

Willkommen  
Welcome  
Bienvenue



# Aktuelle Ergebnisse aus Laboruntersuchungen zu Decken und Nebenwegen

Lignum Informationsveranstaltung Projektpartner  
14. März 2017, ETH Zürich, Hönggerberg

Stefan Schoenwald , Hans-Martin Tröbs  
*stefan.schoenwald@empa.ch*

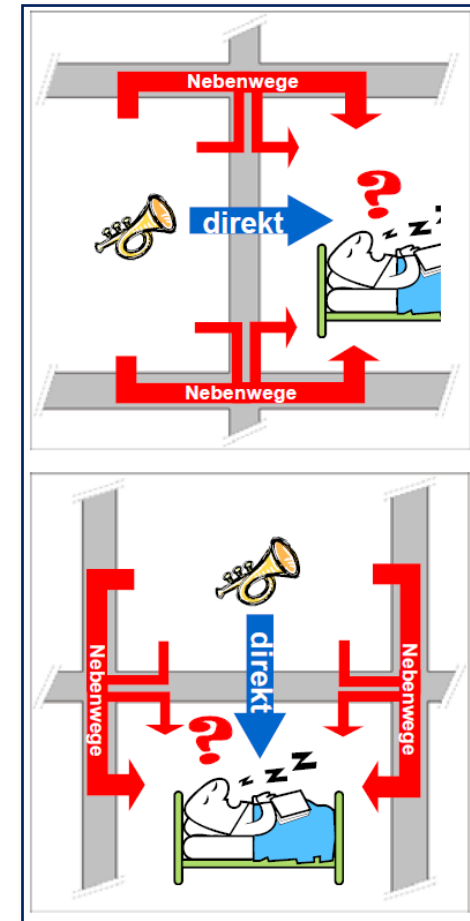
Building Acoustics  
Laboratory for Acoustics/Noise Control

- Einleitung
- Übersicht aktueller Aktivitäten
- Vorstellung von Teilprojekten
  - Aufbereitung der Labordaten für die Praxis
  - Parameterstudie verschiedener Bodenaufbauten
- Ausblick

# Schallübertragung im Holzbau

- *Immer noch* sehr aktuell

- Unzureichendes Verständnis der Schallübertragung, insbesondere in Gebäuden
- Nur unzureichende validierte Prognosemodelle
- Aufwendige Prüfung von Bauteilen und Bausystemen erforderlich
- Tiefton-Problematik, besonders beim Trittschall
- Schalltechnische Optimierung von Bauteilen und Bausystemen im «Trial-and-Error-Verfahren»



# Projekt «Schallschutz im Holzbau»

## Ziele und Aufgaben der Empa

- Gesicherte Planungsdaten für den Schallschutz im Holzbau für die Praxis
- Arbeitspakete im Projekt «Schallschutz im Holzbau»
  - Charakterisierung der relevanten Übertragungswege für Luft- und Trittschall für typische Bauteile und Bauweisen
  - Quantifizierung der Wirksamkeit von Massnahmen (u.a. Unterlagsböden, Abhangdecken, Wandvorsatzschalen)
  - Aufarbeitung der Labordaten für die effiziente Planung von Luft- und Trittschallschutz im Holzbau für eine Vielzahl an Situation und Bauweisen



# Projekt «Schallschutz im Holzbau»

## Übersicht aktueller Aktivitäten

- Untersuchung der Schallübertragung an Bauteilstößen mit einer Brettstapeldecke als Trennbauteil
- Parameterstudie zur Verbesserung der Luftschalldämmung durch Wandaufbauten an Holzständerwänden und Massivholzwänden
- Parameterstudie zu Fussbodenaufbauten auf Massivholzdecken
- Parameterstudie zu Deckenaufbauten unter Massivholzdecken
- Datenanalyse und Aufbereitung



Willkommen  
Welcome  
Bienvenue



# Aufbereitung der Labordaten für die Praxis

Lignum Informationsveranstaltung Projektpartner  
14. März 2017, ETH Zürich, Hönggerberg

