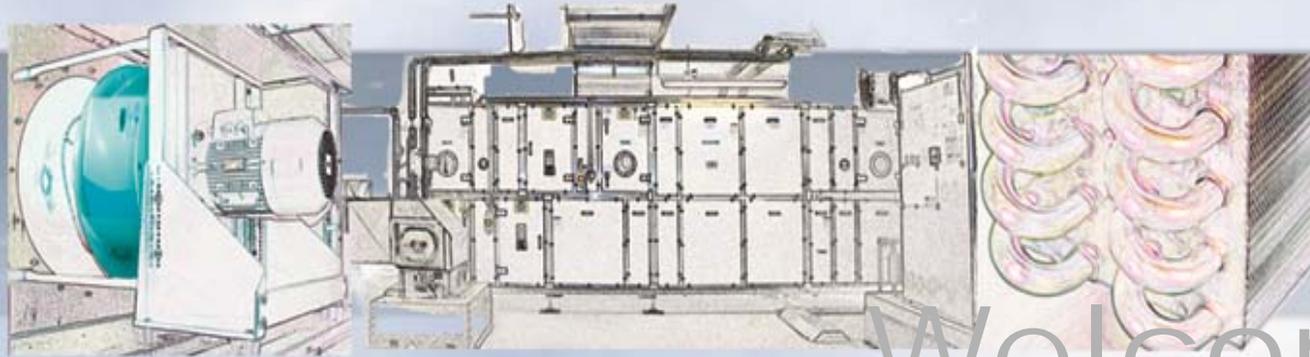


Willkommen



Welcome

Bienvenue

Raumlufttechnik Akustik

Energierückgewinnung und Energieeffizienz-
technologien in der Lüftungstechnik

Prof. Dr.-Ing. **Christoph Kaup**

c.kaup@umwelt-campus.de

Dipl.-Ing. **Christian Backes**

backes@howatherm.de



HOCHSCHULE TRIER
Umwelt-Campus Birkenfeld

Umwelt macht Karriere.

Lautstärke

Intensität der Schallwellen

Schalldruck [μbar]

Druckschwankungen
(messbar)

Hörschwelle

$$p = 2 \cdot 10^{-4} \mu\text{bar}$$

Schmerzschwelle

$$p = 200 \mu\text{bar}$$

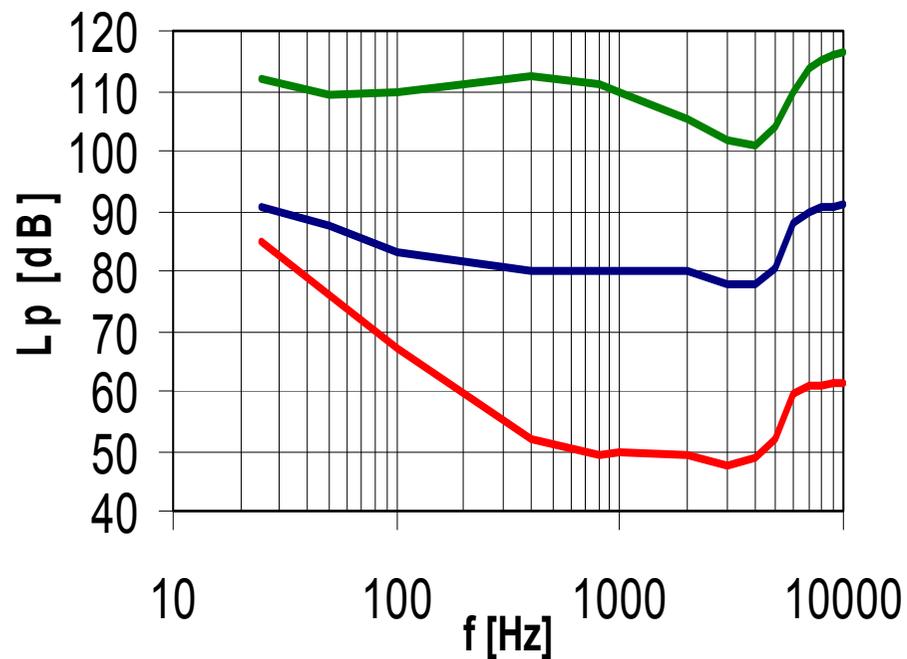
Pegelbewertung [dB]

$$20 \cdot \log \frac{\text{Schalldruck}}{\text{Hörschwellendruck}}$$

Phon [dB]

Ton von 1000 Hz

Phonkurven



C	B	A
> 100 dB	60-100 dB	< 60 dB

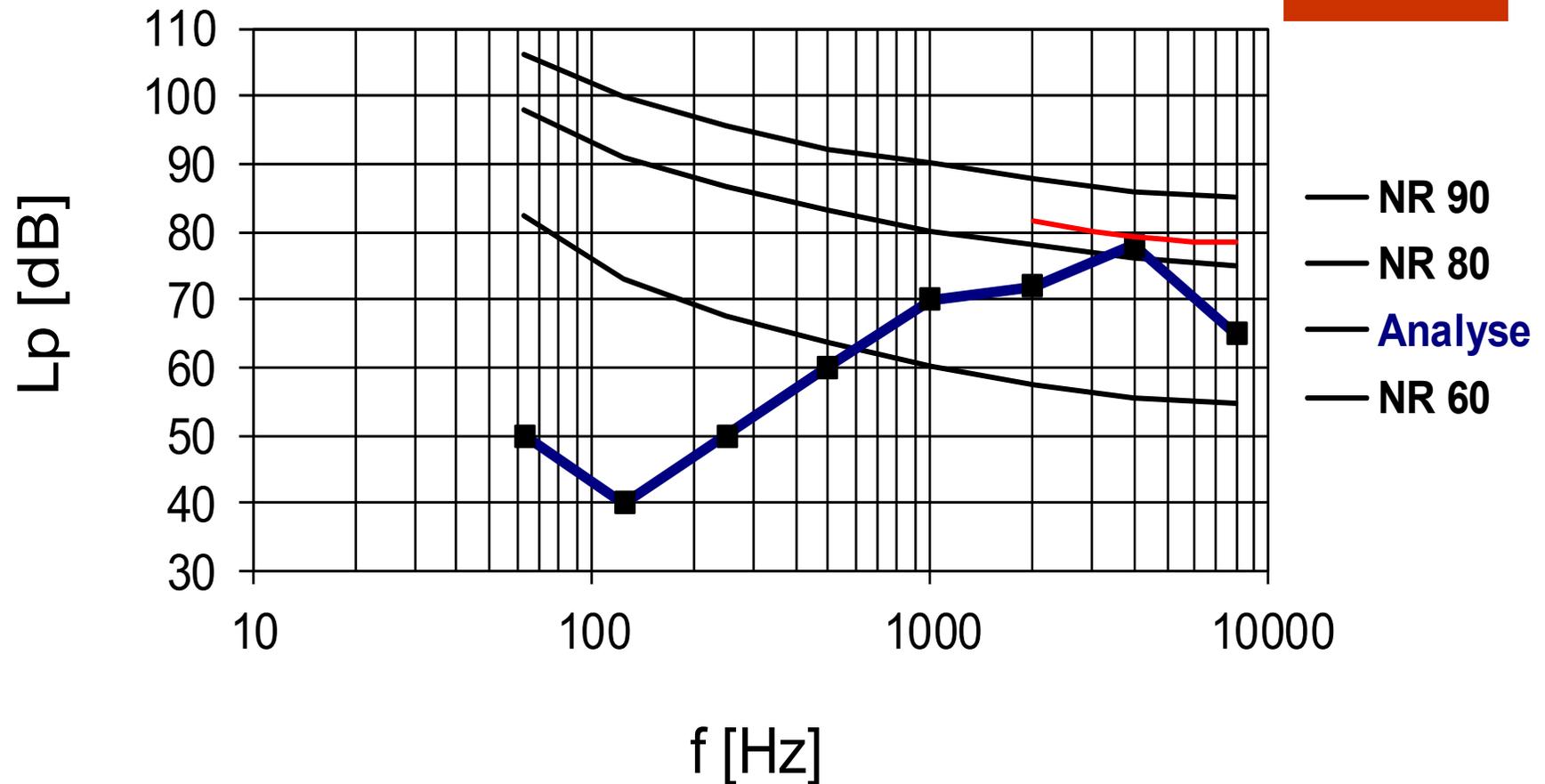
f [Hz]

Korrekturfaktoren

63	-0,8	-9,4	-26,1
125	-0,2	-4,3	-16,1
250	0	-1,4	-8,6
500	0	-0,3	-3,2
1000	0	0	0
2000	-0,2	-0,2	1,2
4000	-0,8	-0,8	1
8000	-3	-3	-1,1

NR Grenzkurven

NR 83

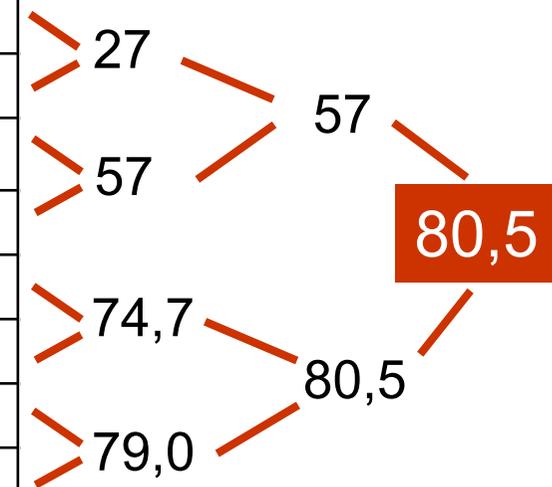


Schalldruckpegel unbewertet

f [Hz]	Lp [dB]
63	50
125	40
250	50
500	60
1000	70
2000	72
4000	78
8000	65
79,7	

Schalldruckpegel A - bewertet

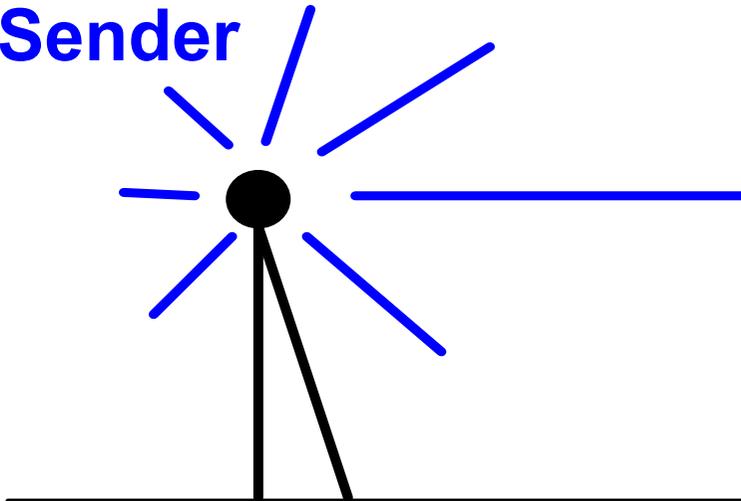
A - Bew.	Lp [dB(A)]
-26	24
-16	24
-9	41
-3	57
0	70
1	73
1	79
-1	64
80,5	



Schalleistungspegel

$$L_w = 10 \cdot \log \frac{W}{W_0} \text{ [dB]}$$

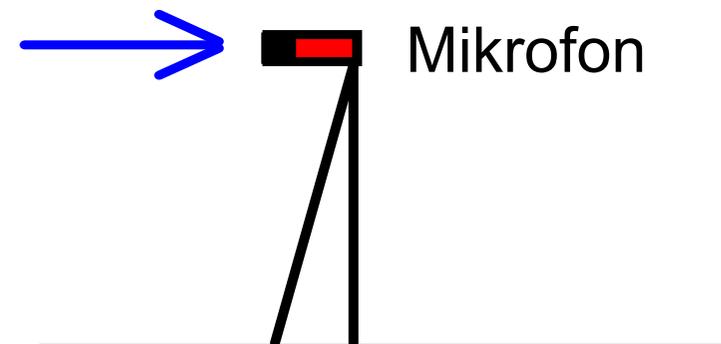
Geräuschemission
Sender



Schalldruckpegel

$$L_p = 20 \cdot \log \frac{p}{p_0} \text{ [dB]}$$

Geräuschimmission
Empfänger



$$L_W = L_p + 10 \cdot \log S$$

S = Hüllfläche

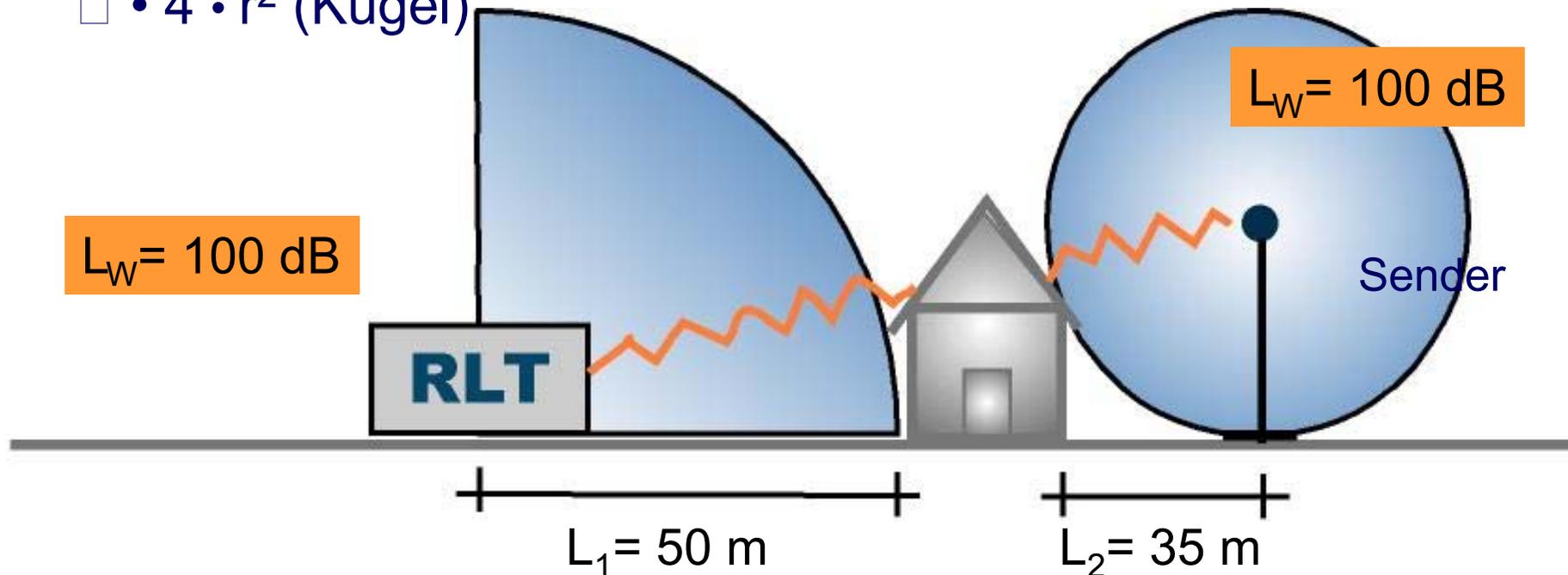
□ • $2 \cdot r^2$ (Halbkugel)

