämmung zwischen angrenzenden Räumen aus dem Schalldämm-Maß des Direktbauteils und der Flankendämmung aller vier Flanken-Übertragungswege zusammen.

#### 3.2 Resultierendes Schalldämm-Maß $R'_w$

Zur Berechnung des resultierenden Schalldämmung zwischen zwei Räumen (bewertetes Bau-Schalldämm-Maß  $R'_w$ ) werden die Schalldämm-Maße der einzelnen Übertragungswege energetisch addiert. Die Summation erfolgt über fünf verschiedene Wege (Weg Dd plus vier Wege Ff).

$$R'_w = -10 \lg \left[ 10^{-R_{Dd,w}/10} + \sum_{Ff=1}^4 10^{-R_{Ff,w}/10} \right] \quad (1)$$

mit  $R'_w$  = Schalldämm-Maß in dB  
 $R_{Dd,w}$  = bewertete Durchgangsdämmung des trennenden Bauteils  
 $R_{Ff,w}$  = bewertetes Flankenschalldämm-Maß der vier Flankenwege Ff

Hinweis: Im Entwurf zur neuen DIN 4109 [11] wird die Längsleitung über die flankierenden Bauteile durch das Flankenschalldämm-Maß  $R_{Ff,w}$  beschrieben, während die derzeit gültige Fassung der Norm [1,8] den Begriff Schall-

Längsdämm-Maß verwendet. Die beiden Größen unterscheiden sich lediglich durch die verwendete Bezugsfläche: das Flankenschalldämm-Maß wird auf die Trennwandfläche in situ bezogen, das Schall-Längsdämm-Maß auf eine genormte Bezugsfläche des Trennbauteils von 10 m<sup>2</sup>.

### 3.3 Bewertetes Flankenschalldämm-Maß $R_{Ff,w}$

Das bewertete Flankenschalldämm-Maß  $R_{Ff,w}$  wird nach dem Normenentwurf der neuen DIN 4109 [11] aus der in Tabelle 26 angegebenen bewerteten Norm-Flankenpegeldifferenz  $D_{n,f,w}$  wie folgt berechnet:

$$R_{Ff,w} = D_{n,f,w} + 10 \lg \frac{l_{lab}}{l_{situ}} + 10 \lg \frac{S_S}{A_0} \quad (2)$$

mit	$R_{Ff,w}$	=	bewertetes Flankenschalldämm-Maß in dB
	$D_{n,f,w}$	=	bewertete Norm-Flankenpegeldifferenz des flankierenden Bauteils in dB
	$l_{lab}$	=	die gemeinsame Kantenlänge in Labor in m
	$l_{situ}$	=	die gemeinsame Kantenlänge in situ in m
	$S_S$	=	die Fläche des trennenden Bauteils in m <sup>2</sup>
	$A_0$	=	die Bezugs-Absorptionsfläche im Empfangsraum (10 m <sup>2</sup> )

Da der im Normenentwurf der neuen DIN 4109 zur Beschreibung der Flankendämmung verwendete Kennwert die bewertete Norm-Flankenpegeldifferenz  $D_{n,f,w}$  ist, wurden in diesem Vorhaben bei allen Messungen diese Größe verwendet. Damit ist der direkte Vergleich zu den im Normenentwurf enthaltenen Werten gegeben.

### 3.4 Bewertete Norm-Flankenpegeldifferenz $D_{n,f,w}$

Die bewertete Norm-Flankenpegeldifferenz  $D_{n,f,w}$  wird aus der frequenzabhängigen Norm-Flankenpegeldifferenz nach ISO 717-1 [12] ermittelt. Die Bewertungsmethode ist dieselbe, wie sie für die Direktdämmung  $R_{Dd,w}$  verwendet wird. Dabei wird die Verschiebung der Bewertungskurve mit einer maximal zulässigen Summe der Unterschreitungen der Bewertungskurve von 32 dB vorgenommen. Abweichend zur ISO 717-1 wurde die Verschiebung in 0,1 dB Schritten durchgeführt, so dass eine genauere Bewertung der Messergebnisse möglich ist. Neben der bewerteten Norm-Flankenpegeldifferenz wurden auch die Spektrum-Anpassungswerte der ISO 717-1 ausgewertet und angegeben.

### 3.5 Schalldämmung von Gipskarton-Ständerwänden

Die Direktdämmung der flankierenden Gipskarton-Ständerwand spielt, je nach Ausbildung der Stoßstelle, eine wesentliche Rolle für die Flankendämmung. Daher wird im Folgenden die prinzipielle Wirkungsweise von Gipskarton-Ständerwänden und deren Schalldämmung dargestellt. Zur Modellierung der Schalldämmung solcher Wände sei z. B. auf Craik und Guigou [13,14] verwiesen. Da es sich bei Gipskarton-Ständerwänden um zweischalige leichte Wände handelt, die in der Regel aus zwei Beplankungsebenen und einem dazwischen befindlichen Luftzwischenraum (in der Regel durch Metallständer verbunden und oftmals gefüllt mit Dämmstoff) besteht, muss man bei der Flanken-Schallübertragung ebenso wie bei der Direktdämmung grundsätzlich verschiedene Frequenzbereiche unterscheiden, denn die Schalldämmung von Gipskarton-Ständerwänden basiert im Wesentlichen auf der Zweischaligkeit der Wandkonstruktion.

#### 3.5.1 Doppelschalen-Resonanzfrequenz

Die Doppelschalen-Resonanzfrequenz  $f_0$  von Gipskarton-Ständerwänden lässt sich für Luft im Hohlraum bei einer Temperatur von 20°C aus den Materialdaten der Wand mit folgender Gleichung berechnen.

$$f_0 = 60 \sqrt{\left( \frac{m_1' + m_2'}{m_1' m_2' d} \right)} \quad (3)$$

mit  $f_0$  = Resonanzfrequenz in Hz  
 $m_{1,2}'$  = flächenbezogene Masse der Gipskartonbeplankung in kg/m<sup>2</sup>  
 $d$  = Dicke der Luftschicht in m

Bei Füllung des Zwischenraums mit Mineralwolle (mit geringer Dichte, wie in diesem Vorhaben verwendet) verringert sich die Resonanzfrequenz, so dass die Resonanzfrequenz mit dieser Gleichung berechnet werden kann [15]:

$$f_0 = 51 \sqrt{\left( \frac{m_1' + m_2'}{m_1' m_2' d} \right)} \quad (4)$$

Bei den in diesem Vorhaben untersuchten Gipskarton-Ständerwänden mit einem Ständerabstand von 100 mm und Mineralwollefüllung (Knauf Insulation Trennwand-Dämmplatte TP 115) sowie einer Beplankung aus beidseitig

12,5 mm Gipskarton-Bauplatten (GKB 12,5) mit einer flächenbezogenen Masse  $m' = 8,7 \text{ kg/m}^2$  ergibt sich für Luft mit  $s' = 1,4 \text{ MN/m}^3$  eine Resonanzfrequenz von 91 Hz bzw. für die Wand mit 105 mm Dicke und getrennte Ständer von ca. 89 Hz. Die Resonanzfrequenz mit Mineralwollefüllung liegt bei 77 und 76 Hz. Die Resonanzfrequenz zeigt sich bei der Messung der Durchgangsdämmung, beschrieben in Kapitel 5.2.3.

### 3.5.2 Koinzidenz-Grenzfrequenz

Eine wesentliche Größe, die bei der Schalldämmung und bei der Flankendämmung von Gipskarton-Ständerwänden eine wichtige Rolle spielt, ist die Koinzidenz-Grenzfrequenz. Dabei handelt es sich um die Frequenz, bei der die Wellenlänge der Biegewellen des Bauteils gleich groß ist wie die Wellenlänge im Empfangsraum. Unterhalb der Koinzidenz-Grenzfrequenz kommt es zu einem „akustischen Kurzschluss“ bei der Abstrahlung der Schallleistung des Bauteils in die angrenzende Luft. Dabei kann die Luft im Nahfeld vor der Wand der Anregung durch das Bauteil ausweichen, so dass die Abstrahlung in den Raum gemindert wird. Bei der Koinzidenz-Grenzfrequenz kann die Abstrahlung erhöht sein, oberhalb der Koinzidenz-Grenzfrequenz liegt der Abstrahlgrad bei 1, d.h. die Schwingungen der Wand werden ohne wesentliche Verluste auf die Luft im Empfangsraum übertragen. Die Koinzidenz-Grenzfrequenz berechnet sich aus

$$f_c = \frac{c_0^2}{\pi} \sqrt{\frac{3 m' (1 - \nu^2)}{E d^3}} \quad (5)$$

mit	$f_c$	=	Koinzidenz-Grenzfrequenz in Hz
	$c_0$	=	Schallgeschwindigkeit in Luft in m/s
	$\nu$	=	Poisson-Zahl der Wandschale
	$m'$	=	flächenbezogene Masse der Wandschale in $\text{kg/m}^2$
	$E$	=	dynamischer E-Modul in $\text{N/m}^2$
	$d$	=	Dicke der Wandschale in m

Mit den Daten der GKB Beplankung der untersuchten Ständerwände mit  $c_0 = 343 \text{ m/s}$ ,  $\nu = 0.2$ ,  $m' = 8,7 \text{ kg/m}^2$ ,  $E = 1,7 \text{ GPa}$  und  $d = 0,0125 \text{ m}$  errechnet sich die Koinzidenz-Grenzfrequenz  $f_c$  zu 3252 Hz. Die Koinzidenz-Grenzfrequenz erscheint sowohl beim Direktdämm-Maß als auch beim Flankendämm-Maß und bei der Norm-Flankenpegeldifferenz als Einbruch der Schalldämmung, siehe Messergebnisse in Kapitel 5.2.3.

### 3.5.3 Abstrahlgrad

Der Abstrahlgrad beschreibt die Eigenschaft von Bauteilen, Schwingungen dieser Bauteile in die angrenzende Luft abzustrahlen, d. h. die Luft im Fernfeld der Wand in Schwingungen zu versetzen. Der Abstrahlgrad ist frequenzabhängig, hängt von der Koinzidenz-Grenzfrequenz ab und kann für ein diffuses Luftschallfeld und gemittelt über alle Abstrahlwinkel nach Leppington [16], Guigou [14] und Hopkins [15] berechnet werden mit:

$$\sigma_p = \frac{P_p}{2\pi\mu k S \sqrt{\mu^2 - 1}} \left\{ \ln \left[ \frac{\mu^2 + 1}{\mu^2 - 1} \right] + \frac{2\mu}{\mu^2 - 1} \right\}^* \quad (6)$$

$$[C_{BC}C_{OB} - \mu^{-8}(C_{BC}C_{OB} - 1)]$$

für  $f < f_c$

$$\sigma_p \approx \left[ 0.5 - 0.15 \frac{L_{xp}}{L_{yp}} \right] \sqrt{k} \sqrt{L_{xp}} \text{ für } f = f_c \quad (7)$$

$$\sigma_p = \frac{1}{\sqrt{1 - \mu^2}} \text{ für } f > f_c \quad (8)$$

mit:

$$\mu = \sqrt{\frac{f_c}{f}} \quad (9)$$

- und
- $\sigma_p$  = Abstrahlgrad der Wandschale (dünne Platte)
  - $P_p$  = Umfang der abstrahlenden Fläche in m
  - $\nu$  = Poisson-Zahl der Wandschale
  - $k$  = Wellenzahl ( $k = 2 \cdot \pi \cdot f / c_0$ ) in  $m^{-1}$
  - $S$  = Fläche des abstrahlenden Wandschale in  $m^2$
  - $C_{BC}$  = Konstante für die Randbedingungen der Wandschale ( $C_{BC} = 1$  für gehaltenen Rand,  $C_{BC} = 2$  für eingespannten Rand)
  - $C_{OB}$  = Konstante für die Orientierung der Wandschale in Bezug auf benachbarte Bauteile ( $C_{OB} = 1$  für Wandschale inner halb eines größeren Bauteils, Beispiel: Fenster;  $C_{OB} = 2$  für Wandschale mit rechtwinklig dazu abgehenden begrenzenden Bauteilen, Beispiel: Wand)

$L_{x,p}$	=	kleinere Abmessung der Wand in m
$L_{y,p}$	=	größere Abmessung der Wand im m ( $L_{x,p} \leq L_{y,p}$ )
$f_c$	=	Koinzidenz-Grenzfrequenz in Hz
$f$	=	Frequenz in Hz

### 3.5.4 Abstrahlmaß

Das Abstrahlmaß als logarithmische Größe des Abstrahlgrads ergibt sich dann durch:

$$L_\sigma = 10 \lg \sigma_p \quad (10)$$

mit  $L_\sigma$  = Abstrahlgrad in dB

Das berechnete Abstrahlmaß wird in Kapitel 5.2.3 mit Messwerten von Gipskarton-Ständerwänden verglichen.

### 3.5.5 Schalldämmung unterhalb der Doppelschalen-Resonanzfrequenz

Unterhalb der Doppelschalen-Resonanz sind beide Wandschalen über die Luftschicht innerhalb der Wand miteinander gekoppelt und schwingen vorwiegend gleichphasig. Die Masse der Wand ist mit  $2 \times 8,7 \text{ kg/m}^2$ , Mineralwollefüllung und Ständer, mit insgesamt ca.  $20 \text{ kg/m}^2$  recht gering. Die Schalldämmung bei diesen Frequenzen ist abhängig von den Biegeschwingungen der Gipskartonplatten, aber auch von den Raummoden im Sende- und Empfangsraum. Sie liegt bei den in diesem Vorhaben untersuchten Wänden zwischen 10 und 20 dB.

### 3.5.6 Schalldämmung im Bereich der Doppelschalen-Resonanzfrequenz

Im Bereich der Doppelschalen-Resonanzfrequenz schwingen beide Schalen der Wand gegenphasig und besitzen eine hohe Schwingungsamplitude. Durch Füllung der Wand wird diese Resonanz bedämpft, so dass die Schwingungsamplitude bei der Resonanz reduziert wird. Bei dieser Resonanzfrequenz besitzt die Wand eine minimale Schalldämmung.

### 3.5.7 Schalldämmung oberhalb der Doppelschalen-Resonanzfrequenz

Oberhalb der Resonanzfrequenz wird die der anregenden Seite gegenüberliegende Wandschale mit steigender Frequenz zunehmend entkoppelt. Damit reduziert sich die Schwingung dieser Wandschale und die Durchgangsdämmung der Wand steigt stark an. Dieser Anstieg liegt deutlich über dem Anstieg der Schalldämmung einer massiven Wand. Der theoretische Anstieg, berechnet aus einem einfachen Masse-Feder-Masse-System, liegt bei 18 dB/Oktave, der theoretische Anstieg einer massiven Wand liegt bei 6 dB/Oktave. Der reale Anstieg der Schalldämmung einer Gipskarton-Ständerwand besitzt oberhalb der Doppelschalen-Resonanz einen ähnlichen Anstieg, wie er theoretisch zu erwarten ist, darüber steigt die Schalldämmung geringer an, auch zum Teil weil der Abstrahlgrad deutlicher ansteigt. Etwas unterhalb der Koinzidenz-Grenzfrequenz erreicht die Schalldämmung ein (erstes) Maximum.

### 3.5.8 Schalldämmung im Bereich der Koinzidenz-Grenzfrequenz

Im Bereich der Koinzidenz-Grenzfrequenz, bei der die Abstrahlung in den Empfangsraum maximal und das Abstrahlmaß über 0 dB liegt, besitzt die Schalldämmung von Gipskarton-Ständerwänden einen deutlichen Einbruch. Dieser Einbruch kann Werte von deutlich über 10 dB aufweisen, in der Regel ist die Schalldämmung in der Terz, in der die Koinzidenz-Grenzfrequenz auftritt am geringsten.

### 3.5.9 Schalldämmung oberhalb der Koinzidenz-Grenzfrequenz

Darüber steigt die Schalldämmung wiederum deutlich an und kann hier nochmals einen Anstieg von ca. 18 dB/Oktave erreichen, denn hier überlagert sich der Anstieg der Schalldämmung oberhalb der Doppelschalen-Resonanz mit einem geringfügig abnehmenden Abstrahlgrad oberhalb der Koinzidenz-Grenzfrequenz.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass sich durch Gipskarton-Ständerwände eine erstaunlich hohe Schalldämmung erreichen lässt. So besitzt die in diesem Vorhaben untersuchte einfach beplankte Gipskarton-Ständerwand CW 100 mit einer flächenbezogenen Masse  $m'$  von ca. 20 kg ein Schalldämm-Maß von 45 dB. Dabei ist anzumerken, dass die Schalldämmung tieffrequent gering ist, im mittleren und hohen Frequenzbereich (mit Ausnahme bei der Koinzidenz-Grenzfrequenz) dagegen im Vergleich zu massiven einschaligen Wänden hoch ist.

### 3.6 Ausbreitungsdämpfung in Gipskarton-Ständerwänden

Gipskarton-Ständerwände bestehen aus zwei Schalen, die in regelmäßigen Abständen durch Ständer gehalten und in vielen Fällen miteinander verbunden sind. Bei der Schall-Längsleitung wird die flankierende Wand im Senderraum ganzflächig durch das Luftschallfeld angeregt. Im Empfangsraum dagegen erfolgt die Schwingungsanregung im Bereich des Stoßes (der Trennwand mit der flankierenden Wand). Die Schwingung der Wand breitet sich auf der flankierenden Wand aus und die flankierende Wand regt das Luftschallfeld im Empfangsraum an. Die Dämpfung der BiegeWellen auf der Wand ist dabei so groß, dass im überwiegenden Teil der Wand kein diffuses Körperschallfeld herrscht, sondern dass der Schnellepegel auf der Wand stetig abnimmt [5, 7]. Die Dämpfung eines Bauteils setzt sich generell aus 3 Anteilen zusammen:

$$\eta_{Gesamt} = \eta_{int} + \eta_{rand} + \eta_{abs} \quad (11)$$

mit  $\eta_{Gesamt}$  = Gesamtverlustfaktor  
 $\eta_{int}$  = interner Verlustfaktor (materialabhängig)  
 $\eta_{rand}$  = Verlustfaktor am Rand  
 $\eta_{abs}$  = Verlustfaktor durch Abstrahlung

Bei Gipskarton-Ständerwänden dominieren die internen Verluste und die Verluste durch Abstrahlung [5]. Dabei hat die Abstrahlung in den Wandhohlraum neben der Materialdämpfung einen zusätzlichen Einfluss, der durch die Füllung der Wand mit Mineralwolle, wie dies bei den durchgeführten Messungen der Fall war, noch verstärkt wird [5].

Der Gesamtverlustfaktor kann aus der Messung der Körperschall-Nachhallzeit des Bauteils bestimmt werden:

$$\eta_{Gesamt} = \frac{2,2}{f T} \quad (12)$$

mit  $\eta_{Gesamt}$  = Gesamtverlustfaktor  
 $f$  = Frequenz in Hz  
 $T$  = Nachhallzeit in s

Die Messung des Verlustfaktors an Gipskarton-Ständerwänden wurde z.B. von Schönwald durchgeführt. Dabei wird ein gemittelter Verlustfaktor der Wand

ermittelt. Die Ausbreitung des Körperschalls in horizontaler Richtung wird bei jedem Ständer der Wand durch weitere Einflüsse gemindert, wie z. B. die Umwandlung der BiegeWellen in andere Wellenarten und eine geringfügige Reflexion an dieser Unstetigkeitsstelle. In vertikaler Richtung kann die Ausbreitung und der Verlustfaktor daher unterschiedlich sein [5].

Die Ausbreitungsdämpfung auf dem Bauteil in verschiedene Richtungen ist abhängig von der Frequenz und dem Verlustfaktor und kann bestimmt werden aus der Schnellmessung auf einem Pfad entlang der flankierenden Wand im Empfangsraum. Sie berechnet sich nach [7] mit:

$$\delta = \frac{\Delta L_v}{\Delta r} = \frac{4,34 \pi \eta}{c_B} f \quad (13)$$

mit	$\delta$	=	Ausbreitungsdämpfung in dB/m
	$\Delta L_v$	=	Pegelabnahme in dB
	$\Delta r$	=	Entfernung in m
	$\eta$	=	Verlustfaktor
	$c_B$	=	BiegeWellengeschwindigkeit in m/s
	$f$	=	Frequenz in Hz

Die BiegeWellengeschwindigkeit von Gipskartonplatten ist:

$$c_B = \sqrt[4]{\frac{4 \pi^2 f^2 h^2 E}{12 \rho (1 - \nu^2)}} \quad (14)$$

mit	$c_B$	=	BiegeWellengeschwindigkeit in m/s
	$h$	=	Plattendicke in m
	$E$	=	dynamischer E-Modul in N/m <sup>2</sup>
	$\rho$	=	Dichte in kg/m <sup>3</sup>
	$\nu$	=	Poissonzahl

Die BiegeWellengeschwindigkeit von Gipskartonplatten ist frequenzabhängig und liegt z.B. bei 50 Hz bei 41.5 m/s, bei 1000 Hz bei 185,4 m/s und bei 5 kHz bei 414,6 m/s.

Der Verlustfaktor der Wand in horizontaler Richtung kann aus der Messung der Ausbreitungsdämpfung und nach Umstellung von Gleichung (13) mit:

$$\eta = \frac{\delta c_B}{4,34 \pi f} \quad (15)$$

ermittelt werden. Nach Schönwald [5] ist dieser für Gipskarton-Ständerwände mit Metallständern ohne Mineralwollefüllung relativ frequenzunabhängig und liegt zwischen 0.01 und 0.02. Für Gipskarton-Ständerwände mit Mineralwollefüllung steigt der Verlustfaktor zu tiefen Frequenzen an.

### 3.7 Flankierende Schallübertragungswege an einer horizontalen Stoßstelle

Da es sich bei Gipskarton-Ständerwänden um zweischalige leichte Wände handelt, kann die Flanken-Schallübertragung im Stoßbereich auf verschiedenen Wegen verlaufen. Weiterhin muss man bei der Flanken-Schallübertragung ebenso wie bei der Direktdämmung grundsätzlich verschiedene Frequenzbereiche unterscheiden, denn die Zweischaligkeit der Wandkonstruktion spielt auch bei der Flanken-Schallpegeldifferenz eine wesentliche Rolle.

Die bewertete Norm-Flankenpegeldifferenz  $D_{n,f,w}$  beschreibt die Flankenübertragung der flankierenden Wand insgesamt. Diese ist abhängig von Eigenschaften der flankierenden Wand, aber auch von der Ausbildung des Stoßbereichs mit der Trennwand bzw. einer gegebenenfalls vorhandenen weiteren Wand gegenüber der Trennwand. Ist diese Wand vorhanden, so wird der Stoß in der Regel als X-Stoß bezeichnet. Ist diese Wand nicht vorhanden, so wird der Stoß als T-Stoß bezeichnet. T-Stöße kommen zum Beispiel bei Bürogebäuden vor, wenn die Bürotrennwände an eine durchlaufende Flurwand stoßen. Die möglichen Übertragungswege an einer Stoßstelle von flankierender Wand und Trennwand (T-Stoß) sind schematisch in Bild 2 gezeigt.

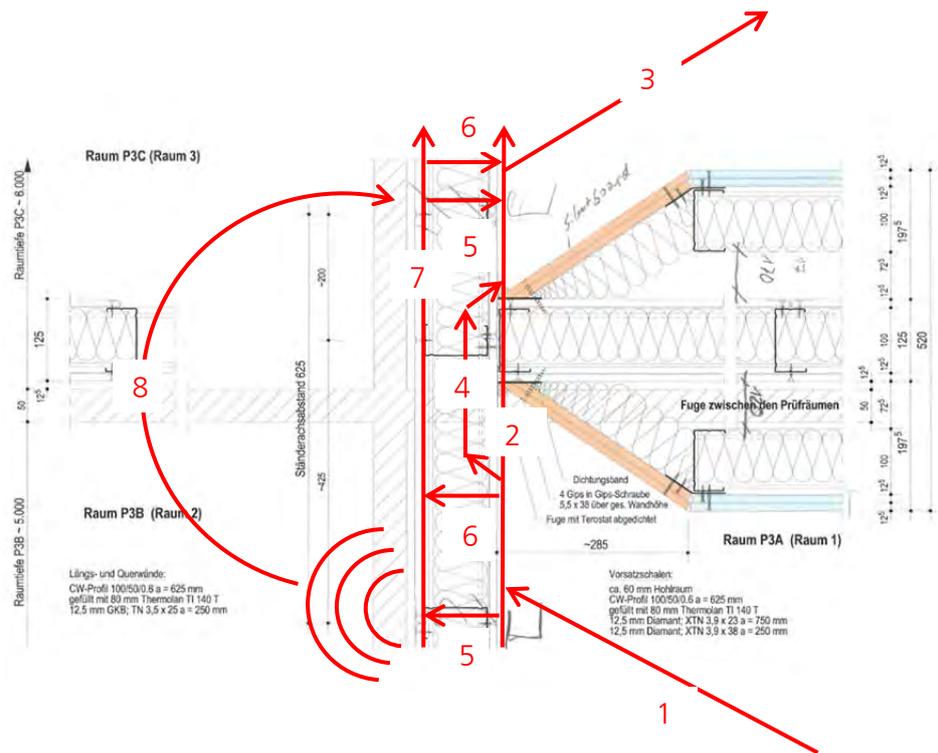


Bild 2:

Mögliche Schallübertragungswege im Leichtbau mit Ständerwänden an einer horizontalen Stoßstelle (schematisch; 1 Anregung der flankierenden Wand, 2 Weg über innere Wandbeplankung, 3 Schallabstrahlung in den Empfangsraum, 4 Übertragung über den Wandhohlraum, 5 Schallleitung über den Ständer in der Wand, 6 Übertragung über den Wandhohlraum, 7 Schalllängsleitung über die äußere Wandbeplankung, 8 Schallübertragung über den angekoppelten Nebenraum)

Die Übertragungswege an der Stoßstelle in Bild 2 sind vielfältig und je nach Ausbildung des Stoßes unterschiedlich in ihrer Gewichtung. Dabei lässt sich der Übertragungsweg 8 in Bild 2 nur schwierig quantifizieren. Um diesen Übertragungsweg zu unterbinden wurde zwischen Raum 2 und 3 eine weitere Gipskarton-Ständerwand gegenüber der Trennwand eingebaut. Diese wurde für die Untersuchung des T-Stoßes konstruktiv ohne Kontakt zur flankierenden Wand aufgebaut (Spaltbreite ca. 10 mm, Spalt mit dünnem Klebeband abgedichtet), für den X-Stoß wurde diese Wand an die flankierende Wand angeschlossen.

Eine wesentliche Fragestellung in diesem Forschungsvorhaben war, die einzelnen Übertragungswege experimentell möglichst gut zu ermitteln, um zu klären wie die Längsschallübertragung am Stoß funktioniert. Damit ist es möglich, die gemessenen Werte der bewertete Norm-Flankenpegeldifferenz  $D_{n,f,w}$  verschiedener Stoßkonfigurationen zu erklären und schlussendlich Ansätze zu entwickeln, die Flankendämmung von Gipskarton-Ständerwänden zu verbessern.

### 3.8 Kritische Differenz von Messergebnissen

In [2] wird ausgeführt, dass beim Vergleich von Messungen eine kritische Differenz zwischen zwei Messungen überschritten werden muss, um eine statistisch signifikante Abweichung dieser Messwerte feststellen zu können. Die kritische Differenz zweier unabhängiger Messungen errechnet sich danach aus:

$$CrD_{95} = 2 \sqrt{2} \sigma_R \quad (16)$$

mit  $CrD_{95}$  = Kritische Differenz mit Vertrauensniveau von 95% in dB  
 $\sigma_R$  = Vergleichs-Standardabweichung in dB

Die Vergleichs-Standardabweichung kann [18] entnommen werden. Für das bewertete Schalldämm-Maß liegt  $\sigma_R$  bei 1,2 dB für unabhängige Messungen in verschiedenen Laboren, so dass sich für die kritische Differenz ein Wert von 3,4 dB ergibt. Für Wiederholungsmessungen des bewerteten Schalldämm-Maßes, wie sie die im Vorhaben vorgenommenen Messungen darstellen, beträgt  $\sigma_R$  dagegen 0,4 dB. Damit ergibt sich für den Vergleich der Messungen innerhalb des Forschungsprojekts eine kritische Differenz von 1,1 dB. Die kritische Differenz wird herangezogen um zu prüfen, ob die Ergebnisse signifikant unterschiedlich sind oder ob sie als vergleichbar angenommen werden können.

### 3.9 Untersuchungsmethoden

Im Forschungsvorhaben wurden verschiedene Untersuchungsmethoden angewendet, um die Schallübertragung an der Stoßstelle zu bestimmen. Bei allen beschriebenen Messungen wurden die Messungen nach den angegebenen Normen und der Beschreibung durchgeführt. Der Frequenzbereich der Messungen wurde zu tiefen Frequenzen hin bis 20 Hz ausgeweitet, um zusätzliche Informationen zum Verhalten der Konstruktionen zu bekommen. Die Messung der tiefen Frequenzen unter 100 Hz war möglich, da es sich bei dem untersuchten Wandaufbau um Leichtbaukonstruktionen gehandelt hat, so dass bei diesen tiefen Frequenzen eine relativ hohe Schallabsorption durch die Wandkonstruktionen im Prüfstand vorhanden war. Daher war das Schallfeld modal nicht so stark ausgeprägt, wie es in schallharten Laborräumen der Fall ist.

#### 3.9.1 Prüfstand

Als einzige Forschungseinrichtung in Deutschland verfügt das IBP über einen sogenannten Diagonal-Prüfstand, der speziell zur Untersuchung der Schall-

Längsdämmung von Wänden konzipiert wurde. Der Prüfstand besteht aus vier Räumen mit Wänden und Decken aus Stahlbeton, die durch umlaufende elastische Fugen in Boden und Decke schalltechnisch voneinander getrennt sind. Durch die Trennfugen ist sichergestellt, dass die Schallübertragung ausschließlich über die geprüfte Trennwand erfolgt. Ein Horizontalschnitt des Prüfstands ist in Bild 3 dargestellt. Alle vier Räume des Diagonalprüfstands entsprechen den Anforderungen nach DIN EN ISO 10140-5:2010. Der Raum hat:

- Abmessungen: 11,05 m x 8,10 m x 3,11 m (L x B x H),
- Höhe unter dem Sturz: 2,95 m.
- 2 Doppeltüren (Stahl/Holz) mit  $R'_{w} > 40$  dB, freie Öffnung: 0,86 m x 1,99 m in den Räumen 3 und 4,
- 2 zweiflügelige Stahltüren, freie Öffnung: 2,00 m x 2,05 m in den Räumen 1 und 2,

Die Leichtbaukonstruktionen waren von Raum 1 aus gesehen vor der Trennfuge montiert. Die Grenzdämmung des Prüfstandes beträgt  $R'_{w,max} \geq 81$  dB.

Maße Raum 1 Senderaum (L x B x H): 4,96 m x 4,11 m x 3,11 m;  $V = 63,4$  m<sup>3</sup>.

Maße Raum 2 (L x B x H): 5,07 m x 3,86 m x 3,11 m;  $V = 61,0$  m<sup>3</sup>.

Maße Raum 3 (L x B x H): 5,85 m x 3,86 m x 3,11 m;  $V = 70,3$  m<sup>3</sup>.

Maße Raum 4 (L x B x H): 5,52 m x 4,11 m x 3,11 m;  $V = 70,8$  m<sup>3</sup>.

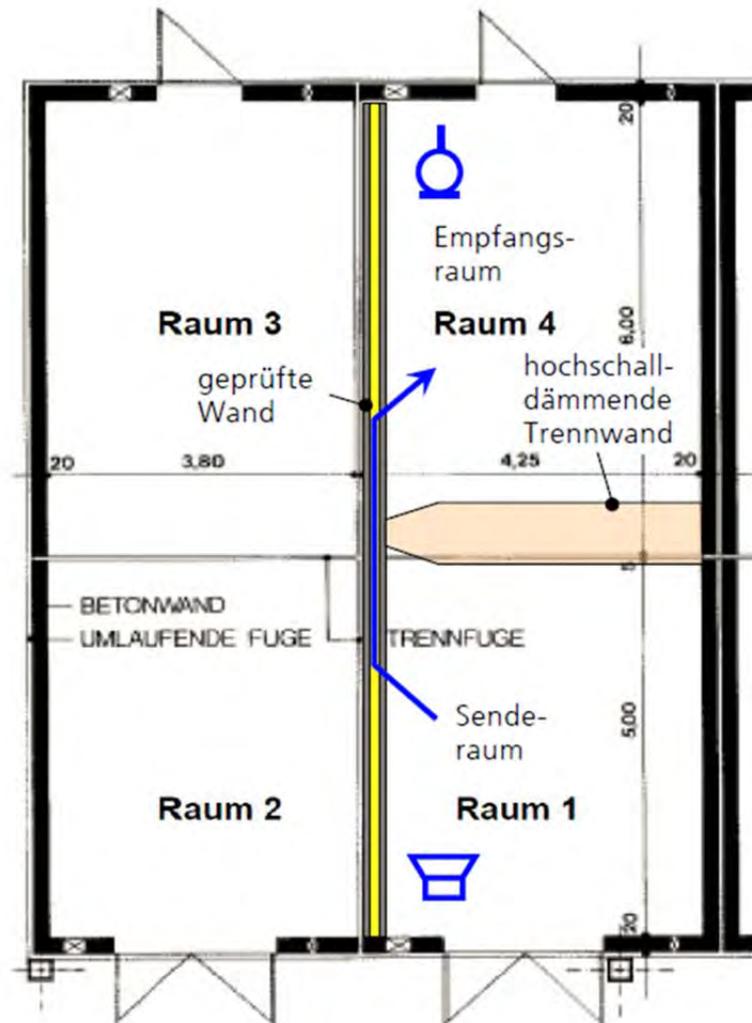


Bild 3:  
 Horizontalschnitt des Diagonalprüfstand des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik mit hochschalldämmender Trennwand und zu prüfende flankierende Wand (schematisch). Die Schallübertragung zwischen Raum 1 (Senderraum) und Raum 4 (Empfangsraum) erfolgt ausschließlich über die zu prüfende Längswand.

