

# Resonanzen - Beispiele aus der Praxis

BauphysikerInnentreffen Wien  
1. Oktober 2020

*A step to a silent future*

24.10.2020



DI Gustav Luckinger  
Ingenieurbüro Akustik Engineering Luckinger e.U.  
Dienstleistungen Schall- Schwingungsmesstechnik  
[gustav.luckinger@ae-luckinger.at](mailto:gustav.luckinger@ae-luckinger.at)



1982 - 1988

Studium der Elektrotechnik

Studienzweig industrielle Elektronik und Regelungstechnik

Seit 1990

Im Bereich Messtechnik im Bereich Schall- und Schwingungsmesstechnik tätig

1990 -1994

Messtechnik bei Semperit Reifen AG, u.a. Modalanalyse, Schallintensität

1995 - 2011

Brüel & Kjaer Vertrieb und Applikation und Leitung im Bereich Schall- und Schwingungsmesstechnik

2011

Gründung technisches Büro Akustik Engineering Luckinger e.U.

Seit 2017

Sachverständiger

Mitarbeit im Normenausschuss

K138 Akustik und Schwingungen und

K208 Akustische Eigenschaften von Bauprodukten und von Gebäuden

*A step to a silent future*

## Motivation

- Messungen bei Kunden zeigten oft thermisch sehr gut gedämmte Häuser
- Im Innenraum wird es immer leiser
- Trotzdem gibt es fallweise Lärmbeschwerden
- Resonanzen von Bauteilen, bzw. Konstruktionen spielen bei der Übertragung eine wichtige Rolle
  
- Normenausschuss K208
- Resonanzen spielen beim in Bearbeitung befindlichen Entwurf der ÖNORM B 8115-5 eine Rolle

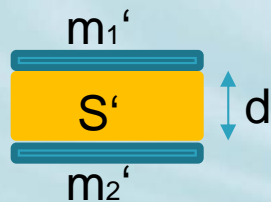
## Inhalt

- Beispiele von Außenbauteilen, Dachkonstruktionen und Gebäudetrennwänden unterschiedlicher Bauweise
- Wie hört sich so etwas in der Praxis an?
- Welche Parameter sind maßgeblich?
- Gibt es Möglichkeiten diese vereinfacht zu messen?

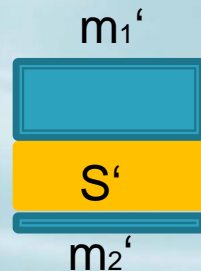
## Resonanzen

- Im Baubereich kommen meist 2 und mehrschalige Konstruktionen zum Einsatz. Diese sind z.B.
  - Fenster 2 oder 3-fach Verglasung
  - 2 biegeeweiche Schalen mit Einlage im Leichtbau mit GKP
  - Vorsatzschale
  - Abgehängte Decken
  - Schwimmender Estrich auf Decke

Fenster, GW Wand



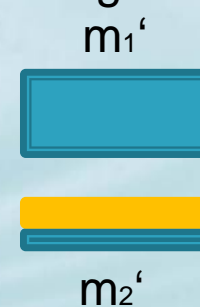
Vorsatzschale



Estrich



Abgehängte Decke



## Resonanzen

- Berechnung mit

$$f_0 = 160 \cdot \sqrt{s' \cdot \left( \frac{1}{m_1'} + \frac{1}{m_2'} \right)} \quad \text{in Hz}$$

$s'$  dynamische Steifigkeit der Zwischenschicht in MN /m<sup>3</sup>

$m_1'$ ,  $m_2'$  flächenbezogene Masse der Schalen in kg / m<sup>3</sup>

$$s' = \frac{0,14}{d} \quad \text{für Luft}$$

$$s' = \frac{0,11}{d} \quad \text{für Luft mit schallabsorbierender Einlage}$$

## Beispiel1) Ziegel + WDVS

- Beispiel Einfamilienhaus
- Wandaufbau
  - Innenputz
  - 25 cm Ziegel
  - WDVS mit 20 cm Styropor
  - Außenputz
- Datenblattwerte Ziegelwand
- $R_w = 48 \text{ dB}$       Ziegel unverputzt
- $R_w = 53 \text{ dB}$       Ziegel beidseitig verputzt mit 2 cm KZM

**Kann es in einem solchen Haus überhaupt  
schalltechnische Probleme geben?**

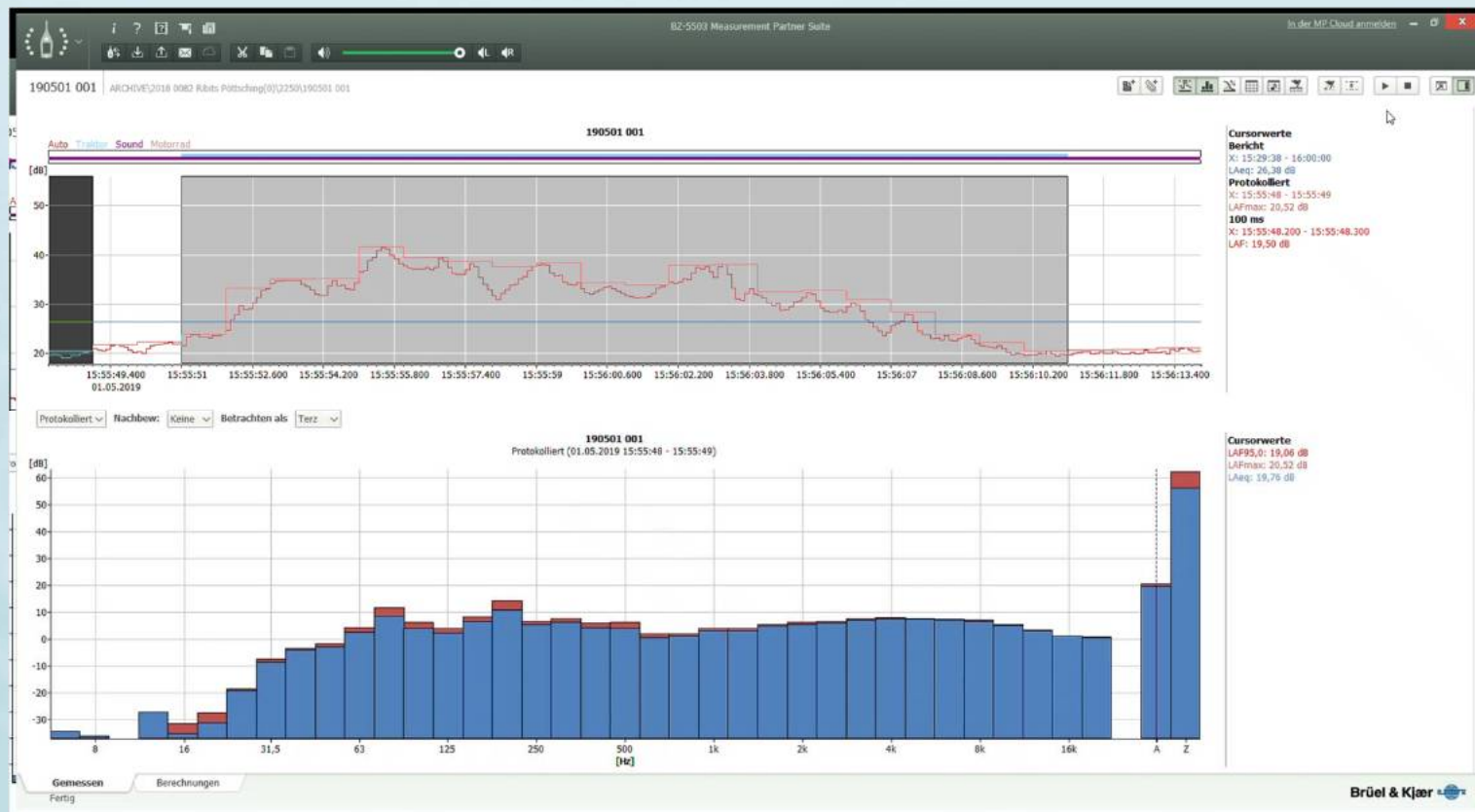
## Beispiel 1) Ziegel + WDVS

- Man hört an der nahen 32m entfernten Ortsausfahrt der Landesstraße jeden LKW, jeden Traktor und jedes Motorrad
- Das Haus neben der Straße hört keinen störenden Lärm!!!
- Wenn es regnet hört man Lärm von der Attika Verblechung und vom Abfluss