□ • $4 \cdot r^2$ (Kugel)

$$L_p \text{ RLT} = 58 \text{ dB}$$

$$L_p \text{ Sender} = 58 \text{ dB}$$

$$L_p \text{ Haus} = 61 \text{ dB}$$



Raumabsorption (Nachhallzeit)

$$A = 0,163 \cdot \frac{V}{T} \text{ [m}^2 \text{ Sabine]}$$

V = Raumvolumen [m³]

T = Nachhallzeit [s]

▶ schallhart

OP 3 s

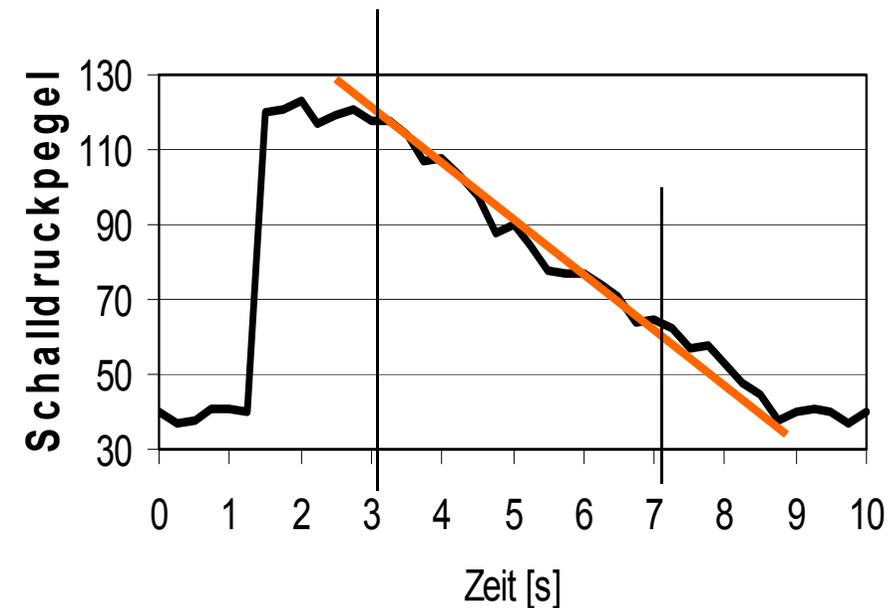
Kirche 3 s

▶ schallweich

Wohnraum 0,5 s

Kino 1 s

Bestimmung der Nachhallzeit



Nahfeld

VDI 2081

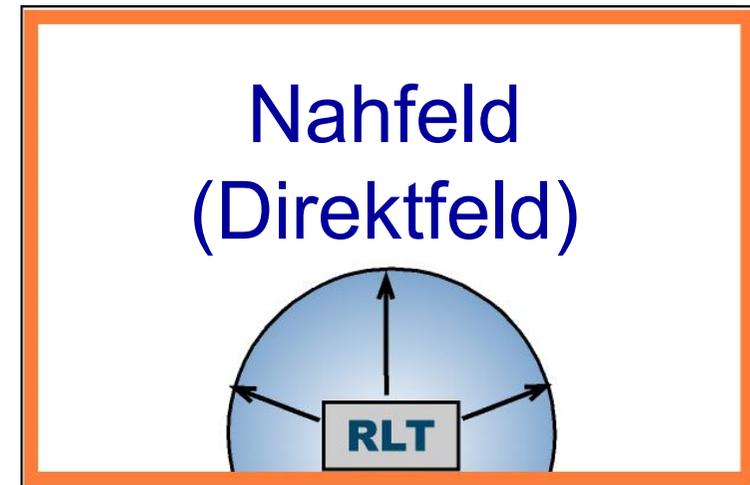
unabhängig von der Raumabsorption

$$L_W = L_P + 10 \cdot \log S$$

Hüllflächenverfahren

$$L_W = L_P - 10 \cdot \log \frac{1}{4 \cdot \square \cdot r^2}$$

$$L_W = L_P - 10 \cdot \log \frac{Q}{4 \cdot \square \cdot r^2}$$



Richtungsfaktor (1 – 8)

▶ Schallpegel - Änderung wie im Freifeld

Fernfeld

VDI 2081

abhängig von der Raumabsorption

$$L_W = L_P + 10 \cdot \log \frac{A}{4}$$

$$L_W = L_P - 10 \cdot \log \frac{4}{A}$$

Fernfeld=
(Diffusfeld)

RLT

gleicher Schallpegel an jedem Standort

Forderungen (LV)

Schalleistung:

- ▶ $L_W = \dots\dots$ dB
- ▶ $L_{WA} = \dots\dots$ dB
 $L_W = \dots\dots$ dB (A)

keine weiteren Angaben erforderlich

Schalldruck:

- ▶ $L_p = \dots\dots$ dB
 $L = \dots\dots$ dB
- ▶ $L_{(P)A} = \dots\dots$ dB (A)

weitere Angaben erforderlich:

z. B. - Freifeld + Entfernung
oder - Raumabsorption

VDI 2081

Abschätzen des Ventilatorgeräusches

$$L_{WV} = L_{WSM} + 10 \cdot \log V + 20 \cdot \log dp_t$$

Radialventilator
rückwärtsgekrümmt
Wirkungsgradoptimum

V = Volumenstrom [m^3/s]

dp_t = Ventilator Gesamtdruckerhöhung [Pa]

$$L_{WSM} = 34 \pm 1$$

▶ Beispiel:

$$V = 3 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$dp_t = 1200 \text{ Pa}$$

$$\Rightarrow L_{WV} = 100 \text{ dB}$$

VDI 2081

Abschätzen des Oktavspektrums [dB]

$$L_{W \text{ Okt } V} = L_{W V} + dL_W$$

dL_W = Korrektur Oktavspektrum

Radialventilator
rückwärtsgekrümmt
Wirkungsgradoptimum
1500 min⁻¹

f [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
LW V	100	100	100	100	100	100	100	100
dL W	-5	-7	-8	-12	-16	-20	-26	-34
LW Okt V	95	93	92	88	84	80	74	66

VDI 2081

Bewertung [dB(A)]

f [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
LW Okt V	95	93	92	88	84	80	74	66
LWA Okt V	69	77	83	85	84	81	75	65

$$L_{WA V} = 90 \text{ dB}$$

Grundfrequenz des Drehklangs [Hz]

$$f_D = \frac{n \cdot z}{60}$$

z = Schaufelzahl

Beispiel:

$$n = 2142 \text{ min}^{-1}$$

$$z = 7$$

$$\rightarrow f_D = 250 \text{ Hz}$$

Schalleistung im RLT- Gerät [dB(A)]

$$L_{W(A) \text{ Okt RLT}} = L_{W(A) \text{ Okt V}} + dL_R$$

Basis: EUROVENT und
RWTÜV - Messungen

dL_R = Absorbtion (Reflexion) im RLT - Gerät

f [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
LWA Okt V	69	77	83	85	84	81	81	65
dL R	-4	-3	9	5	7	5	8	1
LWA Okt RLT	65	74	92	90	91	86	89	66

$$L_{WA \text{ RLT}} = 97 \text{ dB}$$

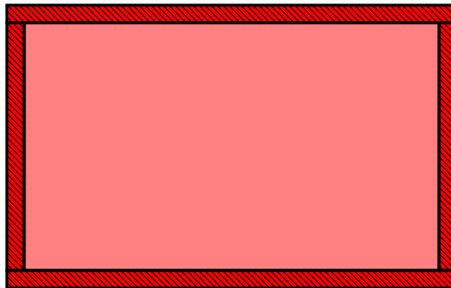
DIN EN 1886

Einfügungsdämpfung D_e

Basis: EUROVENT und
RWTÜV Messungen

(125 Hz – 8 kHz) in Oktavmittenfrequenzen

RLT Gerät



Prüfgehäuse: 10 - 30 m²
Außenmaße 0,9 - 1,4 m
2 Sektionen
2 Türen

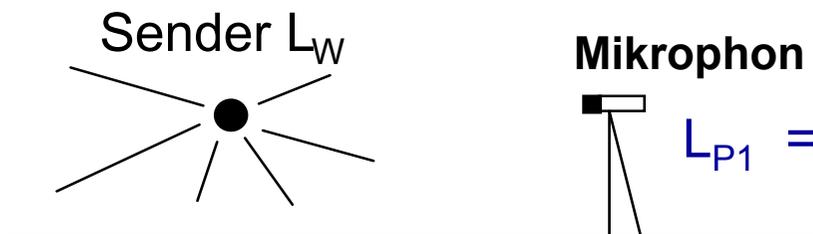
Messung

Wandpanele, Wandaussteifungen
Rahmenprofile, Eckprofile,
Verschraubungen, Verschlüsse,
Dichtungen, etc.

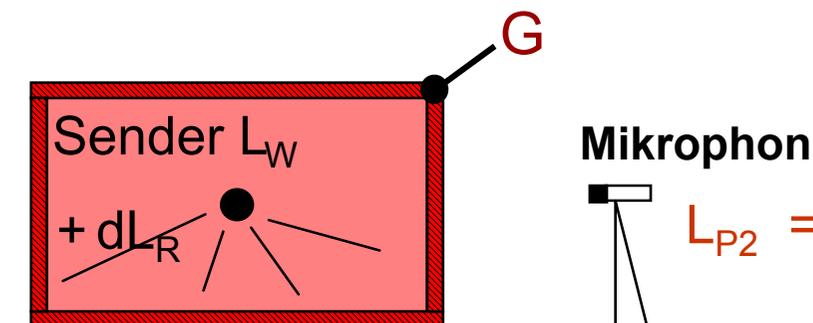
DIN EN 1886

Messung der Einfügungsdämpfung D_e

(125 Hz – 8 kHz) in Oktavmittenfrequenzen



$$L_{P1} = L_W + 10 \cdot \log \left(\frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot r^2} + \frac{4}{A} \right)$$



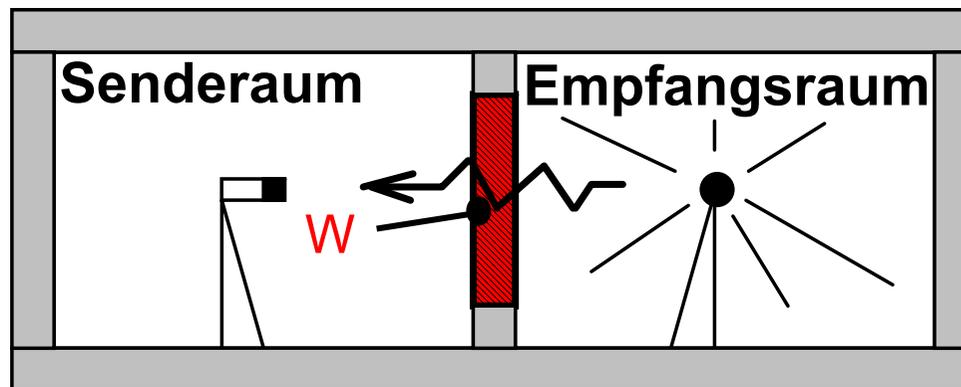
$$L_{P2} = L_W + 10 \cdot \log \left(\frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot r^2} + \frac{4}{A} \right) + dL_R - G$$