Stefan Schoenwald , Hans-Martin Tröbs  
*stefan.schoenwald@empa.ch*

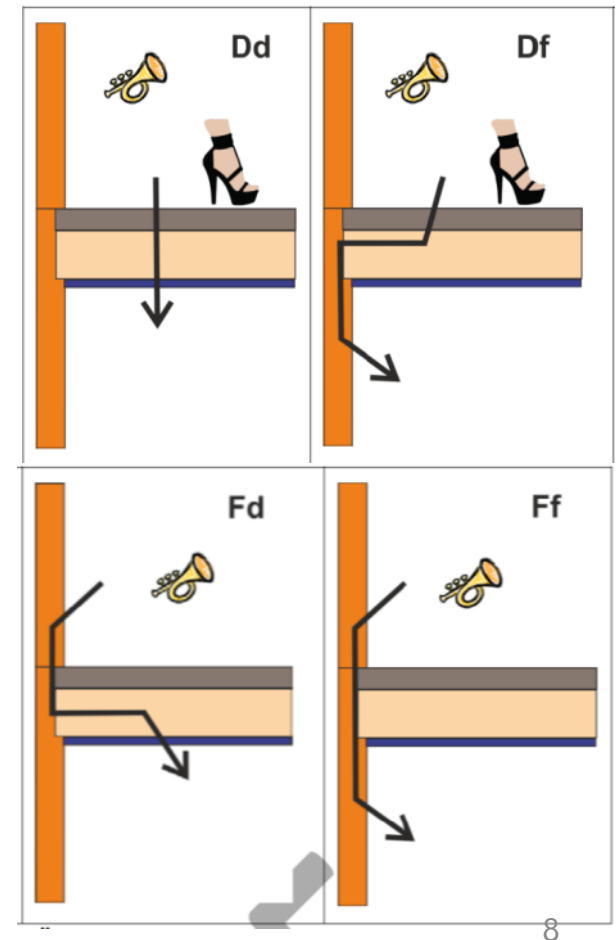
Building Acoustics  
Laboratory for Acoustics/Noise Control

- Grundlagen
- Prognoseverfahren für Holzbau
- Schallschutzdaten für die Planung
- Schlussfolgerung und Ausblick

# Grundlagen

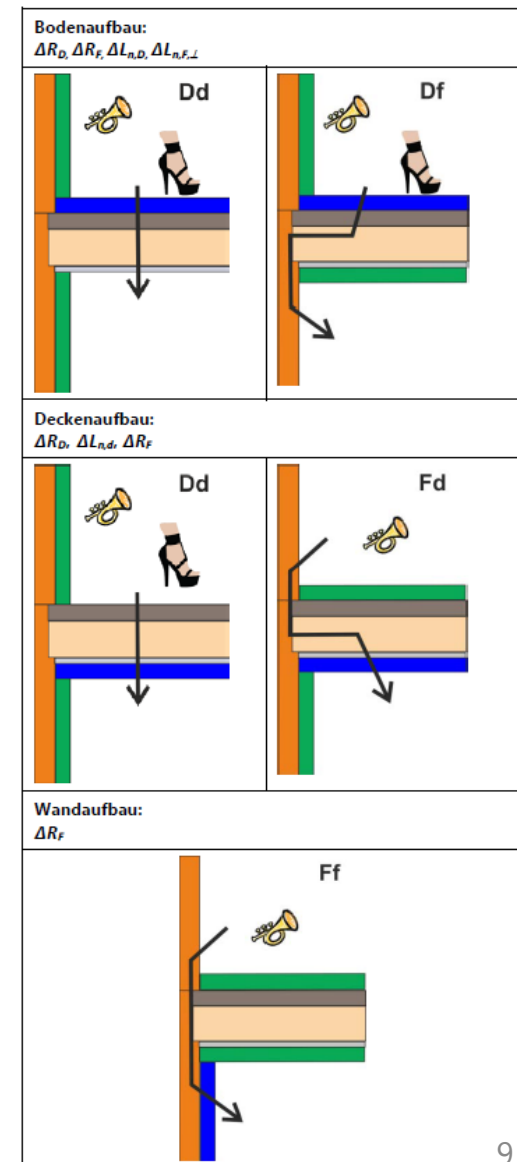
## Übertragung am Grundstoss

- Messmethode wurde vorgestellt, mit der alle Nebenwege an einer Stossstelle detailliert ermittelt werden
- Bausituation mit 2 Räumen übereinander
- Luftschall – Schalldämmmasse R:
  - 3 Nebenwege pro Stossstelle (Df, Fd, Ff)
  - Bei Bausituation mit 4 Stossstellen:  
insgesamt 12 Nebenwege  
+ Direktübertragung (Dd) durch Trennbauteil
- Trittschall – Norm-Trittschallpegel  $L_n$ :
  - 1 Nebenweg pro Stossstelle (Df)
  - Bei Bausituation mit 4 Stossstellen:  
insgesamt 4 Nebenwege  
+ Direktübertragung (Dd) durch Trennbauteil