Alle Untersuchungen wurden im Diagonalprüfstand durchgeführt. Neben der Messung der Norm-Flankenpegeldifferenz zwischen Raum 1 und Raum 4 kann an derselben Wand auch die Direktdämmung der flankierenden Wand zwischen Raum 1 und 2 bzw. zwischen Raum 3 und 4 gemessen werden. Weiterhin ist es möglich, die Flankenpegeldifferenz zwischen Raum 1 und Raum 3 zu messen, was zusätzliche Hinweise zur Schallübertragung an der Stoßstelle geben kann. Darüber hinaus kann die Schalldämmung zwischen Raum 2 und Raum 3 gemessen werden. Wenn die Trennwand zwischen Raum 2 und 3 dieselbe Konstruktion ist wie die der flankierenden Wand, so wird mit der Messung der Schalldämmung die Summe aus Direktdämmung und Flankendämmung gemessen. Diese Messung kann dazu dienen, die Berechnung der Gesamtdämmung aus Direktdämmung und Flankendämmung zu überprüfen.

### 3.9.2 Messung der Luftschalldämmung

Zur Untersuchung der Direktdämmung der flankierenden Wand wurde die Luftschalldämmung der Wand gemessen. Die Messungen erfolgten nach DIN EN ISO 10140-2:2010. Dabei wurde Raum 1 als Senderraum verwendet, Raum 2 als Empfangsraum. Der Lautsprecher wurde auf einer Bahn im Raum bewegt, die Messung der Schallpegel erfolgte auf jeweils 2 bewegten und sich kreuzenden Bahnen im Raum. Die Mittelungszeit bei jeder Messung 64 s. Die zeitlich gemittelten Messwerte des Schalldruckpegels der einzelnen Bahnen wurden energetisch gemittelt.

Das Schalldämm-Maß wurde nach DIN EN ISO 10140-2 mit folgender Gleichung bestimmt:

$$R = L_1 - L_2 + \frac{S}{A} \quad (17)$$

mit	R	=	Schalldämm-Maß in dB
	L <sub>1</sub>	=	energetisch gemittelter Schalldruckpegel im Senderraum in dB
	L <sub>2</sub>	=	energetisch gemittelter Schalldruckpegel im Empfangsraum in dB
	S	=	Fläche der Prüfwand in m <sup>2</sup>
	A	=	äquivalente Absorptionsfläche in m <sup>2</sup>

Neben der Direktdämmung der flankierenden Wand wurde auch die Luftschalldämmung der Trennwand zwischen Raum 2 und Raum 3 gemessen. Bei dieser Messung erfolgt die Schallübertragung sowohl über das Trennbauteil, die Trennwand zwischen Raum 2 und 3, als auch über die Flankenübertragung der flankierenden Wand. Damit erhält man ein resultierendes Schalldämm-Maß aus der Summe beider Übertragungswege. Mit dieser Messung war es gegebenenfalls möglich, die rechnerische Summation der beiden Übertragungswege experimentell zu überprüfen.

Die Messung erfolgte ebenfalls nach DIN 10140-2:2010, in gleicher Weise wie beschrieben, mit dem Unterschied dass in Raum 2 als Senderraum zwei feste Lautsprecherpositionen verwendet wurden. Daher wurden bei dieser Messung insgesamt 4 Messungen der Schalldruckpegel (zwei Lautsprecherpositionen, zwei Mikrofonbahnen) im Sende- und Empfangsraum energetisch gemittelt. Die Berechnung des Schalldämm-Maßes erfolgte analog zu Gleichung 17.

### 3.9.3 Messung der Nachhallzeit

Die Nachhallzeit wurde in allen vier Räumen eingestellt und über den Zeitraum der Messungen nicht mehr verändert. Nach Einbau der zweiten Wand (mit getrennten Ständern) wurde die Nachhallzeit in den Räumen überprüft. Die Messung der Nachhallzeit erfolgte durch die Methode des abgeschalteten Rauschens (Anregung mit rosa Rauschen). Die Anregung erfolgte in der Regel an zwei Lautsprecherpositionen. Je Lautsprecherposition wurden an vier verschiedenen Mikrofonpositionen die Nachhallzeiten bestimmt, die Messungen wurden an jeder Mikrofonposition zweimal durchgeführt. damit wurden insgesamt 16 Messungen der Nachhallzeit durchgeführt und gemittelt. Bei der zweiten Wand wurde, weil die Streuung der Messwerte sehr gering war, die Anzahl der Lautsprecherpositionen in Raum 1, 2 und 3 auf eine reduziert, so dass dann jeweils 8 Messungen der Nachhallzeiten gemittelt wurden. Bei der Messung wurde darauf geachtet, dass die Nachhallzeiten höher als die für diese Messmethode zulässige Untergrenze der Nachhallzeiten lag. Aus der gemittelten Nachhallzeit wurde die äquivalente Schallabsorptionsfläche bestimmt mit:

$$A = \frac{0,16 V}{T} \quad (18)$$

mit

A	=	äquivalente Absorptionsfläche in m <sup>2</sup>
V	=	Volumen des Raumes in m <sup>3</sup>
T	=	Nachhallzeit in s

### 3.9.4 Messung der Norm-Flankenschallpegeldifferenz

Die Messung der Norm-Flankenschallpegeldifferenz erfolgte nach DIN EN ISO 10848:2006 [19]. Dabei wurde im Senderaum (Raum 1 in Bild 3) der Lautsprecher während der Messung auf einer Bahn bewegt. Die Messung der Schallpegel erfolgte auf bewegten Mikrofonbahnen. Es wurde jeweils im Senderaum und im Empfangsraum auf zwei sich kreuzenden Mikrofonbahnen gemessen. Dabei erfolgte ein Umlauf des Mikrofons innerhalb 32 s, jede Messung wurde über zwei Umläufe bzw. 64 s gemittelt. Die gemessenen Schalldruckpegel der beiden Messungen im Sende- und Empfangsraum wurden energetisch gemittelt. Die Norm-Flankenschallpegeldifferenz wurde ermittelt durch:

$$D_{n,f} = L_1 - L_2 - 10 \lg \frac{A}{A_0} \quad (19)$$

mit	$D_{n,f}$	=	Norm-Flankenschallpegeldifferenz in dB
	$L_1$	=	Schalldruckpegel im Senderaum in dB
	$L_2$	=	Schalldruckpegel im Empfangsraum in dB
	$A$	=	äquivalente Absorptionsfläche in $m^2$
	$A_0$	=	äquivalente Bezugsabsorptionsfläche in $m^2$ ,
	$A_0$	=	$10 m^2$

### 3.9.5 Messung der Diagonal-Flankenschallpegeldifferenz

Die Diagonal-Flankenschallpegeldifferenz ist keine genormte Größe. Sie ist angelehnt an die Norm-Flankenschallpegeldifferenz und wurde mit der gleichen Methode gemessen. Der einzige Unterschied ist, dass hier der Empfangsraum der vom Senderaum diagonal angeordnete Raum war. Bei Anregung in Raum 1 war der Empfangsraum Raum 3, bei einigen Wandaufbauten wurde die Diagonal-Flankenschallpegeldifferenz auch zwischen Raum 2 als Senderaum und Raum 4 als Empfangsraum bestimmt. Bei Messung von Raum 2 in Raum 4 wurde abweichend zur Messung von Raum 1 nach 3 keine bewegte Lautsprecherbahn verwendet. Hier wurde mit zwei unterschiedlichen Lautsprecherpositionen gemessen, so dass insgesamt 4 Messungen (zwei Lautsprecherpositionen, zwei Mikrofonbahnen) energetisch gemittelt wurden. Die Größe der flankierenden Wand in den Empfangsräumen 3 und 4 war gleich. Der Vergleich zwischen Diagonal- und Norm-Flankenschallpegeldifferenz gibt Aufschluss über die Schallübertragungswege der Flankenübertragung. Ergebnisse sind in Kapitel 5.2.3 gezeigt.

### 3.9.6 Norm-Flankenschalldämmmaß

Aus der Norm-Flankenschallpegeldifferenz lässt sich das Norm-Flankenschalldämmmaß berechnen. Hierbei wird die Flankenschalldämmung auf die Norm-Trennwandfläche von  $10 m^2$  bezogen. Damit ergibt sich:

$$R_f = D_{n,f} + 10 \lg \frac{S}{S_0} \quad (20)$$

mit	$R_f$	=	Norm-Flankenschalldämmmaß in dB
	$D_{n,f}$	=	Norm-Flankenschallpegeldifferenz in dB
	$S$	=	Wandfläche der Trennwand, auf die die Flankenübertragung bezogen werden soll in $m^2$
	$S_0$	=	Bezugswandfläche in $m^2$ , $S_0 = 10 m^2$

Das Norm-Flankenschalldämmmaß ist damit auf dieselbe Bezugswandfläche von 10 m<sup>2</sup> bezogen, auf die auch das Schalldämmmaß R für die Direktdämmung bezogen ist. Damit kann in Anlehnung an Gleichung 1 (hier aber frequenzabhängig) die Gesamtdämmung berechnet werden.

### 3.9.7 Messung der Schnellepegel

Im vorliegenden Forschungsvorhaben war die Ermittlung der wesentlichen Übertragungswege ein wichtiges Ziel. Daher wurde neben der Messung der Luftschallpegel auch die Messung von Schnellepegeln auf der flankierenden Wand und den Trennwänden, bei gleicher Luftschallanregung, durchgeführt. Erste Messungen wurden mittels Laser-Doppler-Vibrometer vorgenommen. Bei Stoßstellen mit höherer Norm-Flankenschallpegeldifferenz zeigte sich, dass der Signalabstand zum Hintergrundgeräusch vor allem bei hohen Frequenzen und bei einem etwas größeren Abstand zur Stoßstelle nicht ausreichend war. Daher wurde für alle weiteren Messungen der Schnellepegel ein Beschleunigungsaufnehmer eingesetzt, die mit einem Gewicht von 17 g für die zu messende Struktur ausreichend leicht waren, so dass für diese keine wesentliche Beeinflussung der Messergebnisse zu erwarten war. Die Messungen wurden auf einem Pfad auf der Wand, rechtwinklig zur Stoßstelle durchgeführt. Der Pfad wurde auf einer Höhe von 1 m festgelegt, was ca. 1/3 der gesamten Wandhöhe entsprach.

Die Schnellepegel wurden bestimmt durch:

$$L_v = 10 \lg \frac{v}{v_0} \quad (21)$$

mit

$L_v$	=	Schnellepegel in dB
$v$	=	gemessene Schnelle in m/s
$v_0$	=	Bezugsschnelle in m/s, $v_0 = 50 \text{ nm/s}$

Die Messung der Schnellepegel erfolgte an jedem Messpunkt durch Mittelung über einen Zeitraum von mindestens 32 s. Dabei wurde gleichzeitig auch der Senderaumpegel bestimmt, um sicherzugehen, dass die Anregung der Anregung bei der Luftschallmessungen entsprach.

Neben der Messung der Schnellepegel auf der flankierenden Wand im Empfangsraum wurden zum Teil auch Messungen auf der flankierenden Wand im Senderaum (Raum 1) sowie im Raum 2 und 3 vorgenommen. Im Raum 1 und 2 wurden ebenso auf einer Höhe von 1 m Messpunkte auf einem Pfad festgelegt. Dabei hatten die Messpunkte einen Abstand von 50 cm zueinander. In Raum 3

wurden die gespiegelten Messpunkte aus Raum 4 verwendet. Diese sind im folgenden Abschnitt genauer beschrieben.

Weiterhin wurden einzelne Messungen der Schnellepegel auf den Trennbauteilen, der hochschalldämmenden Trennwand in Raum 4 und der Trennwand zwischen Raum 2 und 3 vorgenommen. Dabei waren die Messpunkte ebenfalls in einer Höhe von 1 m und einem Abstand in der Regel von 50 cm angeordnet.

### 3.9.8 Ermittlung der Ausbreitungsdämpfung in dB/m auf den Gipskarton-Ständerwänden

Für die flankierende Wand im Empfangsraum stellt die Stoßstelle der flankierenden Wand mit der hochschalldämmenden Trennwand (T-Stoß) und gegebenenfalls zusätzlich mit der gegenüberliegenden Trennwand zwischen Raum 2 und 3 (X-Stoß) eine Linienschallquelle dar. Schon bei früheren Arbeiten [5, 7] wurde festgestellt, dass auf Gipskarton-Ständerwänden die Dämpfung der Beplankungsplatten so groß ist, dass sich empfangsraumseitig auf der flankierenden Wand ein mit zunehmendem Abstand geringerer Schnellepegel einstellt. Daher wurde aus der Messung der Schnellepegel auf dem Pfad im Empfangsraum die Ausbreitungsdämpfung auf der flankierenden Wand ermittelt. Auf Grund der stark abnehmenden Schnellepegel ist vor allem der Wandbereich direkt hinter der Stoßstelle für die Schallabstrahlung und damit für die Flankendämmung der Wand verantwortlich. Daher wurden die Abstände der Schnellemessung in der Nähe der Stoßstelle gering gewählt (alle 25 cm ein Messpunkt), und erst ab einem Abstand von größer als 2 m wurde der Abstand der Messpunkte auf 50 cm erhöht. Die Messung auf dem Pfad wurde bis zu einem Abstand von 4 m von der Stoßstelle auf der flankierenden Wand vorgenommen.

### 3.9.9 Ermittlung des Abstrahlmaßes

Aus den Messungen der Schnellepegel auf der flankierenden Wand und den im Empfangsraum (Raum 4) gemessenen Schalldruckpegel lässt sich das Abstrahlmaß der flankierenden Wand ermitteln [15].

$$L_{\sigma} = L_p - L_v - 10 * \lg T + 20 * \lg \left( \frac{p_0}{v_0} \right) + 10 * \lg \left( \frac{6 * V * \ln 10}{S * \rho_0^2 * c_0^3} \right) \quad (22)$$

mit	$L_{\sigma}$	=	Abstrahlmaß dB
	$L_p$	=	Schalldruckpegel im Empfangsraum in dB
	$L_v$	=	Schnellepegel in dB
	$T$	=	Nachhallzeit im Empfangsraum in s
	$p_0$	=	Bezugsschalldruck in Pa, $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$
	$v_0$	=	Bezugsschnelle in m/s, $v_0 = 50 \text{ nm/s}$
	$V$	=	Raumvolumen in $\text{m}^3$
	$S$	=	(relevante) Fläche der abstrahlenden Wand in $\text{m}^2$
	$\rho_0$	=	Luftdichte in $\text{kg}/\text{m}^3$
	$c_0$	=	Schallgeschwindigkeit in Luft in m/s

Für die diagonale Übertragung besteht die Schwierigkeit, für das Abstrahlmaß die für die Abstrahlung relevante Fläche zu ermitteln, da der Schnellepegel auf der Wand nicht gleichmäßig verteilt ist, sondern mit zunehmendem Abstand zur Stoßstelle abnimmt.

Dieses Problem wurde so gelöst, dass das Abstrahlmaß bei der diagonalen Übertragung experimentell ermittelt wurde. Dabei wurde die gesamte Wandfläche der flankierenden Wand im Empfangsraum berücksichtigt. Vergleichend dazu wurde das Abstrahlmaß mit den Gleichungen (6) bis (10) berechnet. Nun wurde für das experimentell ermittelte Abstrahlmaß die abstrahlende Fläche soweit reduziert, dass das Abstrahlmaß im Bereich der Koinzidenz mit dem berechneten Abstrahlmaß übereinstimmte. Das Verfahren ergab, dass für die abstrahlende Fläche der flankierenden Wand eine Fläche von  $1 \text{ m}^2$  anzusetzen war, um eine gute Übereinstimmung des gemessenen mit dem berechneten Abstrahlmaß zu erzielen. Die Ergebnisse sind in Abschnitt 5.4 beschrieben.

### 3.9.10 Messung des Schalldruckpegels im Wandhohlraum

Zu Beginn des Vorhabens wurden im Wandhohlraum im Stoßbereich Schalldruckpegel gemessen, um Aussagen zur Schallübertragung über den Wandhohlraum zu bekommen. Dabei wurde ein Mikrofon durch eine Öffnung in der flankierenden Wand von Raum 3 auf Höhe von  $1 \text{ m}$  und mit einem Abstand von der Trennwand zwischen Raum 2 und Raum 3 von ca.  $50 \text{ mm}$  so in den Wandhohlraum eingebracht, so dass die Mikrofonkapsel bündig mit der Beplankungsplatte wandinnenseitig abschloss. Die Öffnung wurde dann mit dauerelastischer Dichtmasse („Terostat“) um das Mikrofon herum abgedichtet. Messungen an den ersten Wandvarianten zeigten keinen Zusammenhang der Messergebnisse des Schalldrucks im Wandhohlraum mit den gemessenen Flankenpegeldifferenzen. Dies deutet darauf hin, dass bei den untersuchten Wand- bzw. Stoßvarianten die wesentliche Schallübertragung nicht über den Wandhohlraum, sondern über andere Übertragungswege (z. B. über die Innenschale oder die Außenschale) stattfindet. Dies hat sich durch die weiteren durchgeführten Messungen der Schnellepegel bestätigt. Daher wurden die Messungen im Wandhohlraum im Verlauf des Vorhabens nicht weiter verfolgt. Für Stoß-

konstruktionen, bei denen die Schallübertragung über Innen- und Außenschale reduziert oder unterdrückt ist könnte die Messung im Wandhohlraum aussagekräftig sein und sollte bei dieser Art von Stoßkonstruktionen zur Analyse der Schallübertragungswege eingesetzt werden.

## **4 Messaufbauten**

### **4.1 Einleitung**

Im Vorliegenden Forschungsprojekt wurden handelsübliche Gipskartonwände mit üblichen Stoßstellen untersucht. Das Vorhaben wurde mit Unterstützung der Knauf Gips KG durchgeführt. Die Grundwandkonstruktionen wurden von Mitarbeitern der Knauf Gips KG im Diagonalprüfstand des Fraunhofer IBP eingebaut. Die Materialien wurden von der Fa. Knauf gestellt. Umbauten an den Stoßstellen mit geringerem Umbauaufwand wurden durch die im IBP beschäftigten Fachhandwerker vorgenommen.

### **4.2 Messgeräte**

Die im Vorhaben eingesetzten Messgeräte waren:

Verwendete Messgeräte:

Mikrofone: Brüel & Kjær 4165

Vorverstärker: Brüel & Kjær 2693

Analysator: Norsonic 840

Leistungsverstärker: Klein und Hummel AK 180

Pistonphon: Brüel & Kjær 4220

Laser-Vibrometer: Polytec Typ OFV 303 mit Steuereinheit OFV 3001

Beschleunigungsaufnehmer Brüel & Kjær 4383

Ladungsverstärker Brüel & Kjær, Typ Nexus

## 4.3 Ausbildung des Stoßes

### 4.3.1 Durchlaufende oder unterbrochene Innenschale

Die Ausbildung des Stoßes der Trennwand (hier ausgeführt als hochschalldämmende Trennwand) mit der flankierenden Wand hat einen großen Einfluss auf die Schall-Längsdämmung der flankierenden Wand. Grundsätzlich können hier drei verschiedene Ausführungen der Innenschale im Bereich der Stoßstelle unterschieden werden: Durchlaufende Innenschale, Innenschale mit Schlitz und unterbrochene Innenschale. Alle diese drei Varianten wurden im PTB-Vorhaben [2] untersucht. Dabei ist die Ausführung der Innenschale mit Schlitz am fehleranfälligsten, da die Art des Schlitzens im Zusammenhang mit den beiden den Schlitz überbrückenden Ständern zu einer schlecht definierten Detailausführung führt. Im PTB-Vorhaben [2] wurden eher geringe Verbesserungen gemessen, Untersuchungen der Knauf Gips AG mit zwei getrennten Ständern im Wandhohlraum und einer kompletten Unterbrechung der Innenschale führten zu deutlich höheren Verbesserungen durch den Schlitz. Da die Ausführung des Schlitzes in der Praxis schwierig ist und große akustische Unsicherheiten beinhaltet, wurde diese Variante im vorliegenden Vorhaben nicht geprüft.

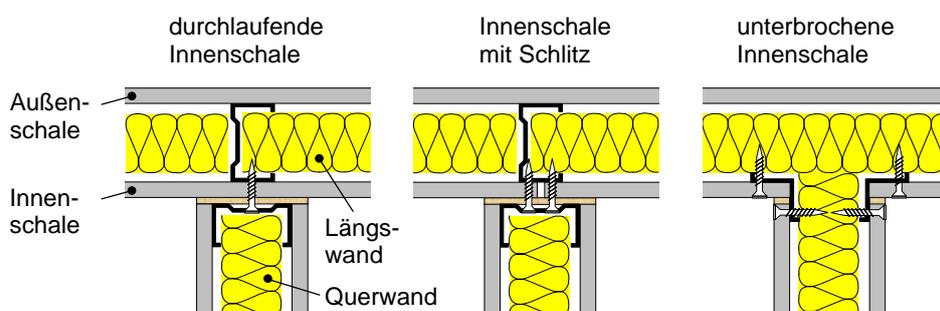


Bild 4:  
Beispiele für die Ausbildung der Stoßstelle zwischen Längs- und Querwand am Beispiel einer Einfachständerwand mit einlagiger Beplankung. (schematisch)

### 4.3.2 T-Stoß oder X-Stoß

Neben der Ausbildung der Stoßstelle wirken sich auch Aufbau und Anordnung der untersuchten Wände auf das Messergebnis aus. So ist zu unterscheiden, ob an der Verbindungsstelle drei oder vier Wände zusammentreffen (T- oder Kreuzstoß). Dabei hängt die akustische Wirksamkeit von T- und X-Stoß zusammen mit der Ausbildung der Innenschale, dargestellt in Bild 4. Die Ausführung als T- oder X-Stoß ist in Bild 5 dargestellt.

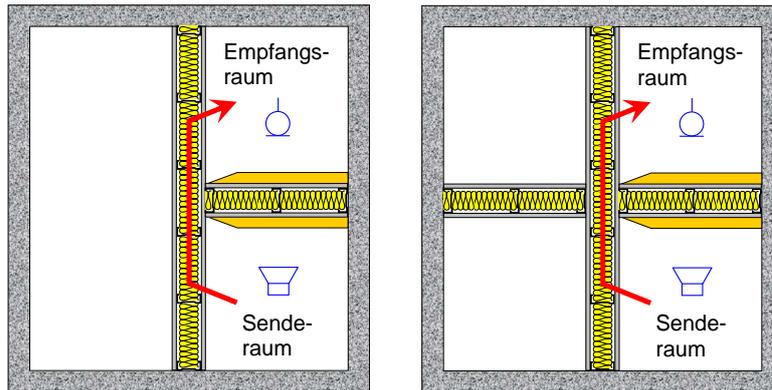


Bild 5:  
Messung der Flankendämmung von Gipskarton-Ständerwänden im Diagonalprüfstand des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik (links T-Stoß, rechts Kreuzstoß). Die Schallübertragung über Boden, Decke und Wände des Prüfstands ist durch elastische Trennfugen (hier nicht eingezeichnet) unterbunden.

#### 4.3.3 Knauf-Wandanschluss

Wichtig für die Schall-Längsdämmung ist die Anbindung der Trennwand an die durchlaufende flankierende Wandschale. Diese wurde in der Regel nach der Aufbauvorschrift von Knauf ausgeführt, die im Bereich des Anschlusses eine gleitende Spachtelung des Kontaktbereichs zwischen der Gipskartonbeplankung der Trennwand und der flankierenden Wand vorsieht. Der so ausgeführte Wandanschluss wird in diesem Bericht als „Knauf-Wandanschluss“ bezeichnet. Bei diesem Wandanschluss wird ein dünner Papierstreifen (Produktbezeichnung „Trennfix“) rückseitig auf das Wandprofil geklebt, und danach wird die Rückseite des Profils mit einer umlaufenden Raupe aus Trennwandkit (Acryl) ausgestattet. Dann wird das Wandprofil auf die durchlaufende Trennwand geschraubt (4 Schrauben mit Abstand von ca. 1 m, Verschraubung in das Wandprofil der flankierenden Wand). Der Papierstreifen steht dabei beidseitig über das Profil hinaus. Nun wird die Trennwand mit Gipskartonplatten beplankt und die Fuge zur flankierenden Wand wird ausgespachtelt, ohne dass sich ein fester Verbund der Spachtelmasse (Produktname „Uniflott“) mit der flankierenden Wand ergibt. Nach Aushärten der Spachtelmasse wird der überstehende Papierstreifen bündig abgeschnitten. Die Anleitung für diesen Stoßaufbau von Knauf ist in Bild 6 dargestellt.

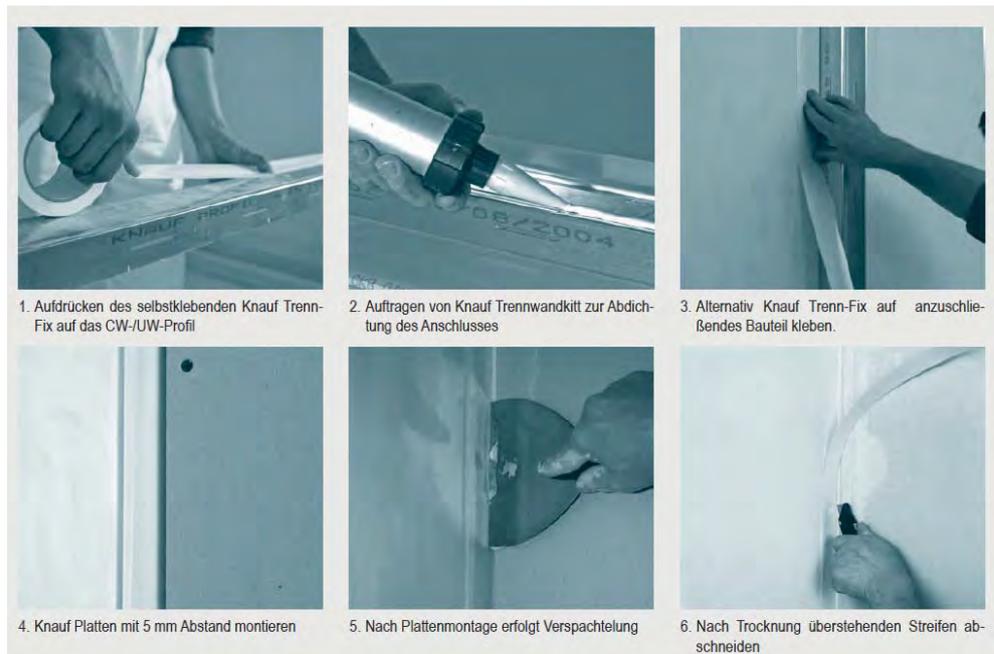


Bild 6:  
 Aufbauanleitung für den „Knauf-Wandanschluss“. Quelle: Knauf Dokument k432.

Diese Vorgehensweise bei diesem Wandanschluss führt dazu, dass es in der Kante beider Wände nicht zu deutlich sichtbaren Rissen kommen kann. Die Anbindung der Trennwand an die flankierende Wand ist für die Luftschallübertragung als dicht anzusehen. Dies wurde im vorliegenden Vorhaben durch zusätzliches weiteres Abdichten der Kante überprüft. Der oben beschriebene Knauf-Wandanschluss wurde im Vorhaben mehrfach modifiziert, die unterschiedlichen Modifikationen werden im Zusammenhang mit den erzielten Messwerten beschrieben.

#### 4.4 Überblick über die untersuchten Wandkonstruktionen

Im Rahmen des Projekts wurden die in Tabelle 1 dargestellten sieben Grundwandkonstruktionen berücksichtigt:

Tabelle 1:  
Untersuchte Grundwandkonstruktionen

Nr.	Flankierende Wand	Trennwand (innerhalb der hochschalldämmenden Trennwand)	Trennwand zwischen Raum 2 und 3	Stoßstelle
<b>Einfachständerwand</b>				
1	CW 100, einlagig beplankt mit 12,5 mm GKB, $m' = 8,7 \text{ kg/m}^2$ ; Innenschale durchlaufend	CW 100, einlagig beplankt mit 12,5 mm GKB, $m' = 8,7 \text{ kg/m}^2$	CW 100, einlagig beplankt mit 12,5 mm GKB, $m' = 8,7 \text{ kg/m}^2$ , ohne Kontakt zur flankierenden Wand	T-Stoß
2	CW 100, einlagig beplankt mit 12,5 mm GKB, $m' = 8,7 \text{ kg/m}^2$ , Innenschale durchlaufend	CW 100, einlagig beplankt mit 12,5 mm GKB, $m' = 8,7 \text{ kg/m}^2$	CW 100, einlagig beplankt mit 12,5 mm GKB, $m' = 8,7 \text{ kg/m}^2$ , Kontakt zur flankierenden Wand	X-Stoß
3	CW 100, einlagig beplankt mit 12,5 mm GKB, $m' = 8,7 \text{ kg/m}^2$ ; Innenschale unterbrochen	CW 100, einlagig beplankt mit 12,5 mm GKB, $m' = 8,7 \text{ kg/m}^2$	CW 100, einlagig beplankt mit 12,5 mm GKB, $m' = 8,7 \text{ kg/m}^2$ , ohne Kontakt zur flankierenden Wand	T-Stoß
4	CW 100, einlagig beplankt mit 12,5 mm GKB, $m' = 8,7 \text{ kg/m}^2$ , Innenschale unterbrochen	CW 100, einlagig beplankt mit 12,5 mm GKB, $m' = 8,7 \text{ kg/m}^2$	CW 100, einlagig beplankt mit 12,5 mm GKB, $m' = 8,7 \text{ kg/m}^2$ , Kontakt zur flankierenden Wand	X-Stoß

Tabelle 2 fortgesetzt:  
 Untersuchte Grundwandkonstruktionen

<b>Doppelständerwand</b>				
5	2x CW 50, 5 mm Abstand, einlagig beplankt mit 12,5 mm GKB, $m' = 8,7 \text{ kg/m}^2$ , Innenschale durchlaufend	CW 100, einlagig beplankt mit 12,5 mm GKB, $m' = 8,7 \text{ kg/m}^2$	CW 100, einlagig beplankt mit 12,5 mm GKB, $m' = 8,7 \text{ kg/m}^2$ , ohne Kontakt zur flankierenden Wand	T-Stoß
6	2x CW 50, 5 mm Abstand, einlagig beplankt mit 12,5 mm GKB, $m' = 8,7 \text{ kg/m}^2$ , Innenschale unterbrochen	CW 100, einlagig beplankt mit 12,5 mm GKB, $m' = 8,7 \text{ kg/m}^2$	CW 100, einlagig beplankt mit 12,5 mm GKB, $m' = 8,7 \text{ kg/m}^2$ , ohne Kontakt zur flankierenden Wand	T-Stoß
7	2x CW 50, 5 mm Abstand, einlagig beplankt mit 12,5 mm GKB, $m' = 8,7 \text{ kg/m}^2$ , Innenschale unterbrochen	CW 100, einlagig beplankt mit 12,5 mm GKB, $m' = 8,7 \text{ kg/m}^2$	CW 100, einlagig beplankt mit 12,5 mm GKB, $m' = 8,7 \text{ kg/m}^2$ , Kontakt zur flankierenden Wand	X-Stoß

Die Bezeichnung Innenschale bezieht sich auf die Wandseite der flankierenden GKB-Ständerwand, die an den Senderraum (Raum 1) und den Empfangsraum 4 angrenzt.

#### 4.5 Hochschalldämmende Trennwand

Zur Messung der Norm-Flankenschallpegeldifferenz  $D_{n,f}$  musste die Trennwand zwischen Raum 1 und Raum 4 als hochschalldämmende Trennwand ausgerüstet sein. Weiterhin stellt die Trennwand aber auch die Stoßstelle zur flankierenden Wand her. Die Art des Stoßes zwischen (hochschalldämmender) Trennwand und flankierender Wand hat großen Einfluss auf das  $D_{n,f}$ . Dies zeigte sich schon bei den im IBP durchgeführten Untersuchungen von 2002 [20] und [2].