## Beispiel 1) Ziegel + WDVS

- Vorbeifahrt Traktor



*A step to a silent future*



## Beispiel 1) Ziegel + WDVS

- Vorbeifahrt Traktor

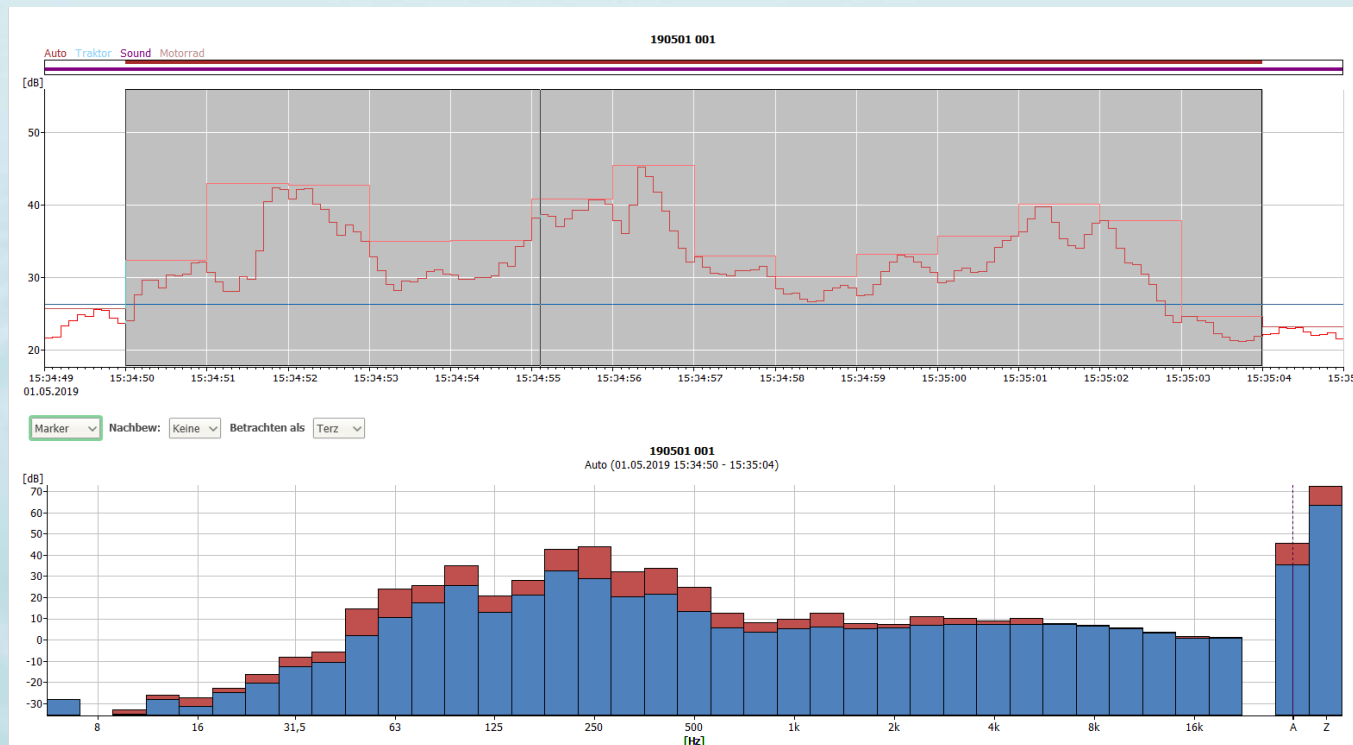


*A step to a silent future*



## Beispiel 1) Ziegel + WDVS

- Vorbeifahrt Auto



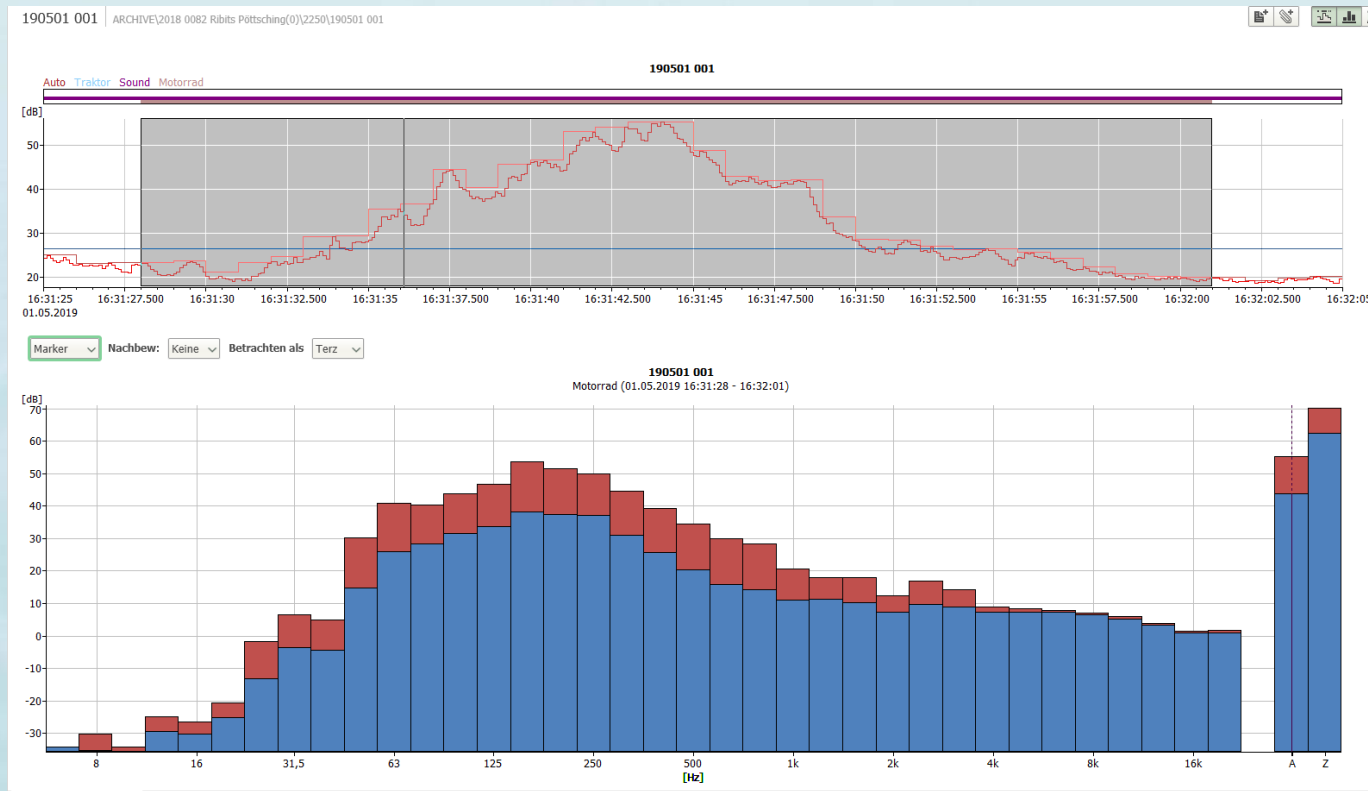
Fahrzeug	Startzeit	Dauer	LAeq	LAF1,0	LAF95,0	LAFmax	LAFmin	LAeq (20 Hz-200 Hz)
Auto	01.05.2019 15:34	00:00:14	35,5	44,1	23,9	45,6	21,0	33,7

*A step to a silent future*



## Beispiel 1) Ziegel + WDVS

- Vorbeifahrt Motorrad

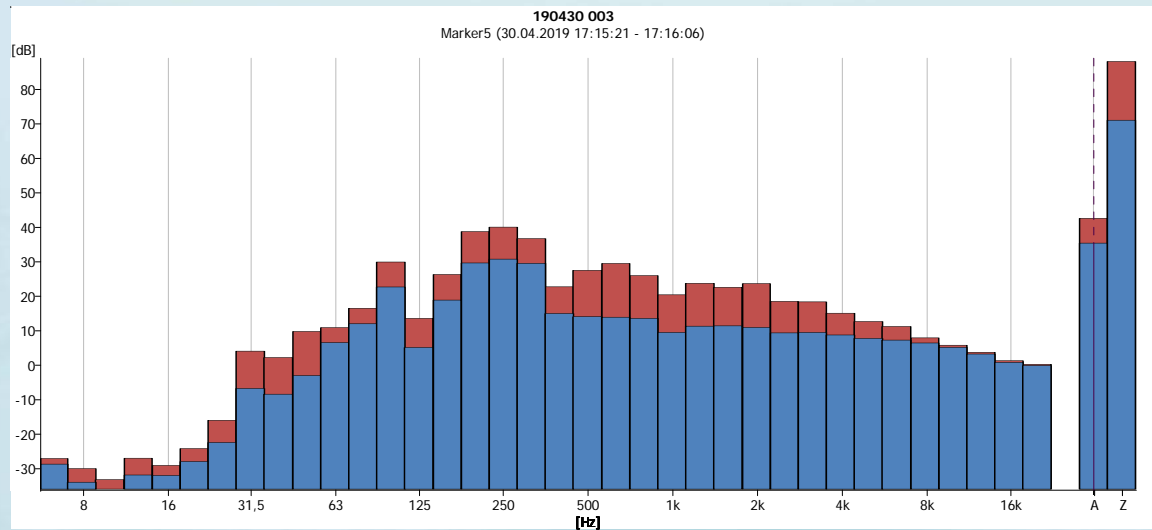


Fahrzeug	Startzeit	Dauer	LAeq	LAF1,0	LAF95,0	LAFmax	LAFmin	LAeq (20 Hz-200 Hz)
Motorrad	01.05.2019 16:31	00:00:48	42,9	54,4	19,7	55,3	18,9	40,9

*A step to a silent future*

## Beispiel 1) Ziegel + WDVS

- Regengeräusch Gully



Ereignis	Startzeit	Dauer	LAeq	LAF1,0	LAF95,0	LAFmax	LAFmin	LAeq (20 Hz-200 Hz)
Dachrinne	30.04.2019 17:15	00:00:45	35,5	40,3	28,0	42,6	22,3	30,9