$$D_e = L_{P1} - L_{P2} = G - dL_R$$

DIN 52210

Schalldämmmaß R

(100 Hz – 3150 Hz) in Terzmittenfrequenzen



bauakustische
Beurteilung für:
Decken, Fenster
Wände, Fußboden

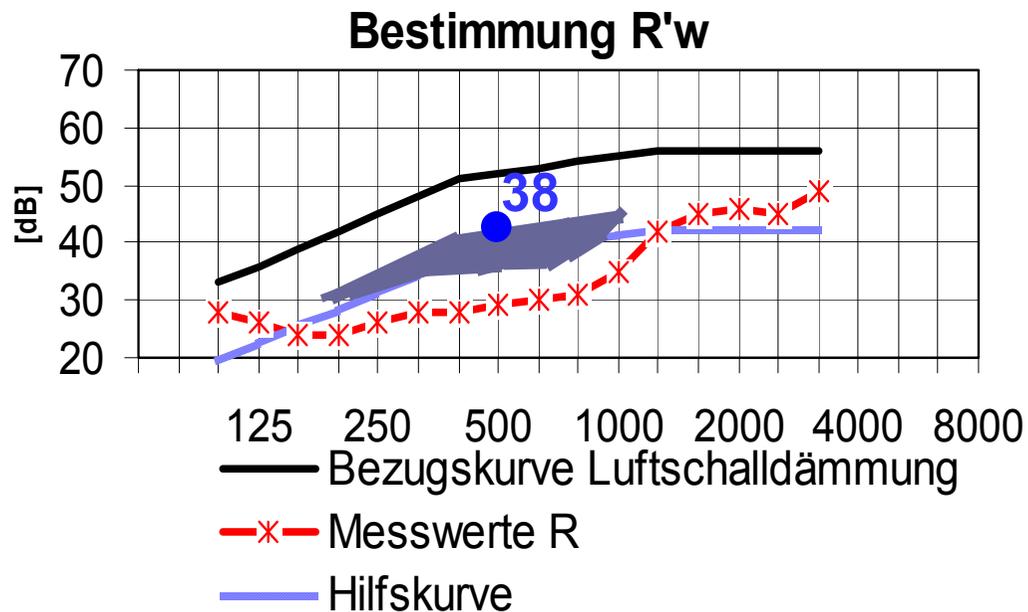
Messung

Wandpaneel zwischen Sende- und Empfangsraum, ohne sonstige Einflüsse

DIN 52210

Bewertetes Bauschalldämmmaß R'_w

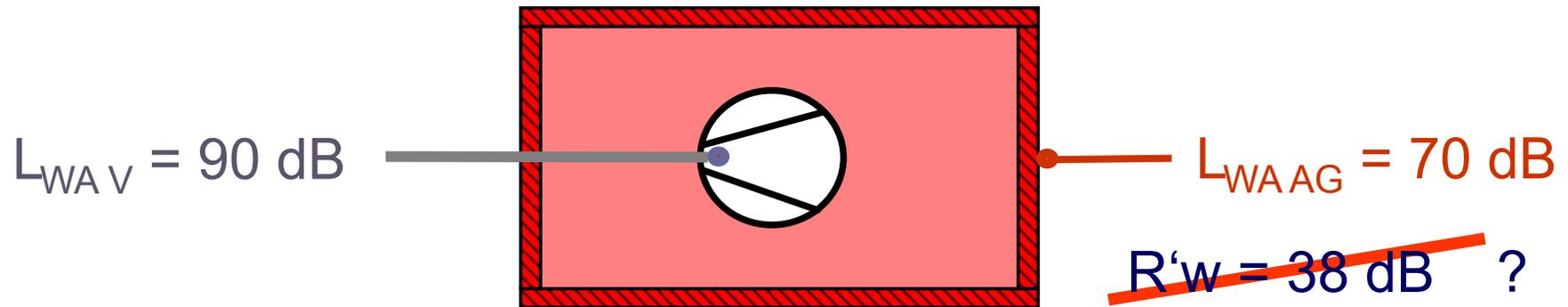
(Einwertangabe)



Fläche zwischen
Hilfskurve und
Bezugskurve
im Mittel 2 dB

$R'_w = \text{dB Wert}$
bei 500 Hz

akustische Gehäuseeigenschaften



f [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Lin
LWA Okt RLT	77	83	85	84	81	81	65	90
De	11	20	22	23	27	35	40	
LWA Okt AG	66	63	63	61	54	46	25	70

Dämpfung zwischen Antriebssystem und Geräteboden bzw. RLT Gerät und Baukörper

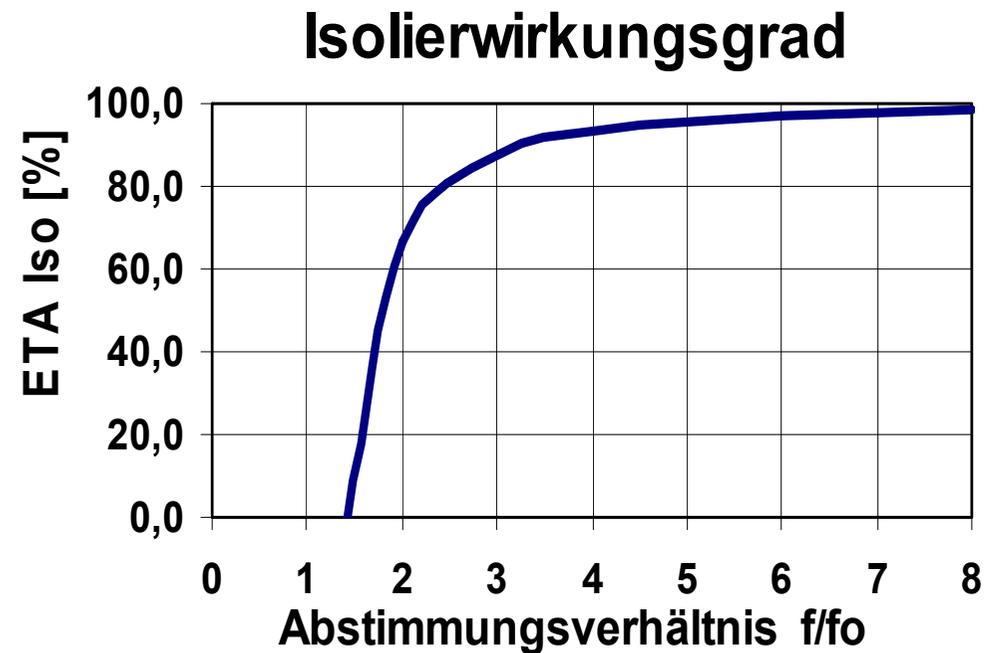
$$f / f_0 \geq 1,41$$

$$ETA_{Iso} \geq 0\%$$

Auslegung:

$$f / f_0 \geq 3,3$$

$$ETA_{Iso} \geq 90\%$$



Stahlfeder

$f_o = 2 - 4 \text{ Hz}$

$X_s = 60 - 15 \text{ mm}$

Gummi

$f_o = 6 - 10 \text{ Hz}$

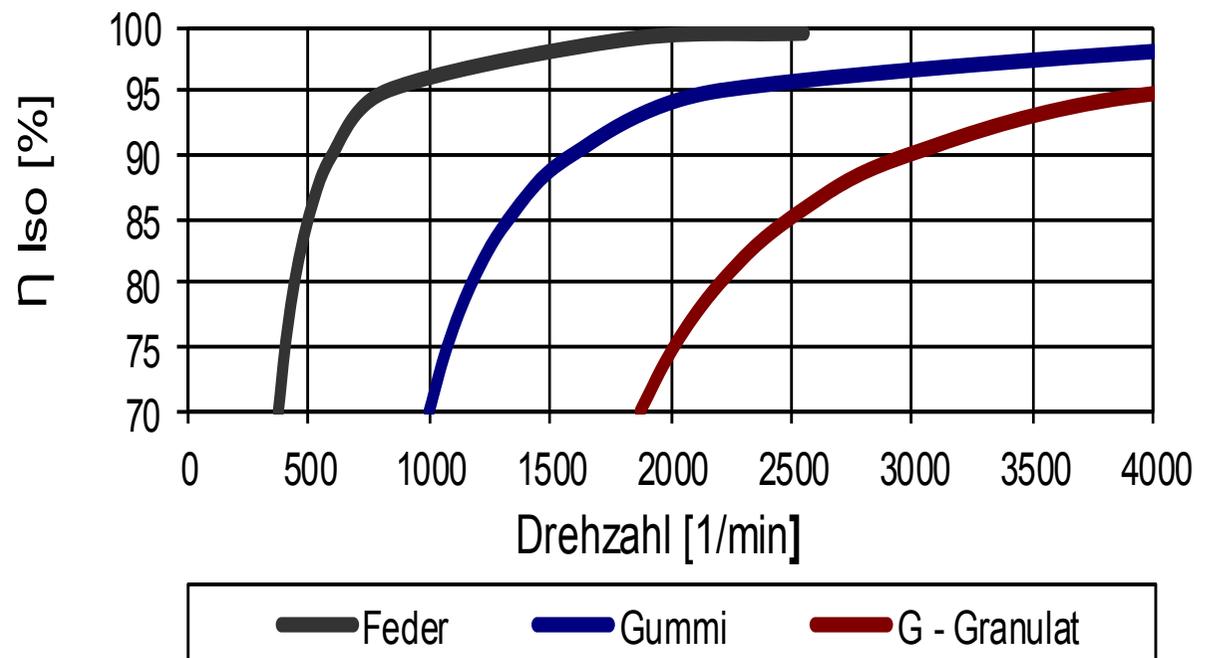
$X_s = 6 - 1 \text{ mm}$

Granulat

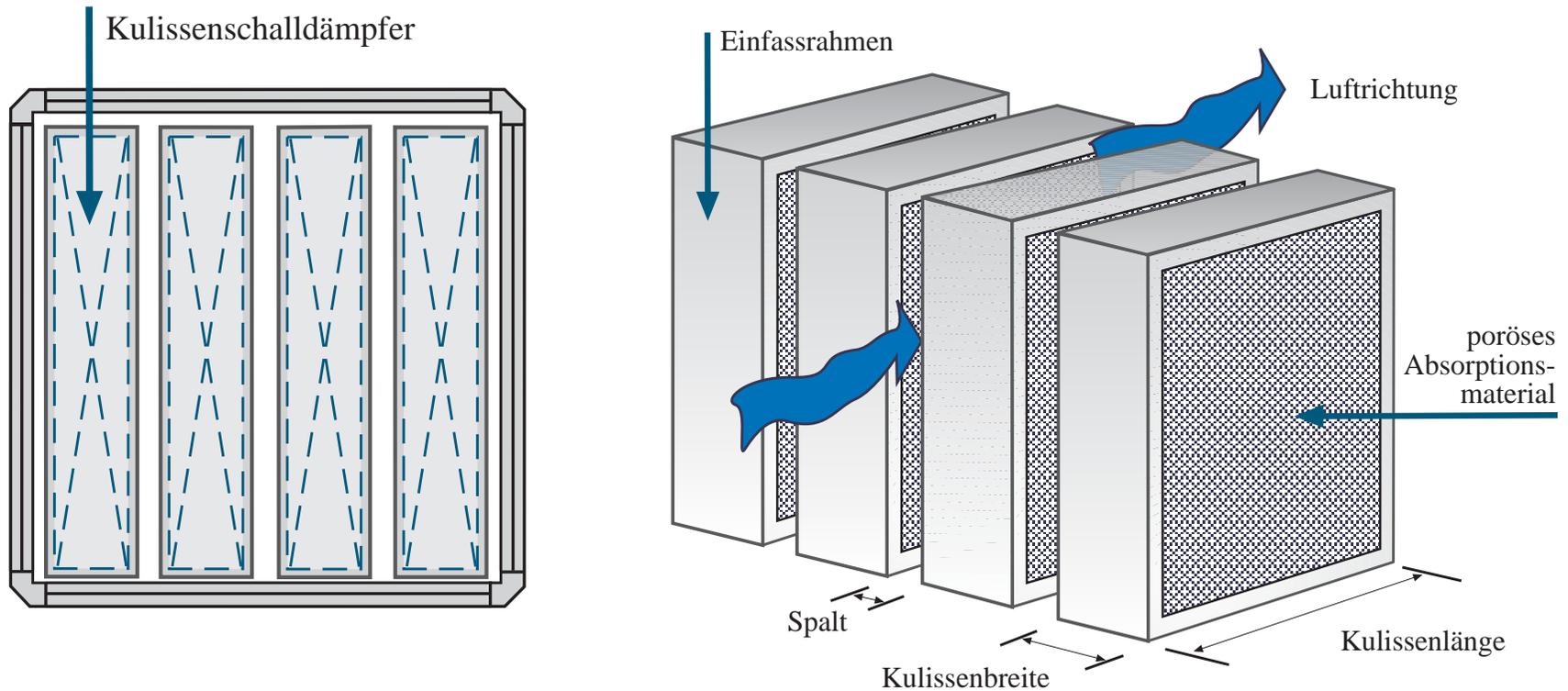
$f_o = 13 - 17 \text{ Hz}$

$X_s = < 1 \text{ mm}$

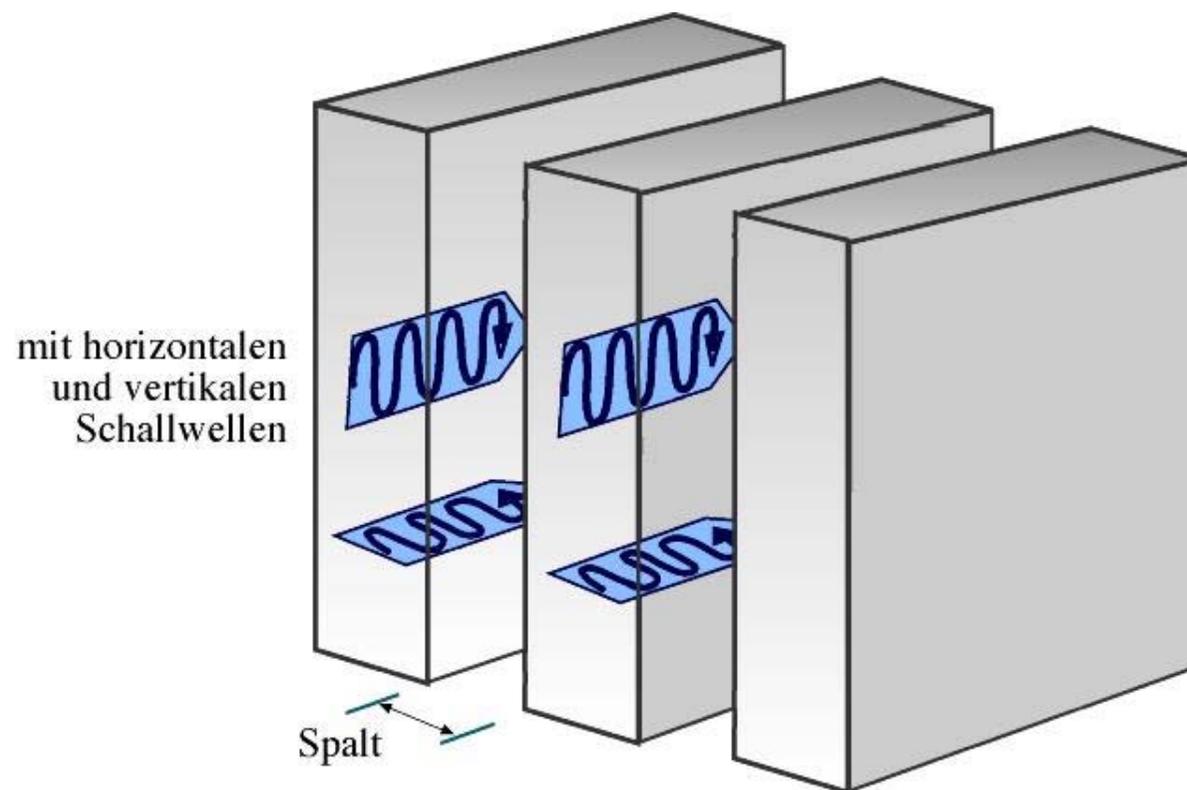
Einsatz Schwingungselemente



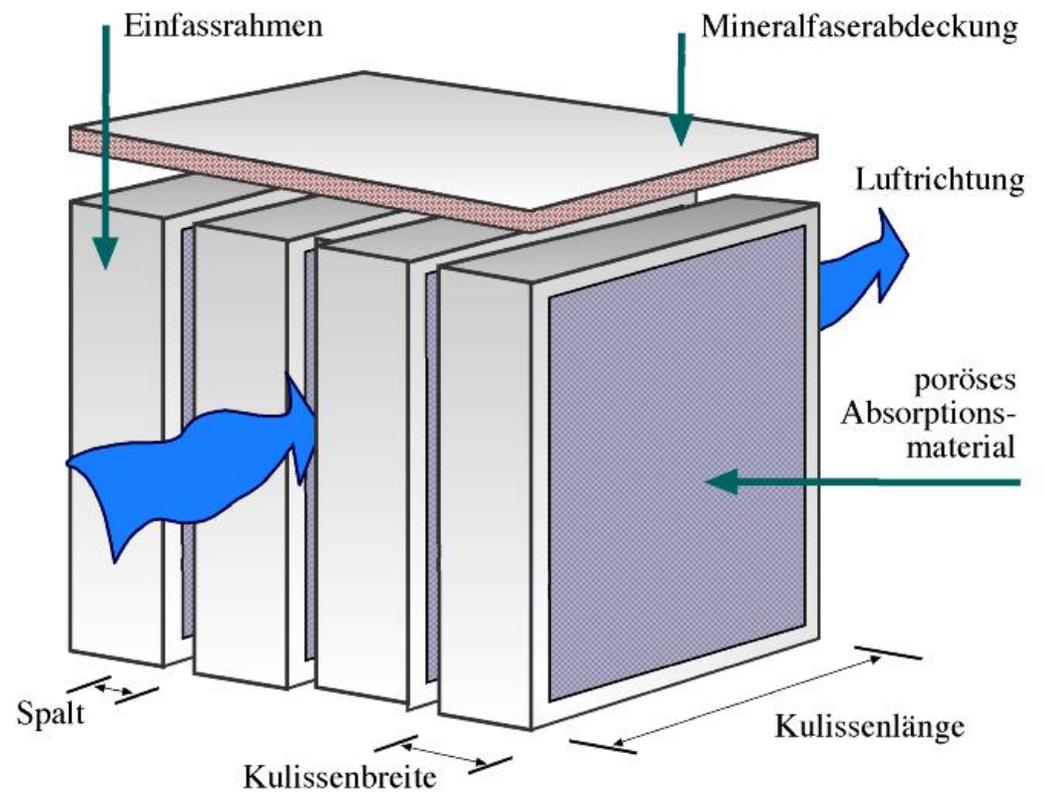
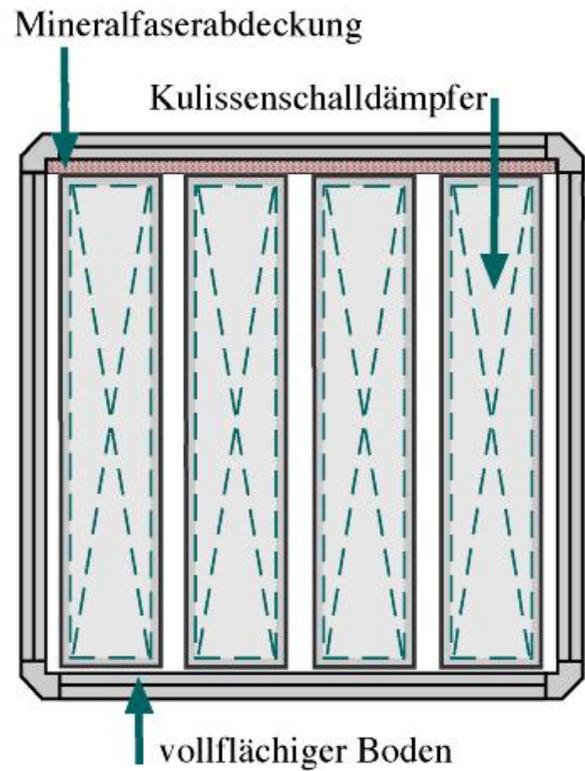
Kulissenschalldämpfer

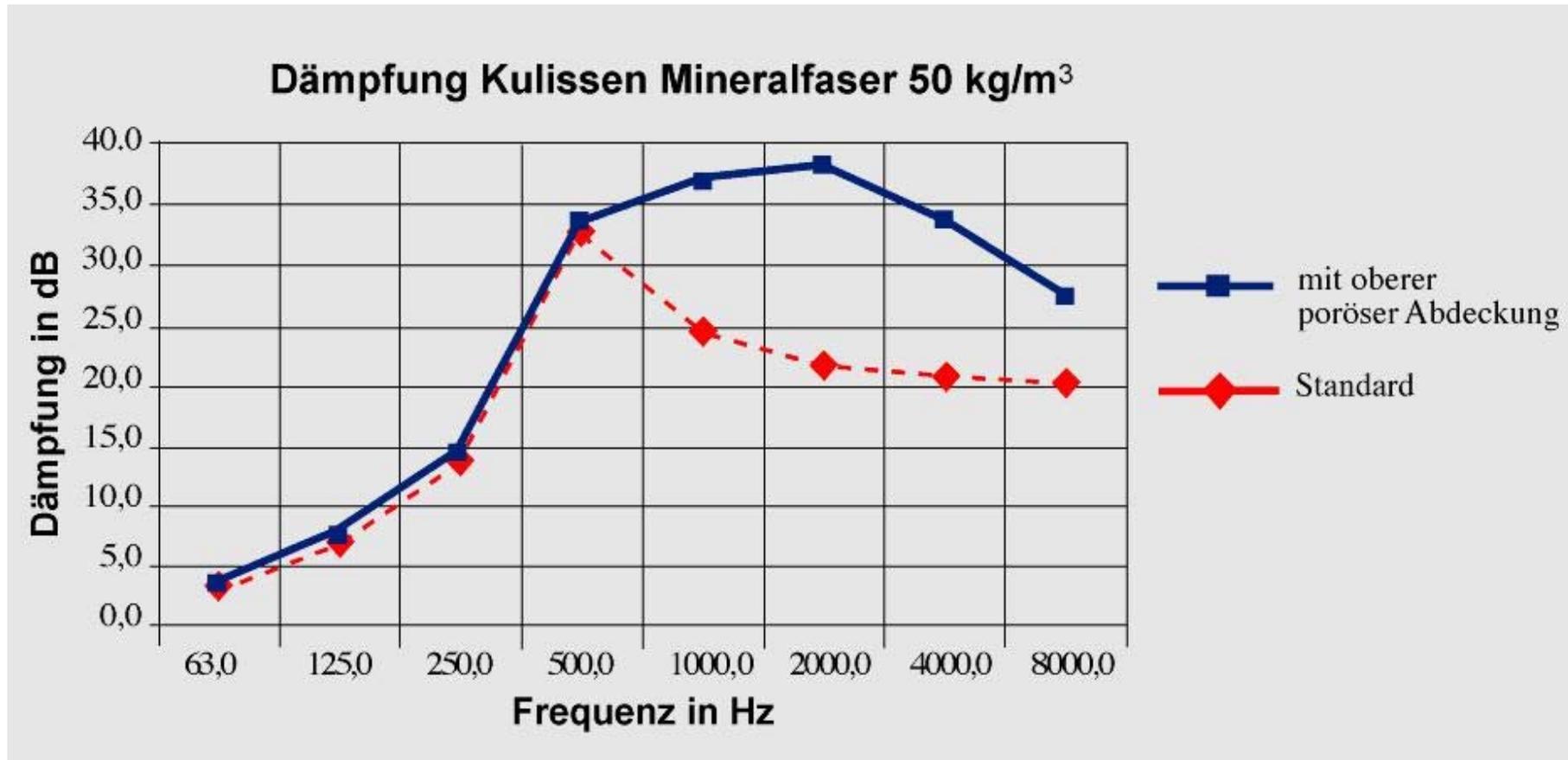


- einfach herzustellen
- gute Dämpfung bei dicken Kulissen
- gute Dämpfung bei kleinem Spalt
- $> dP$ bei dicken Kulissen
- $> dP$ bei kleinem Spalt
- Strömungsrauschen
- geringe Kosten