Aufgrund der Erfahrung aus diesen Untersuchungen wurde in diesem Projekt mit der Knauf Gips KG entschieden, die Trennwand innerhalb der hochschalldämmenden Trennwand komplett auszuführen, d.h. sie erstreckt sich über die gesamte Breite der hochschalldämmenden Trennwand. Damit ist die Ausführung realitätsnäher und unterschiedlich zur Ausführung in [2]. Die Trennwand wurde beidseitig, d.h. auf der Seite in Raum 1 und auf der Seite in Raum 4 mit einer Vorsatzschale versehen. Auf Grund der Raumsituation im Prüfstand, mit Unterzügen im Bereich der Trennfugen an der Decke des Prüfstands mussten die beiden Vorsatzschalen mit verschiedenem Abstand zur Trennwand ausgeführt werden. In Raum 1 (Senderraum) wurde die Vorsatzschale mit einem Abstand von insgesamt 220 mm zur Trennwand aufgebaut. Dabei wurden CW100 Profile für die Vorsatzschale eingesetzt. In Raum 4 war der Abstand der Vorsatzschale zur Trennwand 270 mm. Auf beiden Seiten wurde die Vorsatzschale mit doppelt beplankten Gipsfaserplatten (2x12,5 mm, Produktbezeichnung „Diamant“, flächenbezogene Masse der einzelnen Platten 12,9 kg/m<sup>2</sup>) aufgebaut. Im Bereich des Stoßes an die flankierende Wand wurde die Vorsatzschale schräg an die Trennwand angeschlossen. In diesem Bereich wird der Abstand der Vorsatzschale zur Trennwand immer geringer. Um hier noch eine ausreichend hohe Schalldämmung zu erhalten, wurde dieser Bereich mit doppeltlagigen Gipsfaserplatten (2x12,5 mm, Produktbeschreibung „Silentboard“, flächenbezogene Masse der einzelnen Platten 17,6 kg/m<sup>2</sup>) beplankt. Da dieser Bereich immer noch als ein möglicher Schwachpunkt eingeschätzt wurde, wurde als weitere Maßnahme eine zusätzliche Lage von bleibeschwerten Gipskartonplatten aufgebracht (flächenbezogene Masse 33,2 kg/m<sup>2</sup>). Eine grundsätzliche Zeichnung des Wandaufbaus ist in Bild 7 dargestellt.

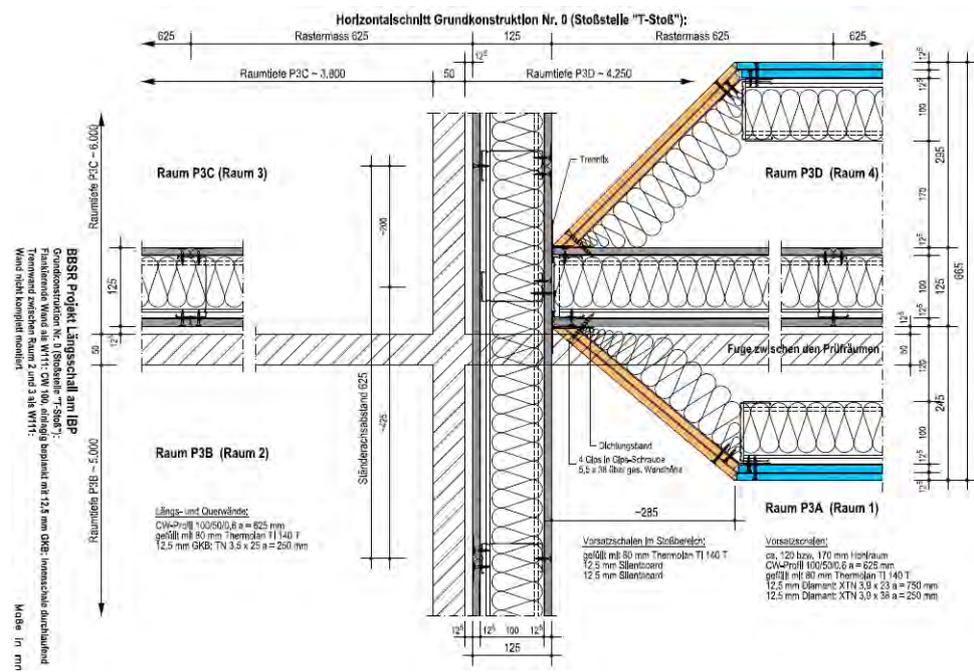


Bild 7: Horizontalschnitt des Stoßbereichs der GKB-Wände mit hochschalldämmender Trennwand, zu prüfende flankierende Wand und Trennwand zwischen Raum 2 und 3.

Die Zeichnungen der weiteren untersuchten Konstruktionen werden im folgenden Kapitel mit den Messwerten gezeigt.

## 5 Messergebnisse

### 5.1 Einleitung

Die Messergebnisse wurden im Diagonalprüfstand des IBP gemessen. Die einzelnen Messgrößen und die Vorgehensweise ist in Kapitel 3.9 beschrieben.

Bei den Ergebnissen wird in diesem Vorhaben zwischen zwei grundlegend unterschiedlichen Wandaufbauten der flankierenden Ständerwand unterschieden: der Einfachständerwand und der Doppelständerwand. Beide Wände haben mit 100 mm bzw. 105 mm Schalenabstand nahezu dieselbe Dicke, die Wände unterscheiden sich aber konstruktiv und akustisch.

### 5.2 Einfachständerwand, Innenschale durchlaufend

Die erste zu untersuchende Wandkonstruktion war eine Einfachständerwand mit CW 100 Profilen und beidseitig einfach beplankt mit 12,5 mm Gipskarton-Bauplatten (GKB). Dabei war auch die Trennwand innerhalb der hochschalldämmenden Trennwand und die Trennwand zwischen Raum 2 und 3 vom gleichen Wandtyp. Der Aufbau der Wände ist in Bild 7 dargestellt.

Zunächst wurde eine Messung im Prüfstand durchgeführt, bei der die Wand zwischen Raum 2 und Raum 3 noch nicht geschlossen war. Hier wurde ausschließlich die Norm-Flankenschallpegeldifferenz  $D_{n,f,1 \rightarrow 4}$  (Index für Raum 1 als Senderaum und Raum 4 als Empfangsraum) bestimmt.

#### 5.2.1 Vergleich mit früheren Messungen

Die erste Messung der Norm-Flankenschallpegeldifferenz  $D_{n,f,1 \rightarrow 4}$  wurde früheren Messungen aus [2] und [20] mit einer gleich aufgebauten flankierenden Wand, aber bei der Messung im Jahr 2002 mit anderer Stoßstellenausbildung, gegenübergestellt. Dies ist in Bild 8 dargestellt. Bei allen weiteren Diagrammen wird jeweils für eine Messkurve auch die Bezugskurve mit gleicher Farbe dargestellt. Damit wird es dem Leser erleichtert zu erkennen, wie der Einzahlwert der Messkurve zustande kommt und in welchem Frequenzbereich die Bewertung erfolgt (Messwerte unterschreiten die Bewertungskurve).

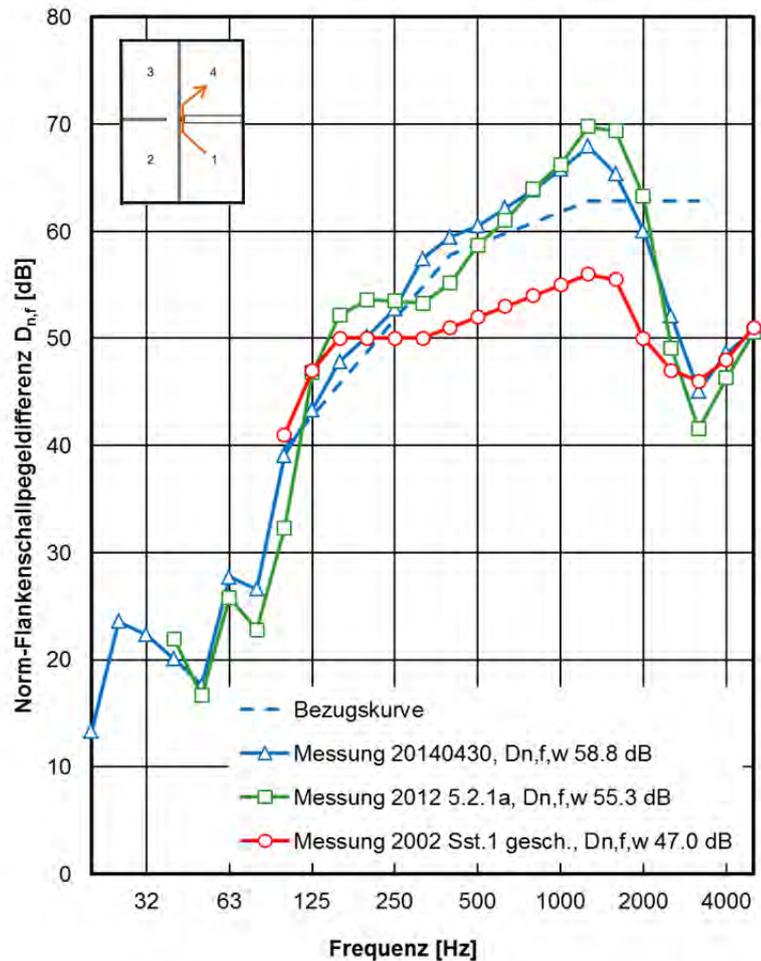


Bild 8:

Messergebnis von  $D_{n,f,1 \rightarrow 4}$  (Index für Raum 1 als Senderraum und Raum 4 als Empfangsraum) gegenübergestellt mit früheren Messergebnissen an gleicher flankierender Wand mit unterschiedlicher Stoßausbildung.

Der Vergleich zu früheren Messungen zeigt für die neue Messung eine recht gute Übereinstimmung mit der Messkurve von 2012. Hierzu ist anzumerken, dass die Messungen in demselben Prüfstand stattfanden, der komplette Wandaufbau einschließlich hochschalldämmender Trennwand jedoch neu aufgebaut wurde. Die Ausführung des Stoßes zwischen flankierender Wand und Trennwand war ähnlich, aber nicht identisch. Der Unterschied bestand darin, dass die Trennwand innerhalb der hochschalldämmenden Trennwand 2012 nur eine Breite von 300 mm besaß („Trennwandstummel“), und das Profil des Stummels an die flankierende Wand, mit Trennwand-Kit rundum abgedichtet, an die flankierende Wand angeschraubt war. In der hier beschriebenen Untersuchung war die Trennwand komplett innerhalb der hochschalldämmenden Trennwand eingebaut, der Anschluss erfolgte durch den sogenannten „Knauf-Wandanschluss“ (Kapitel 4.3.3).

Der Unterschied im Einzahlwert von 3,5 dB ist zum einen auf den etwas durchhängenden Verlauf der Messkurve aus 2012 zwischen 315 und 500 Hz und den etwas tieferen Einbruch bei der Koinzidenzfrequenz bei 3150 Hz zurückzuführen. Der Unterschied liegt im Bereich der kritischen Differenz von 3,4 dB (siehe Abschnitt 3.8) der Messwerte. Daher können beide Einzahlwerte noch als gleichwertig (im Sinne der Statistik) angesehen werden.

Der Vergleich der neuen Messwerte zur Messung 2002 zeigt dagegen bei den neueren Messungen deutlich höher Werte. Bei der Messung 2002 wurde die hochschalldämmende Trennwand nicht mit der flankierenden Wand verbunden, sondern elastisch angeschlossen. Dabei wurde darauf geachtet, dass der Anschluss abgedichtet, aber ohne starre Befestigung erfolgte. Es ist an den Ergebnissen zu erkennen, dass damit die Norm-Flankenpegeldifferenz deutlich geringer ausfällt. Die bei durchlaufender Innenschale schallübertragende Innenschale hat im Bereich des Trennwandanschlusses keine starre Stoßstelle, so dass die Dämmung ab ca. 250 Hz deutlich geringer ausfällt. Interessant ist, dass die Norm-Flankenpegeldifferenz bei der Koinzidenz-Grenzfrequenz bei 3150 Hz nicht niedriger ausfällt als bei den neueren Messungen. Der Einzahlwert liegt dagegen mit 47 dB um 8,3 bzw. 11,8 dB niedriger als bei den neueren Messungen.

## 5.2.2 Flansche mit Bleiverkleidung

Die Wandbereiche der hochschalldämmenden Trennwand, bei denen die Vorsatzschalen zum Stoß hin abgeschrägt werden, sind hier als Flansche bezeichnet. Diese waren in der ersten Wandkonstruktion mit doppelartigem Knauf „Silentboard“ ausgeführt. Um hier die Luftschalldämmung ausreichend hoch zu gestalten, vor allem auch im Hinblick auf Stoßausführungen mit höherer Flankendämmung, wurden beidseitig zusätzlich Gipskartonplatten mit Bleika-schierung (Blei-GK) aufgebracht. Die Messung von  $D_{n,f,1 \rightarrow 4}$  ist in Bild 9 dargestellt.

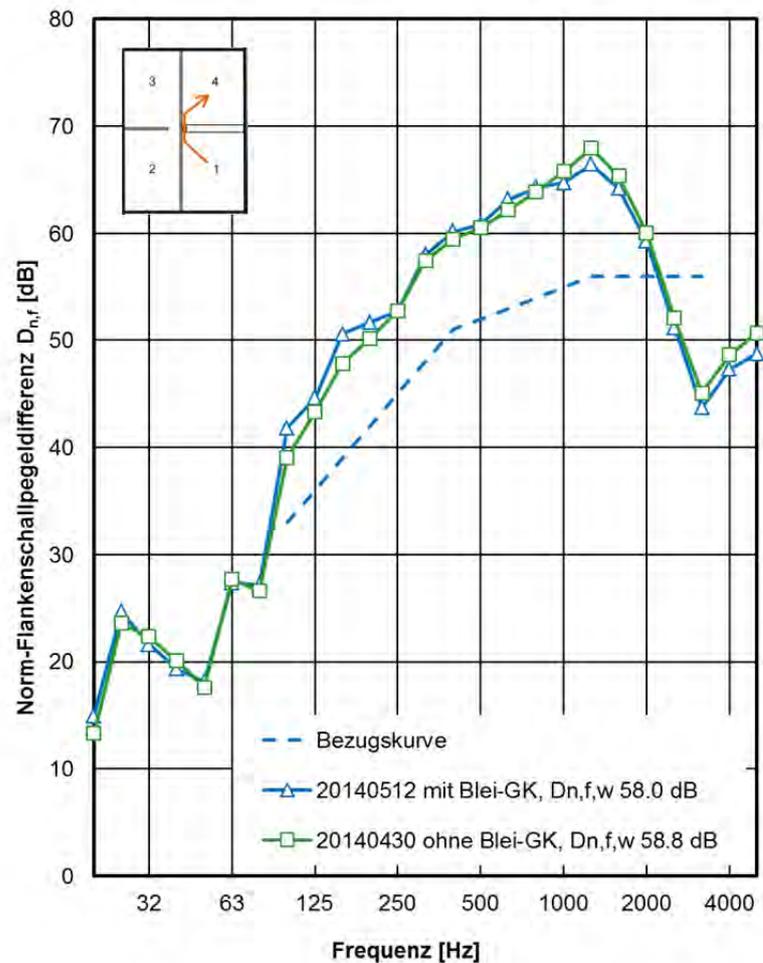


Bild 9:  
Messergebnis  $D_{n,f,1 \rightarrow 4}$  für hochschalldämmende Wand mit bleikaschierten Gipskartonplatten im Sende- und Empfangsraum, im Vergleich zur Messung ohne bleikaschierte Gipskartonplatten.

Die Messung zeigt sehr ähnliche Messkurven verglichen zum Fall ohne Flansche mit Blei-GK. Im Verlauf der Kurven gibt es wenige kleine Abweichungen, der ganzzahlige Einzahlwert ist gleich. Beide Kurven sind erwartungsgemäß vergleichbar, da die Direktdämmung der hochschalldämmenden Trennwand ausreichend hoch ist. Für alle weiteren Messungen wurde die Verkleidung der Flansche mit Blei-GK beibehalten.

### 5.2.3 Wand zwischen Raum 2 und 3 geschlossen, T und X-Stoß

#### Norm-Flankenschallpegeldifferenz $D_{n,f,1 \rightarrow 4}$

Für weitere Messungen wurde die Wand zwischen Raum 2 und 3 (Trennwand 2/3) geschlossen. Dies ermöglicht, weitere Messungen im Prüfstand wie die





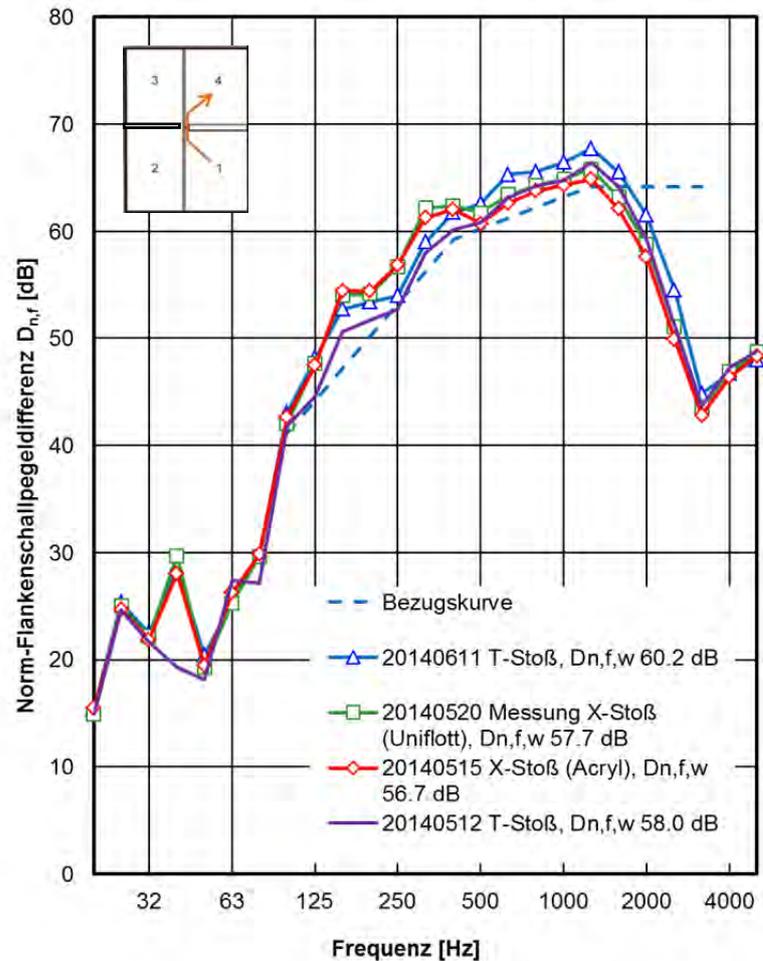


Bild 12:  
Messergebnis  $D_{n,f,1 \rightarrow 4}$  Vergleich der Stoßausführung T-Stoß und X-Stoß.

Der Verlauf der Messkurven aller Messungen in Bild 12 ist erwartungsgemäß ziemlich ähnlich. Gewisse Unterschiede zeigen sich für die Ausführungen T-Stoß im Vergleich zum X-Stoß. Im Frequenzbereich zwischen 160 und 400 Hz scheint die X-Stoß Ausführung etwas höhere Pegeldifferenzen zu haben als die T-Stoß Ausführung, die wiederum ab 500 Hz aufwärts etwas höhere Werte besitzt. Da diese höheren Werte auch im Bereich des Einbruchs vor und bei der Koinzidenz auftreten, besitzen beide Messungen etwas höhere Einzahlwerte. Insgesamt bestätigen die Messungen, dass die Einflüsse des Stoßes auf der Außenschale gering sind, denn bei durchlaufender Innenschale erfolgt die wesentliche Schallübertragung über diese Innenschale. Die vorgenommenen Änderungen betreffen konstruktiv die Außenschale.

## Schalldämmung $R'_{2 \rightarrow 3}$

Für die Schalldämmung zwischen Raum 2 und 3, bei der sowohl die Direktdämmung der Trennwand als auch die Flankenübertragung über die flankierenden Wand, und hier im Besonderen über die Außenschale stattfindet, zeigt sich sehr deutlich ein Unterschied zwischen T- und X-Stoß (Anbindung der Trennwand). Diese Messergebnisse sind in Bild 13 dargestellt.

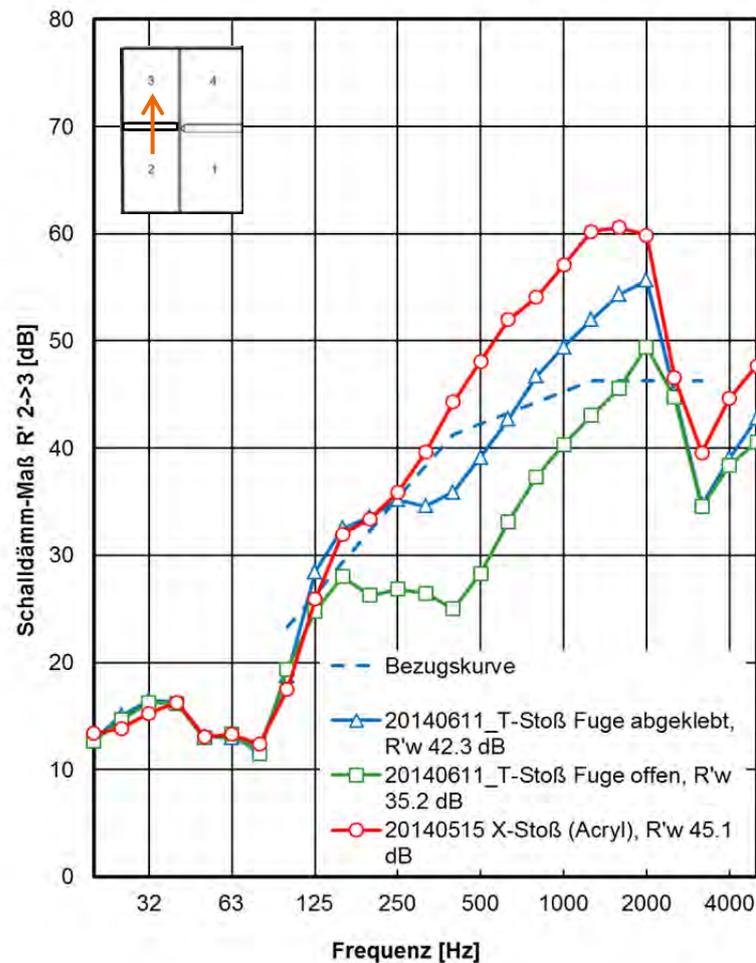


Bild 13:  
Messergebnis  $R'_{2 \rightarrow 3}$  Vergleich der Stoßausführung T-Stoß und X-Stoß.

In Bild 13 sind die Ergebnisse der Schalldämmung zwischen Raum 2 und 3 dargestellt. Dabei ist für die T-Stoß Ausführung zusätzlich die Ergebnisse gezeigt, als die ca. 5 mm dicke Fuge nicht abgeklebt war. Bei dieser Messung sehen wir deutlich geringere Messwerte zwischen 160 und 2000 Hz. Im Bereich der Koinzidenz sind die Messwerte mit abgeklebter und ohne abgeklebter Fuge gleich. Für den X-Stoß (in diesem Fall mit Acryl verspachtelt) ist die Schalldämmung oberhalb 315 Hz deutlich höher als beim T-Stoß. Hier spielt die Ankopplung der Trennwand, die für die durchlaufende (Außenschale) wichtig ist, eine entscheidende Rolle für die Schalldämmung.

Im Vorhaben wurde die Fugenausführung des X-Stoßes verändert. Der Einfluss des Fugenmaterials auf die Schalldämmung  $R'_{2 \rightarrow 3}$  ist in Bild 14 dargestellt.

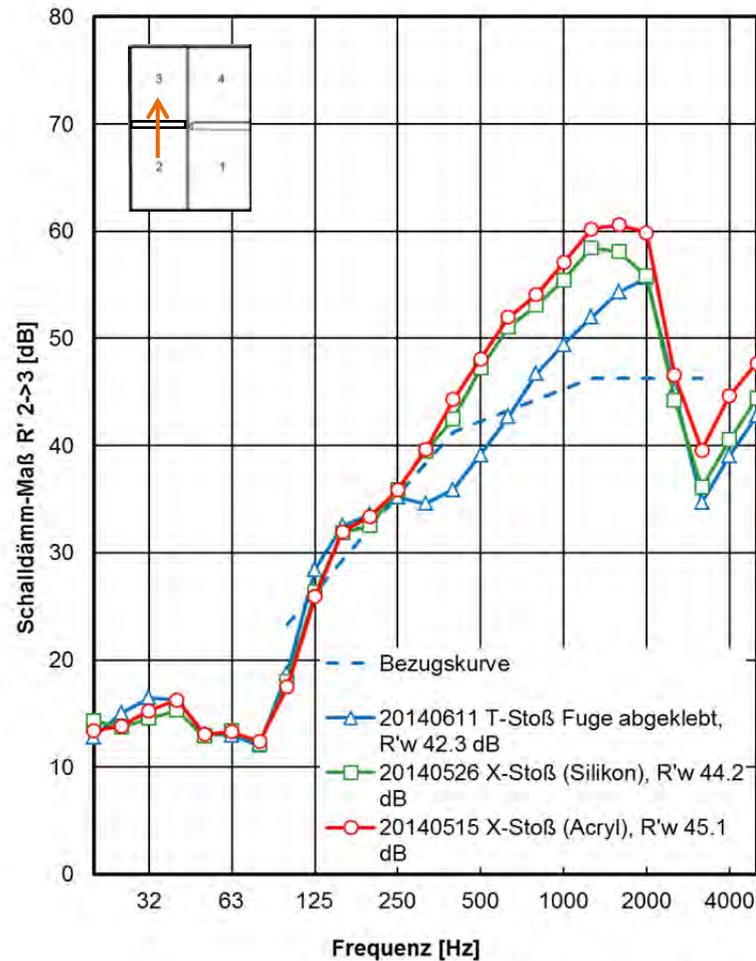


Bild 14:  
Messergebnis  $R'_{2 \rightarrow 3}$  Vergleich der Stoßausführung T-Stoß und X-Stoß mit verschiedenem Fugenmaterial.

Der Vergleich der beiden Ausführungen der Stoßanbindung des X-Stoßes zeigt für die Schallübertragung zwischen Raum 2 und 3 (Weg 2->3) einen nicht unerheblichen Einfluss. Die Fugenausführung mit Silikon (ca. 1 Tag getrocknet) zeigt ab 400 Hz aufwärts etwas geringere Werte als mit der deutlich härteren Ausführung mit Acryl. Für die Ausführung mit Uniflott wurde diese Übertragungssituation leider nicht gemessen. Hinweise zum Einfluss von Uniflott können aber aus der Messung der Diagonal-Flankenschallpegeldifferenz ermittelt werden. Auch im Bereich der Koinzidenz liegen die Messwerte mit Silikon deutlich unter denen mit Acryl und nur etwas höher als beim T-Stoß.

## Schalldämmung R

Die Direktdämmung der flankierenden Wand wurde im Prüfstand mehrfach gemessen, und konnte zwischen Raum 1 und 2, aber auch zwischen Raum 4 und Raum 3 gemessen werden. Der Vergleich der direkten Schalldämmung der flankierenden Wand mit der Direktdämmung zwischen Raum 2 und 3, mit Ausführung X-Stoß (Acryl), ist in Bild 15 dargestellt.

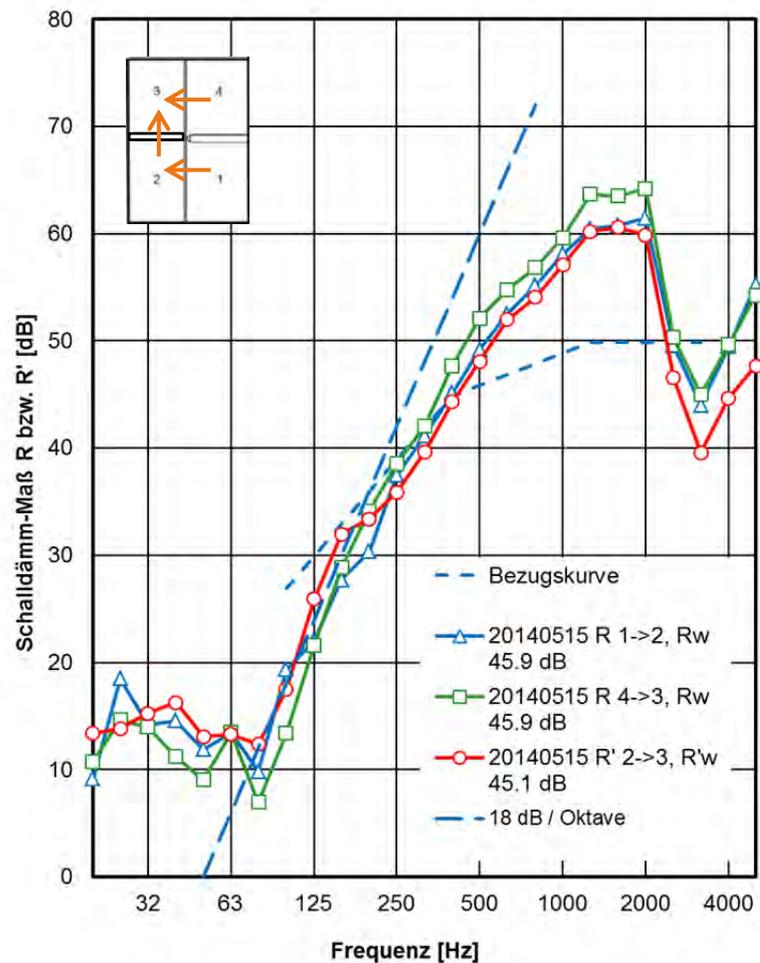


Bild 15:

Messergebnis  $R_{1 \rightarrow 2}$ ,  $R_{3 \rightarrow 4}$  und  $R'_{2 \rightarrow 3}$  für die Stoßausführung X-Stoß mit Acryl verspachtelt.

Der Vergleich der Schalldämmung der flankierenden Wand mit der Schalldämmung der Trennwand von Raum 2 und 3 (inklusive Flankenübertragung des X-Stoßes) zeigt einen sehr ähnlichen Verlauf und sehr ähnliche Einzahlwerte. Im tiefen Frequenzbereich liegt die Schalldämmung zwischen 10 und 20 dB, mit Schwankungen, die durch die Schwingungsmoden der Wände, die in diesem Frequenzbereich unterhalb der Doppelschalen-Resonanzfrequenz der beiden Wandschalen überwiegend gleichphasig schwingen (Vergleiche Abschnitt 3.5.5). Bei der Doppelschalen-Resonanzfrequenz ist die Schalldämmung am ge-

ringsten (bei 80 Hz). Oberhalb der Resonanzfrequenz steigt die Schalldämmung mit einem Anstieg von ca. 18 dB / Oktave stark an. Dieser Anstieg von 18 dB / Oktave entspricht dem theoretischen Anstieg der Schalldämmung eines Masse / Feder / Masse- Systems und ist in Bild 15 durch die Linie mit langen Strichen dargestellt.

Ab ca. 200 Hz flacht der Anstieg ab und erreicht zwischen 1250 und 2000 Hz die maximale Schalldämmung von rund 60 bzw. ca. 63 dB. Darüber kommt es zum Einbruch der Dämmung, der durch die Koinzidenz-Grenze bei 3150 Hz hervorgerufen wird (siehe Abschnitt 3.5.2). Darüber steigt die Schalldämmung wieder an.

Eine genauere Betrachtung der Frequenzverläufe zeigt kleinere Unterschiede der Messungen an derselben flankierenden Wand in den verschiedenen Räumen. Dabei ergibt die Messung der Schalldämmung zwischen Raum 4 und 3 höhere Werte zwischen 400 und 2000 Hz von bis zu ca. 3 dB. Diese Unterschiede liegen deutlich über den frequenzabhängigen Standardunsicherheiten für diese Frequenzen für Luftschalldämmung aus der DIN EN ISO 12999-1:2014 Tabelle 2 Situation C [18]. (Situation C gilt für Wiederholstandardabweichung im selben Labor). Dagegen liegen die Werte im Bereich von  $\sigma_{R95}$  für Situation A (Vergleichsstandardabweichung für verschiedene Labore).  $\sigma_{R95}$  stellt den „Mittelwert der Obergrenzen des Bereichs für die Vergleich-Standardabweichungen mit einer Überdeckungswahrscheinlichkeit von 95 % dar“. Erklären lässt sich diese höhere Abweichung der Messwerte durch die etwas anderen Randbedingungen, die in der Laborsituation zwischen Raum 1 und 2 und zwischen Raum 4 und 3 herrschen. Beide Übertragungssituationen können daher als unterschiedliche Labore betrachtet werden. Damit werden gewisse Unterschiede in der Raumsituation und auch im Aufbau der Wände (z.B. Position der Ständer) mit in der Vergleichsstandardabweichung für verschiedene Labore berücksichtigt.

Weiterhin fällt auf, dass die Schalldämmung  $R'_{2 \rightarrow 3}$  im Bereich der Koinzidenz-Grenzfrequenz zwischen 2500 bis 4000 Hz deutlich unter der Direktdämmung  $R_{1 \rightarrow 2}$  und  $R_{3 \rightarrow 4}$  liegt. Nur in diesem Frequenzbereich liegt die Flankendämmung der flankierenden Wand (Außenschale) auf ähnlichem Niveau mit der Direktdämmung (bei allen Frequenzen unterhalb 1600 Hz ist sie deutlich höher). Dies ist in Bild 16 dargestellt.