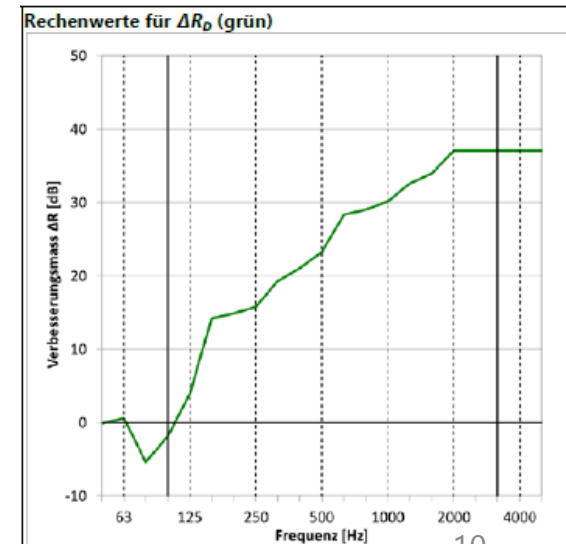
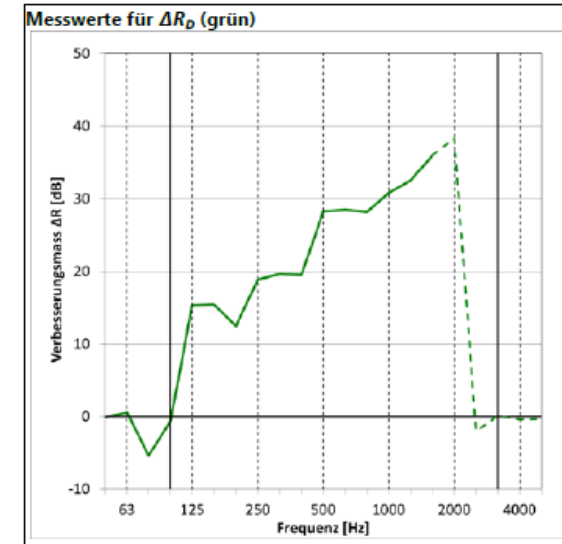
- Veränderung an gekoppelten Bauteilen ohne Einfluss auf Stosstelle, z. B. durch zusätzliche Fussbodenaufbauten, Abhangdecken, Wandaufbauten
- Änderung der Schalldämmung wird durch «*Verbesserungsmasse*» beschrieben
- Verbesserungsmasse abhängig von...
  - Anregungsart (Luft- oder Trittschall)
  - Übertragungsweg (Direkt oder Nebenweg)
  - Anordnung (Sende- oder Empfangsraum)
- Verbesserungsmasse werden experimentell ermittelt



# Verbesserungsmasse

## Messergebnisse und Rechenwerte

- Experimentell ermittelte Verbesserungsmasse können oft nicht direkt für Prognose verwendet werden
- Limitierung bei hohen Frequenzen durch:
  - Hintergrundgeräusch bei hoher Schalldämmung
  - Nebenwege mit geringer Schalldämmung
- Annahme konstanter Verbesserung
- Laufende Mittelung zur Glättung oberhalb der Resonanzfrequenz



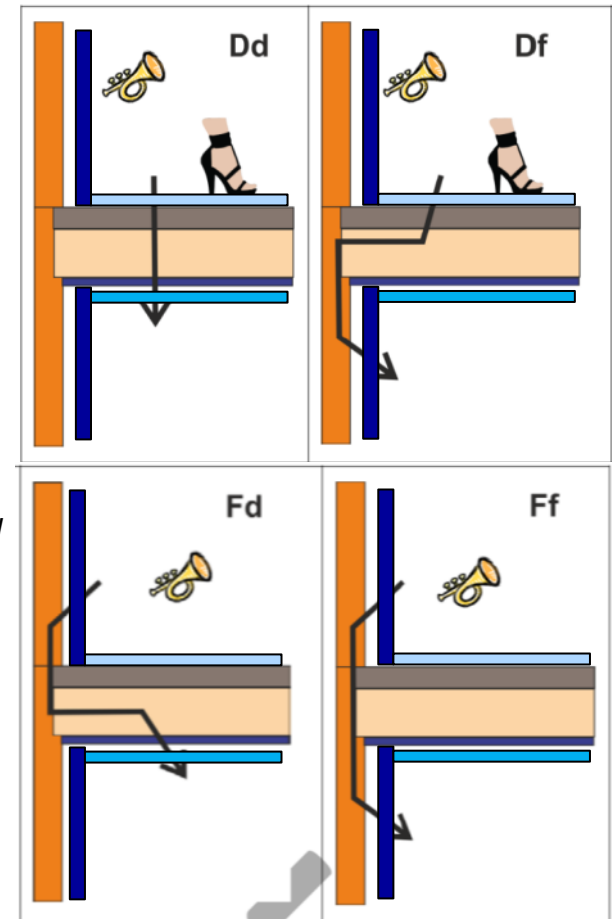
# Prognose von Bausituationen - 1. Kombination von Massnahmen