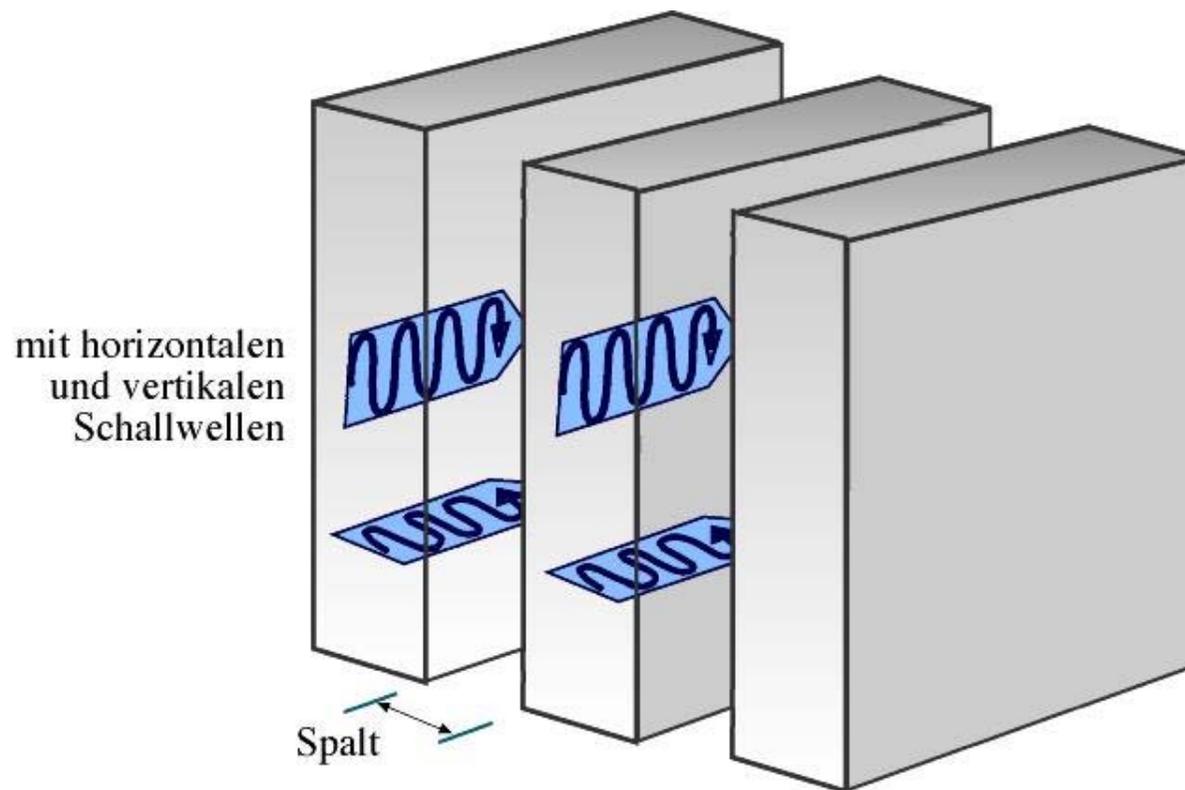


Obere Abdeckung

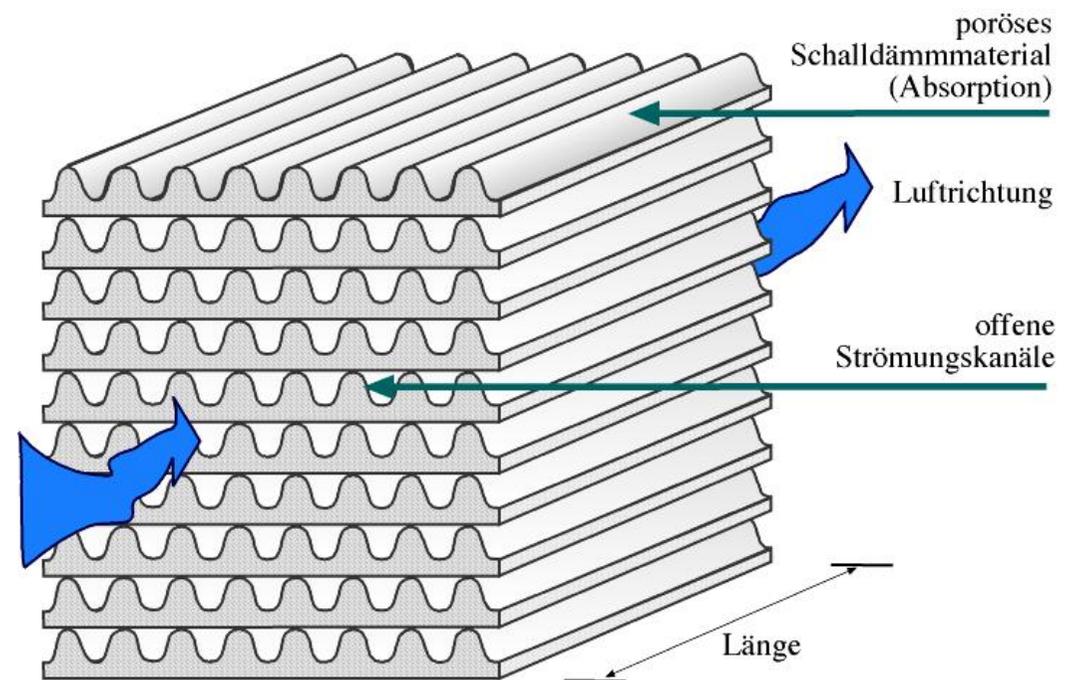
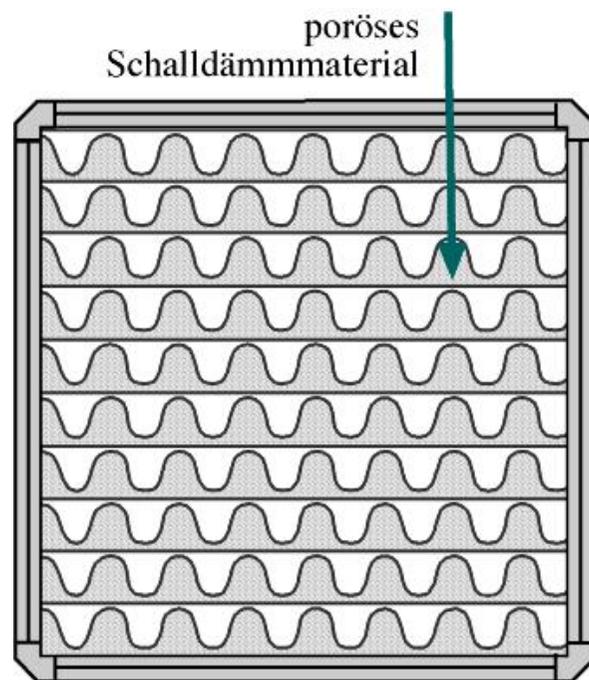




- Reduktion der Reflexion im Spalt
- Verbesserung bei $f > 500$ Hz
- kein erhöhter Druckverlust
- geringe Kosten



Kanalschichtenschalldämpfer

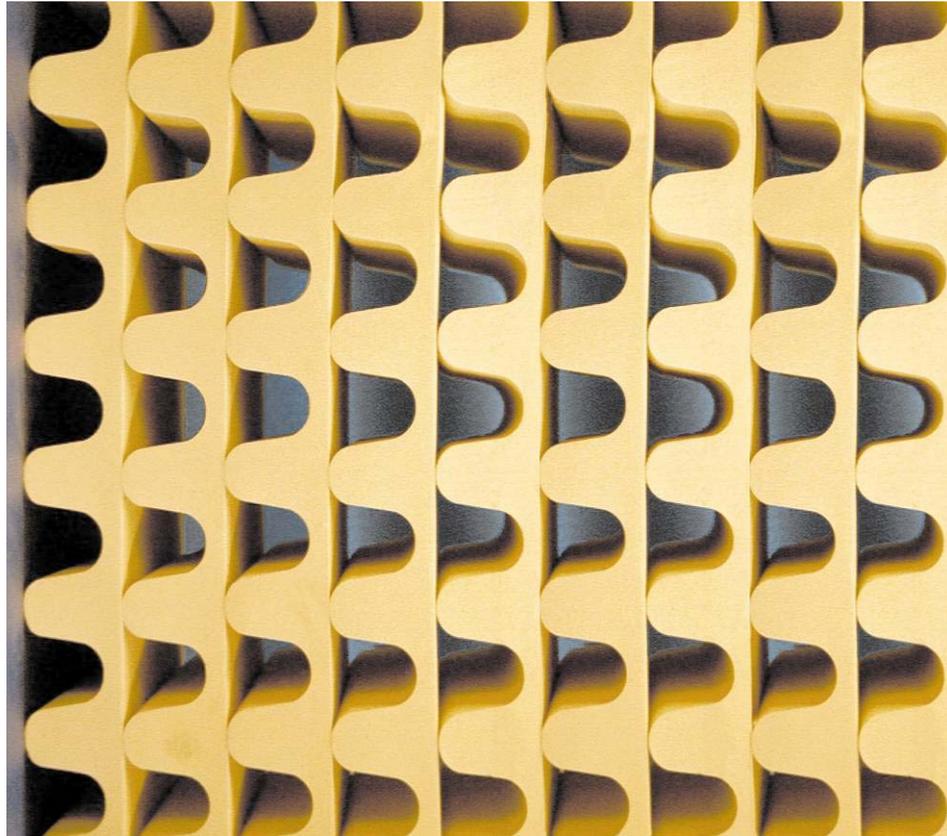


Patent DE 101 21 940

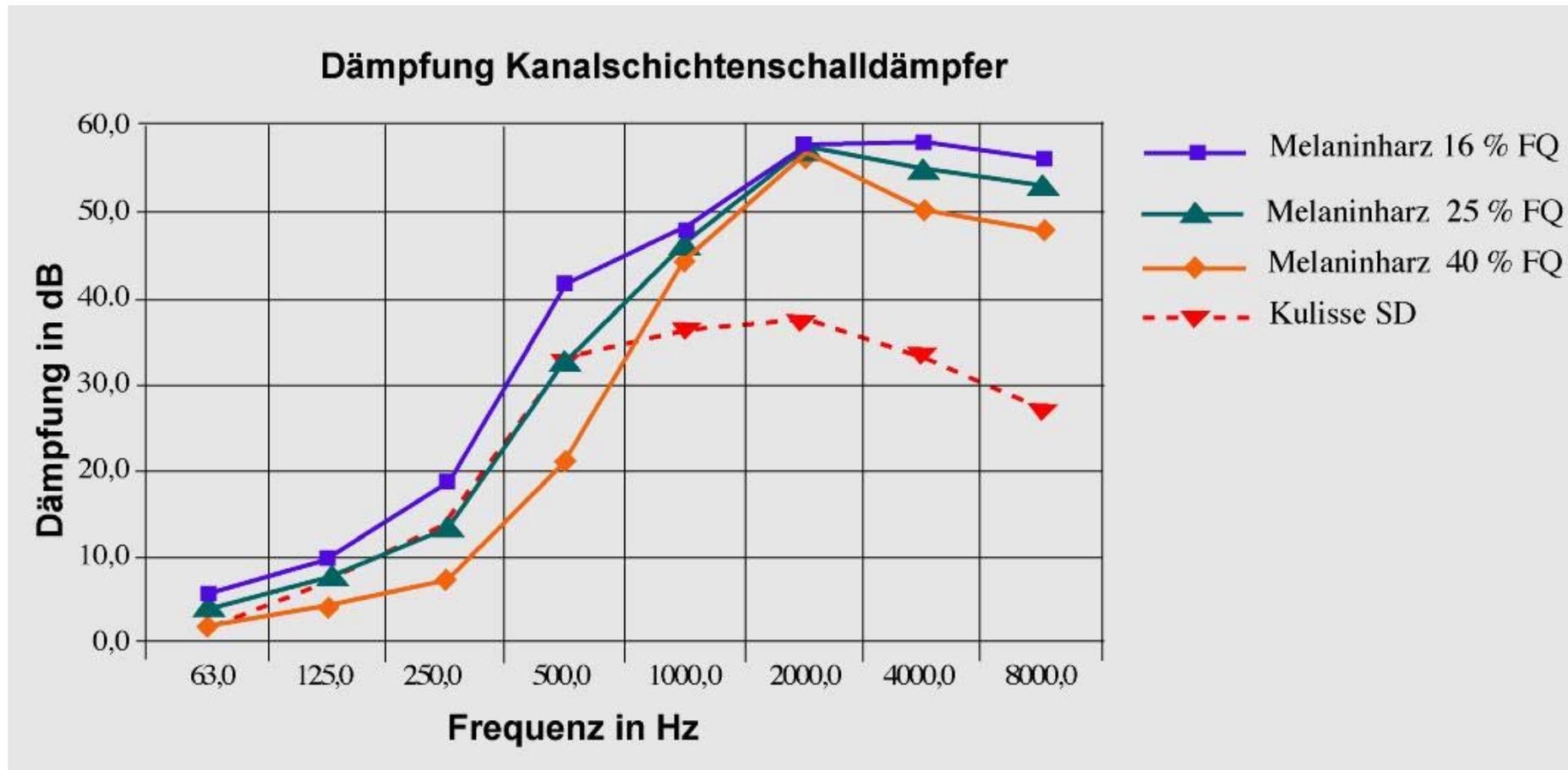
Kanalschichtenschalldämpfer



HOCHSCHULE TRIER
Umwelt-Campus Birkenfeld

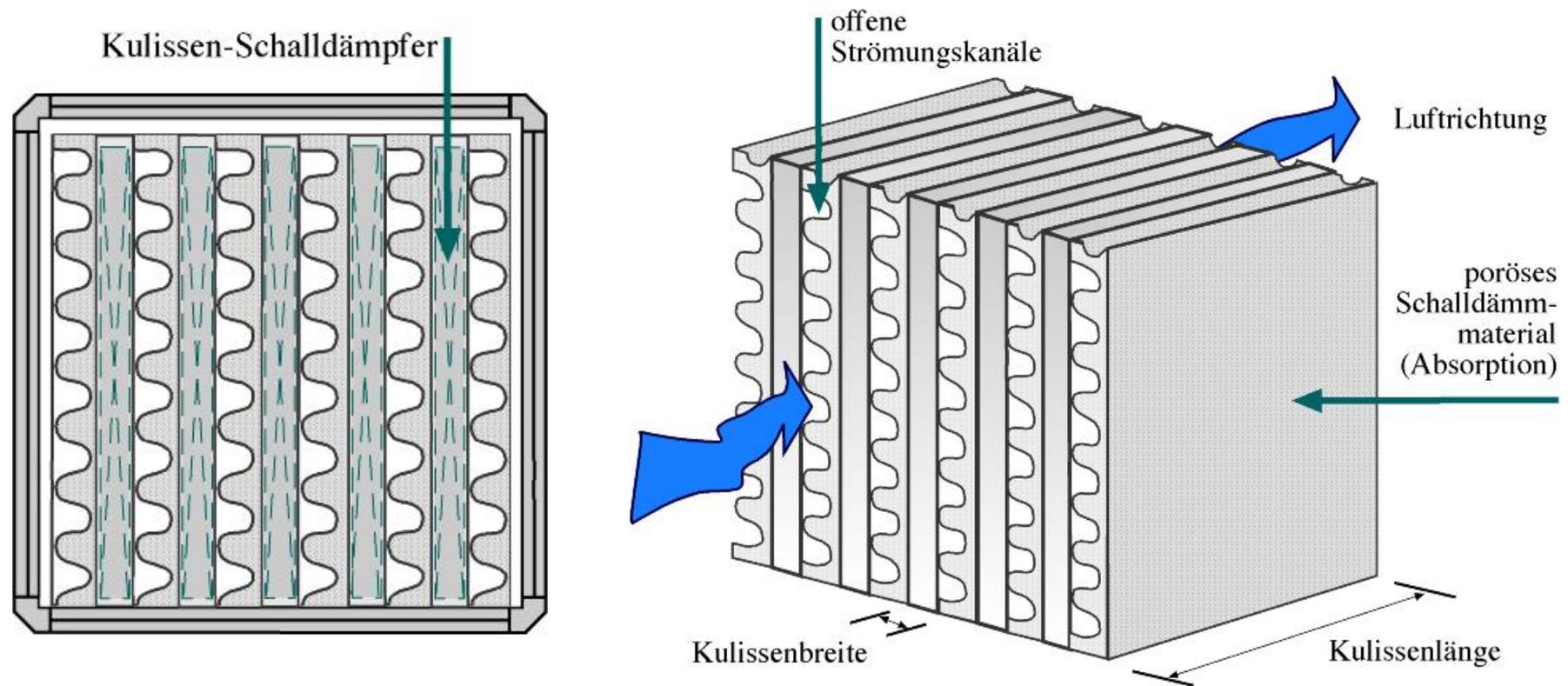


Patent DE 101 21 940



- Verbesserung der Dämpfung durch Reduktion der Durchstrahlung
- Reduktion der Reflexion im Spalt
- Verbesserung vor allem bei $f > 500$ Hz
- kein erhöhter Druckverlust
- hohe Kosten (Melaninharz)
- einfache Fertigung