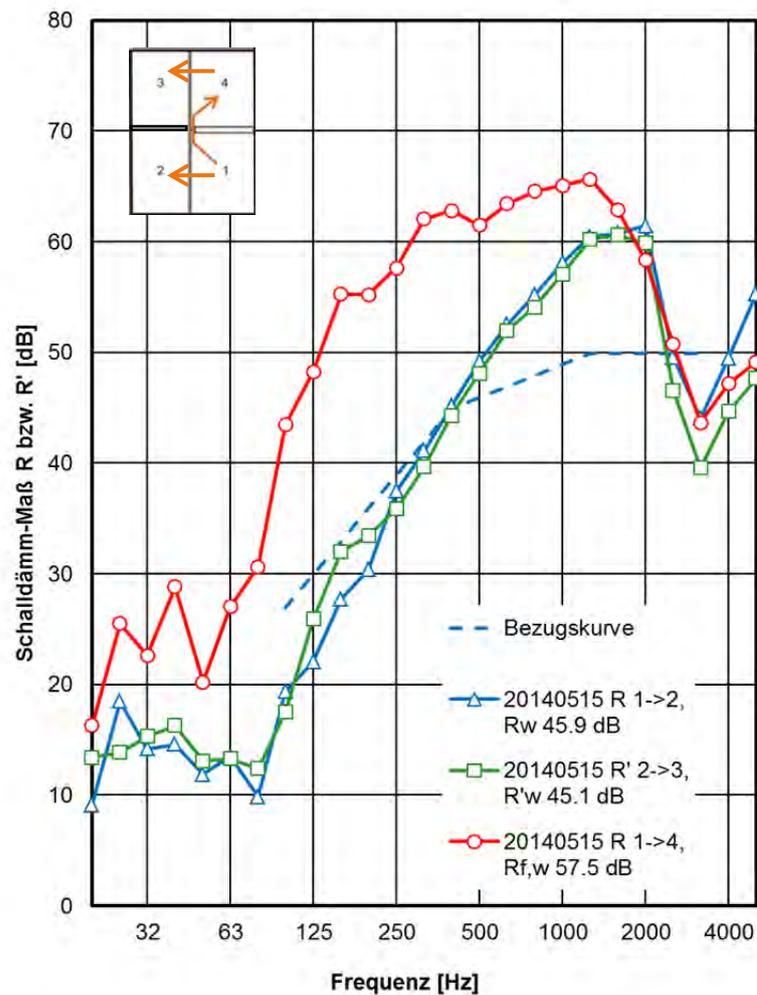


Bild 16:

Messergebnis  $R_{1 \rightarrow 2}$  und  $R'_{2 \rightarrow 3}$  für die Stoßausführung X-Stoß mit Acryl ver-spachtelt, gegenübergestellt mit dem Flanken-Schalldämmmaß  $R_{f,1 \rightarrow 4}$ .

Daher ergibt sich im Koinzidenzbereich eine Schalldämmung  $R'_{2 \rightarrow 3}$ , die ca. 3 dB unter der Dämmung  $R_{1 \rightarrow 2}$  und  $R_{3 \rightarrow 4}$  liegt. Für die Einzelwertbildung wird dieser Unterschied durch die etwas höhere Schalldämmung für  $R'_{2 \rightarrow 3}$  von 100 bis 200 Hz zum Teil ausgeglichen.

### Schalldämmung $R_{1 \rightarrow 2}$

Die Schalldämmung der flankierenden Wand  $R_{1 \rightarrow 2}$  wurde im Forschungsvorhaben öfter gemessen. Einige Messergebnisse sind in Bild 17 dargestellt.

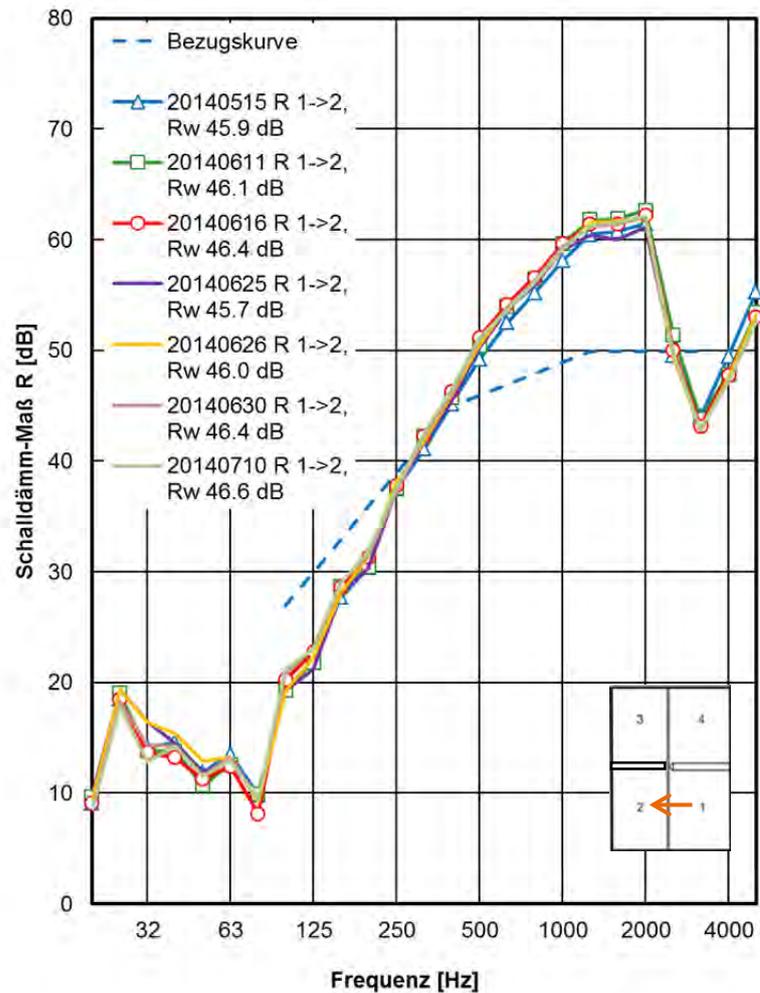


Bild 17:  
Messergebnis  $R_{1 \rightarrow 2}$  für verschiedenen Detailausführungen des Stoßes der Einfachständerwand mit durchlaufender Innenschale.

Die Messergebnisse in Bild 17 zeigen eine sehr gute Wiederholbarkeit. Auch die Einzahlwerte liegen sehr ähnlich und haben über alle Messungen einen Mittelwerte von 46,3 dB sowie eine Standardabweichung von 0,41 dB. Damit liegen die Werte im Rahmen der in DIN EN ISO 12999 für Situation C angegebenen frequenzabhängigen Werte von Tabelle 2 und für die Einzahlwerte von Tabelle 3.

### Diagonal-Flankenschallpegeldifferenz $D_{n,f,1 \rightarrow 3}$ und $D_{n,f,2 \rightarrow 4}$

Die Flankenschallpegeldifferenz  $D_{n,f}$  kann neben der Messung von Raum 1 nach 4 (Weg 1->4) auch von Raum 1 nach 3 (Weg 1->3) und von Raum 2 nach 4 (Weg 2->4) gemessen werden. Geht man davon aus, dass dabei die flankierende Wand das für die Schallabstrahlung bestimmende Bauteil darstellt (Abstrah-

lung des Trennbauteils deutlich geringer), dann kann der Vergleich der Wege Aufschluss über die Schallübertragung der flankierenden Wand geben. Beispielhaft ist dies für die Wandsituation mit X-Stoß (mit Acryl verspachtelt) in Bild 18 gezeigt.

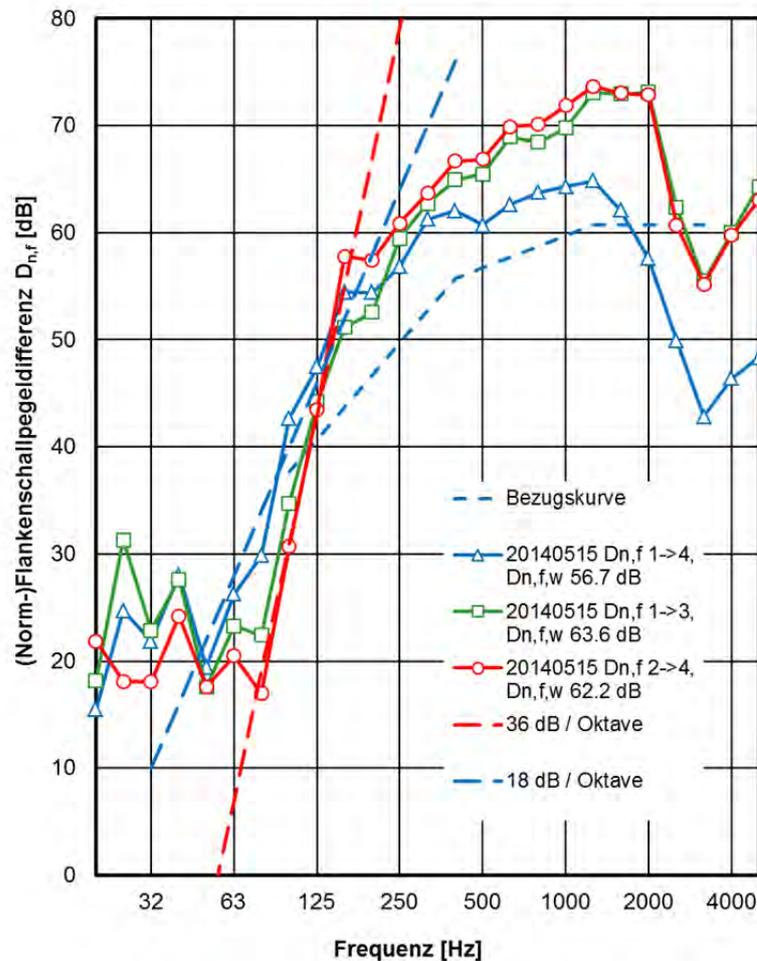


Bild 18:

Messergebnisse der Flankenschallpegeldifferenz  $D_{n,f,1 \rightarrow 4}$  sowie der Diagonal-Flankenschallpegeldifferenz  $D_{n,f,1 \rightarrow 3}$  und  $D_{n,f,2 \rightarrow 4}$  für die Stoßausführung X-Stoß mit Acryl verspachtelt.

Im tiefen Frequenzbereich bis ca. 80 Hz liegt die Diagonal-Flankenschallpegeldifferenz auf demselben Niveau, mit Schwankungen, die auf etwas unterschiedliche Moden der Bauteile und der Räume zurückzuführen sind. Die Flankenschallpegeldifferenz liegt bei 20 bis 30 dB, und damit höher als die Schalldämmung der flankierenden Wand. Ab 50 Hz beginnt die Flanken-Schallpegeldifferenz der flankierenden Wand (Weg 1->4) anzusteigen und ist damit höher als für die diagonalen Wege. Hier zeigt sich, dass auf diesem Weg die Resonanzfrequenz der Wand keinen wichtigen Einfluss hat. Der Anstieg erfolgt mit ca. 18 dB / Oktave (dargestellt in Bild 18), dieser wird der Wirkung der Stoßstelle zugeschrieben. Für die diagonale Übertragung erscheint dieser Anstieg bis

zur Resonanzfrequenz bei 80 Hz in den Messkurven nicht, denn er wird durch den Einfluss der Resonanz kompensiert. Oberhalb der Resonanz allerdings addieren sich der Anstieg der Schalldämmung des zweischaligen Systems (theoretisch 18 dB / Oktave) und der Anstieg durch die Stoßstelle zu einem Anstieg von ca. 36 dB / Oktave. Dieser Anstieg ist ebenfalls in Bild 18 eingezeichnet. Oberhalb von 160 Hz bis 1250 Hz, wie auch bei der Schalldämmung, verringert sich der Anstieg für die beiden diagonalen Übertragungen. Dabei erreicht der Anstieg ca. 6 dB / Oktave und liegt dabei niedriger als der Anstieg der Direktdämmung der flankierenden Wand von ca. 9 dB / Oktave, siehe Bild 15 bis Bild 17. Der Anstieg durch den Stoß, den die Flankendämmung auf dem Weg 1->4 in diesem Frequenzbereich besitzt, liegt bei ca. 3 dB / Oktave. Oberhalb von ca. 160 Hz wirkt die zusätzliche Dämmung durch den X-Stoß nicht mehr bei der Diagonal-Flankenpegeldifferenz. Hier kommen andere Übertragungswege mit ins Spiel, die den Anstieg stärker begrenzen.

Ab 1250 Hz aufwärts kommt es für den Weg 1->4 zum Einfluss der Koinzidenz. Dasselbe geschieht ab 2000 Hz für die diagonalen Wege 1->3 und 2->4, so dass ein Einbruch mit geringstem Wert bei der Koinzidenz-Grenzfrequenz (3150 Hz) deutlich wird. Der Verlauf des Einbruchs ist hierbei sehr ähnlich, allerdings besteht ein Unterschied der Flankenschallpegeldifferenz in diesem Frequenzbereich von ca. 13 dB, d.h. die absoluten Werte der Schalldämmung liegen für die diagonale Übertragung um ca. 13 dB höher als für die Übertragung entlang der Flanke (Weg 1->4).

Anmerkung: Die Werte auf dem Weg 1-4 sind stark von der Ausführung der Anbindung der Trennwand (hier der hochschalldämmenden Trennwand) an die durchlaufende flankierende Wand abhängig und können nicht ohne weiteres auf andere Anbindungsweisen übertragen werden. In diesem Fall entsprach die Anbindung der Knauf-Stoßstelle, beschrieben in Kapitel 4.3.3.

Der Vergleich der Stoßanbindung der Trennwand zwischen Raum 2 und 3 (T- oder X-Stoß) hatte auf die Schallübertragung auf dem Weg 1 -> 4 keinen Einfluss (Vergleiche Bild 12). Für die Schallübertragung zwischen Raum 2 und 3 hatte die Stoßanbindung dagegen einen erheblichen Einfluss, siehe Bild 13. Daher interessiert auch der Vergleich der Diagonal-Flankenpegeldifferenz für diese beiden Ausführungsweisen des Stoßes. Die Messergebnisse sind in Bild 19 dargestellt.

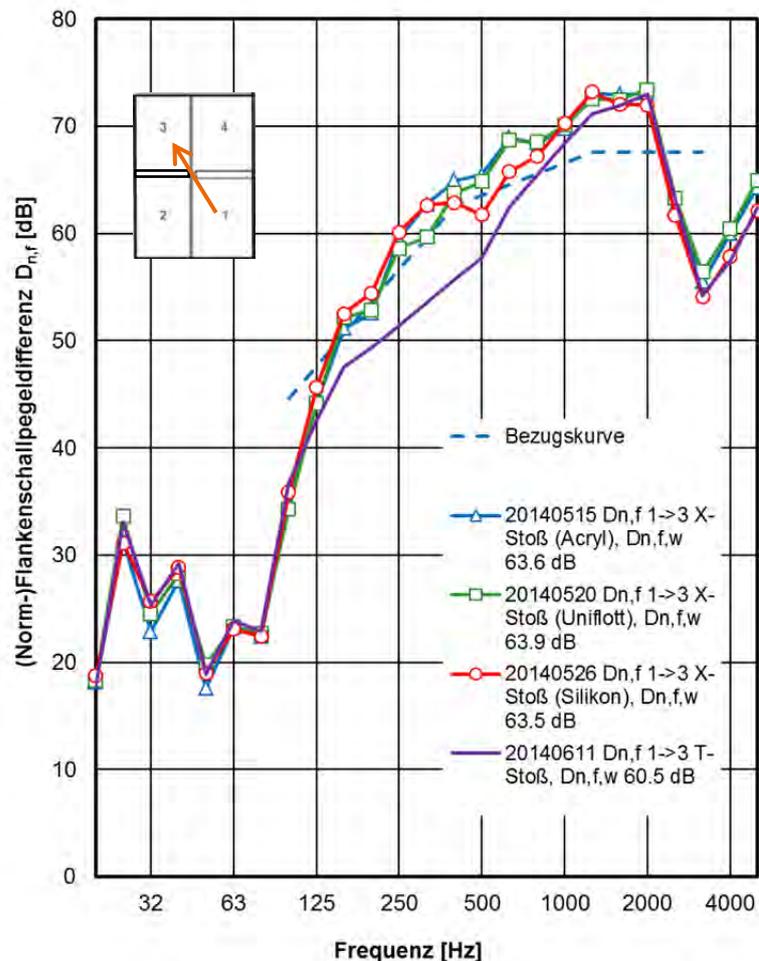


Bild 19:  
Messergebnisse der Diagonal-Flankenschallpegeldifferenz  $D_{n,f,1 \rightarrow 3}$  für die Stoßausführung, T-Stoß und X-Stoß mit Acryl verspachtelt.

Für die diagonale Übertragung auf dem Weg 1->3 hat die Stoßausführung, ob X-Stoß oder T-Stoß, einen Einfluss im Frequenzbereich von 160 bis ca. 1600 Hz. In diesem Bereich sind die Messwerte für den T-Stoß zum Teil deutlich niedriger als für den X-Stoß. Im Einzahlwert liegt der Unterschied zwischen T- und X-Stoß bei ca. 3 dB. Wesentliche Unterschiede der Messwerte für die verschiedene Ausführung der Verspachtelung des Stoßes der Gipskartonplatten sind dagegen aus den Messungen nicht zu erkennen. Die Unterschiede liegen im Bereich der kritischen Differenz für Wiederholungsmessungen.

### 5.3 Einfachständerwand, Innenschale unterbrochen

Für eine weitere Variante wurde dieselbe flankierende Wand eingesetzt. Auch die Trennwände waren unverändert. Allerdings wurde im Stoßbereich eine wesentliche Änderung vorgenommen: die Innenschale, d.h. die Wandseite der





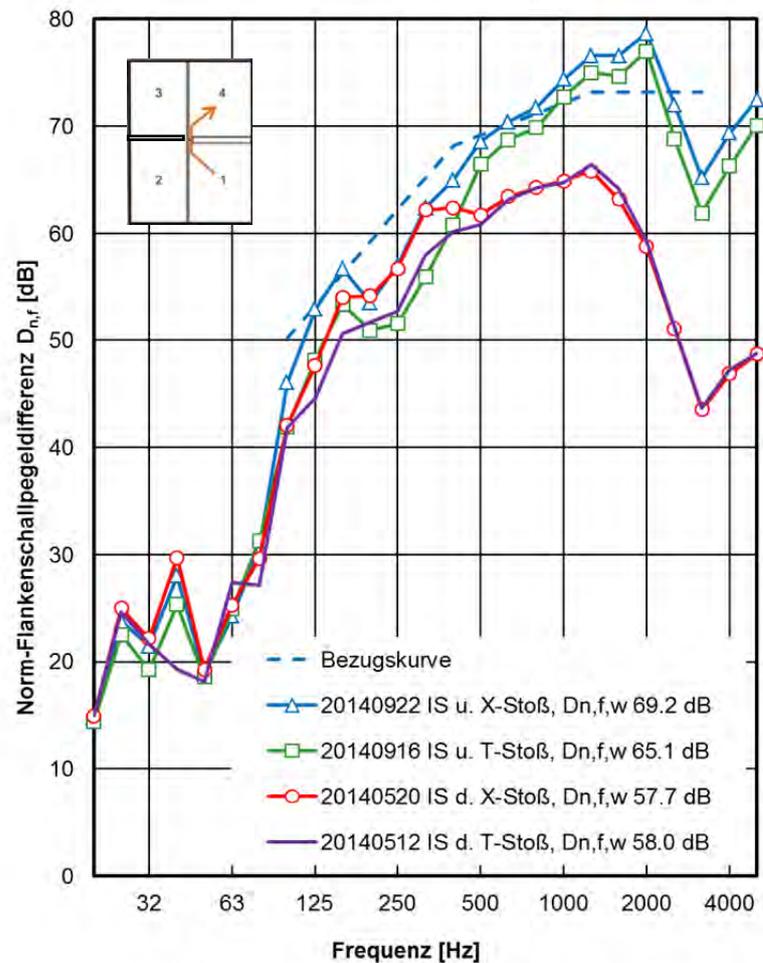


Bild 22:  
Messergebnis  $D_{n,f,1 \rightarrow 4}$  Vergleich unterbrochene „IS u.“ und durchlaufende Innenschale „IS d“, T-Stoß oder X-Stoß.

Der Vergleich der Messergebnisse in Bild 22 zeigt, dass das vollständige Unterbrechen der Innenschale oberhalb ca. 400 Hz zu einer deutlich höheren Norm-Flankenschallpegeldifferenz führt als bei durchlaufender Innenschale. Bis ca. 400 Hz ist der Verlauf dagegen relativ ähnlich, wobei hier zu erkennen ist, dass die X-Stoß-Ausführung ab ca. 125 Hz etwas höhere Werte erreicht. Damit scheint die Schallübertragung bis 400 Hz (Biegewellenlänge der GK-Platte ca. 30 cm) nicht der Innenschale allein zuzuschreiben zu sein, sondern über den gesamten Stoß übertragen zu werden. Erst ab 400 Hz steigt die Flankenschallpegeldifferenz für die unterbrochene Innenschale weiter deutlich an (grob gemittelt zwischen 400 und 2000 Hz ca. 6 dB / Oktave), dagegen steigt die Flankenschallpegeldifferenz für die durchlaufende Innenschale weniger steil an (ca. 3 dB / Oktave von 400 bis 1250 Hz). Da der Anstieg bei durchlaufender Innenschale in diesem Frequenzbereich deutlich geringer ist, scheint auch das Einsetzen des Einbruchs durch die Koinzidenz bei etwas tieferen Frequenzen zu beginnen. Die höchste Schalldämmung wird bei 1250 Hz erreicht, bei der unterbrochenen Innenschale liegt dieser Wert bei 2000 Hz. Der Einbruch bei der

Koinzidenz-Grenzfrequenz bei 3150 Hz verläuft bei beiden Arten des Stoßes recht ähnlich, allerdings mit einer Wertedifferenz von ca. 18 dB. Oberhalb des Koinzidenzeinbruchs steigen die Werte der unterbrochenen Innenschale wiederum deutlich stärker an als für die durchlaufende Innenschale. Für den Einzahlwert bedeutet das, dass bei der unterbrochenen Innenschale beim T-Stoß die bewertete Flankenschallpegeldifferenz um 7,1 dB und für den X-Stoß um 11,5 dB höher liegt. Für die beste dieser Varianten (X-Stoß, unterbrochene Innenschale) wird ein  $D_{n,f,w,1 \rightarrow 4}$  von 69,2 dB erreicht.

Werden die Messwerte mit den früheren Messungen der PTB-Untersuchung [2] verglichen, ergibt sich Bild 23.

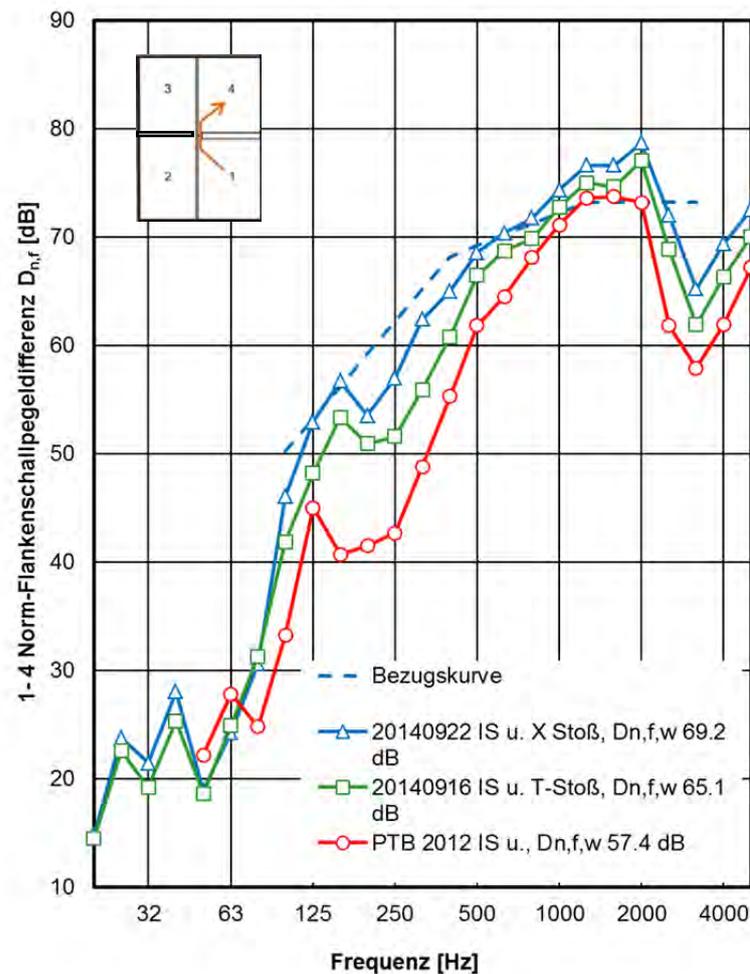


Bild 23: Messergebnis  $D_{n,f,1 \rightarrow 4}$  unterbrochene Innenschale „IS u.“ mit T-Stoß oder X-Stoß und Messergebnisse aus der PTB-Untersuchung.

Bei den Messwerten der PTB in Bild 23 gilt anzumerken, dass die Konstruktion im Stoßbereich unterschiedlich ausgeführt war. Eine Skizze der Konstruktion ist in Bild 24 dargestellt. Im Aufbau der PTB ist ersichtlich, dass es sich um einen T-Stoß handelt.

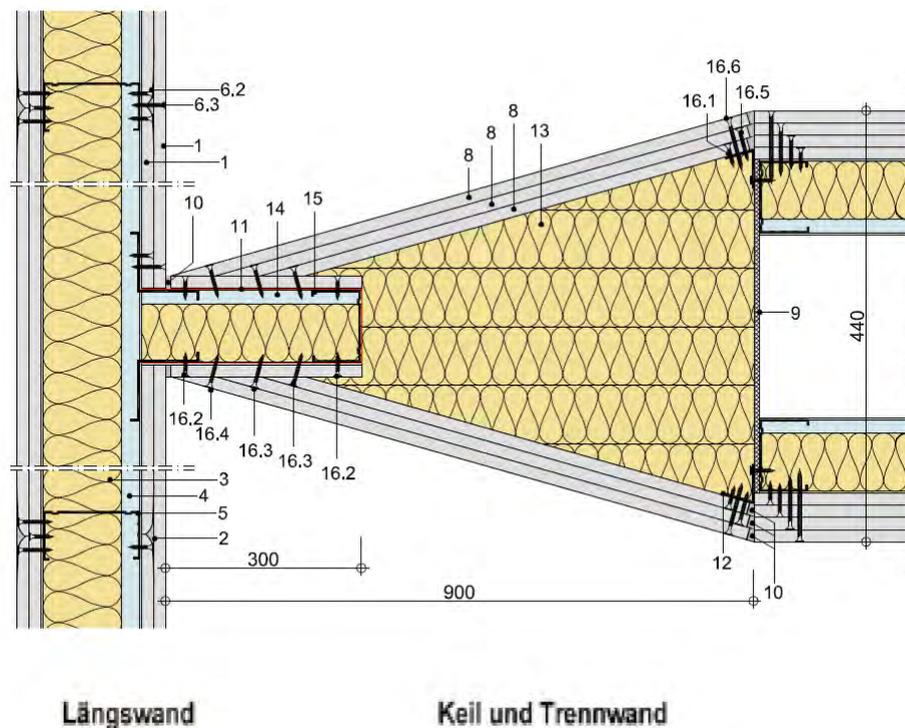


Bild 24:  
Ausführung des Stoßbereichs bei der PTB-Untersuchung. Prinzipskizze: Darstellung der flankierenden Wand zweilagig beplankt, bei den Ergebnissen in Bild 23 war die Wand einlagig beplankt.

Der Vergleich der Messergebnisse mit der PTB-Untersuchung zeigt prinzipiell ähnliche Verläufe. Auffallend ist, dass zum einen im Bereich zwischen 160 und 250 Hz bei der PTB-Messung ein ausgeprägter Einbruch der Kurve auftritt, der auf eine Resonanz im Stoßbereich deutet. Es wird vermutet, dass diese Resonanz durch den Wandstummel der Trennwand hervorgerufen wird. Bei den neuen Messungen war die Wand innerhalb der hochschalldämmenden Trennwand komplett ausgeführt. Insgesamt liegt die Messkurve der PTB-Untersuchung etwas unterhalb der neuen Messkurve. Hier wird vermutet, dass die Ursache für die etwas geringeren Werte darin begründet ist, dass die Wand bei der PTB-Untersuchung aus günstigen Produkten aus dem Baustoffgroßhandel aufgebaut und die Bauarbeiten nicht durch Knauf, sondern durch ein normales Handwerkerteam ausgeführt wurde. Für die aktuell durchgeführten Messungen wurden hingegen ausschließlich Markenprodukte von Knauf eingesetzt. Der Aufbau erfolgte durch sehr gut geschulte und gewissenhafte Mitarbeiter von Knauf und beim Umbau durch Handwerker des IBP.

### Schalldämmung $R'_{2 \rightarrow 3}$

Die Schalldämmung zwischen den Räumen 2 und 3 ist für die beiden Stoßausführungen X- und T- Stoß in Bild 25 dargestellt

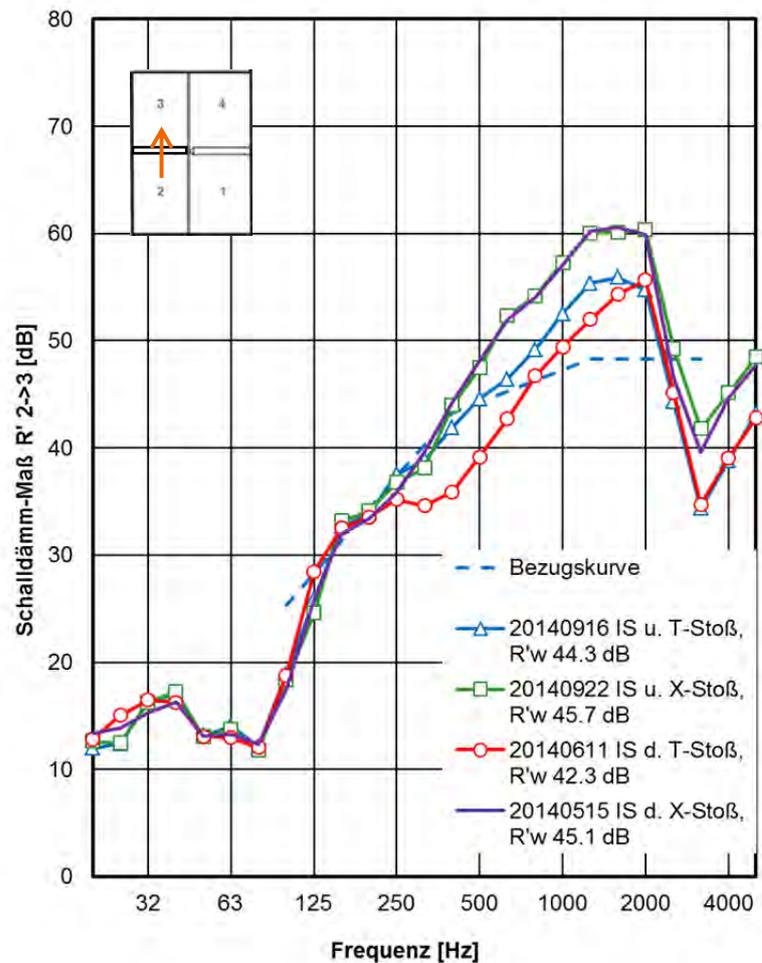


Bild 25:  
Messergebnis  $R'_{2 \rightarrow 3}$  Unterbrochene Innenschale „IS u.“ sowie durchlaufende Innenschale „IS d.“ für T-Stoß oder X-Stoß.

Bei dem Vergleich in Bild 25 ist zu erwarten, dass die Ergebnisse für T- und X-Stoß, ob mit oder ohne Unterbrechung der Innenschale, sehr ähnlich ausfallen. Der Grund dafür ist, dass bei durchlaufender Außenschale, wie es hier der Fall ist, die Schalllängsübertragung über diese Schale, oder die Schallübertragung direkt über das Trennbauteil geht. Bis auf die Ausführung des T- und des X-Stoßes ist dies unabhängig von der Ausführung der Innenschale. Die Ergebnisse bestätigen diese Annahme, allerdings scheint die Ausführung des T-Stoßes nicht ganz vergleichbar zu sein. Im Fall der unterbrochenen Innenschale ist die Dämmung durch den T-Stoß anscheinend etwas größer als im Fall der durchlaufenden Innenschale. Dagegen sind die Messwerte für den X-Stoß sehr ähnlich, mit nur sehr geringen Abweichungen im Bereich des Koinzidenzeinbruchs, was zu geringfügig unterschiedlichem bewerteten Schalldämm-Maß führt ( $\Delta R'_{w} = 0,6 \text{ dB}$ ).