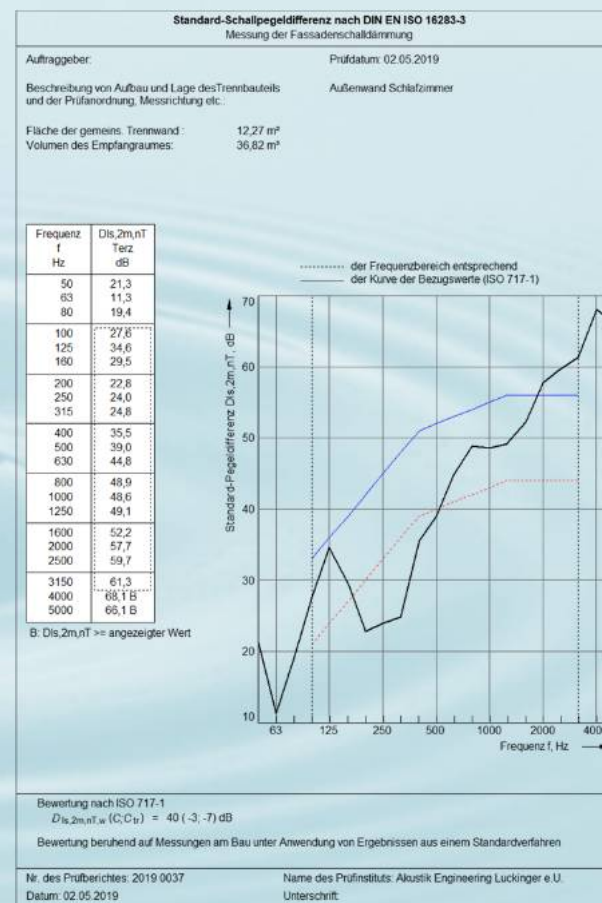
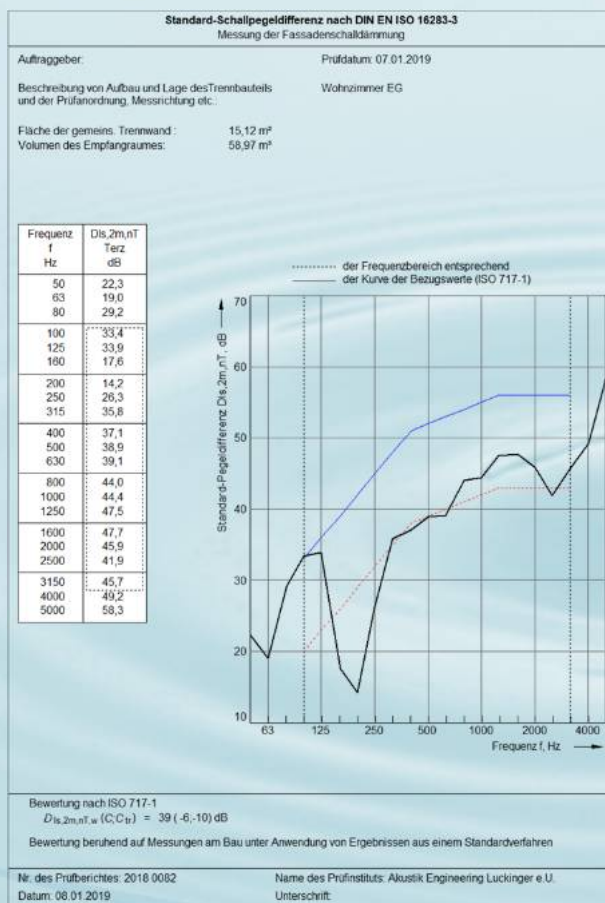
## **Beispiel 1) Bestimmung der Fassadenschalldämmung**

- nach ÖNORM EN ISO 16283-3
- Beschallung unter 45°
- Messung des Sendepiegels in 2 m Entfernung von der Wand
- Messung im Empfangsraum
- Wohnzimmer EG:
- $D_{2m,nT,w} = 39 \text{ dB}$
- $R'_{res,w} = 44,5 \text{ dB}$
- $R'_{res,w} + C_{tr} = 34,5 \text{ dB} !!!!$
- Schlafzimmer 1.OG:
- $D_{2m,nT,w} = 40 \text{ dB}$
- $R'_{res,w} = 42,4 \text{ dB}$
- $R'_{res,w} + C_{tr} = 35,4 \text{ dB} !!!!$



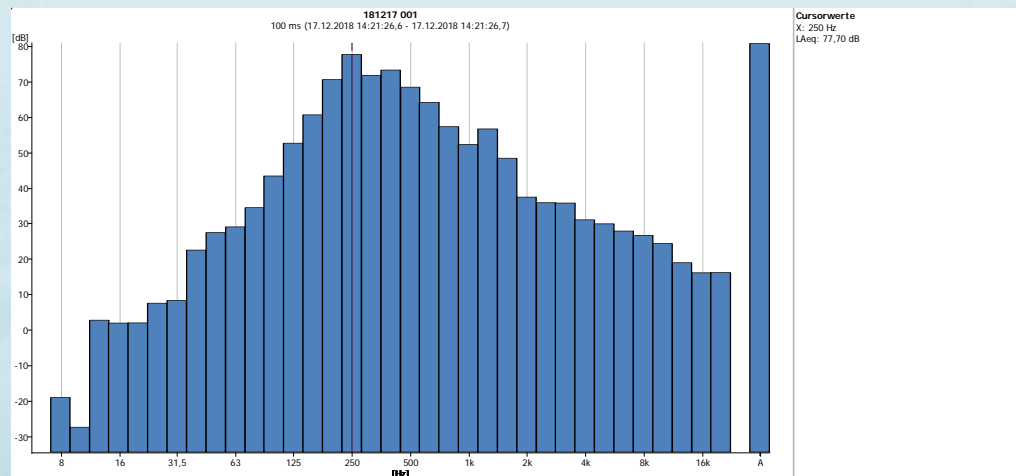
## Beispiel 1) Bestimmung der Fassadenschalldämmung

### Wohnzimmer EG: Schlafzimmer 1.OG



## Beispiel 1) Messung der Resonanz:

- Abklopfen und Messung mit dem Schallpegelmesser bestätigen den Verdacht eines Problems mit der Fassade.



- Messung WZ bei 0°C Einbruch bei 160 Hz – 200 Hz
- Messung SZ bei ~ 22°C Einbruch bei 200 Hz – 315 Hz

## Beispiel 1) Abschätzung der Resonanz:

- Eine rechnerische Abschätzung der Resonanzfrequenz des Federmasse Systems Putz – Wärmedämmung – Ziegel ergibt:

EPS-F	E	4	MN/m <sup>2</sup>
20 cm EPS-F	s'	20	MN/m <sup>3</sup>
5 cm EPS-F	s'	80	MN/m <sup>3</sup>
		20 cm EPS-F	5 cm EPS-F
Putz	s'	20	80
d in mm	m'	f <sub>res</sub> EPS-F 20 cm	f <sub>res</sub> EPS FS 5 cm
3	4,0	358	716
6	8,0	253	506
8	10,7	219	438

- Die 5 cm Wärmedämmung mit ~ 500 Hz konnten an einem Nebengebäude verifiziert werden

## Beispiel 1) Zusammenfassung:

- Resonanzen können massive Resonanzeinbrüche bei der Schalldämmung verursachen.
- Resonanzen des Grundmaterials Ziegel im selben Frequenzbereich können diese verstärken
- Der Verlustfaktor (Dämpfung) dürfte eine wesentliche Rolle spielen
  
- Anforderungen nach OIB Richtlinie 5 für opake Bauteile mit  $R_w = 43$  dB werden erfüllt
- $C_{TR}$  Wert mit  $-10$  dB deutet auf das Problem hin, ist aber keine Anforderung seitens der OIB Richtlinie 5

## Beispiel 2) Regengeräusch Flachdach

- Haus mit Blechdach mit Holzunterkonstruktion
- Außenwand mit 14 cm WDVS
- Man hört Regengeräusch!!



### • Aufbau:

#### ④ innen - aussen

• Innenputz	1,5 cm
Hochlochziegelmauerwerk	25,0 cm
Dämmung	14,0 cm
Leichtputz genetzt	0,5 cm
Silikatreibputz	0,2 cm

#### ⑤ innen - aussen

GKF Platten REI 30	1,5 cm
Streuschalung	2,4 cm
Dampfbremse	
Sparren dzw. Dämmung	12/24
Schalung vollfl.	2,4 cm
diff. Schalungsbahn	
Konterlattung / Hinterlüftung	6/8
Schalung vollfl.	2,4 cm
Blechdeckung	

## Beispiel 2) Daten des Dachaufbaus

- Werte laut Dataholz.eu
- $R_w (C; C_{tr}) = 51(-4;-11)$
- Keine Frequenzwerte

**dataholz.eu**

Bezeichnung: sdrhb01a-03  
Stand: 19.04.18  
Quelle: Holzforschung Austria  
Bearbeiter: HFA, SP

**Geneigtes Dach - sdrhb01a-03**  
geneigtes Dach, Holzrahmen/Holztafel, hinterlüftet/belüftet, mit Installationsebene, auf Lattung, andere Oberfläche

**Bauphysikalische Bewertung**

**Brandschutz** REI 30  
max. Spaltenweite = 5 mm; max. Lattung  $E_{fl} = 2,66 \text{ kN/m}^2$  (inkl. Spalten RD/200 ohne Dachüberhang, Vorklattung und Korsettung); Klassifizierung durch HFA

**Deutschland**  
F30  
Lattung  $E_{fl}$  gemäß des deutschen Verwendbarkeitsausweises  
Nachweis: DIN 4102-4:2013-05, Tabelle 10.13, Zeile 1

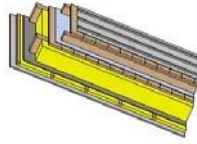
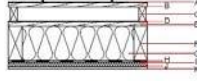
**Wärmeschutz** U Diffusionsverhältnis  $0,13 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  (gesperrt)

Berechnung durch TUM

**Schallschutz**  $R_w (C,C_{tr})$   $51(-4;-11) \text{ dB}$   
 $I_{w} (C_{tr})$

Berechnung durch Müller EBM

**Flächenbezogene Masse** m  $53,50 \text{ kg/m}^2$

**Bemerkung:** Die Ausführung des Unterdachs und der Konstruktionshöhe sind je nach Durchdringung bzw. nationalen Anforderungen festzulegen.

**Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau** (von außen nach innen, Maße in mm)

Dicke	Baustoff	Wärmeschutz				Brandverhaltenklasse
		$\lambda$	$\mu$ min - max	$\rho$	$c$	
A	Beschenddeckung d $\geq 0,4$ auf strukturierte Fertplatte			7800		A1
B	24,0 Holz Fichte Vollschalung	0,120	50	450	1.600	D
C	80,0 Holz Fichte Konterlattung (RD/90)	0,120	50	450	1.600	D
D	Unterdachbahn sd $\leq 0,3$ mm			1000		E
E	24,0 Holzschalung Fichte Vollschalung	0,120	50	450	1.600	D
F	240,0 Kombiisolwolle (RD/70; $\sigma = 0,035$ )	0,120	50	450	1.600	D
G	240,0 Mineralwolle (D40; T1; $\sigma = 0,035$ )	0,040	11	311	1.000	A1
H	Dampfsperre sd $\geq 1,0$ mm			1000		
I	30,0 Holz Fichte Querlattung ( $\sigma = 800$ )	0,120	50	450	1.600	D
J	30,0 Mineralwolle (D40; T1; $\sigma = 0,035$ )	0,040	11	311	1.000	A1
K	12,5 Gipsplatte Typ DJ (CKD)	0,250	10	800	1.050	A2

**Ökologische Bewertung** ( $\text{g/m}^2$  Konstruktionsfläche)

Datenbasis: GafH (ÖKOBAUDAT)

Verbaute Menge an	Einheit	Wert
Verbauter Kohlenstoff in $\text{kg CO}_2$ Äq.	kg $\text{CO}_2$	43.580
Einmalige Primärenergie	MJ	64.300
Darvon Anteil erneuerbar	%	72,240
		20.590

Berechnung durch TUM

dataholz.eu – Katalog bauphysikalischer und ökologischer geprüfter und/oder zugelassener Holz- und Holzwerkstoffe, Baustoffe, Bauteile und Bauteilanschlüsse für den Holdebau. Inaugenblick von akustischen Prüfständen. Die Kennwerte können als Grundlage für Nachweise gegenüber Sachverständigen herangezogen werden.

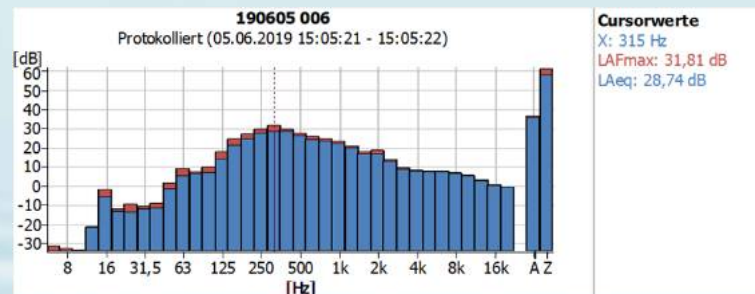
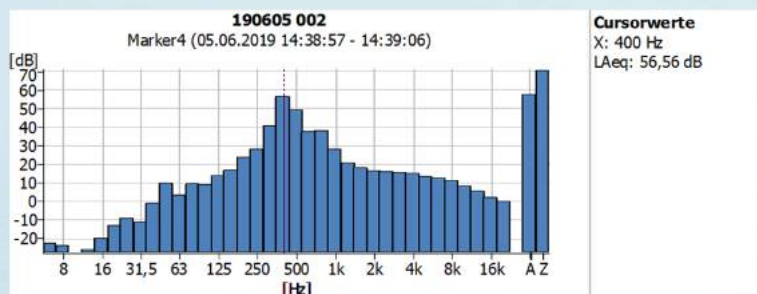
Seite 1

## Beispiel 2) Messung der Frequenzcharakteristik

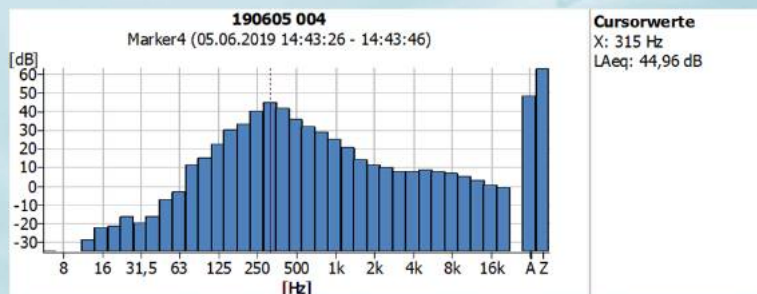
- Anregung mit Minishaker an Wand und am Dach mit rosa Rauschen
- Messung im Zimmer mit Schallpegelmesser



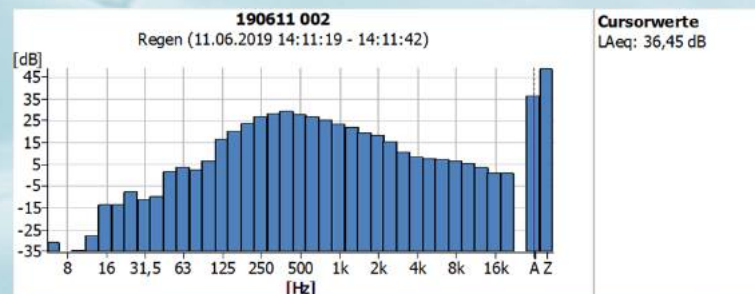
## Beispiel 2) Messung der Frequenzcharakteristik WDVS mit Minishaker: Simulation Rasenregner:



### Blechdach mit Minishaker:



### Messung bei Regen

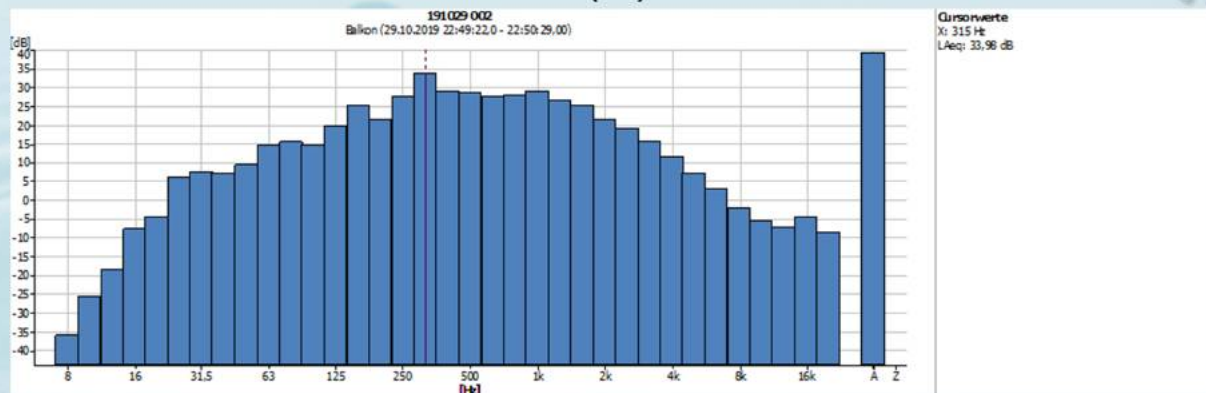


## Beispiel 2) Zusammenfassung:

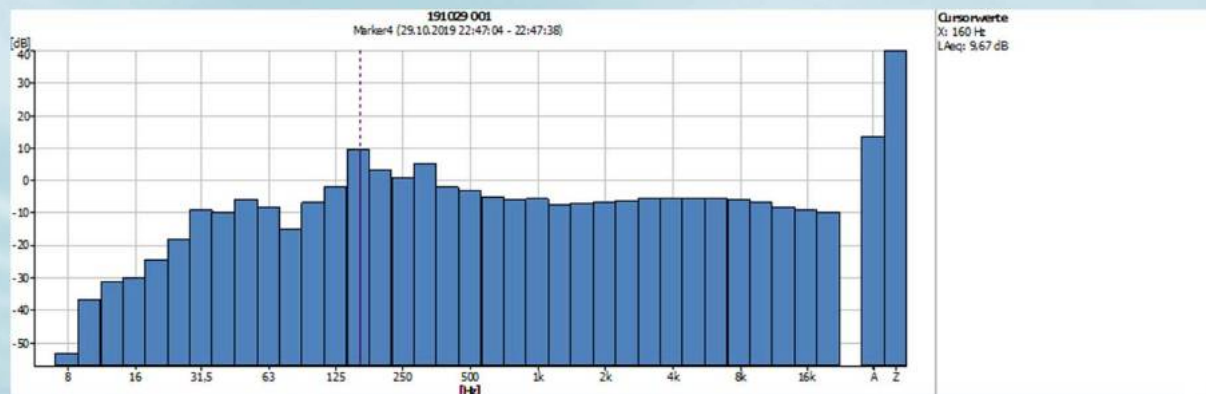
- Messung zeigt ähnliche Charakteristik bei Anregung des Blechdaches mit Minishaker zum Regengeräusch
- Minishaker ist gut geeignet, um die Frequenzcharakteristik von leichten Bauteilen zu bestimmen
- Resonanz des WDVSs ist klar ersichtlich, aber nicht die Ursache

### Beispiel 3) Betriebslärm Wohnhausanlage

- Betriebslärm von nahen Betrieb verursacht Schlafprobleme
- Messung am Balkon und Zimmer zeigt Spitzen bei 160 Hz und 315 Hz Terz  $L_{A,eq} \text{ Balkon} = 40 \text{ dB(A)}$
- Balkon