Kanalschichtenschalldämpfer



Patent DE 101 21 940

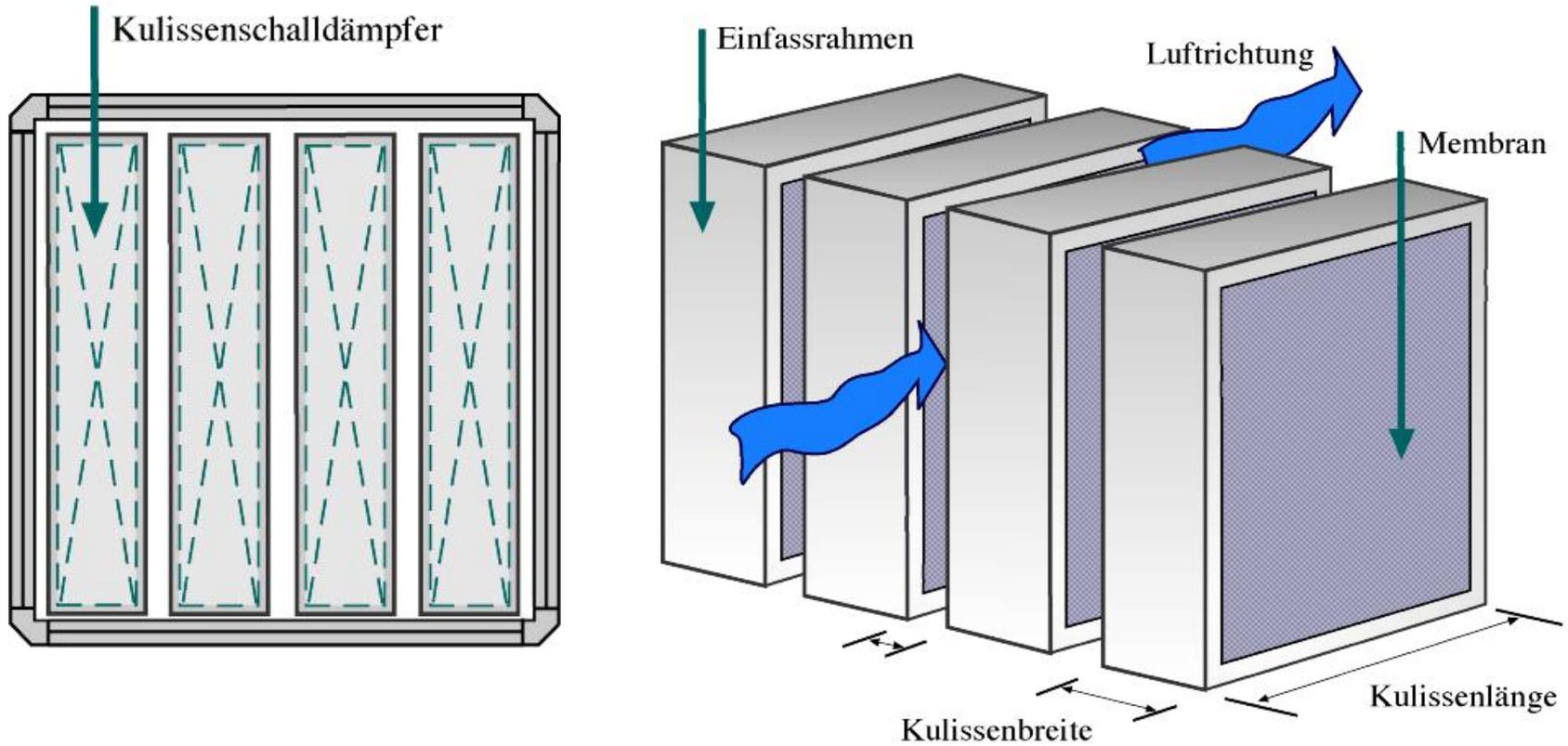
Kanalschichtenschalldämpfer

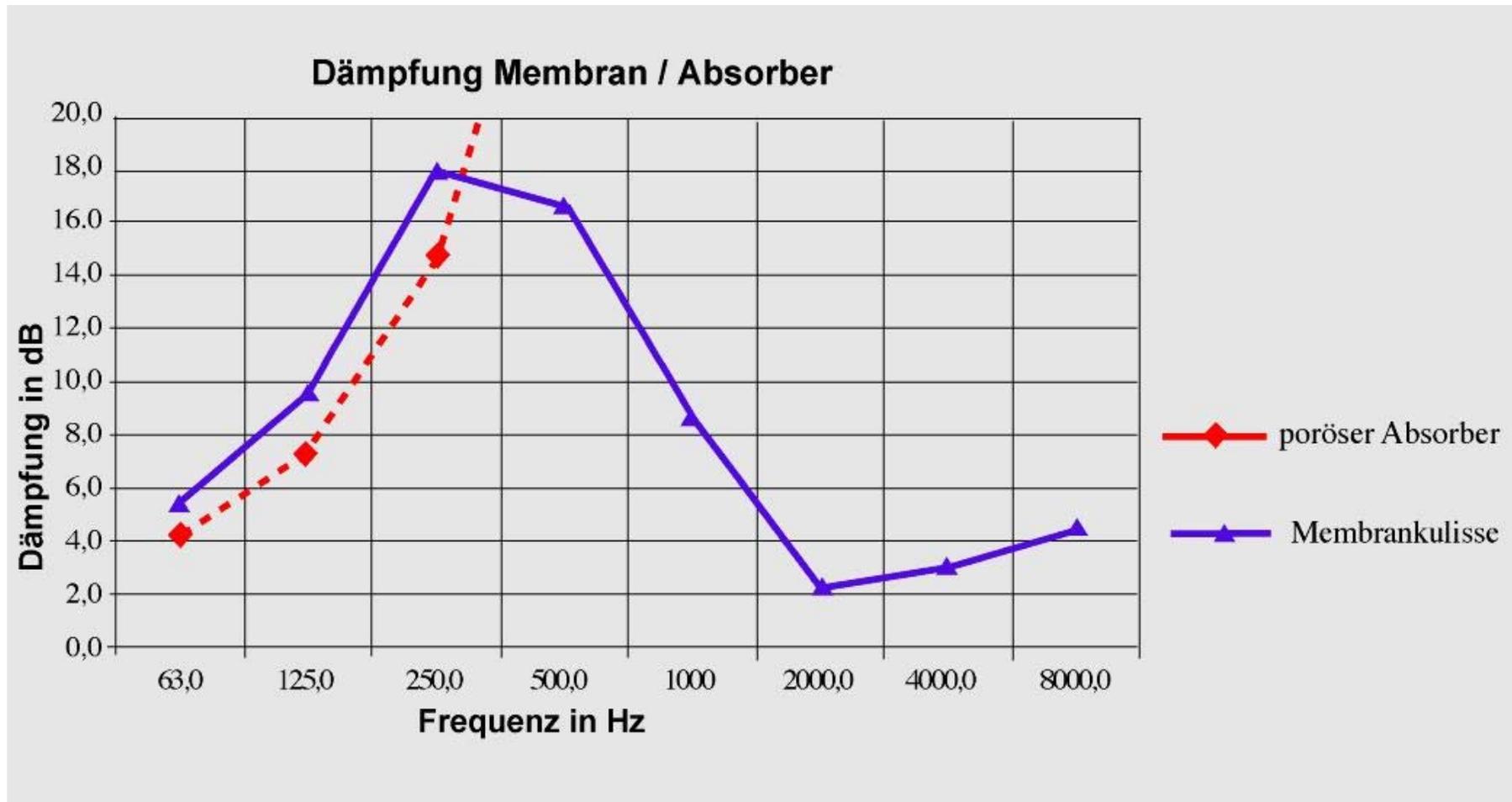


Patent DE 101 21 940

- kein erhöhter Druckverlust
- etwas geringere Kosten
(Einsatz von Standardkulissen)
- einfache Fertigung

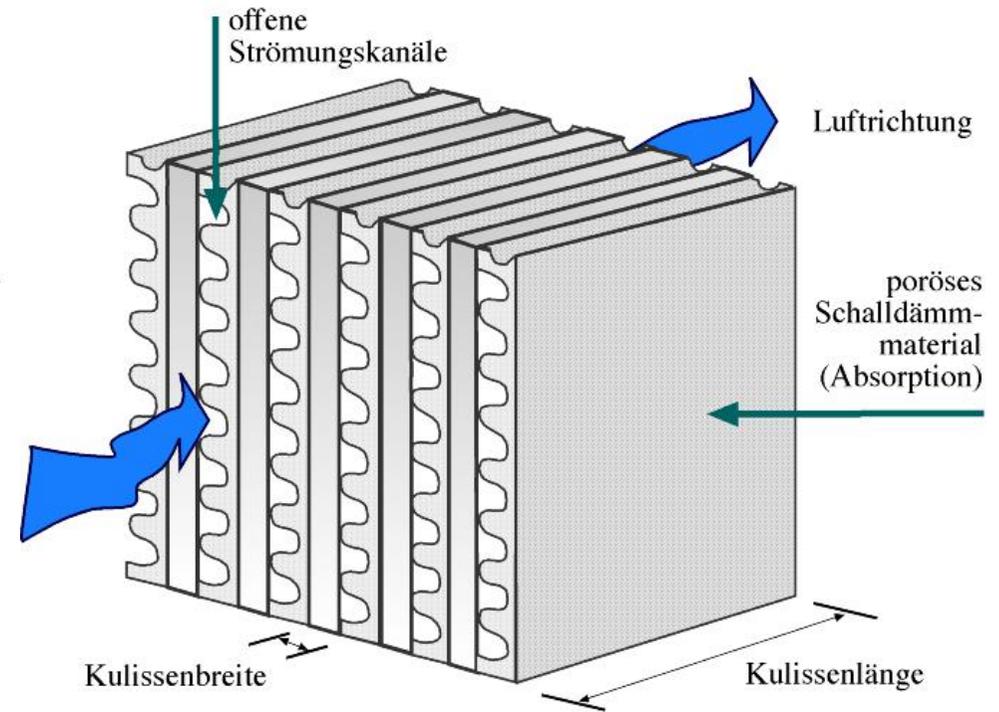
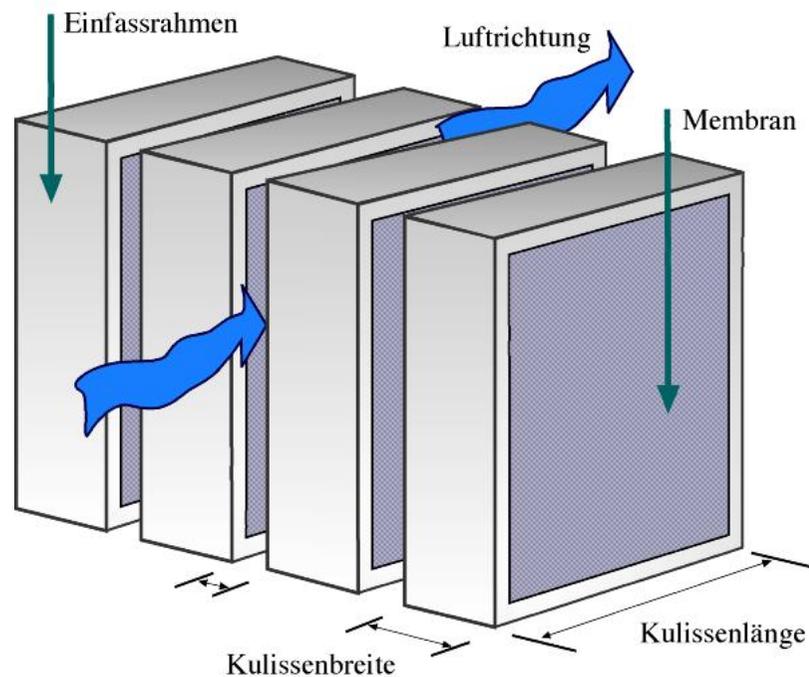
Membranschalldämpfer





- Verbesserung der Dämpfung bei tiefen Frequenzen (< 500 Hz)
- praktisch keine Dämpfung bei hohen Frequenzen (> 1000 Hz)
- kein erhöhter Druckverlust
- geringe Kosten (Einsatz von Standardkulissen)
- einfache Fertigung
- optimale Hygiene (Ganzmetall)