## Diagonal-Flankenschallpegeldifferenz $D_{n,f,1 \rightarrow 3}$ und $D_{n,f,1 \rightarrow 4}$

Die Diagonal-Flankenschallpegeldifferenz zwischen Raum 1 und Raum 3 kann weitere Hinweise auf die Schallübertragung über den Stoß geben. Der Vergleich der Messergebnisse von „Innenschale unterbrochen“ mit „Innenschale durchlaufend“ für die beiden Stoßarten T- und X-Stoß ist in Bild 26 dargestellt. Weiterhin ist auch die Norm-Flankenschallpegeldifferenz  $D_{n,f,1 \rightarrow 4}$  gezeigt.

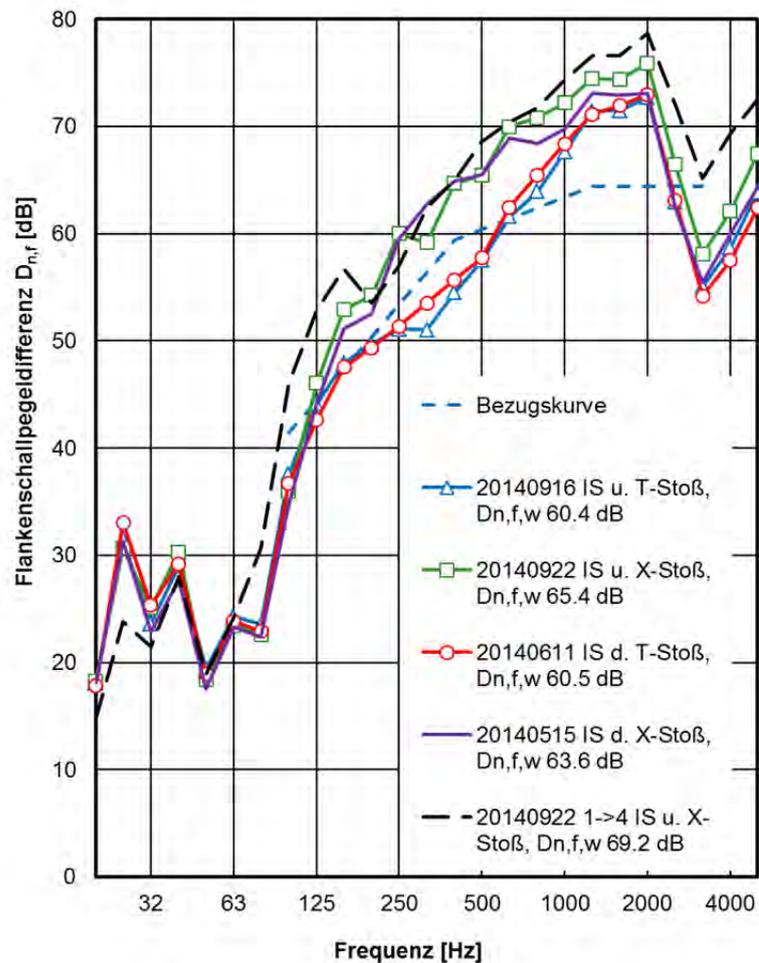


Bild 26:

Messergebnis  $D_{n,f,1 \rightarrow 3}$  Unterbrochene Innenschale „IS u.“ sowie durchlaufende Innenschale „IS d.“ für T-Stoß oder X-Stoß. Zusätzlich  $D_{n,f,1 \rightarrow 4}$  für die Übertragung zwischen Raum 1 und Raum 4.

Der Vergleich in Bild 26 zeigt, dass  $D_{n,f}$  für beide Situationen mit T-Stoß sehr ähnlich ausfällt, ebenso für beide Situationen mit X-Stoß. Dabei liegen die Messkurven für den X-Stoß zwischen 160 und 1000 Hz deutlich oberhalb der Messkurven für den T-Stoß. Im Detail liegen die Messwerte für den X-Stoß mit „Innenschale unterbrochen IS u.“ ab 630 Hz bis 5000 Hz systematisch etwas über den Werten „IS d. X-Stoß“. Vergleichend dazu ist auch noch die Norm-Flankenschallpegeldifferenz zwischen Raum 1 und Raum 4 bei unterbrochener Innen-

schale und X-Stoß („IS u. X-Stoß“) dargestellt. Diese liegt oberhalb 63 Hz durchgehend etwas über der größten Flankenschallpegeldifferenz  $D_{n,f,1 \rightarrow 3}$ .

Für die Schallübertragung von Raum 1 nach Raum 3 kann man feststellen: Im tiefen Frequenzbereich bis 63 Hz (unterhalb der Doppelschalen-Resonanz der Wandschalen) ist die Schallübertragung unabhängig von der unterbrochenen Innenschale. Von 63 bis 125 Hz, im ersten steilen Anstieg der Dämmung, ist die Flankenschallpegeldifferenz  $D_{n,f,1 \rightarrow 3}$  auch noch unabhängig von der Unterbrechung der Innenschale, jedoch etwas geringer als für  $D_{n,f,1 \rightarrow 4}$ . Ab 160 Hz aufwärts beginnt die Schallübertragung entlang der Innenschalen im Stoßbereich eine wichtige Rolle zu spielen. Allerdings kann bei durchgehender Innenschale die Übertragung zuerst über die Innenschale von Raum 1 nach Raum 4 verlaufen, und dann weiter über die Direktdämmung zwischen Raum 4 und Raum 3, oder sie verläuft zuerst über die Direktdämmung zwischen Raum 1 und 2, und dann über die Außenschale zwischen Raum 2 und 3. Da bei der Gesamt-Schallübertragung immer der Weg der entscheidende ist, auf dem die Schallpegeldifferenz (Schalldämmung) am niedrigsten ist, legen die Ergebnisse nahe, dass in beiden Fällen die Schalldämmung auf dem Weg 1->2->3 am geringsten ist (sonst wäre der Unterschied zwischen T- und X- Stoß für „IS durchlaufend“ nicht vorhanden). Dieser Schluss ist auch aus konstruktiver Sicht klar, da der Stoß der Trennwand zwischen Raum 1 und 4 bei durchlaufender Innenschale als X-Stoß ausgebildet ist und daher auf der Innenschale am Stoß eine Reduktion der Schwingung durch die Stoßstelle stattfindet. Bei den hohen Frequenzen ab 630 Hz aufwärts scheint es so zu sein, dass für die Situation „Innenschale durchlaufend X-Stoß“ ein weiterer gleichwertiger Übertragungsweg 1->4->3 zum Weg 1->2->3 hinzukommt, so dass hier die Flankenschallpegeldifferenz um ca. 3 dB niedriger liegt als für die Situation „Innenschale unterbrochen X-Stoß“, bei der lediglich der Weg 1->2->3 vorliegt. Interessant ist außerdem, dass in diesem Frequenzbereich die Norm-Flankenschallpegeldifferenz zwischen Raum 1 und 4, für „Innenschale unterbrochen X-Stoß“ deutlich höher liegt, hier scheint die Schallübertragung vor allem den Weg 1->2->3->4 zu nehmen. Grafisch sind diese Wege in Bild 27 dargestellt.



den, denn die Konstruktionen sind vergleichbar. Dagegen kann der Abstrahlgrad der hochschalldämmenden Trennwand etwas unterschiedlich sein, denn hier ist die Konstruktion unterschiedlich, und es wurden verschiedene Materialien bei der Beplankung der Wände eingesetzt. Ein Vergleich der Abstrahlmaße ist im folgenden Abschnitt beschrieben.

Die Schnellepegel der Einfachständerwand mit unterbrochener Innenschale und X-Stoß auf den Wandoberflächen in Raum 4 sind in Bild 28 dargestellt.

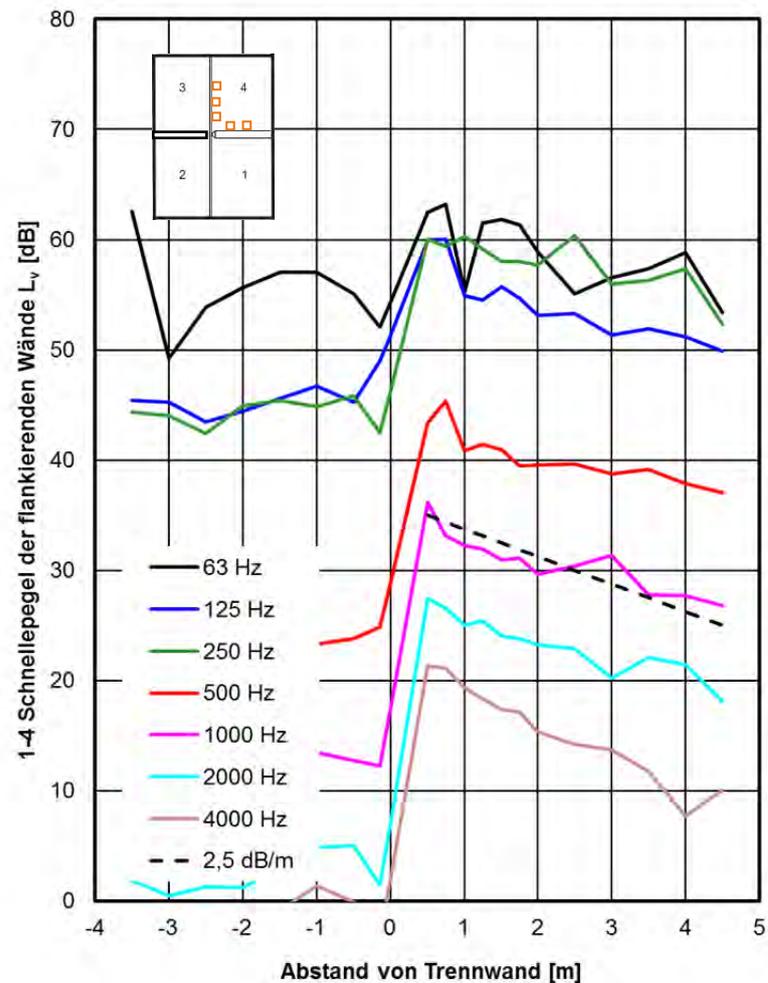


Bild 28:

Messergebnis der Schnellepegel  $L_v$  in Raum 4 bei unterbrochener Innenschale „IS u.“ für den X-Stoß. Messung auf der hochschalldämmenden Trennwand (Messwerte mit negativem Abstand zur Stoßstelle) und auf der flankierenden Wand (Messwerte mit positivem Abstand zur Stoßstelle). Die Messwerte in Terzen wurden zur Übersichtlichkeit energetisch summiert und in Oktaven dargestellt.

Die Ergebnisse in Bild 28 zeigen, dass die Schnellepegel auf der hochschalldämmenden Trennwand mit Ausnahme bei 63 Hz bei allen Oktaven deutlich

unterhalb der Schnellepegel auf der flankierenden Wand lagen. Dabei sind die Unterschiede zwischen Werten auf der HS-Trennwand und der flankierenden Wand lediglich bei 63 Hz nicht so groß, bei allen anderen Frequenzen liegen die Unterschiede bei mehr als 15 dB. Daher kann davon ausgegangen werden, dass die gemessenen Schalldruckpegel in Raum 4 von der flankierenden Wand abgestrahlt werden. Weiterhin fällt auf, dass die Pegel auf der HS-Trennwand nicht generell mit zunehmendem Abstand von der Stoßstelle abnehmen. Dies ist ein Hinweis darauf, dass die gemessenen Schnellepegel auf der HS-Trennwand durch die Übertragung über die Trennwand hervorgerufen werden, und es sich nicht um eine Anregung der HS-Trennwand im Stoßbereich handelt. Auf der flankierenden Wand ist ersichtlich, dass hier eine Ausbreitungsdämpfung von der Stoßstelle weg auftritt (siehe auch [5, 7]). Zu erkennen ist diese Ausbreitungsdämpfung durch die von der Stoßstelle mit zunehmender Entfernung abfallenden Schnellepegel. Dies zeigt sich für alle Frequenzen. Mit steigender Frequenz erscheint die Ausbreitungsdämpfung höher und besitzt bei 1000 Hz einen Abfall von ca. 2,5 dB/m. Eine lineare Regression mit dieser Steigung ist beispielhaft in Bild 28 gezeigt. Dabei ergibt sich die Ausbreitungsdämpfung in dB/m auch daraus, dass die Biegewellenlänge auf den Gipskartonplatten mit zunehmender Frequenz deutlich abnimmt. Der Verlustfaktor berechnet sich nach der in Abschnitt 3.6 dargestellten Gleichung (15) und ist vergleichend mit Literaturwerten in Bild 29 gezeigt.

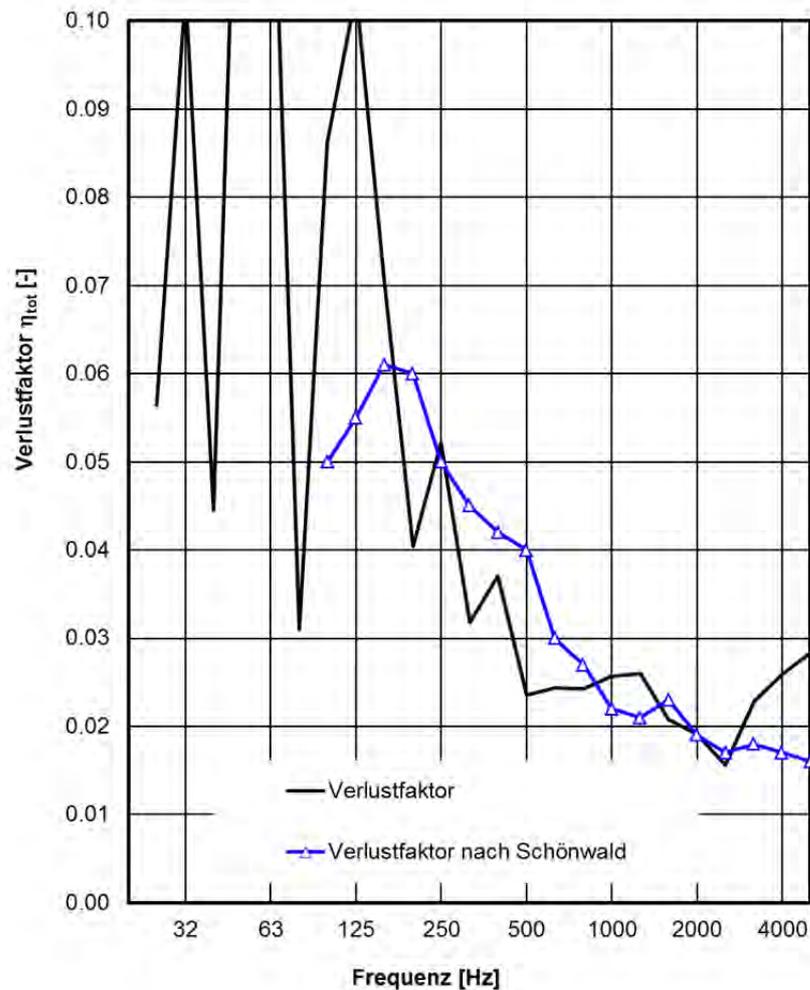


Bild 29:  
Verlustfaktor der flankierenden Gipskarton-Ständerwand und Gegenüberstellung mit Messergebnissen aus der Literatur

Der Vergleich des Verlustfaktors mit Literaturwerten für eine auf beiden Seiten mit Gipskarton beplankten Wand mit Metallständern und Mineralwollefüllung zeigt sehr ähnliche Werte ab 160 Hz aufwärts. Im tiefen Frequenzbereich darunter streuen die Werte für die Terzen stark und liegen bei 100 und 125 Hz deutlich über den Werten von Schönwald. Tendenziell folgen die Werte aber der Kurve, die von Schönwald angegeben wurde. Warum bei Schönwald die Werte unterhalb 160 Hz nicht weiter ansteigen sondern abfallen ist nicht klar.

Bei den hohen Frequenzen oberhalb 2500 Hz kommt es bei den hier ermittelten Werten zu einem Anstieg des Verlustfaktors, der bei den Daten von Schönwald nicht vorhanden ist. Hier kann es möglicherweise durch die Ausführung der flankierenden Wand zu Abweichungen kommen. Insgesamt ist die Übereinstimmung der Messwerte gut.

Neben der Messung der Schnellepegel in Raum 4 wurden diese auch in Raum 3 gemessen. Ziel war es, zum einen die Stoßstellenausbildung der Trennwand zwischen Raum 2 und 3 zu klären und auch, um die Schallübertragung zwischen Raum 1 und 3 detaillierter zu verstehen. Die Messung auf der Außenschale der flankierenden Wand in Raum 3 auf dem Pfad ermöglichte auch auf dieser Seite die Auswertung des Verlustfaktors. Die gemittelten Werte auf beiden Seiten der Wand sind in Bild 30 dargestellt.

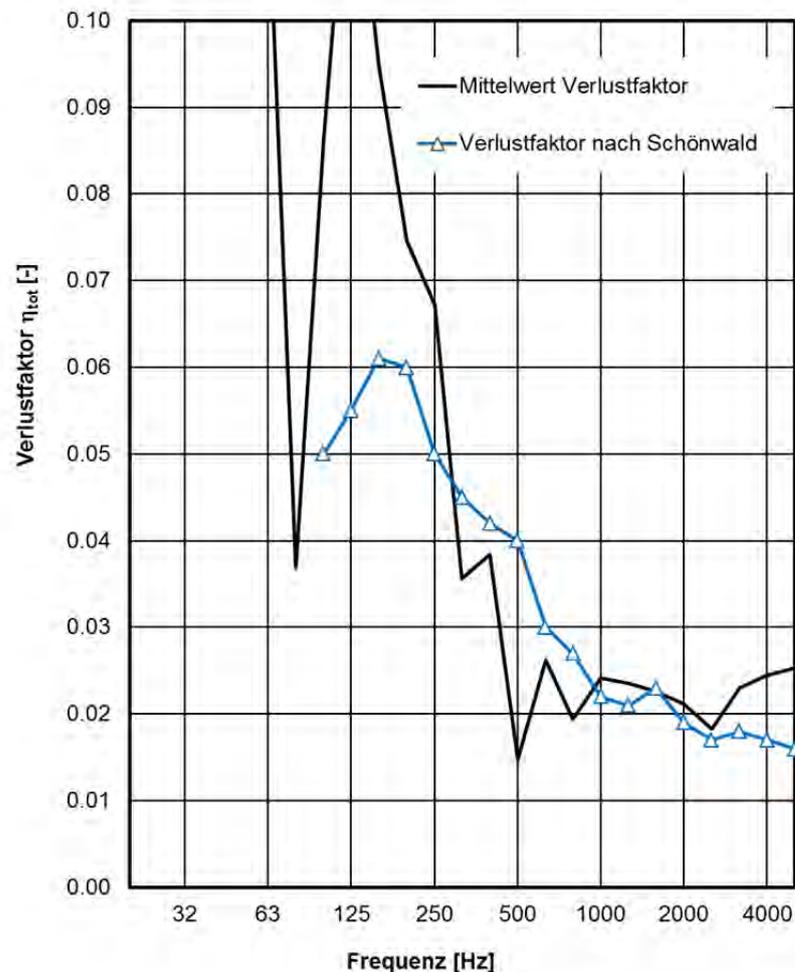


Bild 30:

Gemittelter Verlustfaktor aus Schnellepegel-Messungen auf beiden Seiten der flankierenden Wand und Messergebnisse aus der Literatur.

Auch für den Mittelwert des Verlustfaktors ergaben sich bei tiefen Frequenzen bis ca. 250 Hz große Schwankungen der Werte. Darüber war die Schwankung geringer, die Werte lagen tendenziell in Übereinstimmung mit den Werten von Schönwald.

Die Messwerte der Schnellepegel auf der Aussenschale der flankierenden Wand in Raum 3 sind in Bild 31 dargestellt.

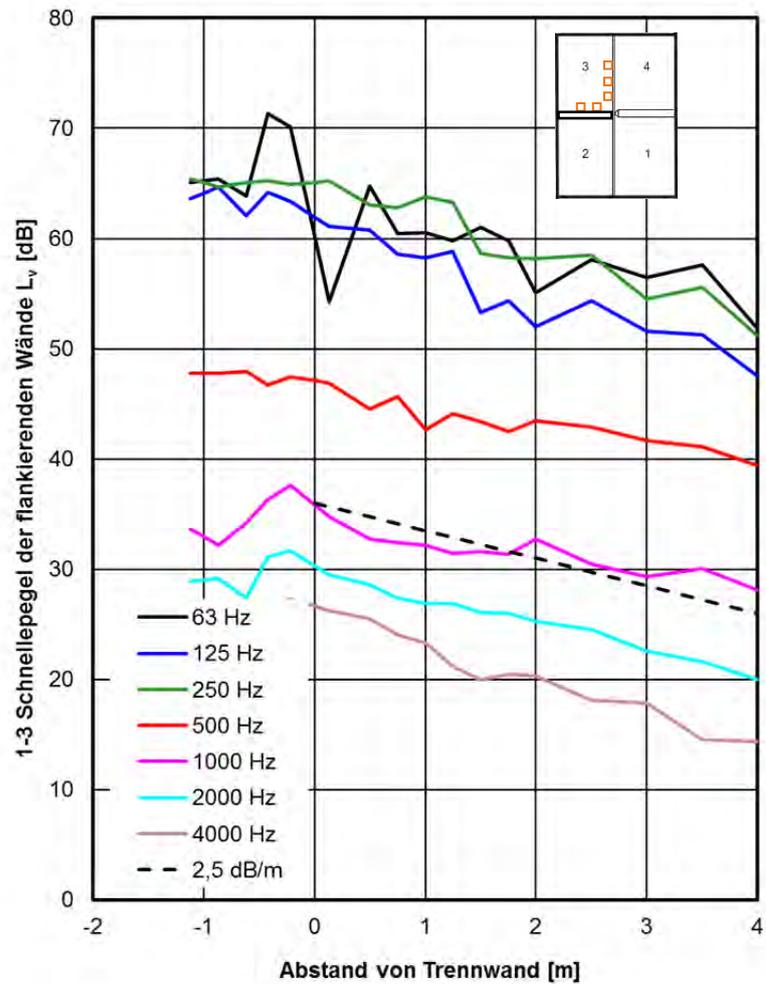


Bild 31:

Messergebnis der Schnellepegel  $L_v$  in Raum 3 bei unterbrochener Innenschale „IS u.“ für den X-Stoß. Messung auf der Trennwand Raum 2/3 (Messwerte mit negativem Abstand zur Stoßstelle) und auf der flankierenden Wand (Messwerte mit positivem Abstand zur Stoßstelle). Die Messwerte in Terzen wurden zur Übersichtlichkeit entsprechend energetisch summiert und in Oktaven dargestellt.

Die Messergebnisse in Bild 31 zeigen die Werte auf der Trennwand zwischen Raum 2 und 3 als Werte mit negativem Abstand von der Stoßstelle, die auf der flankierenden Wand auf der Seite des Raum 3 (Aussenschale) mit positivem Abstand von der Stoßstelle. Wie zu erwarten sind hier die Werte auf beiden Wänden mit größerem Abstand von der Stoßstelle abfallend, was durch die Dämpfung der Wände zu erklären ist (bei den tiefen Frequenzen zeigt sich dies auf der Trennwand nicht deutlich, da hier Messpunkte nur im Bereich der Stoßstelle liegen. Bei höheren Frequenzen ab 1000 Hz ist dieser Abfall aber deutlich erkennbar. Weiterhin kann man erkennen, dass es am Stoß zu keinem deutlichen Sprung der Schnellepegel kommt. Dies zeigt an, dass die Anbindung der Wandschale der Trennwand an die flankierende Wand kraftschlüssig ist. Dies

bestätigt, dass es sich bei diesem Anschluss um einen X-Stoß handelt. Da die Schnellepegel auf der Trennwand im Stoßbereich ähnlich hoch wie die auf der flankierenden Wand liegen, muss bei diesem Stoß davon ausgegangen werden, dass beide Bauteile zur Abstrahlung des Luftschalls in Raum 3 wesentlich beteiligt sind.

### **Abstrahlmaß der flankierenden Wand**

Das Abstrahlmaß der flankierenden Wand im Empfangsraum ist eine wichtige Größe, denn aus der Messung der Schnellepegel kann bei Kenntnis des Abstrahlmaßes der Schalldruckpegel im Empfangsraum bestimmt werden. Das Abstrahlmaß der Wand wurde gemessen, indem in Raum 3 mit Luftschall angeregt wurde, und in Raum 4 sowohl die Schnelle auf der die beiden Räume trennenden flankierenden Wand, als auch der Schalldruckpegel in Raum 4 gemessen wurde. Daraus konnte mit Hilfe von Gleichung (22) das Abstrahlmaß der Wand bestimmt werden. Zur Einordnung des Ergebnisses wurde für diese Art der Wand das gemittelte Abstrahlmaß nach Gleichung (6 - 9 bzw. 10) berechnet. Dies geschah für zwei verschiedene Ansätze. Bei dem ersten Ansatz wurde davon ausgegangen, dass die Wand nur am Rand befestigt war. Damit war der Umfang der Wand die Eingangsgröße  $P_p$  in Gleichung (6) mit 17,3 m. In der zweiten Variante der Berechnung wurde für die Ständer innerhalb der Wand eine Korrektur für den Umfang der Wand eingeführt, bei der die doppelte Länge der Ständer zum Umfang hinzuaddiert wurde. Dieser Ansatz wurde [14] entnommen. Damit ergab sich die Eingangsgröße  $P_p$  zu 76,3 m. Das gemessene Abstrahlmaß ist beiden berechneten Abstrahlmaßen in Bild 32 gegenübergestellt.

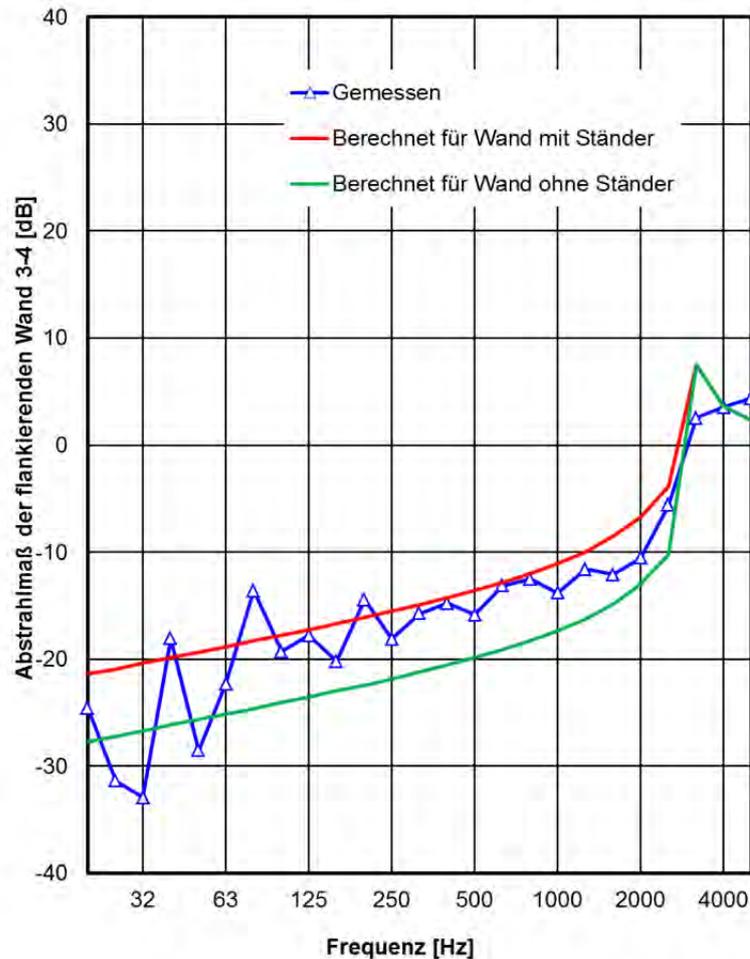


Bild 32:

Abstrahlmaß der flankierenden Wand zwischen Raum 3 und Raum 4 bei Luftschallanregung in Raum 3. Abstrahlmaß berechnet aus dem gemittelten Schalldruckpegel in Raum 4 und den gemittelten Schnellepegel der flankierenden Wand in Raum 4 nach Gleichung (22). Vergleichend dazu berechnetes Abstrahlmaß nach Gleichungen (6 - 9 bzw. 10).

Der Vergleich des gemessenen Abstrahlmaßes in Bild 32 mit den berechneten Werten zeigt eine gute Übereinstimmung der Messwerte mit der modifizierten Berechnung, bei der die Ständer in der Wand mit berücksichtigt werden. Ganz tieffrequent schwanken die Abstrahlmaße recht deutlich. In diesem Frequenzbereich besitzen die Gipskartonplatten einzelne Wandmoden. Ebenfalls ist zu berücksichtigen, dass man bei diesen tiefen Frequenzen nicht von einem diffusen Schallfeld im Raum ausgehen kann, so dass man von einem Raumeinfluss durch die Raummoden auf das gemessene Abstrahlmaß ausgehen muss.

Oberhalb der Wandresonanz, von ca. 100 Hz an aufwärts, folgt die Messkurve recht gut der berechneten Kurve für den Fall, bei dem die Ständer mit berücksichtigt werden. Lediglich bei der Koinzidenz-Grenzfrequenz und oberhalb ergeben sich gewisse Abweichungen zwischen Messkurve und Berechnung.

### **Abstrahlmaß der hochschalldämmenden Trennwand**

Neben den „einfachen“ Wänden der flankierenden Wand und der Trennwand zwischen Raum 2 und 3 bestand der Laboraufbau aus der hochschalldämmenden Trennwand. Für diese Wand war besonders wichtig sicherzustellen, dass sie nicht wesentlich zur Schallübertragung zwischen Raum 1 und 4 beiträgt. Daher wurden auf der hochschalldämmenden Trennwand bei einigen Messungen die Schnellepegel mit gemessen. Um die Schallübertragung über die hochschalldämmende Trennwand beurteilen zu können, fehlt zusätzlich noch die Information des Abstrahlgrads dieser Wand. Den Abstrahlgrad mit Luftschallanregung in Raum 4 zu ermitteln ist ohne weitere größere bauliche Maßnahmen im Senderraum und /oder im Empfangsraum (z.B. den Einsatz von Vorsatzschalen vor der flankierenden Wand) nicht möglich, denn die hochschalldämmende Trennwand war ja gerade so ausgeführt, dass ihre Schalldämmung deutlich über der Flankendämmung der flankierenden Wand lag. Daher wurde die hochschalldämmende Trennwand in Raum 1 mit Körperschall durch einen Shaker angeregt, und die im Empfangsraum gemessenen Schnellepegel auf der Trennwand und der Schalldruckpegel im Empfangsraum ergeben nach Gleichung (22) das Abstrahlmaß der hochschalldämmenden Trennwand. Dieses ist in Bild 33 dargestellt.

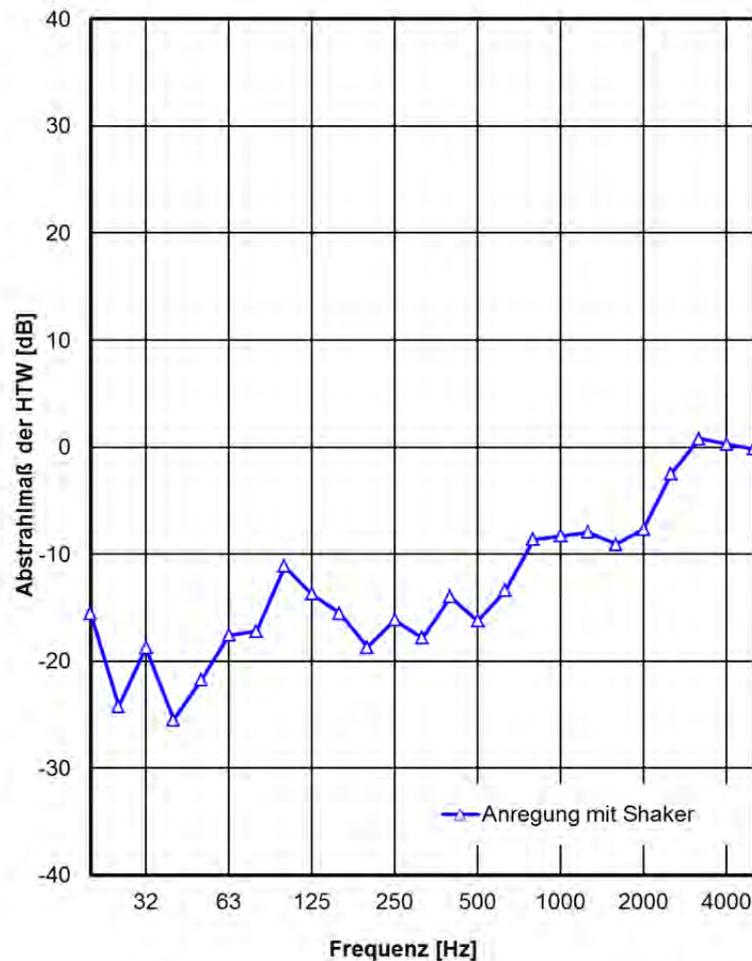


Bild 33:

Abstrahlmaß der hochschalldämmenden Trennwand (HTW) zwischen Raum 1 und Raum 4 bei Shakeranregung in Raum 1. Abstrahlmaß berechnet aus dem gemittelten Schalldruckpegel in Raum 4 und dem gemittelten Schnellepegel der HTW in Raum 4 nach Gleichung (22).