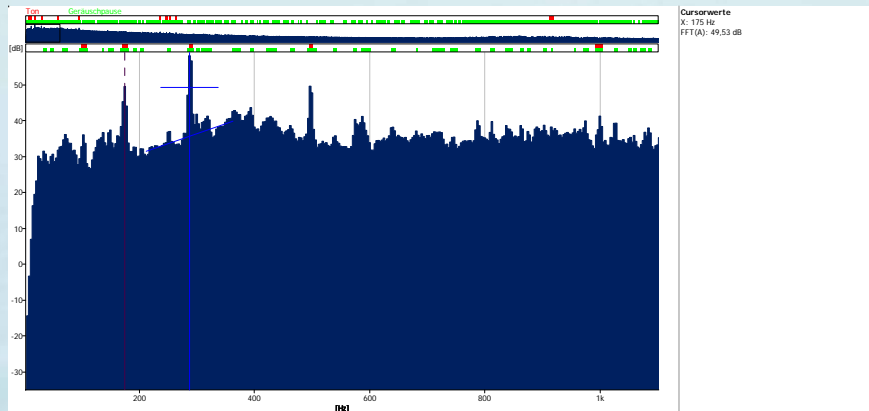
- SZ



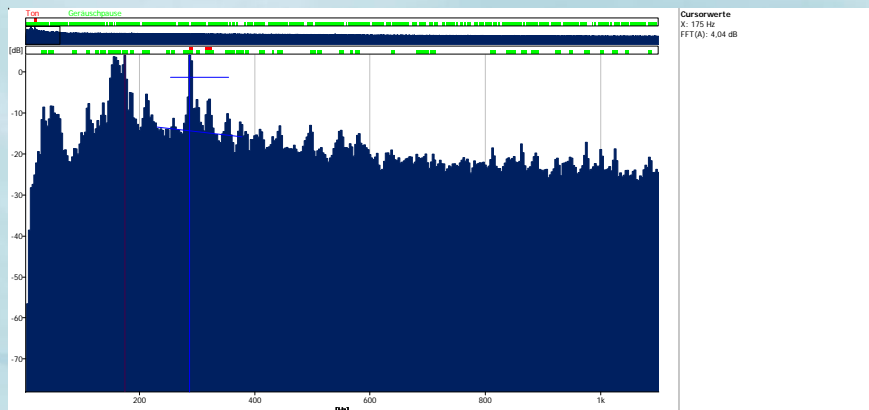
*A step to a silent future*

### Beispiel 3) Betriebslärm Wohnhausanlage

- Balkon: FFT Analyse Spitzen bei 175 Hz, 287 Hz, 497 Hz



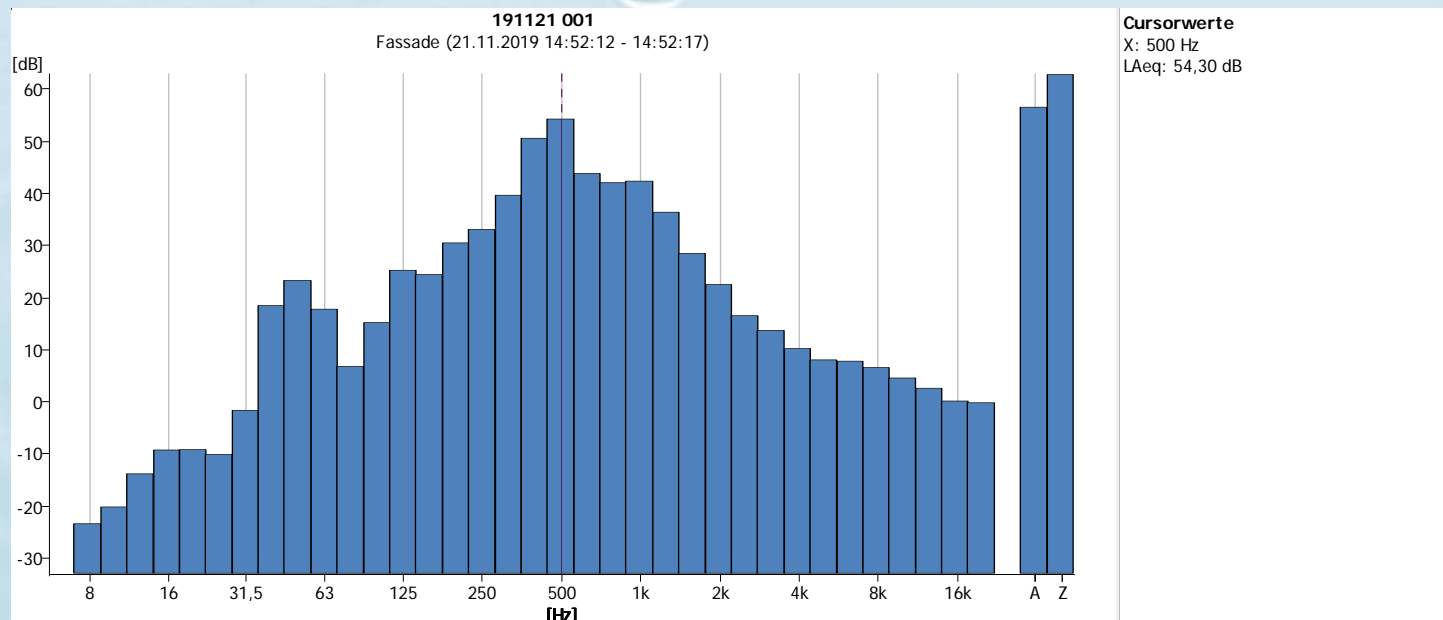
- Schlafzimmer: Spitzen bei 175 Hz, 287 Hz



*A step to a silent future*

## Beispiel 3) Betriebslärm Wohnhausanlage

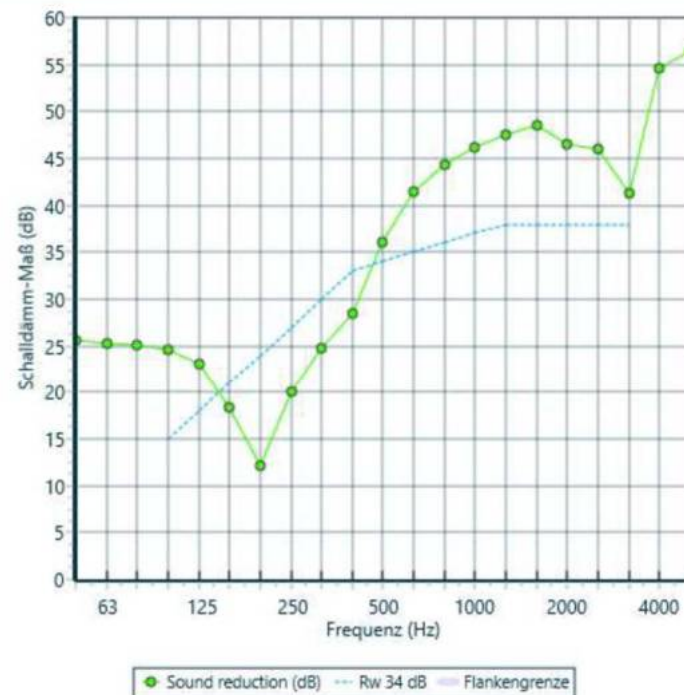
- Messung mit Minishaker zeigt:
- Resonanz bei 500 Hz des WDVS mit Styropor



## Beispiel 3) Betriebslärm Wohnhausanlage

- Simulation der Scheibenresonanz 4 – 18 – 4 – 18 – 4 mm
- Resonanz bei 192 Hz, 333 Hz

f (hz)	R(dB)	R(dB)
50	26	
63	25	25
80	25	
100	25	
125	23	21
160	18	
200	12	
250	20	16
315	25	
400	28	
500	36	32
630	41	
800	44	
1000	46	46
1250	48	
1600	49	
2000	46	47
2500	46	
3150	41	
4000	55	46
5000	56	



*A step to a silent future*

### Beispiel 3) Zusammenfassung:

- Pegel am Balkon ist hoch
- Fenster mit 3 fach Verglasung hat 2 Resonanzen und überträgt vor allem tiefe Frequenzen im Bereich 200 – 400 Hz

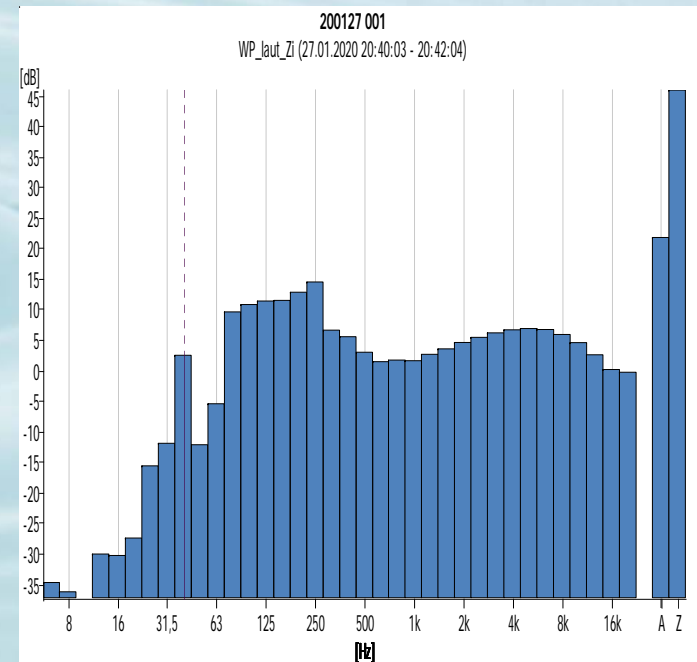
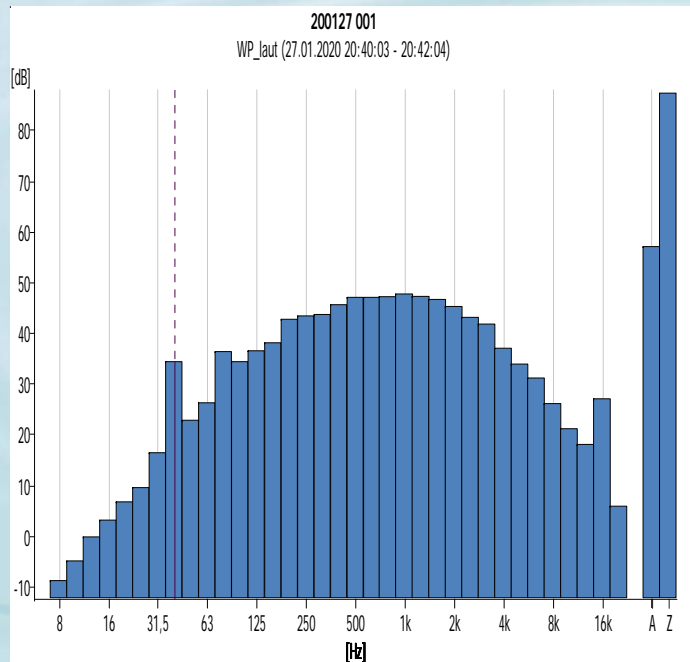
## Beispiel 4) Lärm Wärmepumpe