Membranschalldämpfer

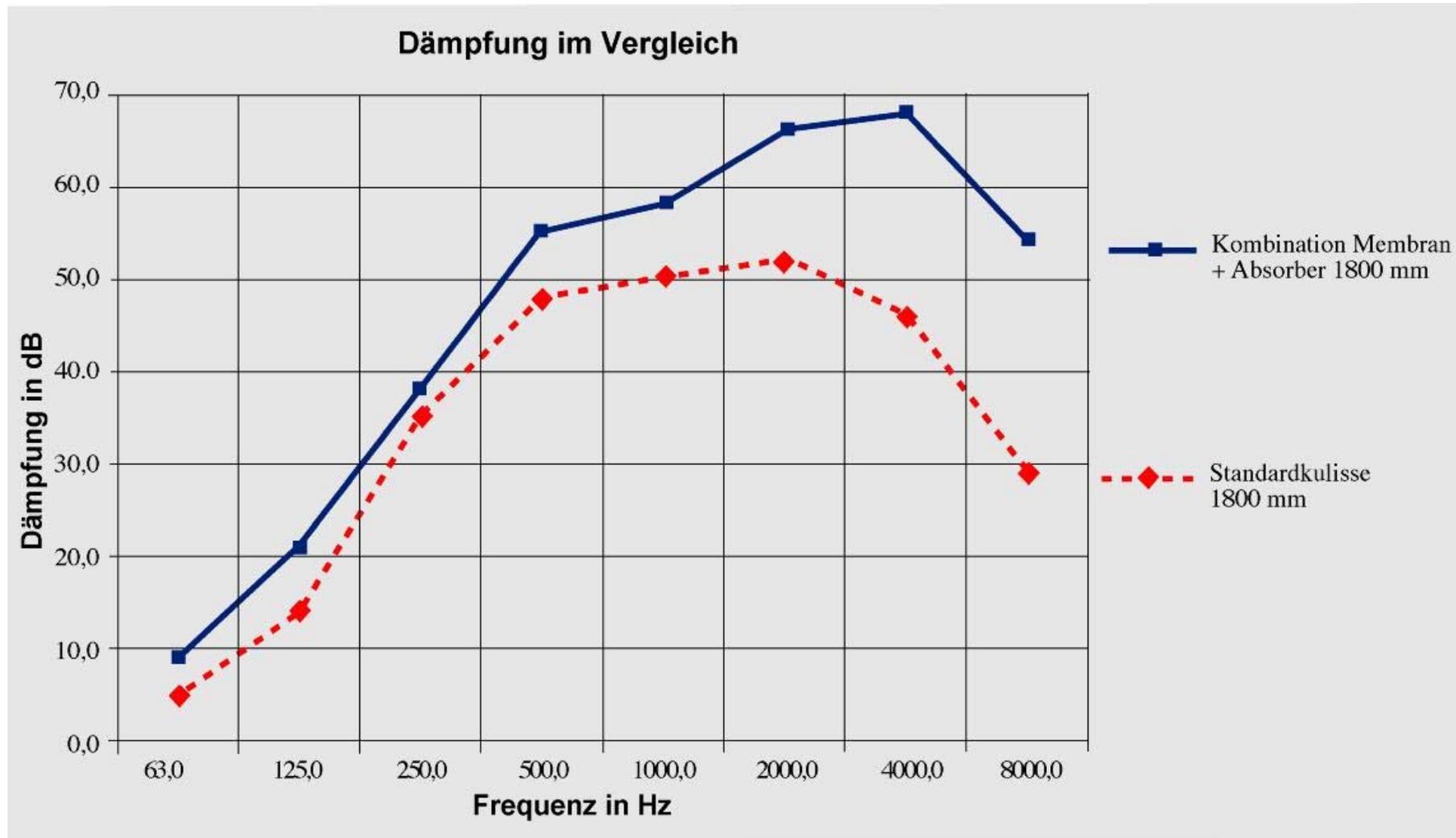


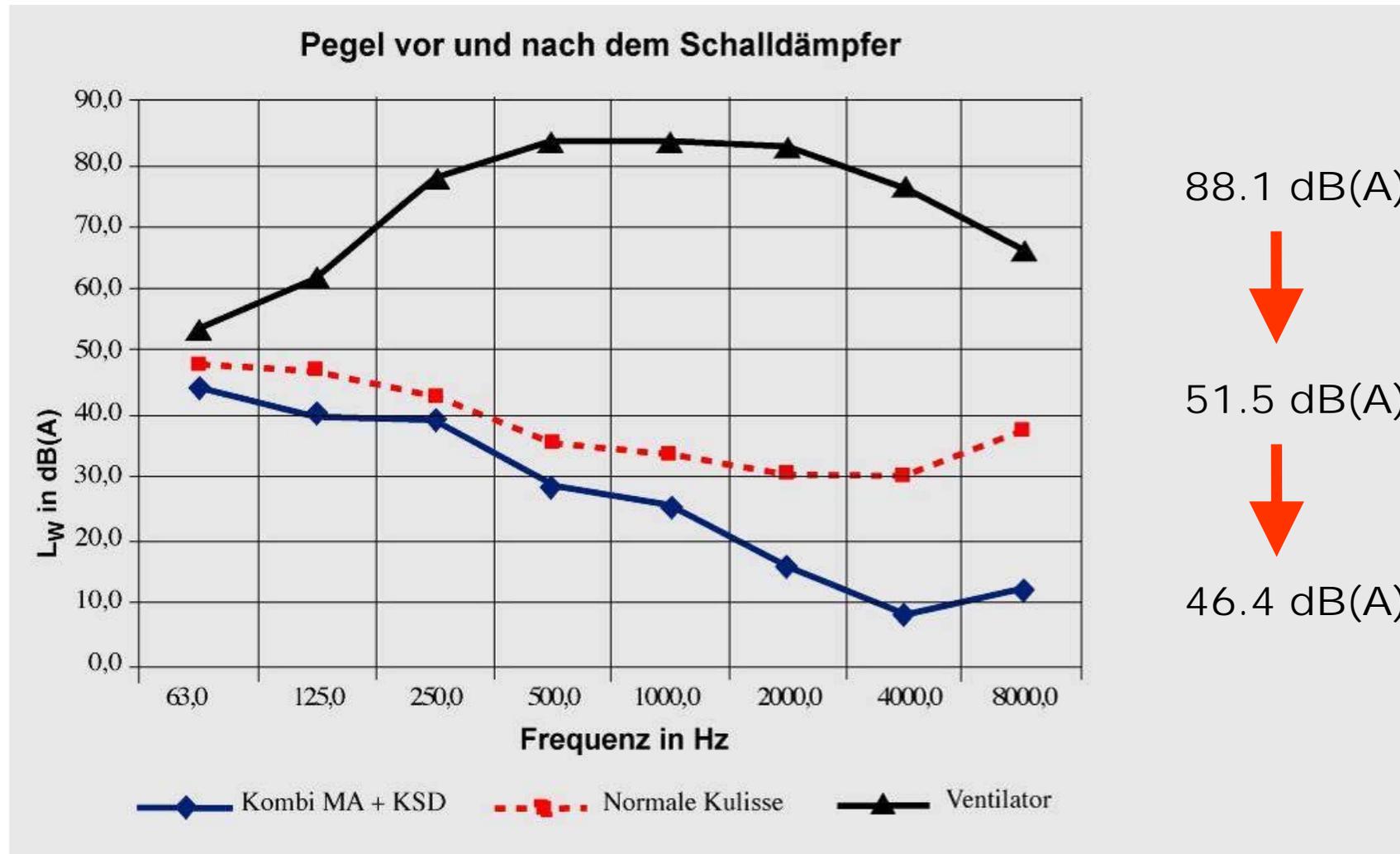
Kanalschichtenschalldämpfer

Membranschalldämpfer



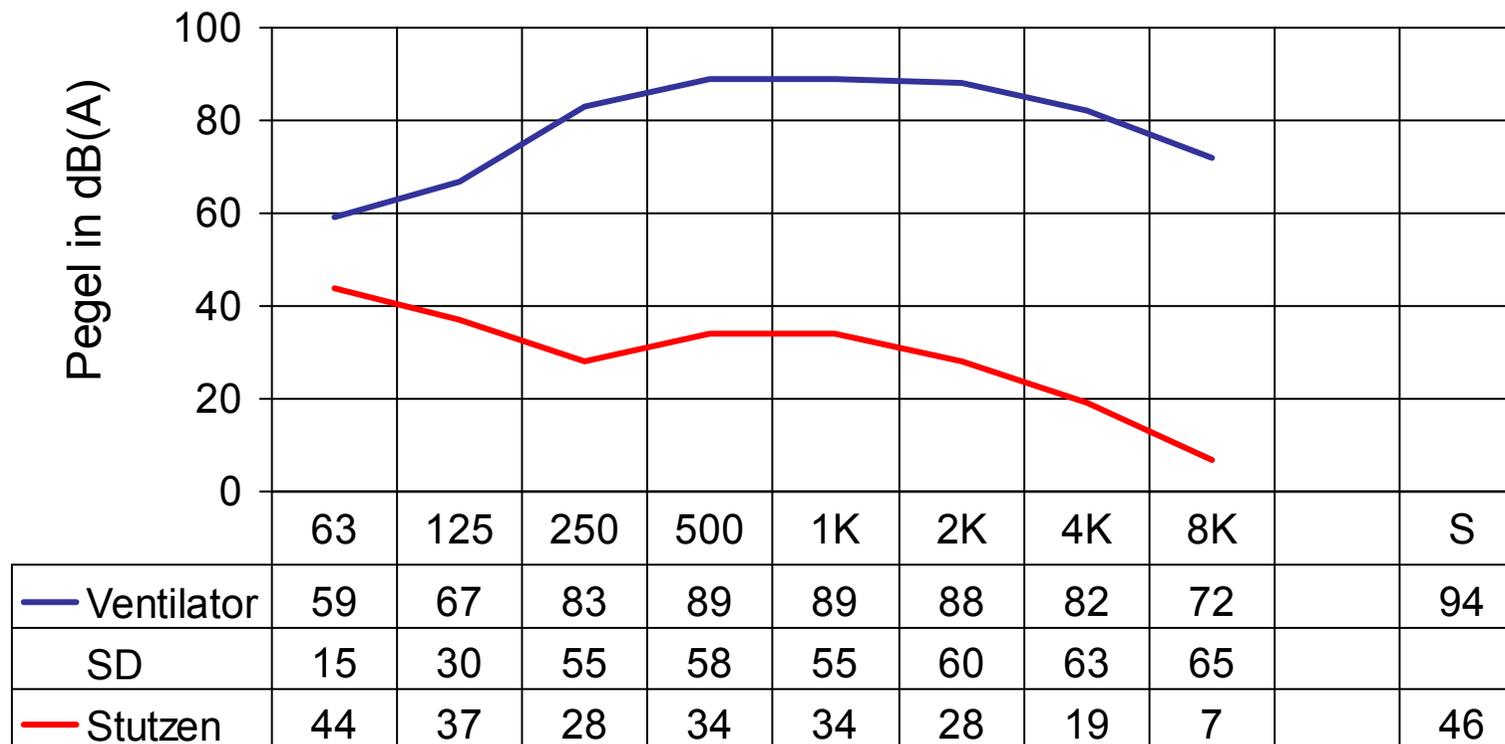
Kanalschichtenschalldämpfer



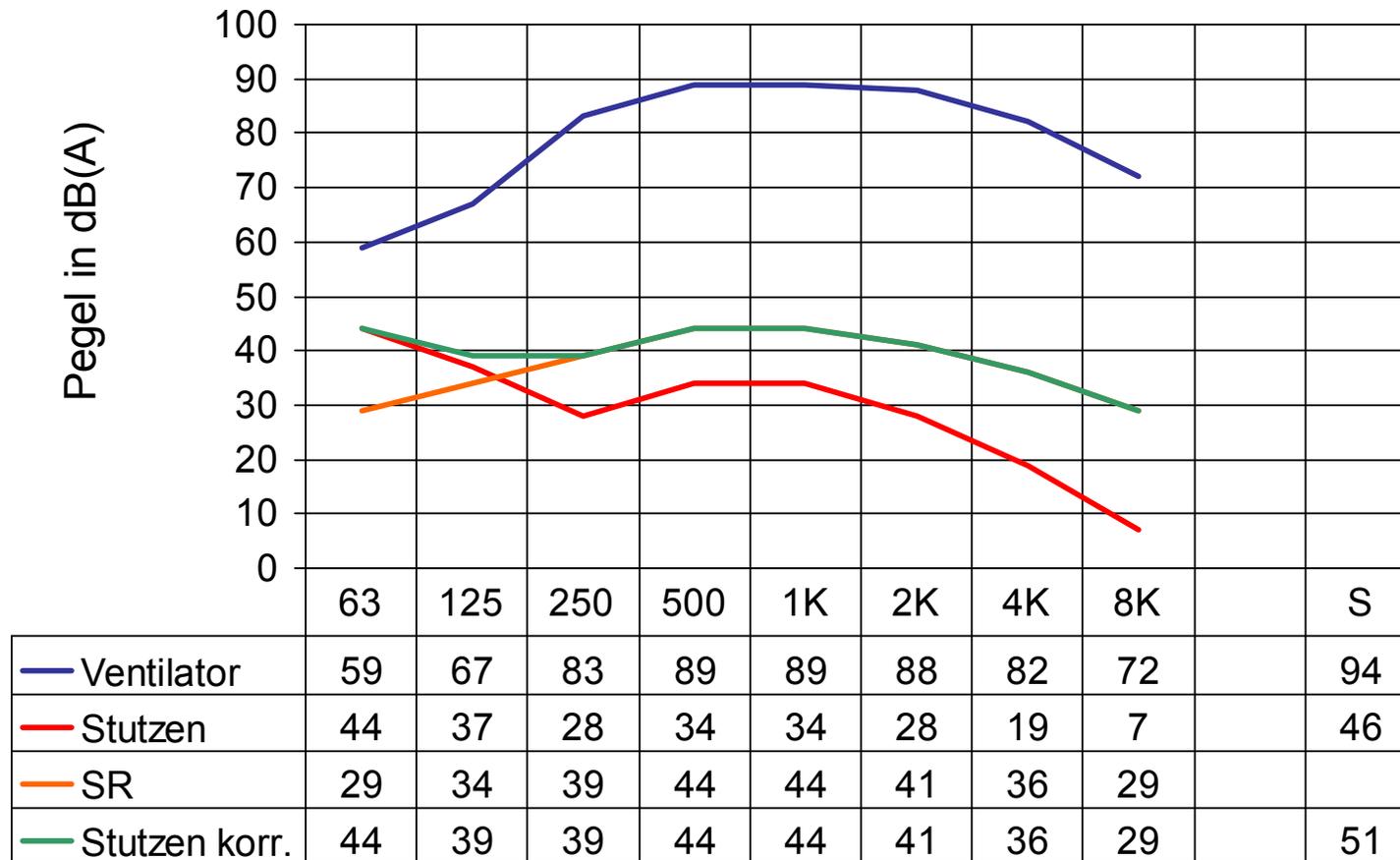


- Verbesserung der Dämpfung im gesamten Frequenzbereich.
Reduktion in Summe um 70 % (5 dB)
- Membrankulisse hygienisch unbedenklich im Kanal
- Kanalspaltkulisse dämpft Strömungsrauschen
- zweiter Schalldämpfer aus Melaninharz