Das Abstrahlmaß der hochschalldämmenden Trennwand hat einen recht ähnlichen Verlauf zum Abstrahlmaß der flankierenden Wand in Bild 32. Im Detail betrachtet zeigt sich bei 100 Hz ein etwas erhöhtes Abstrahlmaß von ca. -10 dB, das dann wieder auf ca. -18 dB bei 200 Hz abfällt, bevor es bis 3150 Hz auf ca. 0 dB hin ansteigt. Eine Berechnung des Abstrahlmaßes wurde für diese Wand nicht durchgeführt, da die Wand in ihrem Material nicht homogen und auch mit dem Flansch zur flankierenden Wand hin konstruktiv nicht homogen war.

Bei dem Vergleich der Abstrahlmaße muss darauf hingewiesen werden, dass sie aus theoretischer Sicht nicht direkt vergleichbar sind. Bei der Luftschallanregung zur Messung des Abstrahlmaßes der flankierenden Wand handelt es sich um die Anregung von freien und erzwungenen Wellen (zumindest auf der Senderaumseite der Wand), bei der Anregung der hochschalldämmenden Trenn-

wand wurden nur freie Wellen angeregt. Detaillierte Untersuchungen dazu, wie groß der Unterschied dieser unterschiedlichen Anregung einer Seite einer doppel- oder mehrschaligen Wand (der hochschalldämmenden Trennwand) auf das Abstrahlverhalten der gegenüberliegenden Wandschale hat, sind den Autoren nicht bekannt. Es wird bei der mehrschaligen hochschalldämmenden Trennwand davon ausgegangen, dass die Unterschiede gering sind.

Für die Flankenübertragung gehen wir davon aus, dass der Einfluss der Schallübertragung über die HTW vernachlässigt werden kann, wenn die gemittelten Schnellepegel auf der HTW um 10 dB kleiner sind als die Schnellepegel auf der flankierenden Wand.

#### **5.4 Doppelständerwand mit durchlaufender Innenschale**

Neben den schon beschriebenen Untersuchungen an der Einfachständerwand wurden in diesem Vorhaben Messungen an einer Doppelständerwand durchgeführt. Diese Art des Wandaufbaus nutzt die Möglichkeit, durch Doppelständer die Direktdämmung einer Gipskarton-Ständerwand zu erhöhen. Grund dafür ist, dass ein Teil der Schallübertragung von Gipskarton-Ständerwänden über die Ständer innerhalb der Wand erfolgt. Durch Trennung der Ständer bzw. durch den Einsatz von zwei getrennten Ständern lässt sich dieser Anteil der Schallübertragung unterbinden. Der gewählte Aufbau einer beidseitig einlagig beplankten flankierenden Wand mit Doppelständern diente zur Untersuchung des Einflusses des Doppelständer-Aufbaus auf die Schalllängsdämmung solcher Wände. Der Aufbau orientierte sich an dem vorigen Aufbau, so dass versucht wurde, als einzigen Unterschied die Doppelständerbauweise zu verwenden. Um jedoch sicherzustellen, dass die Ständer keinen Kontakt untereinander aufwiesen wurden zwei 50er Ständer mit 5 mm Ständerabstand verwendet. Damit erhöhte sich der Wandschalenabstand von 100 mm auf 105 mm. Alle anderen konstruktiven Details wurden beibehalten (Anzahl der Ständer, Position der Ständer, Plattenmaterial, Position und Anzahl der Schrauben etc.). Damit ergab sich eine flankierende Wand, die in ihrer Bauweise nicht DIN 18183 Teil 1, Tabelle 1 [21] entspricht. Hier wird mindestens eine doppelte Beplankung aus statischen Gründen gefordert. Bautechnisch erscheint diese Forderung einer doppelten Beplankung auch Sinn zu machen, da der zusätzliche Aufwand einer Doppelständerwand bedingt, dass hier eine höherwertige Wand zum Einsatz kommen soll. Daher werden Doppelständerwände in der Regel auch mit doppelte Beplankung erstellt, oftmals zusätzlich mit höherwertigem Plattenmaterial. Ausgehend von der in unserem Vorhaben untersuchten Standardwand macht es aus experimenteller Sicht dennoch Sinn, die Wand mit einlagiger Beplankung zu untersuchen.

Um den Aufwand innerhalb des Projekts zu begrenzen, wurden die beiden Trennwände, d. h. die Wand innerhalb der hochschalldämmenden Trennwand zwischen Raum 1 und 4 sowie die Trennwand zwischen Raum 2 und 3, wie gehabt als Einfachständerwände belassen. Hier wird davon ausgegangen, dass





## Schalldämmung $R_{1 \rightarrow 2}$

Nach dem Aufbau der flankierenden Wand wurde die Direktdämmung für unterschiedliche Stoßvarianten zwischen den Räumen 1 und 2 gemessen. Die Messwerte sind in Bild 37 gezeigt, zusammen mit Messwerten, die an der Einfachständerwand gemessen wurden.

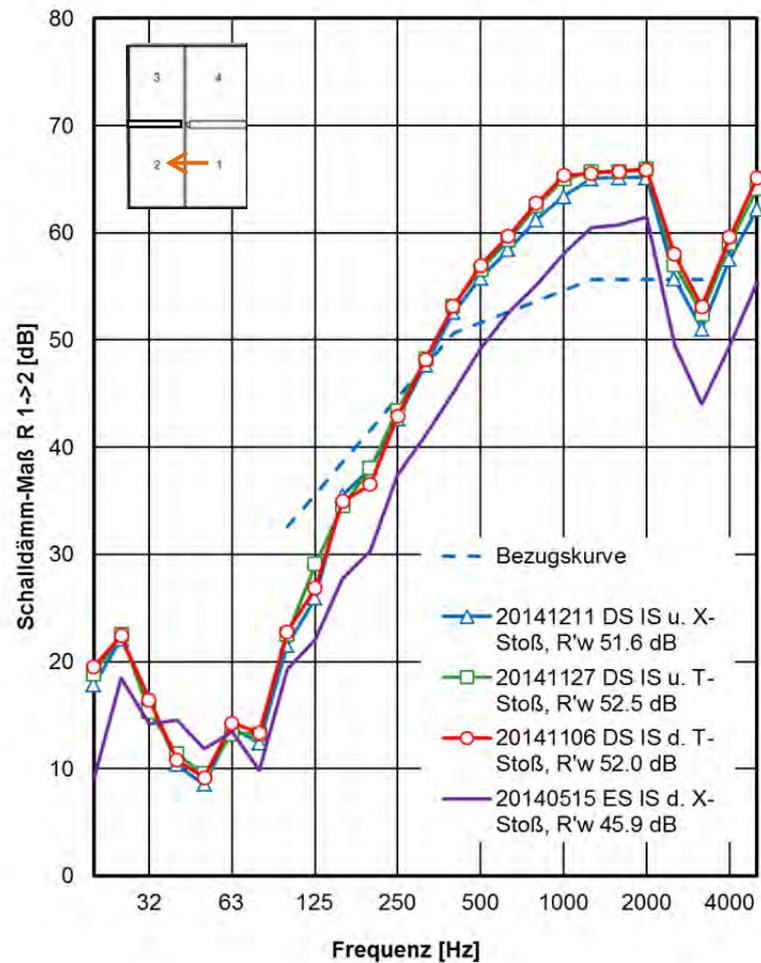


Bild 37:

Messergebnis  $R_{1 \rightarrow 2}$  für verschiedenen Detailausführungen des Stoßes der Doppelständerwand und Ergebnis für die Einfachständerwand.

Die Direktdämmung der flankierenden Wand ist wie auch schon bei der Einfachständerwand für die verschiedenen untersuchten Stoßstellenausbildungen sehr ähnlich. Die Schalldämmung verhält sich tieffrequent unterhalb der Resonanzfrequenz, die bei 76 Hz liegt, ähnlich zur Einfachständerwand, aber mit etwas unterschiedlichen Werten, was auf eine etwas unterschiedliche Steifigkeit der Wand aufgrund der Konstruktion schließen lässt. Ab 80 Hz aufwärts steigt die Schalldämmung ähnlich stark an wie für die Einfachständerwand,

aber dieser Anstieg setzt sich zu höheren Frequenzen fort (bis ca. 250 Hz). Nach dem ersten Anstieg verringert sich der Anstieg bei beiden Wandtypen, bei der Einfachständerwand beginnt dies aber bei tieferen Frequenzen (ab ca. 160 Hz). Die Unterschiede beider Messkurven ab 315 Hz sind relativ gleich groß. Im Schnitt liegt das Schalldämm-Maß der Doppelständerwand ab 250 Hz aufwärts um ca. 7 dB über dem Schalldämm-Maß der Einfachständerwand. Im Einzahlwert liegen die Werte gemittelt für die Doppelständerwand bei 52,0 dB, für die Einfachständerwand bei 46,3 (Mittelwert der Messungen in Bild 17). Damit ergibt sich eine Differenz von 5,7 dB der Einzahlwerte beider Wände.

### Norm-Flankenschallpegeldifferenz $D_{n,f,1 \rightarrow 4}$

Die Norm-Flankenpegeldifferenz zwischen Raum 1 und 4 ist in Bild 38 dargestellt.

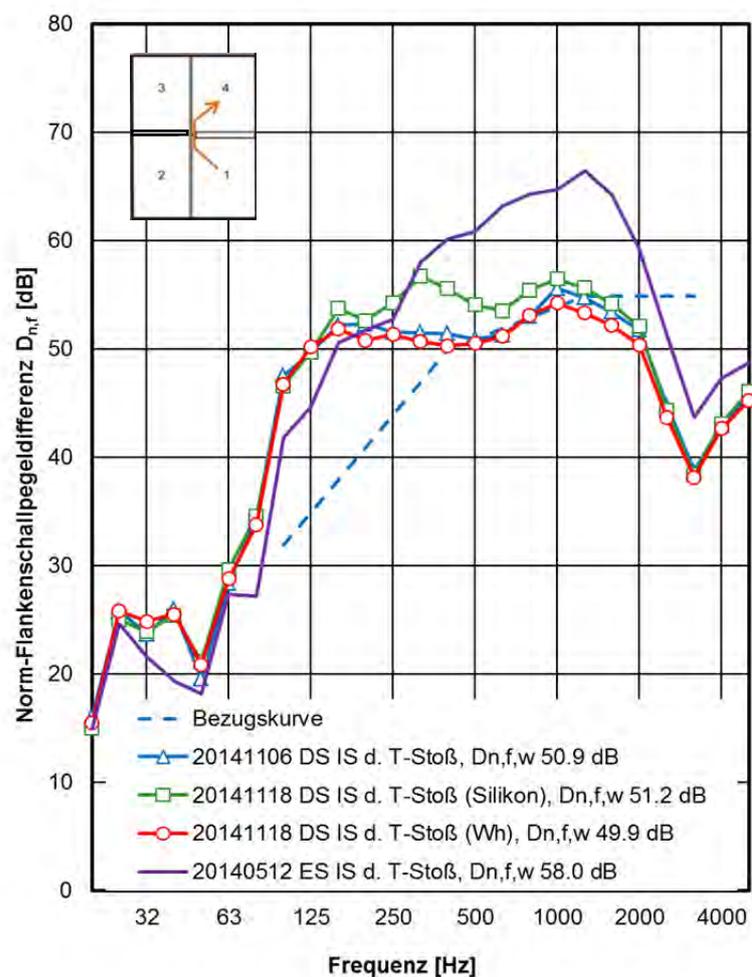


Bild 38: Messergebnis  $D_{n,f,1 \rightarrow 4}$  für den T-Stoß mit durchlaufender Innenschale „IS d.“ der Doppelständerwand („DS“) und Ergebnis für die Einfachständerwand („ES“).

Die Ergebnisse der Messung der Norm-Flankenschallpegeldifferenz für die Doppelständerwand sind zunächst überraschend. Der Vergleich zur Einfachständerwand zeigt, dass hier eine deutlich geringere bewertete Norm-Flankenschallpegeldifferenz gemessen wird. Der Frequenzgang der Messung zeigt, dass vor allem ab mittleren Frequenzen bei 250 Hz aufwärts die Flankendämmung deutlich geringer ausfällt. Dagegen ist der Anstieg im Bereich der Resonanzfrequenz der Wand erst etwas steiler, so dass die Werte bis 160 Hz höher sind. Hier werden bei der Doppelständerwand schon Werte über 50 dB erreicht. Allerdings bleiben die Werte bis zum Einbruch bei der Koinzidenz-Grenzfrequenz auf sehr ähnlichem Niveau, die maximale Dämmung wird bei 1000 Hz mit Werten von ca. 55 dB erreicht.

Ein weiterer Versuch war, die Fuge zwischen der flankierenden Wand und der hochschalldämmenden Trennwand beidseitig (in Raum 1 und 4) vom Raum aus mit Silikon zu verschließen (Die Wand war mit dem Knauf-Anschluss angeschlossen und damit dicht). Durch das Silikon wurde die Dämpfung der flankierenden Wand erhöht (Weitere Messungen haben gezeigt, dass an diesem Stoß keine Undichtigkeit vorliegt). Die Messergebnisse in Bild 38 zeigen, dass durch die Silikonstreifen in der Fuge die Flankenschalldämmung zwischen 250 und 1000 Hz deutlich erhöht wurde. Die Wiederholungsmessung, bei der das Silikon wieder entfernt wurde, zeigt, dass dieser Einfluss reversibel war. Der Einfluss des Silikons auf den Einzahlwert ist dagegen gering, da hier vor allem die Werte im Bereich des Einbruchs bei der Koinzidenz-Grenzfrequenz bestimmend sind.

Der Vergleich zur Einfachständerwand unter ähnlichen Bedingungen wirft die Frage auf, warum die Längsdämmung bei der Doppelständerwand deutlich geringer ausfällt. Die Analyse der Schnellepegel im Senderraum bei Einfach- und Doppelständerwand bei gleicher Luftschallanregung zeigt keinen signifikanten Unterschied im betreffenden Frequenzbereich oberhalb 250 Hz. Damit kann der Einfluss der Direktschalldämmung der Wand im Senderraum ausgeschlossen werden. Möglicherweise gibt es einen Einfluss der Dämpfung und der Abstrahlung der flankierenden Wand auf die Längsdämmung. Dies wird im Folgenden untersucht. Es wird vermutet, dass vor allem die Ausführung der Stoßstelle für die durchlaufende Innenschale, und dabei vor allem die veränderten Bedingungen durch den Ständer, der nur einseitig an die flankierende Wand angeschraubt ist, zu einer verminderten Stoßstellendämmung oberhalb 250 Hz führt. Weiterhin handelt es sich bei dem Ständer der Doppelständerwand um ein CW 50 Profil, dagegen bei der Einfachständerwand um ein CW 100 Profil. (Der Anschluss der hochschalldämmenden Trennwand an die durchlaufende Schale erfolgte bei beiden Wänden mit durchlaufender Innenschale mit dem Knauf-Anschluss, Kapitel 4.3.3). Die Messung mit Silikon zeigt die besondere Empfindlichkeit der Schalllängsdämmung im Stoßbereich.

## Schnellepegel $L_v$

Wie bei vorigen Messungen wurden auch an dieser Wand Schnellepegel auf demselben Pfad auf der flankierenden Wand in Raum 3 und Raum 4 gemessen. Beispielhaft sind in Bild 39 die Messwerte, gemittelt in Oktavwerten, der Messung auf dem Pfad in Raum 1 (Senderraum) und Raum 4 (Empfangsraum) dargestellt.

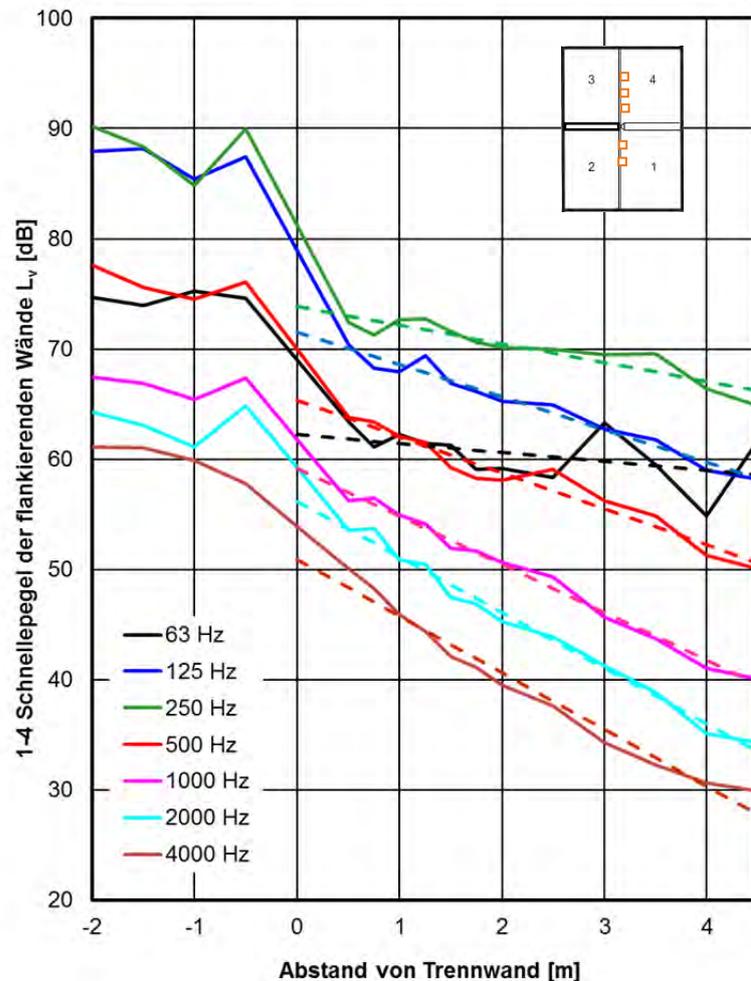


Bild 39:

Messergebnis der Schnellepegel  $L_v$  in Raum 1 und 4 bei der Doppelständerwand mit durchlaufender Innenschale für den T-Stoß. Messung auf der flankierenden Wand in Raum 1 (Messwerte mit negativem Abstand zur Stoßstelle) und auf der flankierenden Wand in Raum 4 (Messwerte mit positivem Abstand zur Stoßstelle). Die Messwerte in Terzen wurden zur Übersichtlichkeit entsprechend energetisch summiert und in Oktaven dargestellt.

Die Messergebnisse in Bild 39 zeigen zum einen vor allem bei mittleren und hohen Frequenzen an der Stoßstelle einen relativ geringen Sprung, d.h. bei z.B. 4000 Hz scheinen die Werte nahezu ungehindert über die Stoßstelle abzuneh-

men. Damit ist hier die Dämmwirkung durch den Stoß recht gering. Weiterhin nehmen die Pegel in Raum 4 recht stark ab, was auf einen höheren Verlustfaktor hindeutet. Gestrichelt sind in Bild 39 Regressionskurven durch die Oktavwerte in Raum 4 dargestellt. Ähnliche Regressionen, hier aber für die Terzwerte, wurden verwendet, um den Verlustfaktor der Wand zu bestimmen.

### Verlustfaktor der flankierenden Doppelständerwand

Die Dämpfung der flankierenden Wand wurde durch Messung auf einem Pfad in Raum 3 und Raum 4 wie zuvor ermittelt. Das Ergebnis ist in 40 dargestellt.

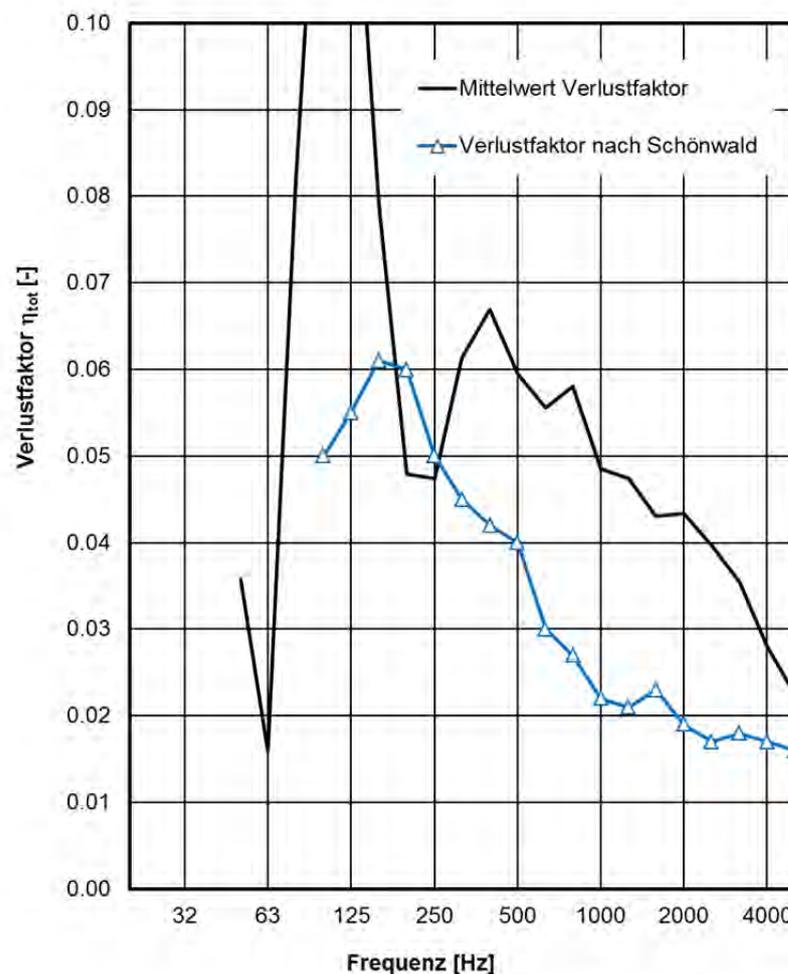


Bild 40:

Durch beidseitige Messung der Schnellepegel auf der flankierenden Wand in Raum 3 und Raum 4 gemittelter Verlustfaktor und Gegenüberstellung mit Messergebnissen aus der Literatur.

Die Messung des Verlustfaktors an der Doppel-Ständerwand zeigt einen ähnlichen Verlauf des Verlustfaktors mit hohen Werten bei tiefen Frequenzen, aller-

dings mit einem Sprung zu deutlich höheren Werten oberhalb von 250 Hz. Bei 200 und 250 Hz liegt der Verlustfaktor vergleichbar zu den Literaturwerten, ab 315 Hz sind die Werte deutlich höher, zum Teil mehr als doppelt so hoch. Die Ursache der deutlich höheren Werte ist nicht klar. Möglicherweise ist die Abstrahlung in den Wandzwischenraum erhöht. Dies ist nach Schönwald [5] die Ursache für höhere Werte bei Wänden mit Mineralwollefüllung.

### **Abstrahlmaß der flankierenden Wand bei der Flankenübertragung**

Neben der Auswertung des Verlustfaktors konnte die Messung auf dem Pfad in Raum 3 und Raum 4, in Kombination mit dem gemessenen Schalldruckpegel, zur Ermittlung des Abstrahlmaßes herangezogen werden. Die Problematik dabei ist, dass die Schnellepegel auf dem Pfad abnehmen. Damit findet man auf dem schallabstrahlenden Bauteil kein diffuses Körperschallfeld, sondern ein von der Stoßstelle deutlich abnehmendes Schallfeld. Damit stellt sich die Frage, welche abstrahlende Fläche für die Berechnung des Abstrahlmaßes heranzuziehen ist. Für die Berechnung des Abstrahlmaßes wurde anstatt des gemittelten Schnellepegels der Summenpegel der Terzwerte der Schnelle auf dem Pfad (in Gleichung 22) verwendet. Für das ermittelte Abstrahlmaß wurde die abstrahlende Fläche wie in Abschnitt 3.5.4 beschrieben mit  $1,0 \text{ m}^2$  so gewählt, dass das Abstrahlmaß bei der Koinzidenz-Grenzfrequenz ähnliche Werte erreicht wie das nach den Gleichungen (6) bis (10) berechnete Abstrahlmaß.

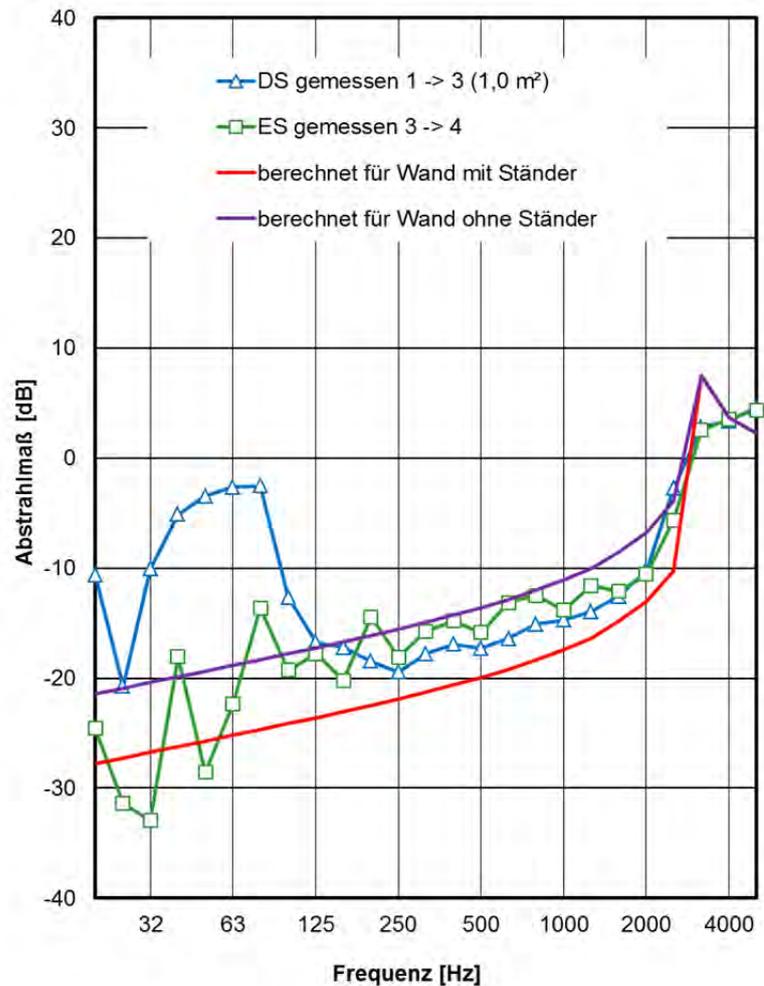


Bild 41:

Abstrahlmaß der flankierenden Wand in Raum 3 bei Luftschallanregung in Raum 1. Abstrahlmaß berechnet aus dem gemittelten Schalldruckpegel in Raum 1 und dem Terz-Summenpegel der Schnelle auf dem Pfad der flankierenden Wand in Raum 3, nach Gleichung (22). Die Fläche der abstrahlenden Wand wurde mit  $1,0 \text{ m}^2$  angenommen. Vergleichend dazu gemessenes Abstrahlmaß der Einfachständerwand nach Abschnitt 5.3 und berechnetes Abstrahlmaß nach Gleichungen (6 - 9 bzw. 10).

Das in Bild 41 gezeigte Abstrahlmaß, ermittelt aus der Schnellmessung auf dem Pfad in Raum 3, zeigt im mittleren und hohen Frequenzbereich einen sehr ähnlichen Verlauf wie bei der Messung zwischen Raum 3 und Raum 4 an der Einzelständerwand. Damit kann angenommen werden, dass die abstrahlende Fläche mit  $1 \text{ m}^2$  für diesen Frequenzbereich eine gute Schätzung darstellt. Bei den tieferen Frequenzen unter 125 Hz liegen die Werte des Abstrahlmaßes deutlich höher als bei der Messung an der Einzelständerwand. Die Ermittlung des Abstrahlmaßes in Bild 41 unterliegt einigen Unsicherheiten. Die Messungen auf dem Pfad zeigten für die verschiedenen Frequenzen unterschiedliche Pegelminderungen in dB/m. Besonders bei den tiefen Frequenzen war die Pegel-

minderung deutlich geringer als bei höheren Frequenzen. Daher muss man davon ausgehen, dass die Abschätzung der abstrahlenden Fläche von 1 m<sup>2</sup> insbesondere bei tiefen Frequenzen nicht genau ist und der Fehler zu dem scheinbar höheren Abstrahlgrad bei tiefen Frequenzen führt. Für die höheren Frequenzen gibt die Abschätzung aber einen brauchbaren Hinweis, wie die abstrahlende Fläche im vorgeschlagenen Berechnungsmodell (Abschnitt 7) angesetzt werden kann.

## 5.5 Doppelständerwand mit unterbrochener Innenschale

Wie zuvor bei der Einfachständerwand wurde nun auch die Doppelständerwand im Stoßbereich so umgebaut, dass nun die Innenschale unterbrochen war. Der Anschluss der Trennwand zwischen Raum 2 und 3 wurde ebenso als T-Stoß und als X-Stoß ausgeführt. Die Konstruktion im Stoßbereich ist in Bild 35 für den T-Stoß und in Bild 36 für den X-Stoß dargestellt.

### Norm-Flankenschallpegeldifferenz $D_{n,f,1 \rightarrow 4}$

Die Norm-Flankenschallpegeldifferenz für die verschiedenen Stoßvarianten der Doppelständerwand ist in Bild 42 dargestellt.

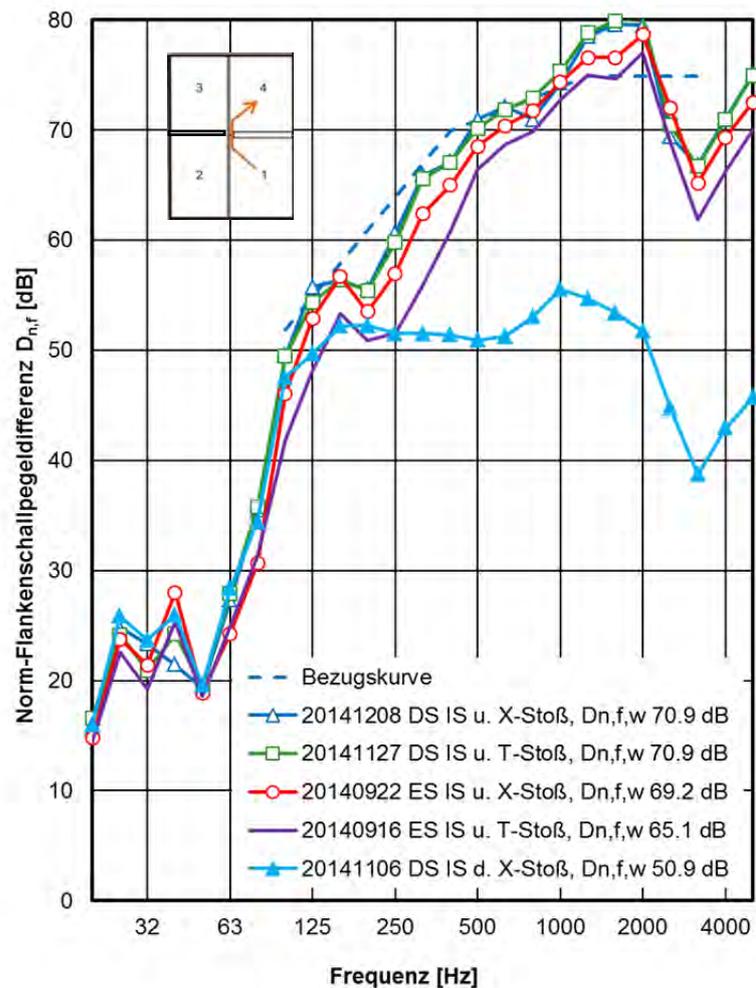


Bild 42:

Messergebnis  $D_{n,f,1 \rightarrow 4}$  für die Doppelständerwand („DS“) und die Einfachständerwand („ES“) bei unterbrochener Innenschale, T-Stoß und X-Stoß. Weiterhin die Werte für die Doppelständerwand mit durchlaufender Innenschale.

Die Ergebnisse der Norm-Schnellepegeldifferenz  $D_{n,f,1 \rightarrow 4}$  der Doppelständerwand zeigen sehr ähnliche Verläufe für den Fall des T- und des X-Stoßes. Der Einzahlwert ist mit 70,9 dB für beide Stoßvarianten gleich. Auch das zusätzliche Verspachteln der Kante der Trennwand 2/3 mit der flankierenden Wand in Raum 2 und Raum 3 mit „Uniflott“ bringt keine Erhöhung von  $D_{n,f,1 \rightarrow 4}$ . Die Analyse der Schnellepegel in Raum 4 zeigt wiederum, dass selbst bei dieser hohen Flankendämmung die hochschalldämmende Trennwand noch immer deutlich geringere Schnellepegel aufweist, so dass davon ausgegangen werden kann, dass die Schallübertragung ausschließlich über die flankierende Wand erfolgt.