- Wärmepumpe steht neben Grundstücksgrenze
- Wandaufbau



## Beispiel 4) Lärm Wärmepumpe

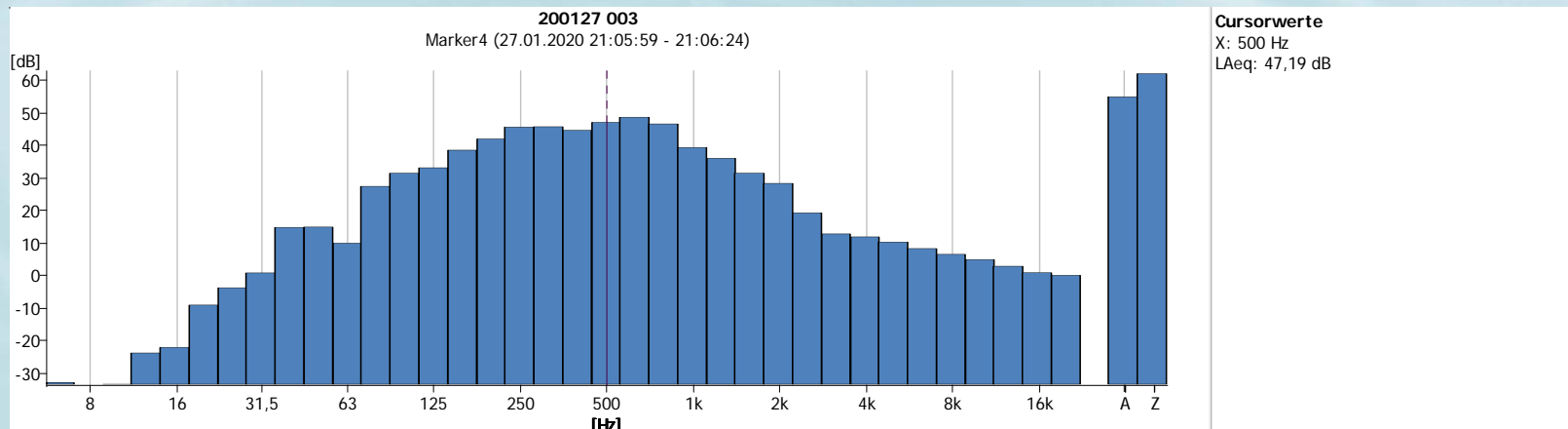
- Lärm Grundstücksgrenze
    - Ausgeprägte Frequenzen bei 40 Hz und 80 Hz
  - $L_{A,eq} = 57 \text{ dB(A)}$
- Lärm Zimmer 1.OG
  - 40 Hz und 80 Hz - 250 Hz
  - $L_{A,eq} = 22 \text{ dB(A)}$



*A step to a silent future*

## Beispiel 4) Lärm Wärmepumpe

- Messung der Fassade mit Minishaker
- Keine ausgeprägten Frequenzen im tieffrequenten Bereich
- $f_{\text{Res}}$  der Konstruktion ????
- Ist Shaker zu klein, weil zu tieffrequent
- Shaker gibt unter 200 Hz nicht viel her



## Beispiel 4) Lärm Wärmepumpe

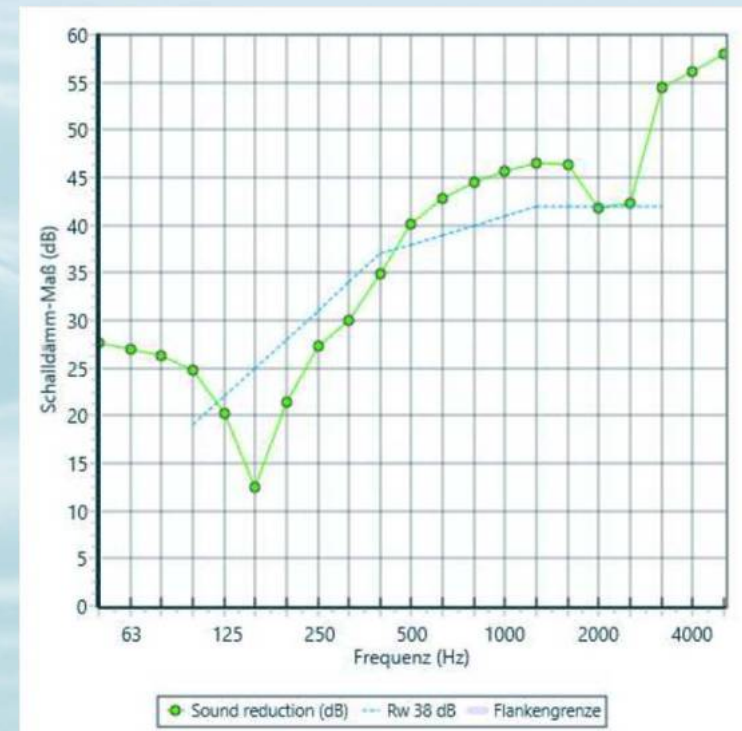
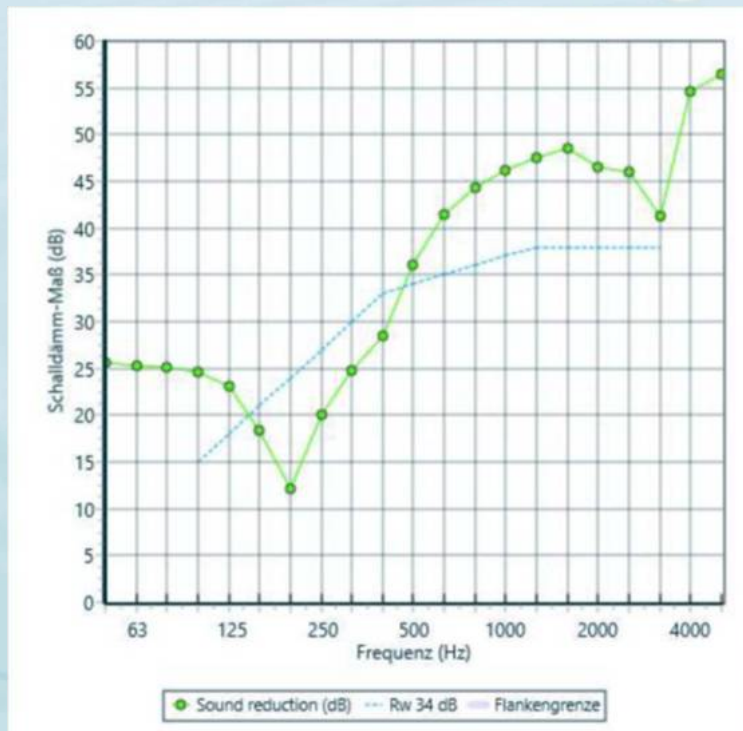
- Fenster Aufbau

4 – 18 – 4 – 18 – 4 mm

$f_{\text{Res}} = 190 \text{ Hz}, 329 \text{ Hz}$

6 – 15 – 4 – 15 – 6 mm

$f_{\text{Res}} = 155 \text{ Hz}, 310 \text{ Hz}$



*A step to a silent future*

## Beispiel 4) Zusammenfassung:

- 3 Scheibenfenster dämmen sehr gut hohe Frequenzen und haben einen breiten Durchlassbereich bei tiefen Frequenzen

## Beispiel 5) Fassadenmessung Holzbau

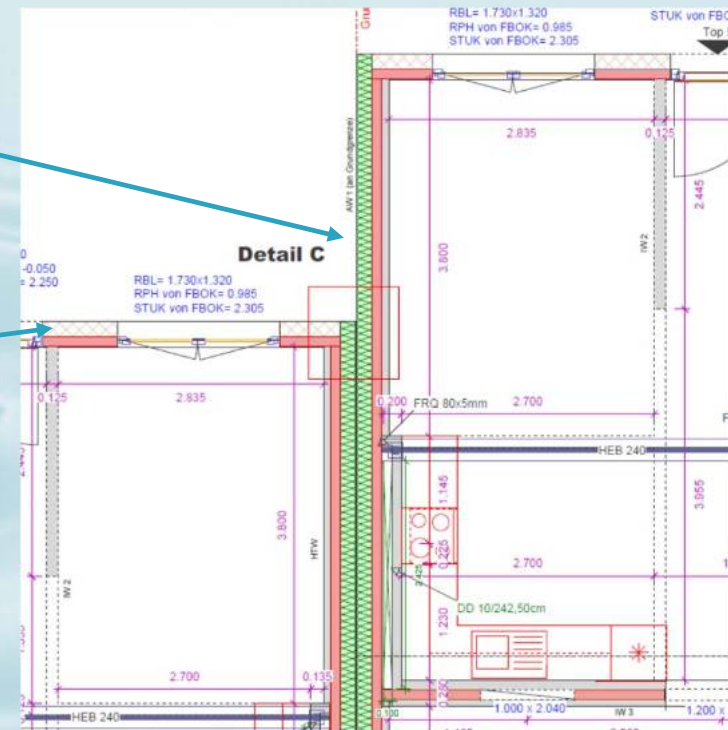
- Detail Haustrennwand und Außenfassade

### HTW

1,25 cm GKP  
1,5 cm OSB  
5 cm Installationsebene mit MW  
10 cm BSP  
17 cm Steinwolle  
0,5 cm Spachtelung + Außenputz