- Für **jeden einzelnen** Übertragungsweg:

$$R_{ij,mod} = R_{ij,Grund} + \Delta R_{i,mod,situ} + \Delta R_{j,mod,situ}$$

$$L_{n,ij,mod} = L_{n,ij,Grund} - \Delta L_{i,mod,situ} - \Delta R_{j,mod,situ}$$

- Jeweilige Verbesserungsmasse werden zum Schalldämmmass  $R_{ij,Grund}$  des Grundstosses addiert bzw. vom Norm-Trittschallpegel  $L_{n,ij,Grund}$  abgezogen
- Verbesserungsmasse müssen zum Grundbauteil und Situation passen



# Prognose von Bausituationen -

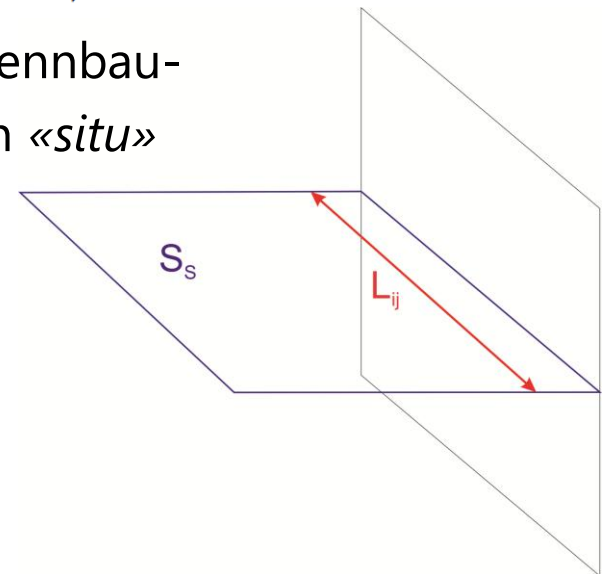
## 2. Anpassung an Baugeometrie

- Für **jeden einzelnen** Nebenweg:

$$R_{ij,mod,situ} = R_{ij,mod,lab} + 10lg \left( \frac{l_{ij,lab}}{l_{ij,situ}} \right) + 10lg \left( \frac{S_{S,situ}}{S_{S,lab}} \right)$$

$$L_{n,ij,mod,situ} = L_{n,ij,mod,lab} - 10lg \left( \frac{l_{ij,lab}}{l_{ij,situ}} \right) - 10lg \left( \frac{S_{S,situ}}{S_{S,lab}} \right)$$

- Berücksichtigung der Stossstellenlänge  $l_{ij}$  und Trennbau-  
teilfläche  $S_S$  im Labor «*lab*» und der Bausituation «*situ*»
- Skalierung:
  - Längere Stossstelle  
-> geringere Schalldämmung des Nebenwegs
  - Grösseres Trennbauteil  
-> höhere Schalldämmung des Nebenwegs



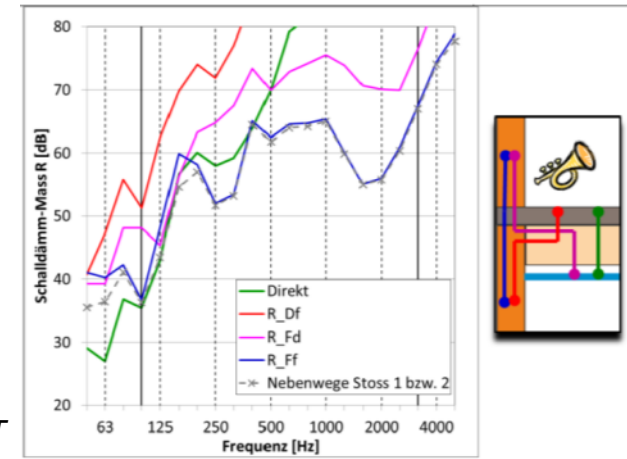
# Prognose von Bausituationen -

## 3. Bilanzierung und Beurteilung nach SIA 181

- Energetische Bilanzierung aller Übertragungswege

$$R' = -10 \lg \left[ 10^{-0.1 \cdot R_{Dd}} + \sum_{m=1}^4 (10^{-0.1 \cdot R_{Df,m}} + 10^{-0.1 \cdot R_{Fd,m}} + 10^{-0.1 \cdot R_{Ff,m}}) \right]$$