Da der Unterschied von T-Stoß und X-Stoß bei der Doppelständerwand verschwindet, muss davon ausgegangen werden, dass bei dieser hohen Flankendämmung die Schallübertragung nun auf einem weiteren Übertragungsweg

stattfindet, der nicht mit der Stoßausbildung der Außenschale zu tun hat. Vermutet wird, dass nun die Schallübertragung im Wandzwischenraum mit ins Spiel kommt, so dass durch Maßnahmen an der Außenschale keine weitere Verbesserung möglich ist. Im PTB-Bericht von 2012 [2], Bild 18, wurde die Außenschale einer einlagig beplankten flankierenden Wand mit CW-100 Profilen versuchsweise vor und hinter dem Stoß geschlitzt. Auch hier wurden mit  $D_{n,f,w} = 66$  dB ein Wert erreicht, der die hier gemessenen Werte nicht übersteigt.

### Diagonal-Flankenschallpegeldifferenz $D_{n,f,1 \rightarrow 3}$

Zusätzlich zur Flankenschallpegeldifferenz zwischen Raum 1 und 4 wurde diese auch zwischen Raum 1 und 3 gemessen. Die Ergebnisse sind in Bild

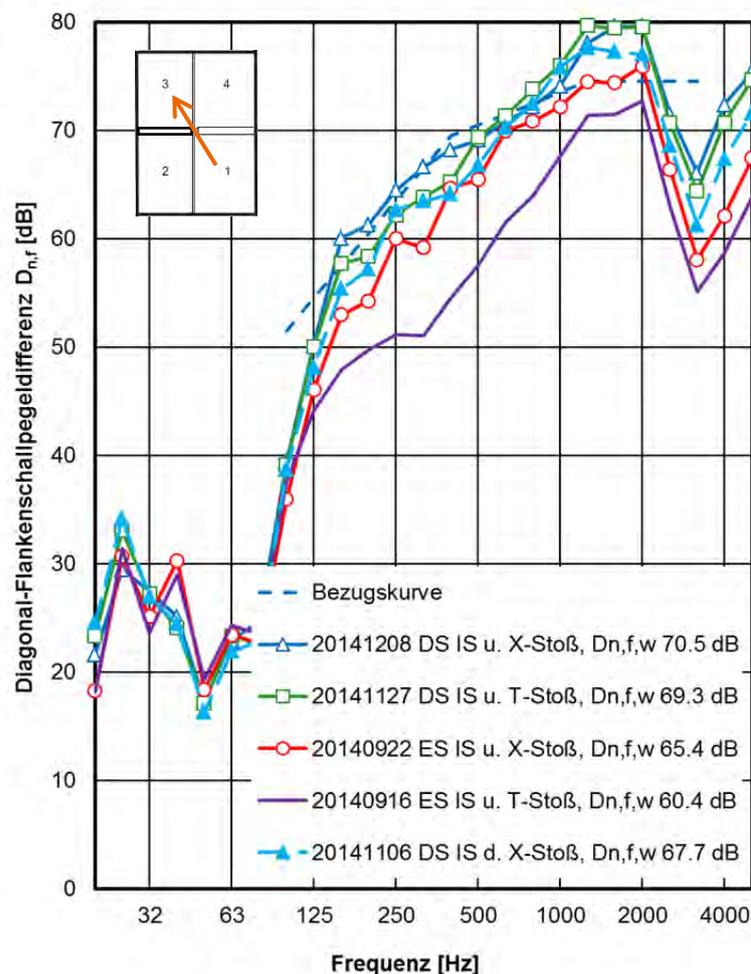


Bild 43:

Messergebnis  $D_{n,f,1 \rightarrow 3}$  für die Doppelständerwand („DS“) und die Einfachständerwand („ES“) bei unterbrochener Innenschale „IS u.“, T-Stoß und X-Stoß. Weiterhin die Werte für die Doppelständerwand mit durchlaufender Innenschale „IS d.“ und X-Stoß.

Die Ergebnisse in Bild 43 zeigen sehr ähnliche Flankenpegeldifferenzen wie zwischen Raum 1 und 4. Dabei sind die Werte unterhalb 50 Hz etwas höher als für  $D_{n,f 1 \rightarrow 4}$ . Der starke Anstieg mit ca. 32 dB/Oktave setzt oberhalb 50 Hz ein und verläuft sehr ähnlich für beide Übertragungssituationen bis 160 Hz. Bei 200 Hz besitzt  $D_{n,f 1 \rightarrow 4}$  einen kleinen Einbruch, der bei  $D_{n,f 1 \rightarrow 3}$  nicht auftritt. Ab 160 Hz schließt sich ein Anstieg mit ca. 7 dB/Oktave an, so dass bei ca. 1600 bis 2000 Hz ein Maximum der Flankenpegeldifferenz von nahezu 80 dB erreicht wird. Oberhalb dieses Maximums kommt es durch die Koinzidenz zu einem Einbruch der Flankenpegeldifferenz auf Werte zwischen 60 und 70 dB bei 3150 Hz. Oberhalb der Koinzidenz-Grenzfrequenz steigt die Flankenpegeldifferenz wieder weiter an.

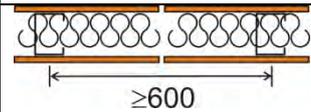
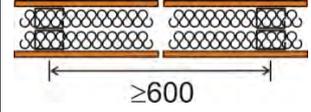
Betrachtet man die in Bild 42 und 43 dargestellten Messungen, so erkennt man für die unterbrochene Innenschale und die Doppelständerwand keinen wesentlichen Unterschied der Messwerte für X- und T-Stoß. Für die Einfachständerwand mit unterbrochener Innenschale ergibt sich dagegen ein deutlicher Unterschied zwischen X- und T-Stoß von ca. 5 dB.

Auffallend ist, dass für die Doppelständerwand mit durchlaufender Innenschale die Flankenschallpegeldifferenz  $D_{n,f 1 \rightarrow 4}$  im Vergleich zur Einfachständerwand niedrig ausfällt, da hier die Übertragung über die Innenschale stattfindet und diese direkt in Raum 4 abgestrahlt wird. Betrachtet man für dieselbe Situation jedoch  $D_{n,f 1 \rightarrow 3}$ , so erreicht diese nahezu dieselben Werte wie die Doppelständerwand mit unterbrochener Innenschale. Hochfrequent sind die Werte um ca. 3 dB geringer, auch im Bereich der Konizidenz, so dass auch die bewertete Flankenschallpegeldifferenz ca. 3 dB niedriger liegt. Dies legt nahe, dass hier bei der Doppelständerwand mit durchlaufender Innenschale und X-Stoß zwei nahezu gleichwertige Übertragungswege für  $D_{n,f 1 \rightarrow 3}$  vorhanden sind, so dass die Flankendämmung ca. 3 dB niedriger ausfällt.

## 5.6 Vergleich von Einzelwerten mit Werten der neuen DIN 4109 sowie dem PTB-Bericht

Der Vergleich der bewerteten Schalldämm-Maße  $R_w$  mit den Werten des aktuellen Entwurfs der DIN 4109 [11] ist in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3:  
Vergleich der bewerteten Schalldämm-Maße  $R_w$  mit Werten der DIN 4109.

Spalte	1	2	3	4	5	6
Zeile	Ausführungs- beispiel	C- Wand- profil / Schalen- abstand in mm	DIN 4109- 89 (ohne VM)	E DIN 4109- 33	PTB- Bericht 2012	Mess- ergebnis 2015
1		CW 100 / 100	53	45	-	45
2		2xCW 50 / 105	-	-	-	51

Die Messung der Einzelständerwand ergibt in diesem Vorhaben mit  $R_w = 45$  dB als geringster gemessener Einzahlwert eine Übereinstimmung mit den Angaben des neuesten Entwurfs der DIN 4109 Teil 33.

Für die Doppelständerwand wird ein Wert von  $R_w = 51$  dB erreicht. Diese Variante wurde in den Messungen zuvor noch nicht gemessen, so dass es sich um einen neuen Wert handelt, der in den Bauteilkatalog mit aufgenommen werden könnte. Allerdings entspricht diese Wand nicht der Norm DIN 18183 Teil 1, Tabelle 1 [21].

Der Vergleich der gemessenen Einzahlwerte für die bewertete Norm-Flanken schallpegeldifferenz  $D_{n,f,w 1 \rightarrow 4}$  mit den Werten des aktuellen Entwurfs der DIN 4109 [11] ist in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4:  
 Vergleich der gemessenen bewerteten Flankenschallpegeldifferenz  $D_{n,f,w}$  bzw.  $R_{L,w}$  mit Werten aus DIN 4109 und dem PTB Bericht 2012

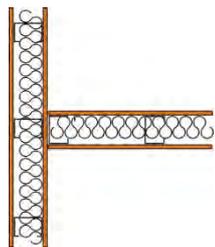
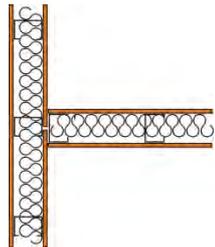
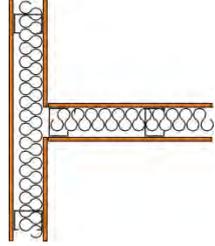
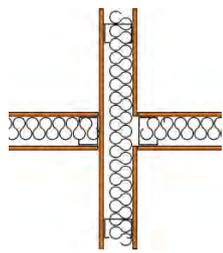
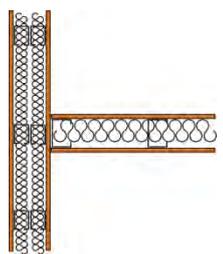
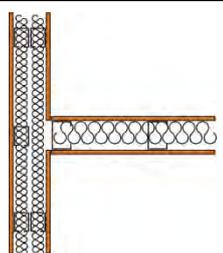
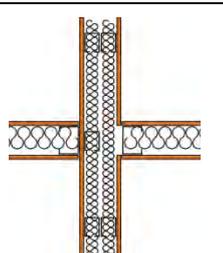
Spalte	1	2	3	4	5	6
Zeile	Ausführungs- beispiel	C- Wand- profil / Schalen- abstand in mm	DIN 4109- 89 (ohne VM)	E DIN 4109- 33	PTB- Bericht 2012	Mess- ergebnis 2015
1	 durchgehend	CW 100 / 100	55	55	55	56
2	 geschlitzt	CW 100 / 100	-	59	-	-
3	 unterbrochen, T-Stoß	CW 100 / 100	75	-	57	65

Tabelle 5 fortgesetzt:

Vergleich der gemessenen bewerteten Flankenschallpegeldifferenz  $D_{n,f,w}$  bzw.  $R_{L,w}$  mit Werten aus DIN 4109 und dem PTB Bericht 2012

4		CW 100 / 100	75	-	-	69
	unterbrochen, X-Stoß					
5		2xCW 50 / 105	-	-	-	50
	durchgehend					
6		2xCW 50 / 105	-	-	-	70
	unterbrochen, T-Stoß					
7		2xCW 50 / 105	-	-	-	70
	unterbrochen, X-Stoß					

Der Vergleich der Norm-Flankenpegeldifferenz  $D_{n,f,w}$  für die Einfachständerwand mit durchlaufender Innenschale ( $D_{n,f,w} = 56$  dB) mit Messwerten des PTB-Berichts und der DIN 4109 zeigt sehr ähnliche Werte. Für die Wand mit unter-

brochener Innenschale wurden im Forschungsvorhaben mit  $D_{n,f,w} = 65$  dB für den T-Stoß und  $D_{n,f,w} = 69$  dB für den X-Stoß deutlich höhere Werte gemessen als im PTB-Bericht angegeben. Bei diesen Messungen, die ebenfalls im IBP im selben Prüfstand durchgeführt wurden, wird vermutet, dass der Einbau der Trennwand als Stummelwand innerhalb der hochschalldämmenden Trennwand zu einer ausgeprägten Resonanz geführt hat, die einen starken Einbruch der Norm-Flankenschallpegeldifferenz 160 bis 315 Hz bewirkt hat. Dieser Einbruch führt zu einer geringeren Einzahlbewertung. Weiterhin wurden in diesem Vorhaben handelsübliche Materialien aus dem Baumarkt verwendet, der Aufbau erfolgte durch ein Trockenbauunternehmen. In unserem Vorhaben wurden Markenprodukte der Firma Knauf Gips KG verwendet, der Aufbau wurde durch besonders geschultes Personal von Knauf und des IBP durchgeführt. Auch dies könnte einen gewissen Einfluss auf die Messergebnisse haben.

Messungen an Doppelständerwänden wurden bei früheren Messungen nicht durchgeführt, daher ist ein Vergleich nicht möglich.

## 5.7 Maßnahmen für die Erhöhung der Flankendämmung

In diesem Abschnitt werden einige mögliche Maßnahmen für die Erhöhung der Flankendämmung diskutiert.

### Geschlitzte Innenschale

Die Stoßausbildung der flankierenden Wand hat, wie diese Untersuchung gezeigt hat, zum Teil einen erheblichen Einfluss auf die Norm-Flankenschallpegeldifferenz  $D_{n,f}$  der Wand. Durch Unterbrechung der Innenschale kann die Norm-Flankenschallpegeldifferenz erhöht werden. Dies wurde durch das Schlitzeln der Innenschale im PTB-Bericht [2] versucht. Bei diesen Messungen wurde die Gipskartonplatte der Innenschale im Stoßbereich geschlitzt, der dahinter befindliche Ständer aber nicht. Die Beschreibung lautet „Durchgehende Fuge an innenseitiger Beplankung, z.B. Fugenschnitt  $\geq 3$  mm“. Damit war keine vollständige Trennung der Innenschale vorhanden, so dass damit nur eine geringfügige Verbesserung von ca. 4 dB erreicht wurde. Diese Messergebnisse wurden in den aktuellen Bauteilkatalog des DIN 4109-Normenentwurfs [11] aufgenommen. Die geschlitzte Innenschale wurde in diesem Vorhaben nicht untersucht.

### Unterbrochene Innenschale

Bei dieser Konstruktion wird die Innenschale der flankierenden Wand komplett unterbrochen. Dies bedeutet konstruktiv, dass die Innenschale der flankierenden Wand nur bis zu den Schalen der Trennwand geführt werden, und diese

durch L-Winkel miteinander verbunden werden. Dabei entsteht eine Lücke der Innenschale mit der Breite der Ständer der Trennwand (siehe z.B. Bild 20). Diese Konstruktionsweise wurde in diesem Vorhaben untersucht. Da hierbei die Innenschale vollständig getrennt ist, ergibt sich eine deutlich höhere Flanken-schallpegeldifferenz der flankierenden Wand.

## Eingebundene Trennwand

Eine Variante der unterbrochenen Innenschale ist die Ausführung der einbindenden Trennwand. In diesem Fall wird die Trennwand bis in die flankierenden Wand hineingeführt, so dass sie über die Innenschale hinaus in den Wandhohlraum der flankierenden Wand hineinreicht. Beispielhaft ist diese Konstruktion in Bild 44 gezeigt.

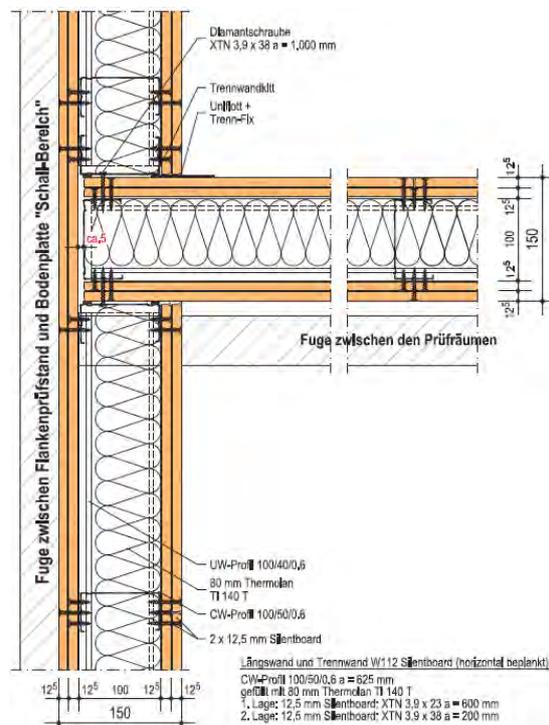


Bild 44:  
Horizontalschnitt einer Einfachständerwand mit eingebundener Trennwand, Ausführung als T-Stoß. (Quelle: Knauf Gips KG)

Bei diesem Aufbau sollte darauf geachtet werden, dass die Trennwand keinen direkten Kontakt zur Außenschale besitzt. Sollte es hier einen Kontakt geben, so kann es zur Körperschallübertragung kommen, so dass voraussichtlich die Flankendämmung geringer ausfällt. Wird die Stoßstelle aber so ausgeführt, dass die Trennwand die Außenschale der flankierenden Wand nicht berührt, kann die Flankenpegeldifferenz etwas höher ausfallen als bei der unterbroche-

nen Variante, denn die Schallübertragung über den Wandhohlraum wird reduziert. (Hinweis: In Kapitel 7 wird eine Berechnung für diese Stoßvariante gezeigt).

### **Zusätzlich geschlitzte Außenschale**

Die zusätzliche Trennung der Außenschale, und hierbei vor allem das zusätzliche vollständige Trennen der Außenschale, kann zu einer weiteren Erhöhung der Norm-Flankenpegeldifferenz führen. Hohe Werte wurden z.B. bei Messungen im Rahmen des PTB-Berichts [2] dargestellt. Hier wurde an einer CW 100 Wand mit einfacher Beplankung bei durchgehender Innenschale ein  $D_{n,f,w} = 55$  dB gemessen, bei unterbrochener Innenschale  $D_{n,f,w} = 57$  dB und bei zusätzlichem Schlitzten der Außenschale  $D_{n,f,w} = 66$  dB. Der Grund dafür ist, dass bei kompletter Trennung der Innenschale die wesentliche Schallübertragung über die Außenschale stattfindet. Dieser Übertragungsweg kann durch das Schlitzten deutlich verringert wird (siehe hierzu auch das Vorhersagemodell in Abschnitt 7).

### **Nachträgliches Schlitzten der flankierenden Wand nahe des Stoßes**

Das nachträgliche Schlitzten der flankierenden Wände nahe des Stoßes wurde in diesem Vorhaben etwas ausführlicher untersucht. Dabei wurde versucht, durch nachträgliches Schlitzten kurz vor und nach der Stoßstelle einzelne Übertragungswege zu unterbrechen. Aus praktischen Gründen war gedacht, diese Veränderungen an der Wand könnten Aufschluss über die Übertragungswege an der Stoßstelle Aufschluss geben. Damit sollte diese Methode als „Analysewerkzeug“ im Vorhaben dienen. Erste Messungen haben gezeigt, dass das nachträgliche Schlitzten nicht für diesen Zweck eingesetzt werden kann. Allerdings könnte diese Methode in der Praxis zum Einsatz kommen, um die Flankendämmung einer bestehenden Wandkonstruktion zu „verbessern“, wenn die Flankendämmung noch nicht ausreicht. Messergebnisse an Wänden mit nachträglich eingefügten Schlitzten, bei denen der Abstand der Schlitze von der Trennwand so gering wie möglich gehalten wurden (ca. 50 mm), sind im Folgenden gezeigt. Messergebnisse an Wänden, bei denen die Schlitze mit Kreppband abgeklebt und damit luftdicht verschlossen waren, sind in Bild 45 dargestellt.

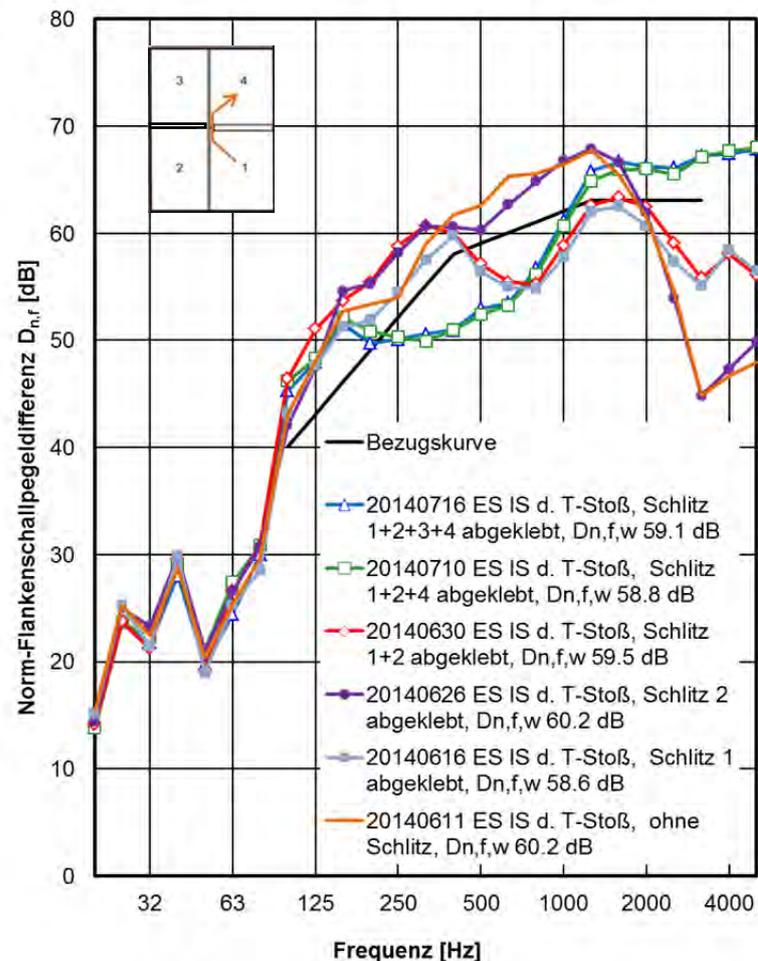


Bild 45:

Norm-Flankenschallpegeldifferenz  $D_{n,f 1 \rightarrow 4}$  für die die Einfachständerwand („ES“) bei unterbrochener Innenschale „IS u.“ und T-Stoß, mit nachträglich angebrachten Schlitzten nahe der Stoßstelle in den Räumen 1, 2, 3 und 4, wie mit den Zahlen bezeichnet. Alle Schlitzte waren mit Krepptband abgeklebt.

Die Untersuchungen in Bild 45 zeigen, dass echte Verbesserungen durch nachträgliches Schlitzten nicht zu erwarten sind. Zu erkennen ist, dass durch den Schlitz 1 und zusätzlich durch Schlitz 2 ähnliche Ergebnisse erzielt wurden. Ausgehend von der nicht geschlitzten Variante bricht die Flankendämmung ab ca. 400 Hz bis 800 Hz ein. Dann steigt sie wieder an und erreicht bei 2500 Hz höhere Werte als die ungeschlitzte Situation. Der Koinzidenzeinbruch ist nicht mehr so deutlich ausgeprägt, aber erkennbar. Er wird überlagert durch das Ansteigen der Flankendämmung bei diesen hohen Frequenzen.

Wird die Wand zusätzlich auch in Raum 4 nahe der Stoßstelle geschlitzt, so ändert sich der Frequenzverlauf nochmals deutlich (Messung 20140716 und 20140710). Hier kommt es zu einem Einbruch der Flankendämmung oberhalb 160 Hz. Ab ca. 400 Hz beginnt die Dämmung stark anzusteigen und erreicht ab 2000 Hz höhere Werte als die nicht geschlitzte Wand. Oberhalb 2000 Hz

überlagert sich der Anstieg der Dämmung mit dem Koinzidenzeinbruch, so dass bei den Messwerten kein offensichtlicher Koinzidenzeinbruch erkennbar ist. Die Einzahlwerte von  $D_{n,f,w}$  liegen alle auf einem ähnlichen Niveau.

Die Messungen und weitere Untersuchungen haben ergeben, dass durch das nachträgliche Schlitzen, bei denen die Schlitze aus praktischen Gründen nicht direkt in der Kante zwischen flankierender Wand und Trennwand, sondern mit einem Abstand von ca. 50 mm gemacht wurden, dazu führt, dass die „Stummel“ der Wandschale im Senderaum weiterhin stark angeregt werden, und dieser „Stummel“ im Empfangsraum weiterhin Schall abstrahlen kann. Als zusätzlicher Effekt wird vermutet, dass durch das Schlitzen dieser „Stummel“ stärker schwingen kann, da die Platte zum Schlitz hin ein „freies Ende“ aufweist. Für den Einbruch der Flankendämmung im mittleren Frequenzbereich wird vermutet, dass durch das Schlitzen eine Resonanz im Wandhohlraum deutlich stärker angeregt wird, so dass in diesem Frequenzbereich die Norm-Flankenpegeldifferenz einbricht. Insgesamt wurde klar, dass das nachträgliche Schlitzen der Wände, bei dem der Schlitz nicht genau im Stoßbereich vorgenommen werden kann, im Allgemeinen zu keiner wesentlichen Verbesserung der Flankendämmung führt, sondern eventuell auch deutliche Verschlechterungen hervorrufen kann. Auch als Analyseverfahren war das nachträgliche Schlitzen nicht geeignet. Daher wurde das Schlitzen bei der unterbrochenen Innenschale und auch bei der Doppelständerwand nicht mehr untersucht.

### **Verwendung von Sperrmassen**

Eine weitere Idee der Erhöhung der Flankenschalldämmung ist die Verwendung von Sperrmassen. Dabei soll die Schalldämmung erhöht werden, indem im Stoßbereich die Gipskartonplatten der flankierenden Wand mit einer Masse belegt werden. Damit erhöht sich die Stoßstellendämmung im Stoßbereich, was insgesamt eine höhere Flankendämmung ermöglichen soll. Dabei ist anzumerken, dass dies nur gelingt, wenn damit die Flankendämmung des bestimmten Übertragungswegs erhöht wird.

Im Rahmen des Projekts wurde eine Messung mit Sperrmasse durchgeführt. Dabei wurde bei der Doppelständerwand mit unterbrochener Innenschale und X-Stoß eine Sperrmasse aus fünf aufeinandergeschraubten Silentboard-Platten eingesetzt. Dafür wurde die Trennwand zwischen Raum 2 und 3 entfernt und von außen die Sperrmasse an die Außenschale der flankierenden Wand geschraubt. Danach wurde die Trennwand zwischen Raum 2 und 3 wieder geschlossen, indem sie an die Sperrmasse angeschlossen wurde. Die Konstruktion ist in Bild 46 in einer Prinzipskizze dargestellt.

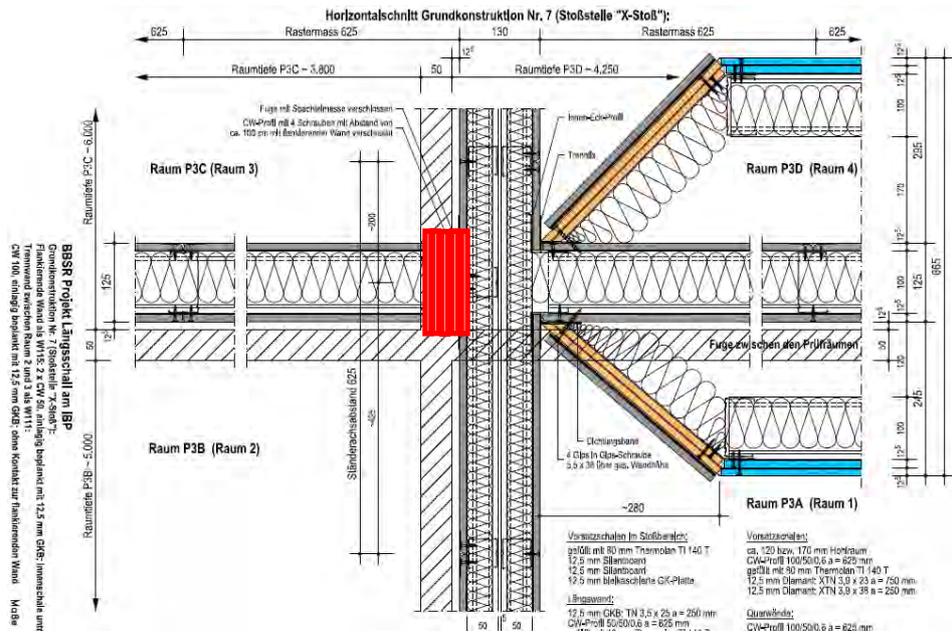


Bild 46:

Horizontalschnitt der Doppelständerwand als flankierende Wand mit unterbrochener Innenschale, hochschalldämmender Trennwand und Sperrmasse auf der Außenschale. Die Trennwand zwischen Raum 2 und 3 wurde mit 5 mm Fuge an die Sperrmasse angeschlossen, die Fuge wurde mit Kreppband abgeklebt (Prinzipskizze).

Der Anschluss der Trennwand zwischen Raum 2 und 3 erfolgte mit einer 5 mm breiten Fuge, die beidseitig mit Kreppband abgeklebt wurde.

Die Norm-Flankenpegeldifferenz mit Sperrmasse ist in Bild 47 dargestellt.

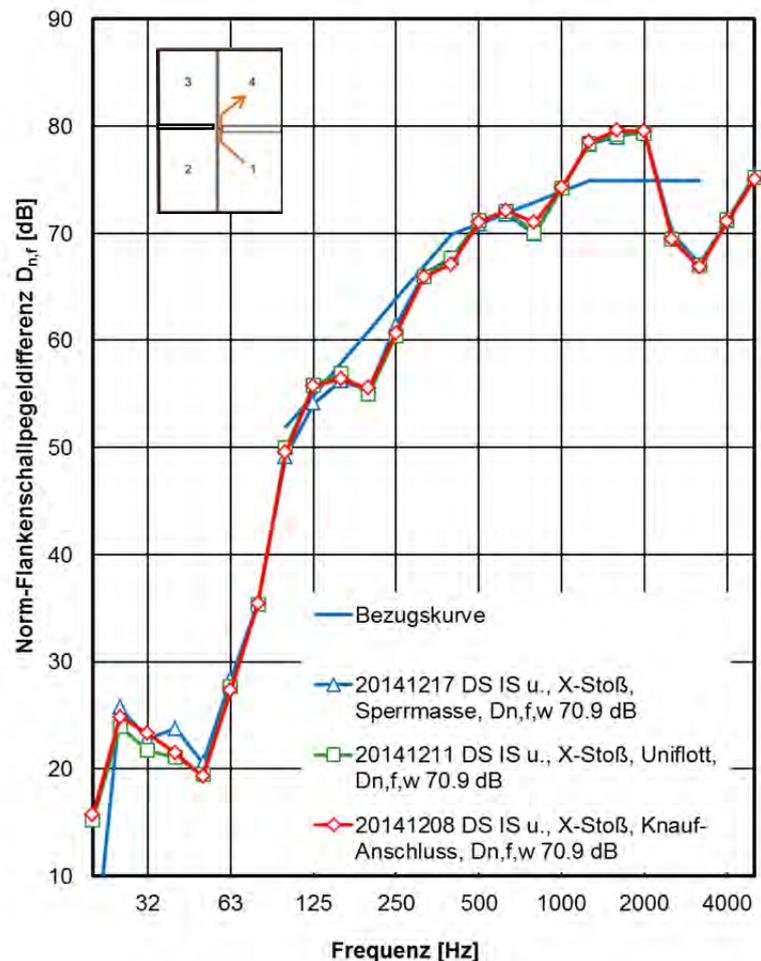


Bild 47:  
 Norm-Flankenschallpegeldifferenz  $D_{n,f 1 \rightarrow 4}$  für die die Doppelständerwand („DS“) bei unterbrochener Innenschale „IS u.“ mit an der Außenschale angebrachter Sperrmasse im Stoßbereich.

Der Vergleich der Messwerte zeigt keinen Unterschied. Dies deutet darauf hin, dass die Norm-Flankenpegeldifferenz nicht maßgeblich durch den Übertragungsweg über die Außenschale bestimmt wird, oder dass die Sperrmasse keine größere Wirkung besitzt als der Wandanschluss der Trennwand zwischen Raum 2 und 3 als X-Stoß. Es wird vermutet, dass in diesem Fall der Übertragungsweg über die Außenschale nicht den maßgeblichen Übertragungsweg darstellt.

Zur Untersuchung der Wirkung von Sperrmassen sollten weitere Messungen durchgeführt werden, die aber im Rahmen des Forschungsvorhabens nicht mehr untersucht werden konnten.

## 6 Daten für den Bauteilkatalog

Folgende Tabelle kann gegebenenfalls in Tabelle 1 des Entwurfs der DIN 4109 Teil 33 aufgenommen werden

Tabelle 6:

Werte für den Bauteilkatalog der neuen DIN 4109 Teil 33, Tabelle 1.