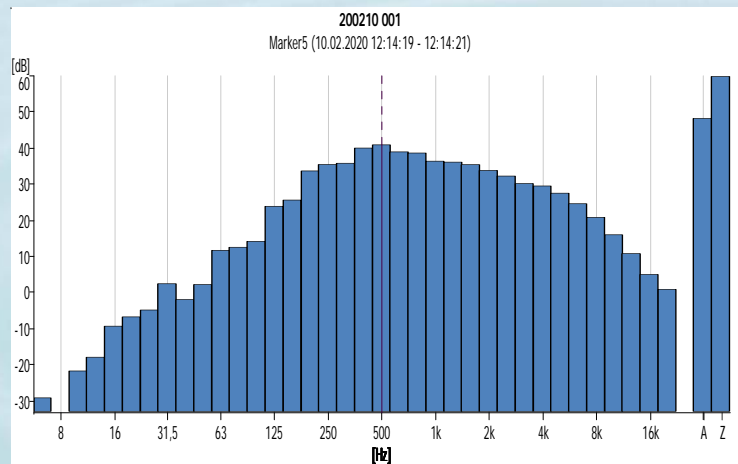
### AW

1,25 cm GKP  
1,5 cm OSB  
10 cm BSP  
16 cm Holzfaserdämmplatte  
0,5 cm Spachtelung + Außenputz

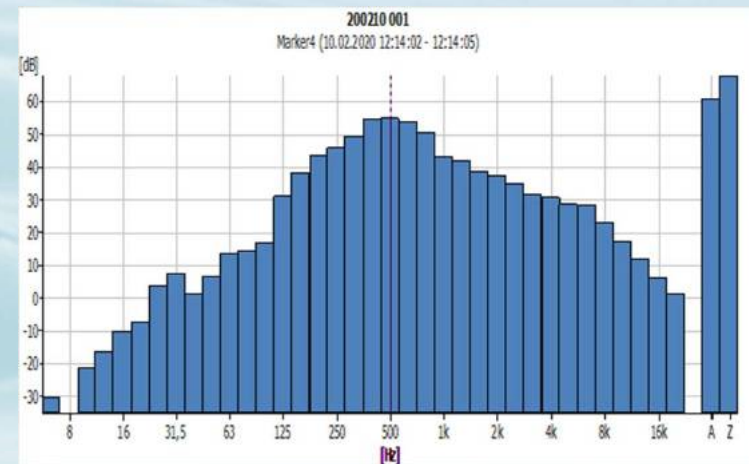


## Beispiel 5) Fassadenmessung Holzbau

- ½ Haustrennwand mit  
17 cm Steinwolle
- $L_{A,eq} \sim 41$  dB(A)



- Außenwand mit  
16 cm Holzfaserdämmplatte
- $L_{A,eq} \sim 55$  dB(A)



- Holzfaserdämmplatte zeigt deutlich höhere Schallpegel →  
Materialeigenschaft

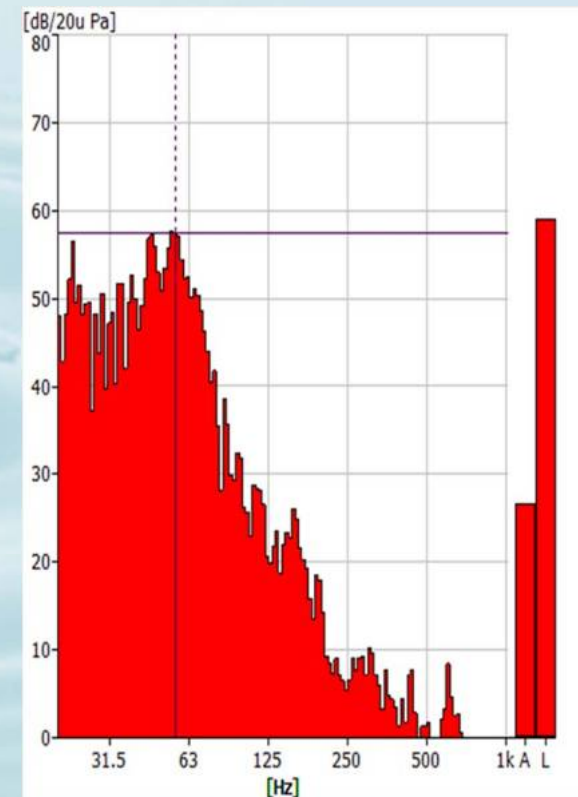
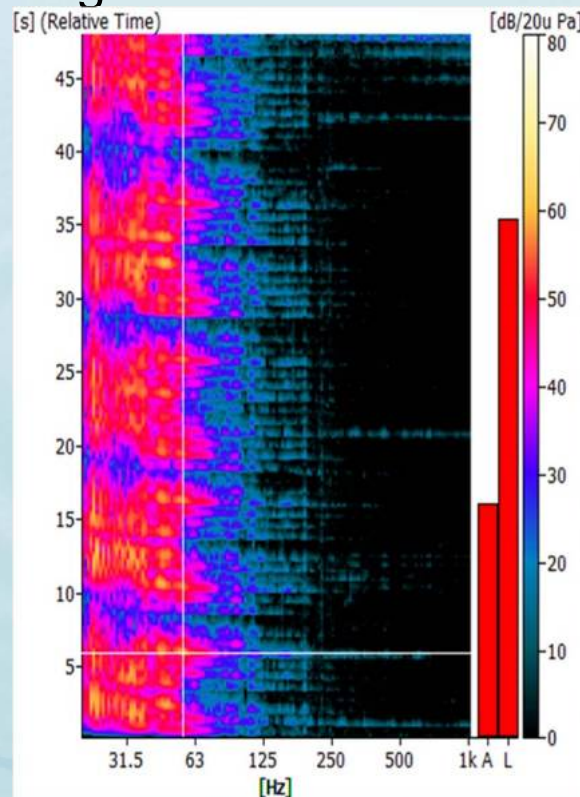
## Beispiel 6) Estrich

- Messung zur Bestimmung der Resonanzfrequenz eines Estrichs, Minishaker ist dafür ungeeignet da er erst ab ~ 200 Hz arbeitet.
- Fersengang oder Gummihammer



## Beispiel 6) Estrich

- Beispiel Wasserfalldiagramm im Empfangsraum eines guten Aufbaus mit  $L'_{nTW} = 34$  dB



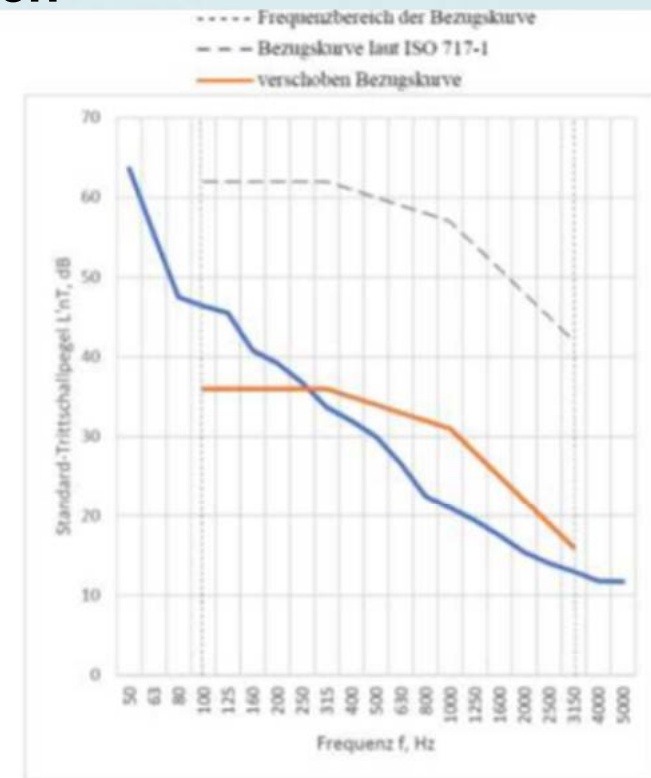
*A step to a silent future*

## Beispiel 6) Estrich

- Messergebnis mit Normhammerwerk

Frequenz f Hz	L' <sub>nT</sub> Terz dB
50	63,6
63	55,4
80	47,5
100	46,4
125	45,5
160	40,8
200	39,2
250	36,8
315	33,7
400	32,0
500	30,0
630	26,6
800	22,5 B
1000	21 B
1250	19,4 B
1600	17,5 B
2000	15,4 B
2500	14 B
3150	13 B
4000	11,8 B
5000	11,7 B