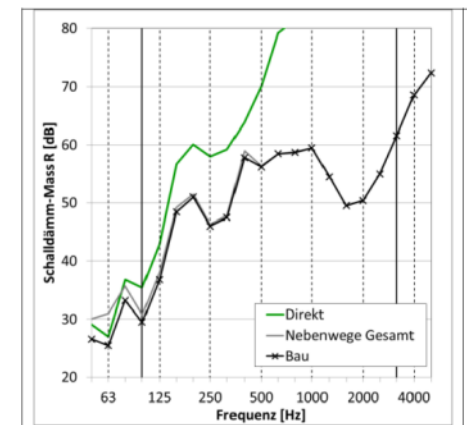
$$L_n' = 10 \lg \left[ 10^{0.1 \cdot L_{n,Dd}} + \sum_{m=1}^4 10^{0.1 \cdot L_{n,Df,m}} \right]$$



- Umrechnung in Standard-Schallpegeldifferenz  $D_{nT}$  und Standard-Trittschallpegel  $L_{nT}$  aus Trennbauteilfläche  $S$  und Empfangsraumvolumen  $V$

$$D_{nT} = R' + 10 \lg \frac{V}{S} - 4.9 \quad L'_{nT} = L'_n - 10 \lg(V) + 14.9$$

- Ermittlung von Einzulangaben und Beurteilung nach SIA 181



# Wissenstransfer - Einzahlangaben für Gebäudeszenarien

- 2 Räume übereinander
- Kombination von Massnahmen, z.B.:
  - 2 Bodenaufbauten (Trenndecke)
  - 5 Deckenaufbauten (Trenndecke)
  - 3 Wandaufbauten (Flanken)
- Einzahlangaben  $R'_w$  ( $C_r$ ,  $C_{tr}$ ,  $C_{50-3150}$ ,  $C_{tr,50-3150}$ ) und  $L'_{n,w}$  ( $C_l$ ,  $C_{l,50}$ )
- Momentan nur Daten für einen Stoss mit Holzbetonverbund-Rippendecke
- Alle 4 Stösse der Trenndecke sind gleich
- Einfluss der Geometrie?