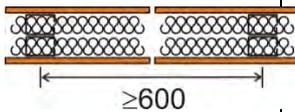
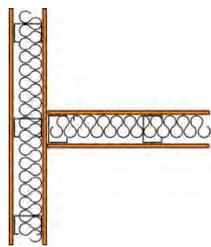
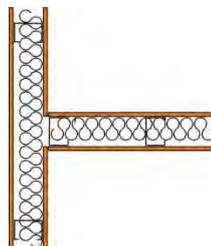
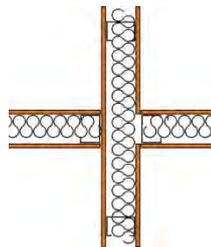
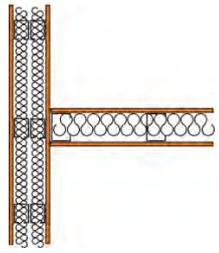
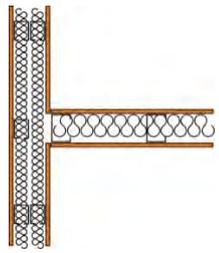
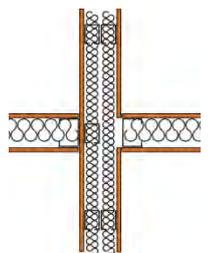
Spalte	1	2	3	4	5	6
Zeile	Konstruktionsdetails					Bewertetes Schall-dämm-Maß $R_w$
	Schnittzeichnung	Be-plan-kung <sup>a</sup> $s_p$ mm	Metall-stän-der-profil <sup>b</sup> mm	Min-dest-scha-len-ab-stand $s$ mm	Min-dest-dämm-schicht-dicke <sup>c</sup> $s_D$ mm	
1		12,5	CW 50	105	2 x 40	51

Tabelle 7:  
 Werte für den Bauteilkatalog der neuen DIN 4109 Teil 33, Tabelle 26.

Spalte	1	2	3	4
Zeile	Ausführungsbeispiel			Norm- Flanken- pegel- differenz $D_{n,f,w} (C; C_{tr})$
	Schnittzeichnung	Flankierende Wand		
		Schalen- abstand S mm	Anzahl Platten- lagen auf Innen- seite	
1	 <p>durchgehend</p>	100	1	56 (-6; -6)
2	 <p>unterbrochen, T-Stoß</p>	100	1	65 (-2; -7)
3	 <p>unterbrochen, X-Stoß</p>	100	1	69 (-2; -7)

4*		105	1	50 (-5; -1)
	durchgehend			
5*		105	1	70 (-2; -6)
	unterbrochen, T-Stoß			
6*		105	1	70 (-2; -6)
	unterbrochen, X-Stoß			

\* Anmerkung: Wandaufbau entspricht nicht DIN 18183 Teil 1, Tabelle 1 [21].

## 7 Vorhersagemodell für die bewertete Norm-Flankenpegeldifferenz $D_{n,f,w}$

Mit den durchgeführten Messungen in diesem Vorhaben wird nun versucht, ein Vorhersagemodell für die Norm-Flankenpegeldifferenz verschiedener Wandkonstruktionen und verschiedener Stoßausbildungen zu entwickeln. Das Vorhersagemodell ist angelehnt an die Systematik der EN 12354-1 [22], bei der die Schallübertragung über einzelne flankierende Schallübertragungswege einzeln betrachtet wird. Die Summe der Norm-Flankenpegeldifferenz aller Übertragungswege ergibt die Gesamt-Norm-Flankenpegeldifferenz. Die in diesem Vorhaben untersuchte Norm-Flankenpegeldifferenz  $D_{n,f}$  beschreibt nach EN 12354-1 den Weg Ff des flankierenden Bauteils.



aus den in diesem Vorhaben durchgeführten Messungen abgeschätzt. Die drei Übertragungswege berechnen sich wie folgt:

## 7.1 Übertragungsweg über die Außenschale, Weg 1

Vorweg wird angenommen, dass die direkte Schalldämmung der flankierenden Wand aus drei Komponenten besteht: 1.) der Anregung der flankierenden Wand durch das Luftschallfeld zu Biegeschwingungen der Innenschale, 2.) der Übertragung der Schwingung der Innenschale auf die Außenschale und 3.) die Abstrahlung der Schwingung der Außenschale in den angrenzenden Raum. (Diese Betrachtung gilt nur für die Frequenzen oberhalb der Doppelschalen-Resonanz. Bei den betrachteten Frequenzen im Bereich der Koinzidenz-Grenzfrequenz ist dies gegeben.)

Für den Übertragungsweg über die Außenschale gibt es folgende Schritte: 1.) Anregung der Innenschale, 2.) Übertragung der Schwingung auf die Außenschale, 3.) Stoßstellendämmung an der Stoßstelle (T- oder X-Stoß), 4.) Übertragung der Schwingung von der Außenschale auf die Innenschale, 5.) Abstrahlung der Schwingung in den Raum. Dabei sind die Schritte 1.), 2.) und 5.) im bewerteten Schalldämmmaß der flankierenden Wand enthalten.

Für die weiteren Schritte wurden Faktoren ermittelt bzw. abgeschätzt, die aufaddiert werden. Die Stoßstellendämmung an der Stoßstelle der Außenschale 3.) kann aus Schnellemessungen auf den Pfaden in diesem Vorhaben abgeleitet werden:

$$K_{\text{Stoßstelle}} = L_{v,A} - L_{v,B} \quad (23)$$

mit

$K_{\text{Stoßstelle}}$	= Faktor für die Stoßstelle, in dB
$L_{v,A}$	= mittlerer Schnellepegel auf der Seite vor der Stoßstelle (anregenden Seite) in dB
$L_{v,B}$	= Schnellepegel auf der Seite nach der Stoßstelle in dB

Dabei besteht die Problematik, dass die Schnelle auf der Wand jenseits der Stoßstelle nicht diffus ist, sondern mit Abstand von der Stoßstelle abnimmt. Daher wurden ausgehend von den Schnellemessungen auf den Pfaden Faktoren für die verschiedenen Stoßausbildungen (Stoß der Trennwand auf die betreffende Schale) abgeschätzt, wobei der Pegel auf der Seite nach der Stoßstelle aus der Regression der Schnellepegel abgeschätzt wurde, die für die Ermittlung der Ausbreitungsdämpfung, beschrieben in Abschnitt 5.3, bzw. dem Verlustfaktor verwendet wurden.

Die Übertragung der Schwingung der Außenschale auf die Innenschale 4.) errechnet sich wiederum aus der Direktdämmung, von der sowohl die Anregung (Differenz von Schalldruckpegel im Senderaum und Schnellepegel der Wand im Senderaum) als auch die Abstrahlung abgezogen wird:

$$K_{Wand} = R_w - K_{Anregung} - K_{\sigma} \quad (24)$$

mit

- $K_{Wand}$  = Faktor für die Übertragung von einer Wandschale zur anderen Wandschale, in dB
- $R_w$  = bewertetes Schalldämm-Maß der flankierenden Wand in dB
- $K_{Anregung}$  = Faktor für die Anregung der Wandschale durch Luftschall in dB
- $K_{\sigma}$  = Faktor für die Abstrahlung, in dB

Der Faktor  $K_{Anregung}$  ermittelt sich aus der Pegeldifferenz des Schalldruckpegels im Senderaum und dem gemittelten Schnellepegel auf der angeregten Wandschale der flankierenden Wand im Senderaum:

$$K_{Anregung} = L_p - L_{v,Senderaum} \quad (25)$$

mit

- $K_{Anregung}$  = Faktor für die Anregung der Wandschale der flankierenden Wand senderaumseitig, in dB
- $L_p$  = mittlerer Schalldruckpegel im Senderaum, in dB
- $L_{v,Senderaum}$  = mittlerer Schnellepegel der Wandschale der flankierenden Wand senderaumseitig in dB

Der Faktor für die Abstrahlung  $K_{\sigma}$  ist der gerundete Mittelwert des Abstrahlmaßes bei den betreffenden Frequenzen 2000, 2500 und 3150 Hz.

Da die Schnellepegel auf der Wand jenseits der Stoßstelle stark abnehmen, ist die Fläche, die zur Schallabstrahlung im Empfangsraum beiträgt, recht klein. Aus der Analyse des Abstrahlmaßes, beschrieben in Abschnitt 5.4, Bild 41, geht hervor, dass die abstrahlende Wandfläche mit ca. 1 m<sup>2</sup> abgeschätzt werden kann. Das bei der Berechnung eingesetzte Norm-Schalldämmmaß geht dagegen von einer Fläche von 10 m<sup>2</sup> aus. Daher wird in der Berechnung ein weiterer Faktor eingeführt, der die verminderte Abstrahlung durch die Ausbreitungsdämpfung berücksichtigt. Aus dem Flächenverhältnis kann dieser Faktor mit:

$$K_{\sigma,Fläche} = 10 \lg \left( \frac{S_{abstr}}{S_{Norm}} \right) \quad (26)$$

mit

- $K_{\sigma,Fläche}$  = Faktor für die abstrahlende Fläche, in dB
- $S_{abstr}$  = abstrahlende Fläche in m<sup>2</sup>
- $S_{Norm}$  = Fläche der Wand nach Norm,  $S_{Norm} = 10 \text{ m}^2$

abgeschätzt werden. Mit der Annahme der abstrahlenden Fläche von 1 m<sup>2</sup> wird dieser Faktor  $K_{\sigma,Fläche} = -10 \text{ dB}$ . Dieser Faktor steht in gewissem Zusammenhang mit der Messung der Stoßstellendämmung bzw. der Schnellemessungen auf den Pfaden in diesem Vorhaben. Für das Berechnungsmodell hat sich die Schätzung von  $K_{\sigma,Fläche} = -8 \text{ dB}$  als eine gute Annahme erwiesen. Damit ergibt das Berechnungsmodell bessere Übereinstimmung mit den Messwerten.

Die Schallübertragung auf dem Weg 1 errechnet sich dann mit:

$$D_{n,f,Weg 1} = R_w + K_{Stoßstelle} + K_{Wand} + K_{\sigma,Fläche} \quad (27)$$

mit

- $D_{n,f,Weg 1}$  = Flankenpegeldifferenz für Weg 1 in dB
- $R_w$  = bewertetes Schalldämm-Maß, in dB
- $K_{Stoßstelle}$  = Faktor für die Stoßstelle, in dB
- $K_{Wand}$  = Faktor für die Übertragung von einer Wandschale zur anderen Wandschale, in dB
- $K_{\sigma,Fläche}$  = Faktor für die abstrahlende Fläche, in dB

## 7.2 Übertragungsweg über den Wandzwischenraum, Weg 2

Die Schallübertragung über den Wandzwischenraum beinhaltet alle Übertragungswege, die nicht durch Weg 1 und Weg 3 beschrieben werden. Dieser Weg kann nicht direkt gemessen werden und wird, basierend auf den durchgeführten Messungen, abgeschätzt. Dieser Weg begrenzt die bewertete Norm-Flankenpegeldifferenz, wenn beide Wege 1 und 3 konstruktiv unterbrochen werden.

## 7.3 Übertragungsweg über die Innenschale, Weg 3

Die Schallübertragung über die Innenschale wird ähnlich wie für die Außenschale berechnet:

$$D_{n,f,Weg 3} = K_{Anregung} + K_{Stoßstelle} + K_{\sigma,Fläche} + K_{\sigma} \quad (28)$$

## 7.4 Berechnete bewertete Norm-Flankenpegeldifferenz

Die bewertete Norm-Flankenpegeldifferenz berechnet sich dann durch

$$D_{n,f,w} = -10 \lg \left[ 10^{-D_{n,f,Weg\ 1}/10} + 10^{-D_{n,f,Weg\ 2}/10} + 10^{-D_{n,f,Weg\ 3}/10} \right] \quad (29)$$

Um das Vorhersagemodell mit Messungen abzugleichen, d.h. um die Eingangsgrößen sinnvoll abzustimmen, wurde die Prognose nicht nur für die Norm-Flankenpegeldifferenz vorgenommen, die im durchgeführten Forschungsvorhaben die Schallübertragung zwischen Raum 1 und 4 darstellt, sondern auch für die Diagonal-Flankenpegeldifferenz zwischen Raum 1 und 3. Dabei wurden die Übertragungswege entsprechend angepasst. Weg 1 errechnet sich dafür mit:

$$D_{1-3,f,Weg\ 1} = R_w + K_{Stoßstelle} + K_{\sigma,Fläche} \quad (30)$$

mit

- $D_{n,f,Weg\ 1}$  = Flankenpegeldifferenz für Weg 1 in dB
- $R_w$  = bewertetes Schalldämm-Maß, in dB
- $K_{Stoßstelle}$  = Faktor für die Stoßstelle, in dB
- $K_{\sigma,Fläche}$  = Faktor für die abstrahlende Fläche, in dB

Die Schallübertragung auf dem Weg 2 wurde angenommen mit:

$$D_{1-3,f,Weg\ 2} = D_{n,f,Weg\ 2} \quad (31)$$

Die Flankenpegeldifferenz auf dem Weg 3 wird berechnet mit:

$$D_{1-3,f,Weg\ 3} = R_w + K_{Stoßstelle} + K_{\sigma,Fläche} \quad (32)$$

Folgende Werte in Tabelle 8 wurden für das Berechnungsmodell verwendet:

Tabelle 8:  
Im Vorhersagemodell verwendete Werte.

Zeile	Konstruktion	Größe	Wert	Quelle
1	Einfachständerwand	$R_w$	45 dB	Messung zwischen Raum 1 und 2
2	Doppelständerwand	$R_w$	51 dB	Messung zwischen Raum 1 und 2
3	Einfach- und Doppelständerwand	$K_{\text{Anregung}}$	35 dB	Messwert
4	T-Stoß Außenschale	$K_{\text{Stoßstelle}}$	8 dB	Aus Messungen abgeschätzt
5	X-Stoß Außenschale	$K_{\text{Stoßstelle}}$	16,7 dB	Messwert
6	Einzelständerwand Stoß Innenschale (Knauf-Anschluss)	$K_{\text{Stoßstelle}}$	16,7 dB	Übernommen aus Zeile 5
7	Doppelständerwand Stoß Innenschale (Knauf-Anschluss)	$K_{\text{Stoßstelle}}$	8,9 dB	Messwert
8	Innenschale unterbrochen	$K_{\text{Stoßstelle}}$	35 dB	geschätzt
9	Einzel- und Doppelständerwand	$K_{\sigma, \text{Fläche}}$	8 dB	Aus Flächenverhältnis, abgeschätzt
10	Einzel- und Doppelständerwand	$K_{\sigma}$	-3 dB	Mittelwert aus Abstrahlgrad von 2000, 2500 und 3150 Hz
11	Einzel- und Doppelständerwand	$D_{n,f, \text{Weg 2}}$	71 dB	Aus Messwerten geschätzt

Für das Vorhersagemodell wurde versucht, für die Eingangswerte möglichst Messwerte zu verwenden. Einige der Eingangswerte, für die Messwerte vorlagen, wurden jedoch so angepasst, dass die berechnete Flankenpegeldifferenz zwischen Raum 1 und 3 und zwischen Raum 1 und 4 in guter Übereinstimmung mit den Messwerten lag. Der Vergleich der berechneten Werte mit Messwerten ist in Tabelle 9 dargestellt.

Tabelle 9:

Mit dem Vorhersagemodell berechnete Flanken-Pegeldifferenzen und in diesem Vorhaben gemessene Werte.

Situation	Gerechnet	Gemessen	Differenz
Einzelständerwand, durchgehende Innenschale, T-Stoß, $D_{f,w,1-3}$	60,1	60,5	-0,4
Einzelständerwand, durchgehende Innenschale, T-Stoß, $D_{n,f,w,1-4}$	56,5	58,0	-1,5
Einzelständerwand, durchgehende Innenschale, X-Stoß, $D_{f,w,1-3}$	65,5	63,9	1,4
Einzelständerwand, durchgehende Innenschale, X-Stoß, $D_{n,f,w,1-4}$	56,5	57,7	-1,2
Einzelständerwand, unterbrochene Innenschale, T-Stoß, $D_{f,w,1-3}$	60,6	60,4	0,2
Einzelständerwand, unterbrochene Innenschale, T-Stoß, $D_{n,f,w,1-4}$	68,2	65,1	3,1
Einzelständerwand, unterbrochene Innenschale, X-Stoß, $D_{f,w,1-3}$	67,3	65,4	1,9
Einzelständerwand, unterbrochene Innenschale, X-Stoß, $D_{n,f,w,1-4}$	69,3	69,2	0,1
Doppelständerwand, durchgehende Innenschale, T-Stoß, $D_{f,w,1-3}$	63,6	67,7	-4,1
Doppelständerwand, durchgehende Innenschale, T-Stoß, $D_{n,f,w,1-4}$	48,9	50,6	-1,7
Doppelständerwand, unterbrochene Innenschale, T-Stoß, $D_{f,w,1-3}$	65,5	69,3	-3,8

Tabelle 10 fortgesetzt:

Mit dem Vorhersagemodell berechnete Flanken-Pegeldifferenzen und in diesem Vorhaben gemessene Werte.

Doppelständerwand, unterbrochene Innenschale, T-Stoß, $D_{n,f,w,1-4}$	69,4	70,9	-1,5
Doppelständerwand, unterbrochene Innenschale, X-Stoß, $D_{f,w,1-3}$	69,7	70,5	-0,8
Doppelständerwand, unterbrochene Innenschale, X-Stoß, $D_{n,f,w,1-4}$	69,5	70,9	-1,4

Neben den Messwerten aus diesem Vorhaben lagen auch weitere Messwerte aus dem Flankenprüfstand der Firma Knauf vor. Dabei handelte es sich um zwei Wandtypen. Die erste flankierende Wand war eine CW 100 Wand mit beidseitig 2 x 12,5 mm Hartgipsplatten „Diamant“ Beplankung (SWW 14 006 12 / SF 13 106 53/39/47/49), die zweite Wand war eine CW 100 Wand mit beidseitig 2 x 12,5 mm Gipskarton-Faserplatten „Silentboard“ Beplankung (SWW 08 094 / SF 13 106 58/60). Die Stoßstellenausbildung war vergleichbar mit der in diesem Vorhaben verwendeten. Für diese Wände lagen Messwerte der Norm-Flankenpegeldifferenz für verschiedene Stoßausbildungen (durchlaufende Innenschale (nur bei „Diamant“), Innenschale vollständig geschlitzt, Innenschale unterbrochen (nur bei „Diamant“) und Trennwand eingebunden vor. Bei allen Wänden handelte es sich um einen T-Stoß, d.h. gegenüber der hochschalldämmenden Trennwand gab es keine weitere Trennwand. Für diese Wände wurde das Berechnungsmodell mit zum Teil angepassten sowie den oben genannten Eingangsgrößen eingesetzt. Dabei waren die angepassten Eingangsgrößen: Direktdämmung der flankierenden Wände (Messwerte:  $R_w = 63,0$  dB für „Diamant“,  $R_w = 70,3$  dB für „Silentboard“), und  $D_{n,f,Weg 2} = 82$  dB. Dieser Wert wurden geschätzt. Alle anderen für die Berechnung verwendeten Werte sind in Tabelle 8 niedergelegt. Die Berechnung erfolgte nur für das Norm-Flankendämmmaß (Raum 1 nach 4), da nur dafür Messwerte vorlagen. Die mit dem Vorhersagemodell berechneten Werte sind den Messwerten aus diesem Vorhaben und von Knauf in Bild 49 gegenübergestellt.

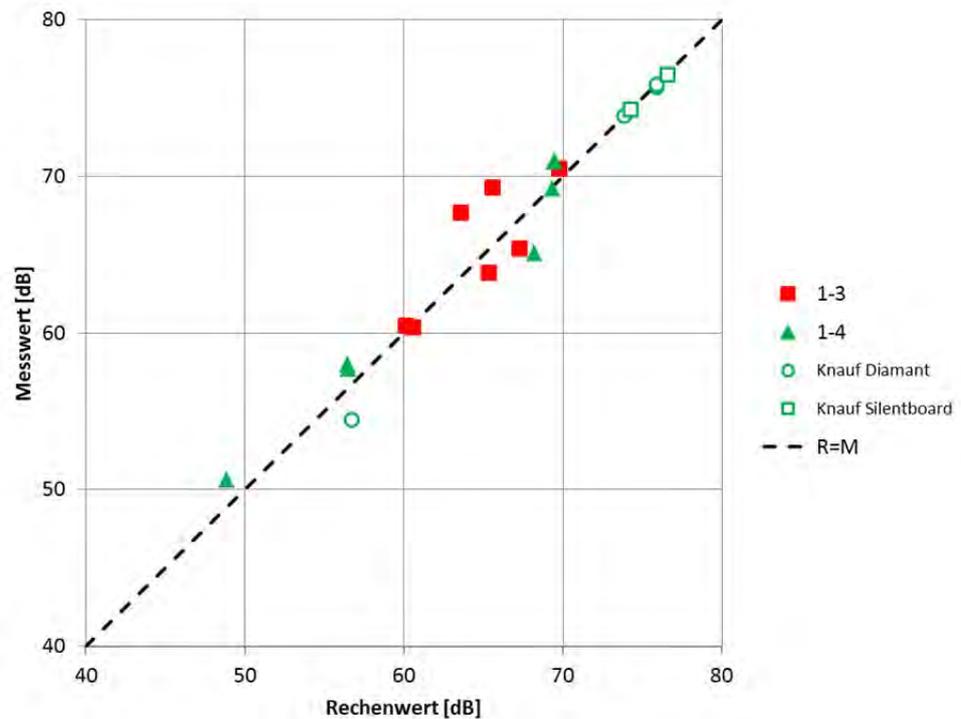


Bild 49:

Grafische Gegenüberstellung der berechneten und gemessenen Werte der Flankenpegeldifferenz zwischen Raum 1 und 3 (1-3) und zwischen Raum 1 und 4 (1-4).

Das Vorhersagemodell, das einige etwas angepasste Werte enthält, zeigt im Vergleich zu den Messwerten eine recht gute Übereinstimmung, vor allem für die Norm-Flankenpegeldifferenz (für den Weg 1 – 4). Wichtiger noch zeigt das Vorhersagemodell mit wenigen Anpassungen für die beiden Wandkonstruktionen, die bei Knauf aufgebaut und gemessen wurden, ebenso eine gute Übereinstimmung mit den Messwerten. Daher erscheint es aussichtsreich, dieses Vorhersagemodell in größerem Umfang einzusetzen. Da es sich an die Vorgehensweise der EN 12354-1 anlehnt, ist es mit dieser Norm kompatibel bzw. könnte durch Anpassung der Eingangsgrößen kompatibel gemacht werden.

Die Prognose von  $D_{n,f,w}$  mit Spektrum-Anpassungswerten war nicht Ziel des Vorhabens. Dafür müssten weitere Überlegungen speziell zur Festlegung der Eingangsgrößen angestellt werden, denn bei diesen Bewertungen liegt ein verändertes Bewertungsspektrum zugrunde, so dass hier ein deutlich breiterer Frequenzbereich Einfluss auf die Einzahlbewertung hat. Ein möglicher Ansatz dafür wäre, den Frequenzverlauf der einzelnen Konstruktion zu prognostizieren, um daraus die Einzahlbewertung abzuleiten.

## 8 Zusammenfassung und Ausblick

### 8.1 Zusammenfassung

In diesem Forschungsvorhaben wurde die Schall-Längsdämmung von Gipskarton-Ständerwänden untersucht. Schwerpunkt der Untersuchungen waren verschiedene Ausführungskonstruktionen der Stoßstelle zwischen Trennwand und flankierender Wand. Dabei wurden eine Standard-Wandkonstruktion mit einlagiger Beplankung aus Gipskarton-Bauplatten mit verschiedenen Stoßvarianten untersucht und eine davon abgeleitete weitere Wandkonstruktion getestet, bei der getrennte Ständer eingesetzt wurden. Die Untersuchungen wurden in einem Diagonal-Prüfstand vorgenommen, in dem nicht nur die Schalldämmung entlang der flankierenden Wand gemessen werden konnte. Zusätzlich war auch die Messung der diagonalen Schallübertragung über den Stoß, bei Verwendung einer weiteren Trennwand gegenüber der eigentlichen Trennwand, möglich. Im Vorhaben wurden Luftschallmessungen und Körperschallmessungen durchgeführt.

Ausgangspunkt der Messungen waren Messungen am IBP im Jahre 2012, die von der PTB beauftragt wurden und die dazu dienen sollten, die in DIN 4109 vorhandenen Messdaten zu bestätigen bzw. Daten für den neuen Bauteilkatalog der neuen DIN 4109 Teil 33 bereitzustellen. Bei diesen Messungen kam es zu Diskrepanzen zu früheren Messwerten, so dass im aktuellen Normenentwurf der DIN 4109 -33 lediglich zwei verschiedene Ausführungsvarianten der Stoßausbildung Eingang gefunden haben, die mit maximal 61 dB relativ geringe Norm-Flankenpegeldifferenzen aufweisen. In diesem Vorhaben konnten nun Hinweise auf die Ursachen dieser Diskrepanzen gefunden werden. Darüber hinaus können mit diesem Vorhaben für die untersuchten Wand und Stoßkonstruktionen Werte bereitgestellt werden, die die Daten im Bauteilkatalog untermauern bzw. die mit in den Bauteilkatalog mit aufgenommen werden können. Für die Direktdämmung ergibt sich eine neue Wandkonstruktion, die in den Bauteilkatalog mit aufgenommen werden kann, für die Flankendämmung fünf.

Die detaillierte Untersuchung der Übertragungsmechanismen insbesondere an der Stoßstelle, aber auch für die gesamte flankierende Schallübertragung an diesen leichten Wänden hat zur Entwicklung eines empirischen Vorhersagemodells für die bewertete Norm-Flankenpegeldifferenz geführt, das auf den Grundzügen der EN 12354 basiert und das zu einer guten Übereinstimmung mit den Messwerten an den beiden untersuchten Wandtypen geführt hat. Dieses Modell wurde daraufhin auf Konstruktionen angewendet, die von der Firma Knauf Gips KG bereitgestellt wurden. Der Vergleich der mit dem Vorhersagemodell berechneten Werte mit den Messwerten hat eine gute Übereinstimmung ergeben. Daher erscheint das Berechnungsmodell geeignet, verschiedene Konstruktionsvarianten von Wänden zu berechnen, so dass, wenn es sich bewährt, die Anzahl der Konstruktionen, die messtechnisch überprüft werden müssen, deutlich verringert werden kann.

## 8.2 Ausblick

Die im Rahmen des Projekts untersuchten Wandkonstruktionen waren konstruktiv relativ einfache Wände, die ausgehend von der Grundwand (Einfachständer mit einfacher Beplankung) weitere Varianten dieser Grundwand beinhalteten. In den vergangenen ca. 20 Jahren haben sich aus diesem Wandtyp eine Vielzahl an weiteren Ständerwänden entwickelt, die zum Teil eine deutlich höhere Schalldämmung erreichen. Dabei wird z.B. die Art der Beplankung verändert (2-lagig oder 3-lagig), oder das Material der Beplankung variiert. Inzwischen gibt es neben einer Variation der Plattenstärke (9.5, 12.5 oder 15 mm) auch unterschiedliche Plattenmaterialien wie Gipskarton-Bauplatten, Gipskarton-Faserplatten (Produktname „Silentboard“) und Hartgipsplatten (Produktname „Diamant“), die verschiedene akustische Eigenschaften aufweisen. Weiterhin können Wände als Einfachständerwände oder als Doppelständerwände aufgebaut werden, sowie besondere Schallschutzständer eingesetzt werden, die eine zusätzliche akustische „Entkopplung“ der beiden Wandschalen ermöglichen sollen. Wie im Forschungsvorhaben untersucht, gibt es zusätzlich einen deutlichen Einfluss verschiedener konstruktiver Detaillösungen, die alle einen gewissen Einfluss auf die Längsschalldämmung aufweisen. Ausgehend von den in diesem Vorhaben untersuchten Aufbauten bietet sich an, vor allem im Hinblick auf die in der Bauakustik-Normung (DIN 4109) gewünschten Angaben, weitere Untersuchungen an Gipskarton-Ständerwänden durchzuführen. Beispielfhaft könnte man folgende Wandkonstruktionen untersuchen:

- Einfach beplankte GKB-Ständerwand mit Schalenabstand 50 mm (Werte in DIN 4109 Tab. 32 vorhanden, aber veraltet)
- Doppeltbeplankte GKB-Ständerwand mit Schalenabstand 50 mm
- Doppeltbeplankte GKB-Ständerwand mit Schalenabstand 100 mm
- Doppeltbeplankte GKB Ständerwand mit Doppelständer 105 mm Schalenabstand
- Ständerwände mit „Diamant“ oder „Silentboard“-Beplankung oder auch mit Mischbeplankung (einfach oder doppelt beplankt)

Da die Variantenvielzahl sehr hoch ist, könnte auch der Weg der Berechnung verschiedener Stoßkonstruktionen besprochen werden. Mit dem vorgestellten empirischen Vorhersagemodell der bewerteten Norm-Flankenpegeldifferenz könnten auch gezielt einzelne Messungen durchgeführt werden, um die Eingangsdaten für verschiedene Wandkonstruktionen abzusichern, so dass dann weitere Varianten derselben Wand zukünftig berechnet werden können. Die ersten Vergleiche von Berechnungen für Konstruktionen der Firma Knauf, für die Messwerte vorlagen, stimmen zuversichtlich, dass das Modell verlässliche Werte liefert.

## Literaturverzeichnis

- [1] DIN 4109:1989 Beiblatt 1: Schallschutz im Hochbau - Ausführungsbeispiele und Rechenverfahren. Beuth Verlag, Berlin.
- [2] Bietz, H., Wittstock, V., Scholl, W.: „Aktualisierung des bauaufsichtlich eingeführten Bauteilkatalogs der DIN 4109, Teil Skelettbau“, PTB Bericht 27.11.2012, Braunschweig.
- [3] prEN 12354-1:2013: Building Acoustics - Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements - Part 1: Airborne sound insulation between rooms, 2nd. draft.(pr 12354-1)
- [4] Villot, M.: COST Action FP0702: Net-Acoustics for Timber based lightweight buildings and elements E-BOOK Chapter 1: Prediction methods for sound and vibration performances, including low frequencies.
- [5] Schoenwald, S.: Flanking sound transmission through lightweight framed double leaf walls - Prediction using statistical energy analysis -. Promotionsschrift, Universität Eindhoven. 16.09.2008.
- [6] Crispin, C., Ingelaere, B.: Laboratory measurements of the new quantities necessary for the flanking transmission prediction in lightweight constructions. In: *Internoise 2013*, Innsbruck, Austria.
- [7] Crispin, C., De Geetere, L., Ingelaere, B.: Some considerations about the "element attenuation". In: *Internoise 2013*, Innsbruck, Austria.
- [8] DIN 4109:1989 Schallschutz im Hochbau - Anforderungen und Nachweise. Beuth Verlag, Berlin.
- [9] Bohnsack, S.: Schall-Längsdämmung von Montagewänden. Informationsschrift „Technik Aktuell“ von Rigips, 11.01.2001.
- [10] Brandstetter, D., Weber, L.: Messung der Schall-Längsdämmung von Gipskarton-Ständerwänden und Massivwänden mit Vorsatzschalen nach DIN EN ISO 10848 für den Bauteilkatalog der neuen DIN 4109. Messbericht für die PTB, 31.08.2012.
- [11] E DIN 4109: Schallschutz im Hochbau – Teil 33: Eingangsdaten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Holz-, Leicht- und Trockenbau, flankierende Bauteile. 04.11.2013. NA 005 Normenausschuss Bauwesen (NA Bau), DIN.
- [12] DIN EN ISO 717-1 (2006): Akustik - Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen - Teil 1: Luftschalldämmung (ISO 717-1:1996+AM1:2006). Beuth Verlag, Berlin 2006.
- [13] Craik, R.J.M., Smith, R.S.: Sound transmission through double leaf lightweight partitions part I: airborne sound. *Applied Acoustics* 61, 223–245.
- [14] Guigou-Charter, C., Villot, M.: Modelling of Sound Transmission Through Lightweight Elements with Stiffeners. *Building Acoustics* 10(3), 193–209.
- [15] Hopkins, C.: *Sound Insulation*, 1. Auflage. 2007, Verlag Butterworth-Heinemann / Elsevier.
- [16] Leppington, F.G., Broadbent, E.G., Heron, K.H., Mead, S.M.: Resonant and Non-Resonant Acoustic Properties of Elastic Panels. I. The Radiation Problem. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 406 (1831), 139–171.
- [17] Schneider, M., Reinhold, S., Fischer, H. M.: Measured Sound Insulation of Double Leaf Plasterboard Walls Part 1: Measurements concerning the basic acoustical behaviour. In: *AIA-DAGA Euroregio 2013 Meran*.
- [18] DIN EN ISO 12999-1:2014 Akustik - Bestimmung und Anwendung der Messunsicherheiten in der Bauakustik - Teil 1: Schalldämmung. Beuth Verlag, Berlin.
- [19] DIN EN ISO 10848-1:2006 Messung der Flankenübertragung von Luftschall und Trittschall zwischen benachbarten Räumen in Prüfständen – Teil 1: Rahmendokument (ISO 10848-1:2006); Deutsche Fassung EN ISO 10848-1:2006. Beuth Verlag, Berlin.

- [20] Weber, L., Burckas, K.: Meßverfahren für die Stoßstellendämm-Maße  $K_{ij}$  bei leichten Bauelementen, wenn die Verbindung einen wesentlichen Einfluß hat. IBP-Bericht B-BA 7/2002.
- [21] DIN 18183-1:2008 Trennwände und Vorsatzschalen aus Gipsplatten mit Metallunterkonstruktionen - Teil 1: Beplankung mit Gipsplatten. Beuth Verlag, Berlin.
- [22] EN 12354-1:2000 Bauakustik - Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften. Beuth Verlag, Berlin.