\*B: L'<sub>nT</sub> =< angezeigter Wert



Bewertung nach ISO 717-2

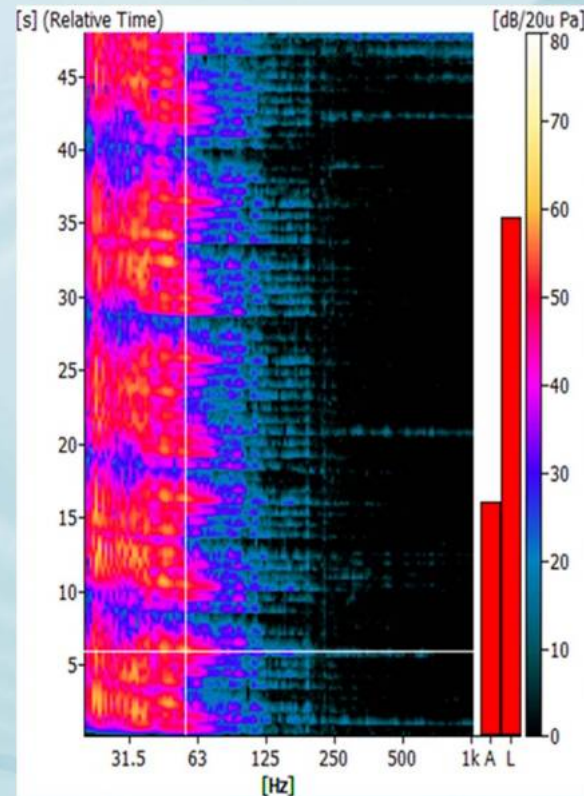
$$L'_{nT,w}(C_1) = 34 (1) \text{ dB}$$

$$C_{1,50-2500} = 15 \text{ dB}$$

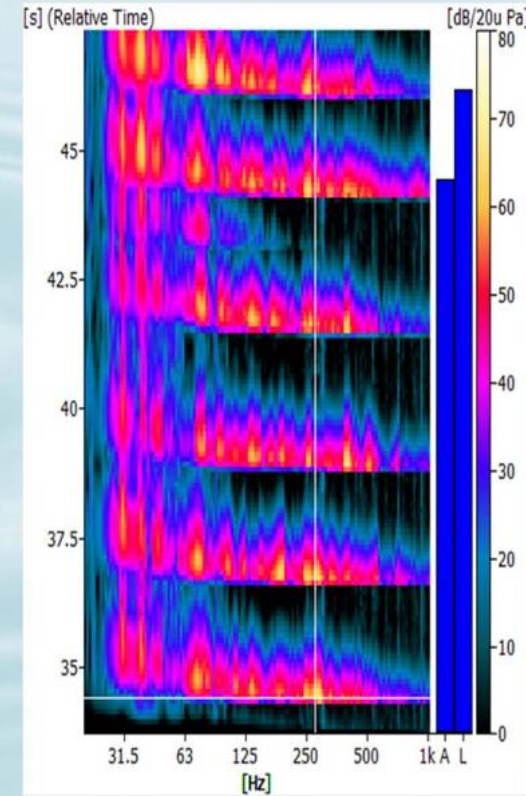
Die Ermittlung basiert auf Gebäudemessungen, die in Terzbändern gewonnen wurden

## Beispiel 6) Vergleich guter / schlechter Estrich

- Guter Estrich



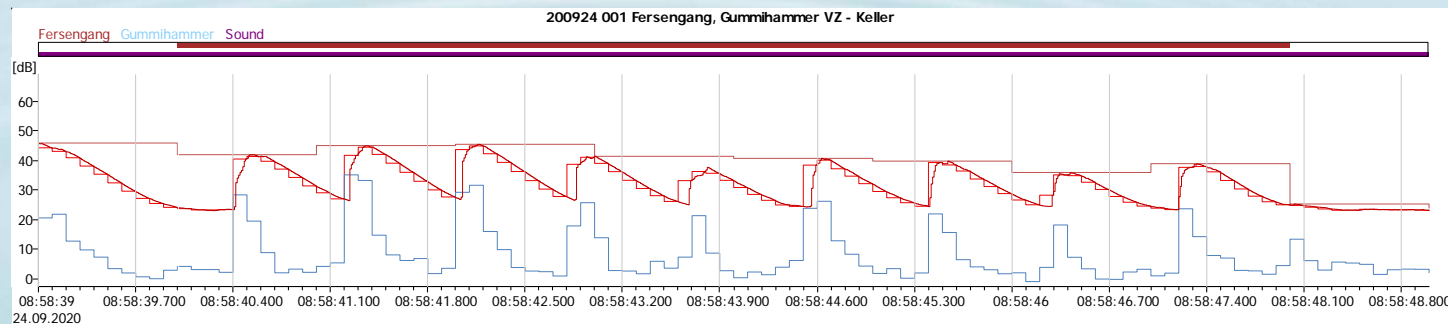
schlechter Estrich mit  
Brücken



*A step to a silent future*

## Beispiel 6) Vergleich guter / schlechter Estrich

- Analyse des Pegelverlaufes insbesondere der 250 Hz Terz ermöglicht eine Lokalisation der Schwachstelle



## Beispiel 7) Gebäudetrennwand

- Neu errichtetes Wohnhaus, das an bestehendes Haus angebaut wurde
- Trotz guter Dämmung hört man im Wohnzimmer die Heizungsanlage in der Garage und Gehgeräusche aus dem 1.OG des Nachbarhauses
- Bodenplatten Anschluss getrennt mit XPS Rest mit Mineralwollplatten



*A step to a silent future*

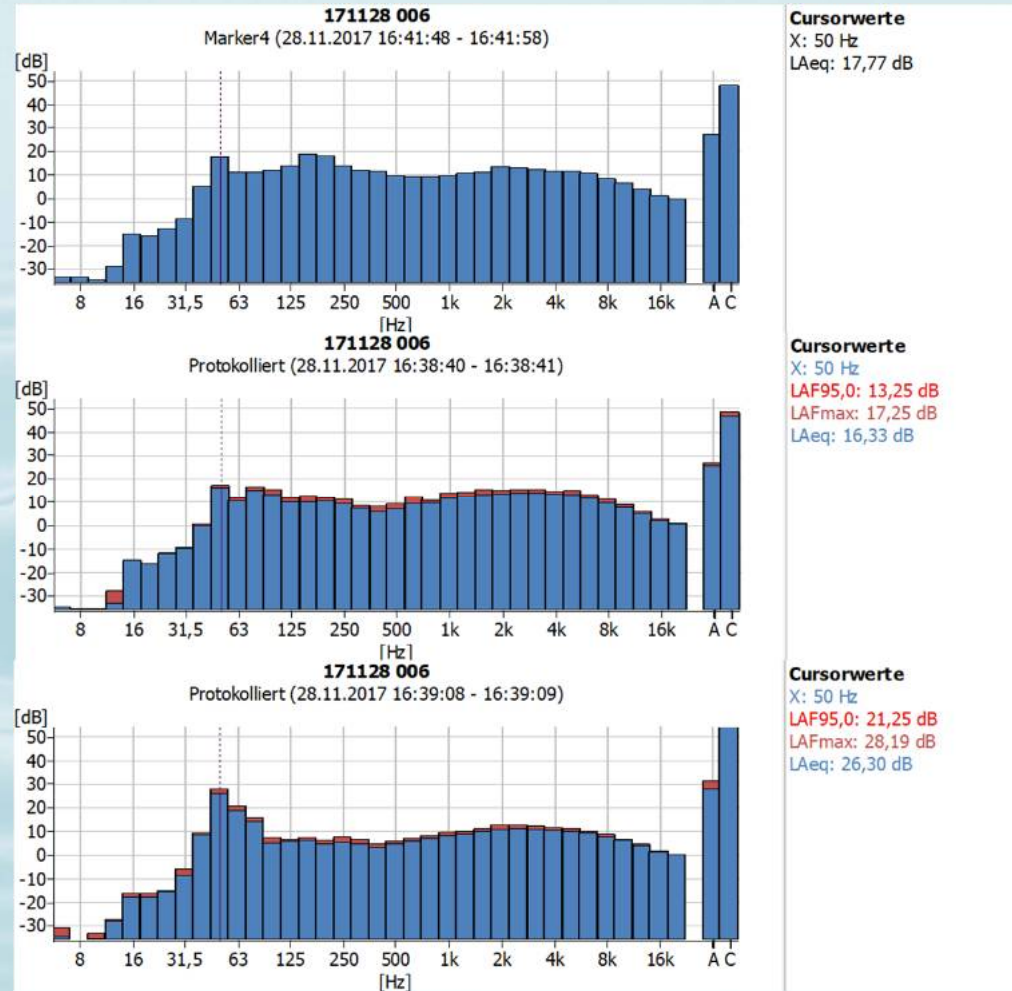
## Beispiel 7) Gebäudetrennwand

- Trennmaterial der Gebäude großteils Steinwolle
- Detail Dachrinne



## Beispiel 7) Messung im WZ mit Gummihammeranregung

- Garage
- Parkettboden DG
- WC DG



*A step to a silent future*

## Zusammenfassung

- Resonanzen spielen bei der Übertragung von Lärm in Wohnungen oder Häuser eine wesentliche Rolle
- Mit einfachen Mitteln können diese z.B. mit einem Minishaker, Gummihammer oder Fersengang bestimmt werden
- Bei Kenntnis der anregenden Frequenzen einer Quelle können die Schwachstellen auch Bauteilen bzw. Konstruktionen zugeordnet werden



*A step to a silent future*

# Danke für die Aufmerksamkeit

Akustik Engineering Luckinger e.U.  
DI Gustav Luckinger  
Scheibengasse 18  
A-7033 Pöttsching  
[www.ae-luckinger.at](http://www.ae-luckinger.at)  
[gustav.luckinger@ae-luckinger.at](mailto:gustav.luckinger@ae-luckinger.at)

*A step to a silent future*

24.10.2020