Boden-/ Deckenaufbau	Direkt-Schall-dämmung	Bauschalldämmung $R'_w$ ( $C_r$ , $C_{50-3150}$ , $C_{tr,50-3150}$ ) und $L'_{n,w}$ ( $C_l$ , $C_{l,50}$ )									
		Grundwand				Wandaufbau z					
		4 Stösse	3 Stösse	2 Stösse	1 Stos	4 Stösse	3 Stösse	2 Stösse	1 Stos		
Bodenaufbau 1	Grund-decke	67	53	54	56	63	63	64	61	62	63
		(-5,-13,-8,-20)	(-1,-6,-2,-9)	(-1,-6,-2,-10)	(-2,-7,-3,-11)	(-5,-13,-8,-18)	(-4,-12,-7,-18)	(-5,-12,-7,-19)	(-3,-9,-5,-15)	(-3,-10,-5,-16)	(-3,-10,-6,-17)
	Decke 2	51	52	52	52	51	51	51	51	51	51
		(-4,-11,-8,-20)	(-2,-5,-2,-9)	(-2,-6,-3,-10)	(-2,-5,-2,-10)	(-3,-10,-5,-16)	(-3,-10,-6,-17)	(-3,-10,-6,-17)	(-3,-8,-5,-15)	(-2,-7,-4,-15)	(-2,-8,-4,-15)
	Decke 1	68	53	54	55	61	62	63	60	61	62
		(-4,-11,-8,-20)	(-2,-5,-2,-9)	(-2,-6,-3,-10)	(-2,-5,-2,-10)	(-3,-10,-5,-16)	(-3,-10,-6,-17)	(-3,-10,-6,-17)	(-3,-8,-5,-15)	(-2,-7,-4,-15)	(-2,-8,-4,-15)
	Decke 3	86	54	55	56	66	67	68	64	65	66
		(-9,-18,-19,-32)	(-1,-5,-2,-8)	(-1,-5,-2,-9)	(-1,-5,-2,-9)	(-5,-13,-7,-19)	(-5,-13,-8,-19)	(-5,-13,-7,-19)	(-2,-7,-4,-15)	(-2,-7,-4,-15)	(-1,-7,-4,-16)
	Decke 4	27	44	43	41	38	37	36	37	36	35
		(3,22)	(-2,8)	(-2,9)	(-2,10)	(2,14)	(2,14)	(2,15)	(1,15)	(1,15)	(1,15)
	Decke 3	85	54	55	56	66	67	68	64	65	66
		(-8,-17,-20,-33)	(-1,-5,-2,-9)	(-1,-5,-2,-9)	(-1,-5,-2,-9)	(-5,-13,-8,-20)	(-5,-13,-8,-20)	(-5,-13,-8,-20)	(-2,-7,-5,-16)	(-2,-7,-5,-17)	(-1,-7,-5,-17)
Decke 4	31	44	43	42	38	38	37	38	37	36	
	(2,18)	(-2,9)	(-2,9)	(-2,10)	(2,15)	(2,15)	(2,16)	(0,14)	(1,15)	(1,15)	
Decke 4	86	54	55	56	66	67	68	64	65	66	
	(-8,-17,-19,-33)	(-1,-5,-2,-8)	(-1,-5,-2,-8)	(-1,-5,-2,-8)	(-5,-13,-7,-18)	(-5,-13,-7,-19)	(-5,-13,-7,-19)	(-2,-7,-4,-14)	(-2,-7,-4,-15)	(-1,-6,-4,-15)	
Grund-decke	30	44	43	42	38	37	36	38	37	36	
	(3,18)	(-2,9)	(-2,9)	(-2,9)	(2,14)	(2,15)	(2,15)	(0,14)	(0,14)	(1,15)	
Decke 2	63	52	53	54	61	61	61	59	59	60	
	(-8,-16,-9,-19)	(-2,-8,-2,-10)	(-2,-8,-3,-11)	(-2,-9,-3,-11)	(-7,-15,-9,-19)	(-7,-15,-9,-18)	(-7,-15,-8,-18)	(-5,-13,-6,-16)	(-5,-13,-6,-16)	(-6,-13,-7,-17)	
Decke 1	55	56	55	55	55	55	55	55	55	55	
	(1,1)	(1,2)	(1,2)	(1,2)	(1,2)	(1,2)	(1,1)	(1,2)	(1,2)	(1,1)	
Decke 3	64	52	53	54	60	61	61	59	59	60	
	(-7,-15,-9,-18)	(-2,-6,-2,-9)	(-2,-7,-3,-10)	(-2,-7,-3,-10)	(-5,-13,-7,-17)	(-6,-13,-7,-17)	(-6,-13,-7,-17)	(-4,-11,-5,-14)	(-4,-11,-5,-14)	(-4,-11,-6,-15)	
Decke 4	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	
	(0,0)	(0,1)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	
Decke 1	79	54	55	56	65	66	68	63	64	65	
	(-10,-18,-13,-25)	(-2,-6,-2,-8)	(-2,-6,-2,-9)	(-1,-5,-2,-8)	(-5,-13,-7,-18)	(-5,-13,-7,-18)	(-6,-14,-8,-19)	(-2,-7,-3,-14)	(-2,-8,-4,-14)	(-2,-8,-4,-14)	
Decke 3	32	43	42	41	40	39	38	41	41	39	
	(3,10)	(0,4)	(0,4)	(0,4)	(1,6)	(2,7)	(2,7)	(1,5)	(1,5)	(1,5)	
Decke 4	78	54	55	56	65	66	68	63	64	65	
	(-9,-17,-14,-25)	(-2,-6,-2,-9)	(-2,-6,-2,-9)	(-1,-5,-2,-9)	(-5,-13,-7,-19)	(-5,-13,-8,-19)	(-6,-14,-9,-20)	(-2,-7,-4,-15)	(-2,-8,-4,-15)	(-2,-8,-4,-15)	
Decke 4	36	43	42	42	41	40	40	42	41	41	
	(2,9)	(1,5)	(1,5)	(1,6)	(1,6)	(2,7)	(1,7)	(0,5)	(1,6)	(1,6)	
Decke 4	79	54	55	56	65	66	68	63	64	66	
	(-9,-17,-13,-25)	(-2,-6,-2,-8)	(-2,-6,-2,-8)	(-1,-5,-2,-8)	(-5,-13,-7,-17)	(-5,-13,-7,-18)	(-6,-14,-8,-19)	(-1,-7,-3,-13)	(-2,-7,-3,-13)	(-2,-8,-4,-15)	
Decke 4	35	43	42	41	41	40	39	42	41	40	
	(2,9)	(1,5)	(1,5)	(1,5)	(1,6)	(1,7)	(2,7)	(0,5)	(1,5)	(1,6)	

# Einzahlangaben - Anzahl der Stossstellen

- Daten nur für lastabtragenden Stoss mit HBVR-Decke
- Angaben für **Direkt-** und **Bauschalldämmung** mit 4, 3 und 2 Stössen:
  - Einfluss der Nebenwege abhängig von Anzahl der Stossstellen
  - Abschätzung von Situationen mit Stossstellen mit entkoppelten Wänden, z.B. Innenwände bis Abhangdecke

Boden-/ Decken- aufbau		Direkt-Schall- dämmung	Bauschalldämmung $R'_w$ ( $C$ , $C_{tr}$ , $C_{50-3150}$ , $C_{tr,50-3150}$ ) und $L'_{n,w}$ ( $C_l$ , $C_{l,50}$ )							
			Grundwand			Wandaufbau 1			Wand	
			4 Stösse	3 Stösse	2 Stösse	4 Stösse	3 Stösse	2 Stösse	4 Stösse	3 Stösse
Bodenaufbau 1	Grund- decke	67 (-5,-13,-8,-20)	53 (-1,-6,-2,-9)	54 (-1,-6,-2,-10)	56 (-2,-7,-3,-11)	63 (-5,-13,-8,-18)	63 (-4,-12,-7,-18)	64 (-5,-12,-7,-19)	61 (-3,-9,-5,-15)	(-3,-)
		51 (-1,3)	52 (-1,3)	52 (-1,3)	52 (-2,3)	51 (-1,4)	51 (-1,4)	51 (-1,4)	51 (-1,4)	
	Decke 2	68 (-4,-11,-8,-20)	53 (-2,-5,-2,-9)	54 (-2,-6,-3,-10)	55 (-2,-5,-2,-10)	61 (-3,-10,-5,-16)	62 (-3,-10,-6,-17)	63 (-3,-10,-6,-17)	60 (-3,-8,-5,-15)	(-2,-)
		56 (-4,0)	56 (-3,1)	56 (-3,1)	56 (-3,1)	56 (-3,1)	56 (-3,1)	56 (-4,1)	56 (-4,1)	
	Decke 1	86 (-9,-18,-19,-32)	54 (-1,-5,-2,-8)	55 (-1,-5,-2,-9)	56 (-1,-5,-2,-9)	66 (-5,-13,-7,-19)	67 (-5,-13,-8,-19)	68 (-5,-13,-7,-19)	64 (-2,-7,-4,-15)	(-2,-)
		27 (3,22)	44 (-2,8)	43 (-2,9)	41 (-2,10)	38 (2,14)	37 (2,14)	36 (2,15)	37 (1,15)	
		85	54	55	56	66	67	68	64	

# Einzahlangaben - Einfluss der Geometrie

- Angaben für drei Raumgrundrisse:
  - 2 m x 3 m = 6 m<sup>2</sup> (Bad)
  - 3 m x 4 m = 12 m<sup>2</sup> (Schlaf-/Kinderzimmer)
  - 5 m x 6 m = 30 m<sup>2</sup> (Wohnzimmer)

Boden-/ Decken- aufbau	Direkt-Schall- dämmung	Bauschalldämmung			
		Grundwand			
		4 Stösse	3 Stösse	2 Stösse	4 Stösse
Grund- decke	67	52	53	54	
	(-5,-13,-8,-20)	(-2,-6,-2,-9)	(-2,-6,-2,-10)	(-2,-6,-2,-10)	(-5,-13,-8,-20)
	51	52	52	52	
	(-1,3)	(-1,4)	(-1,3)	(-1,3)	

Boden-/ Decken- aufbau	Direkt-Schall- dämmung	Bauschalldämmung R' <sub>w</sub>			
		Grundwand			
		4 Stösse	3 Stösse	2 Stösse	4 Stösse
Grund- decke	67	53	54	56	63
	(-5,-13,-8,-20)	(-1,-6,-2,-9)	(-1,-6,-2,-10)	(-2,-7,-3,-11)	(-5,-13,-8,-20)
	51	52	52	52	51
	(-1,3)	(-1,3)	(-1,3)	(-2,3)	(-1,4)

Boden-/ Decken- aufbau	Direkt-Schall- dämmung	Bauschalldämmung			
		Grundwand			
		4 Stösse	3 Stösse	2 Stösse	4 Stösse
Grund- decke	67	55	56	57	
	(-5,-13,-8,-20)	(-1,-6,-2,-10)	(-2,-6,-3,-11)	(-2,-7,-4,-12)	(-5,-13,-8,-20)
	51	52	52	51	
	(-1,3)	(-2,3)	(-1,4)	(-1,3)	
Decke 2	68	55	56	57	
	(-4,-11,-8,-20)	(-2,-6,-3,-10)	(-2,-6,-3,-10)	(-2,-6,-3,-11)	(-4,-11,-8,-20)
	56	56	56	56	

Nebenwegübertragung wird geringer  
bei grösserem Trennbauteile relativ zu  
Direktübertragung

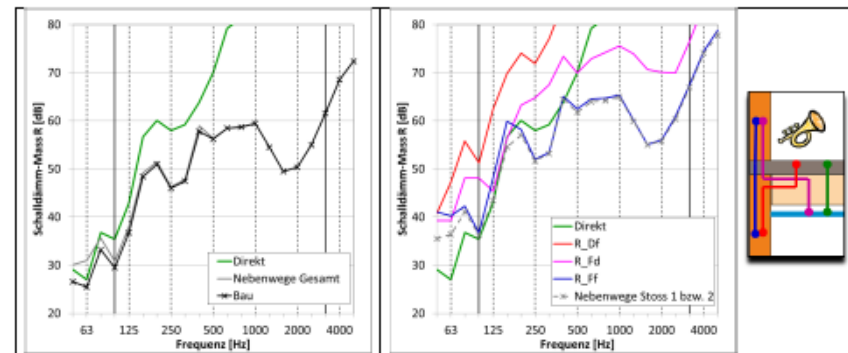


# Frequenzabhängige Schalldämmwerte - Datenblätter

- Detaillierte Beschreibung von Bauteilen und Bausituation in Wort und Bild
- Frequenzabhängige Werte und Einzahlangaben für alle Übertragungswege in Tabellen und Diagrammen
- Beurteilung der Schalldämmung (z.B. Schwachstellen, Optimierungs-vorschläge)
- Nur für Grundriss 3 m x 4 m
- Alle 4 Stossstellen mit gleichen Wandaufbauten
- Ausführliches Rechenbeispiel zur Anwendung der Daten und Übertragung auf andere Situation mit unterschiedlichen Wandaufbauten oder Raumgeometrie

Luftschallschutz

	Direkt	Nebenwege	Bau	Nebenwege Stossstelle 1 oder 2				
	Dd	Gesamt 4 Stösse	Dd + 4 Stösse	Df	Fd	Ff	INebenwege Stoss 1 bzw. 2	
$R_w$ bzw. $R'_w$	67	54	53	84	71	60	59	
(C, C <sub>2</sub> )	(-5,-13)	(-2,-6)	(-1,-6)	(-5,-13)	(-3,-8)	(-2,-6)	(-1,-5)	
(C <sub>50-3150</sub> , C <sub>50-3150</sub> )	(-8,-20)	(-2,-8)	(-2,-9)	(-9,-21)	(-4,-13)	(-2,-7)	(-2,-7)	
63 Hz	50 Hz	29.1	30.1	26.6	40.7	39.3	41.1	35.5
	63 Hz	27.0	31.0	25.5	47.3	39.3	40.3	36.4
	80 Hz	36.8	35.7	33.2	55.8	48.1	42.3	41.1
125 Hz	100 Hz	35.4	30.8	29.5	51.3	48.1	36.7	36.3
	125 Hz	42.9	38.1	36.8	62.5	45.4	48.2	43.5
	160 Hz	56.7	49.2	48.4	69.8	56.3	59.9	54.6
250 Hz	200 Hz	60.1	51.5	51.0	74.1	63.3	58.2	57.0
	250 Hz	58.0	46.3	46.0	71.9	64.8	52.0	51.7
	315 Hz	59.2	47.8	47.5	77.1	67.5	53.4	53.2
500 Hz	400 Hz	63.8	59.0	57.8	84.7	73.4	65.1	64.5
	500 Hz	70.1	56.4	56.2	85.3	70.0	62.5	61.8
	630 Hz	79.2	58.5	58.5	87.3	72.9	64.6	64.0
1000 Hz	800 Hz	81.4	58.8	58.7	88.9	74.2	64.7	64.2
	1000 Hz	87.1	59.5	59.5	90.0	75.6	65.4	65.0
	1250 Hz	90.0	54.5	54.5	90.0	73.9	60.1	59.9
2000 Hz	1600 Hz	90.0	49.5	49.5	90.0	70.7	55.1	55.0
	2000 Hz	90.0	50.4	50.4	90.0	70.1	56.0	55.8
	2500 Hz	90.0	55.0	55.0	90.0	70.0	60.9	60.4
4000 Hz	3150 Hz	90.0	61.6	61.6	90.0	76.6	67.5	67.0
	4000 Hz	90.0	68.6	68.6	90.0	84.2	74.5	74.1
	5000 Hz	90.0	72.4	72.4	90.0	84.8	78.8	77.8



Beurteilung:

- Angewandte Methoden zur Ermittlung und Prognose der Schalldämmung in Holzgebäuden wurde dargestellt
- Die für die Planung relevanten Schallschutzdaten und deren Anwendung wurde erläutert
- Planungsdaten werden kontinuierlich erweitert, so bald passende Eingangsdaten verfügbar werden
- Verbesserungsmasse für Wand-, Boden- und Deckenaufbauten können mit relativ geringem Aufwand ermittelt werden und zum Teil übertragen werden
- Ermittlung der Daten für Stossstellen ist aufwendiger