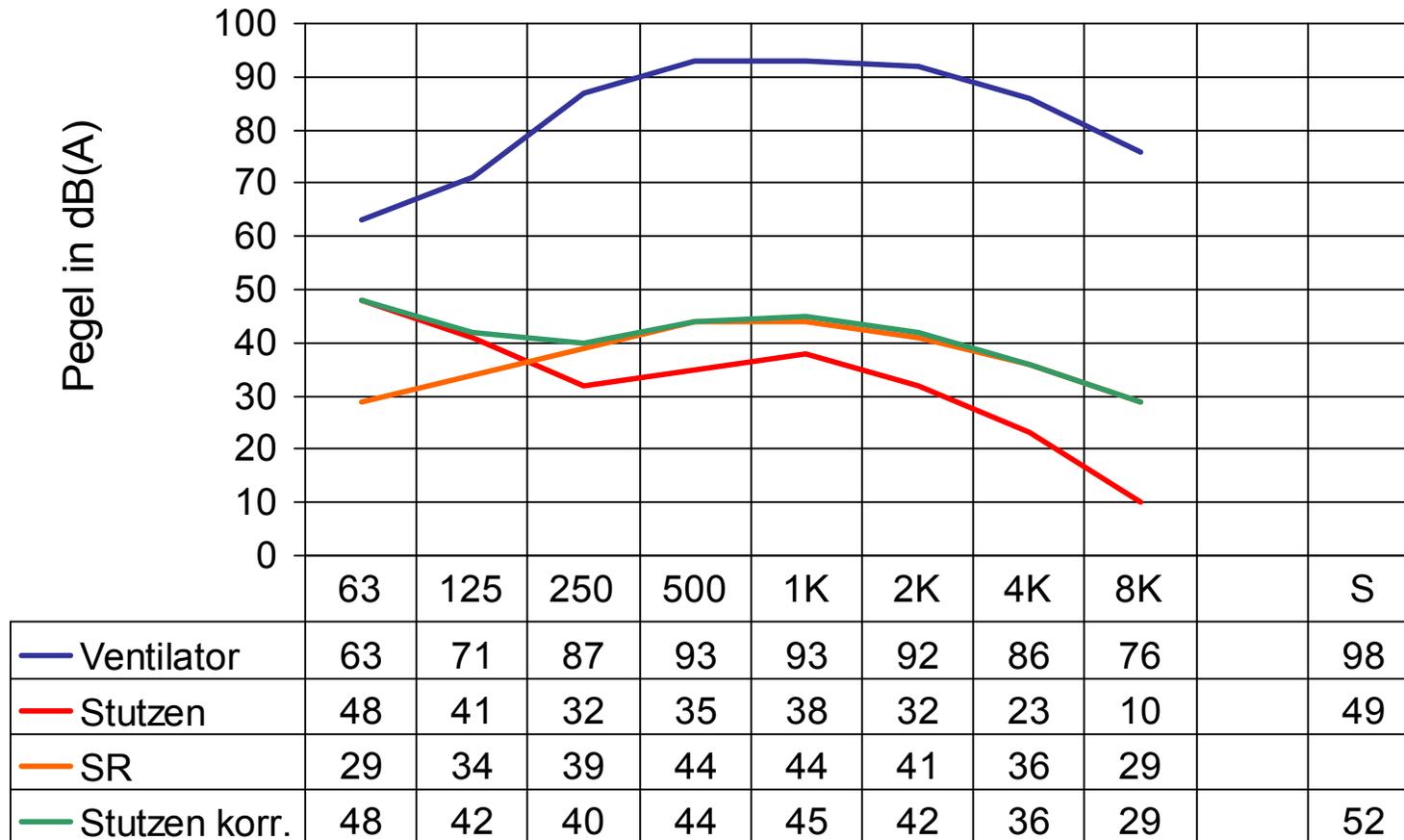
Schalldämpferauslegung



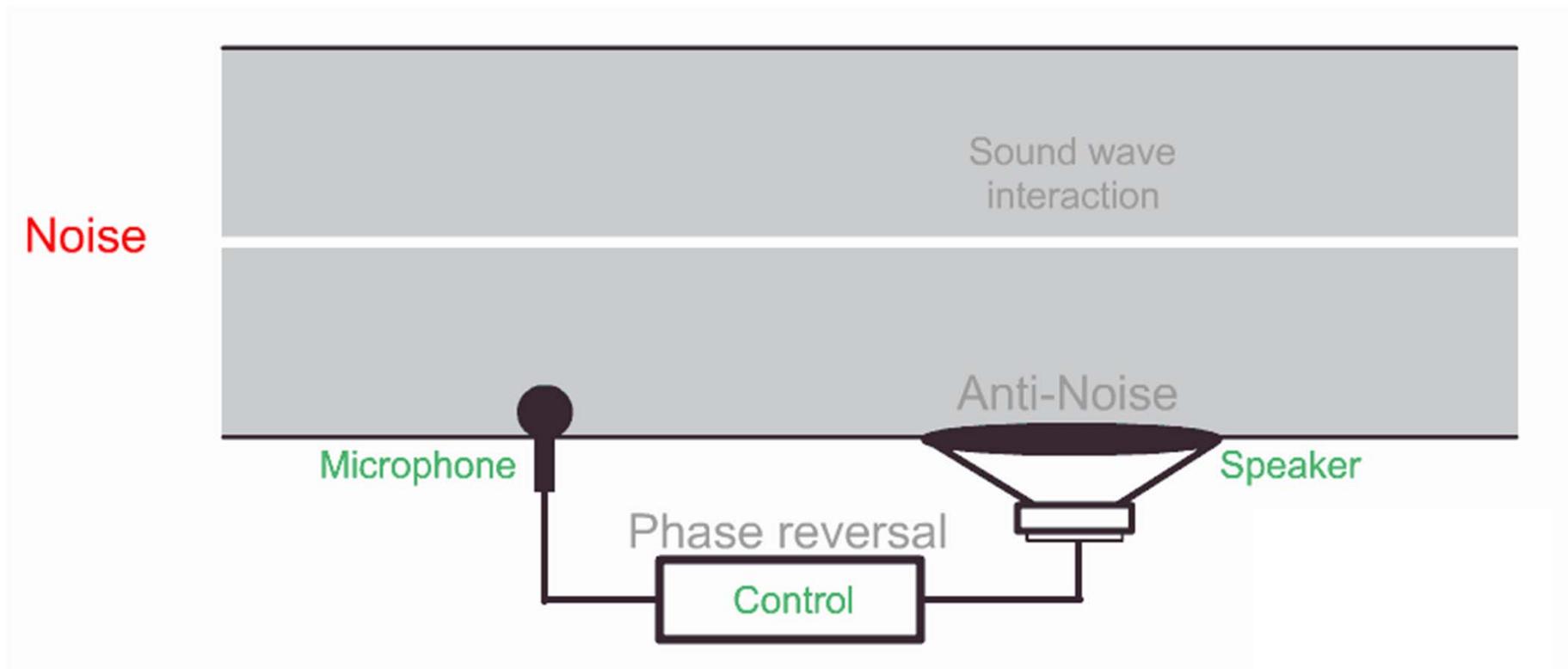
Schalldämpferauslegung



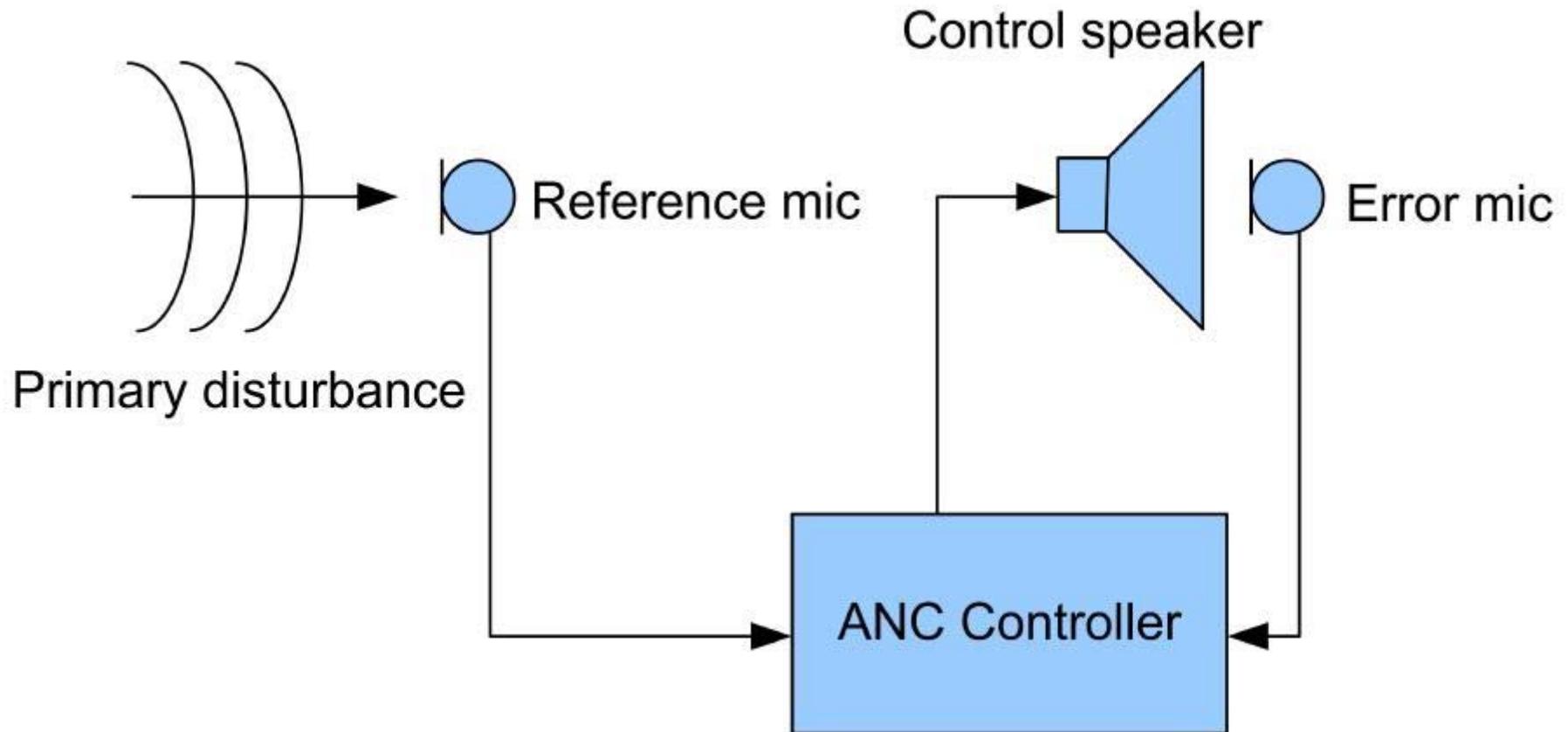
Schalldämpferauslegung



Aktive Schalldämpfung

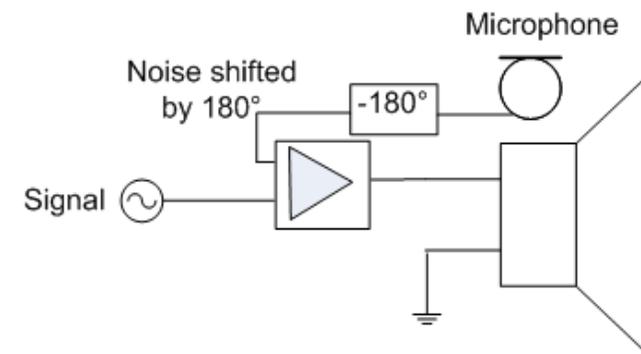
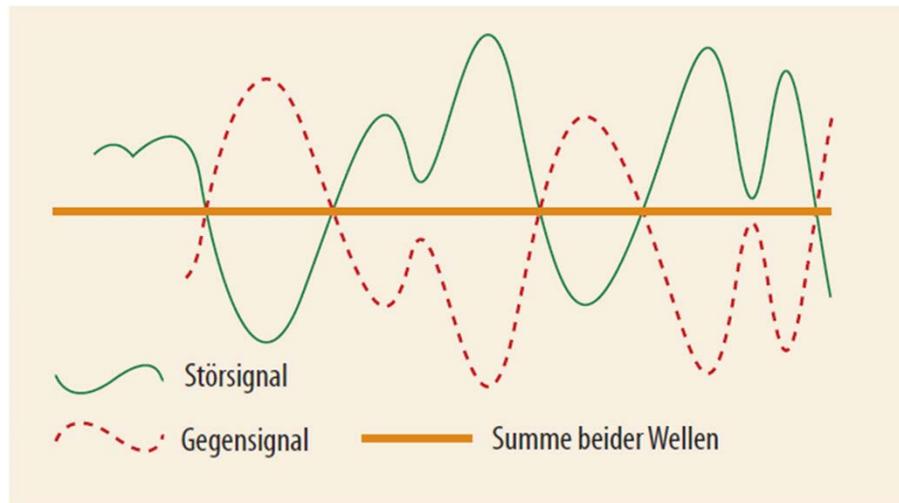
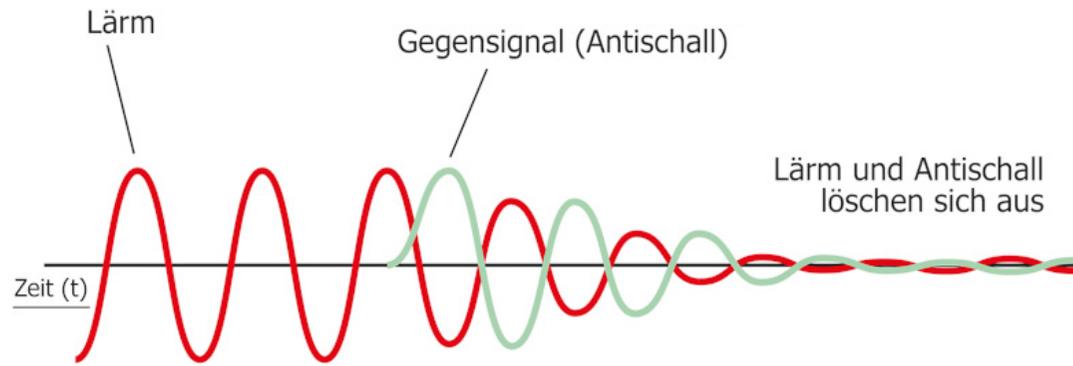


Quelle: RotoSub AB



Quelle: Fisitech.wordpress.com

Aktive Schalldämpfung



Quelle: Sennheiser / BDU

- Verbesserung der Dämpfung in einem schmalen Frequenzbereich.
Reduktion in Summe um 70 % (5 dB)
- meist < 250 Hz
- Die Grenzwellenlänge für die erste ausbreitungsfähige Mode (Grundmode eines rechteckförmiger Hohlleiter) ergibt sich aus der Gleichung:

$$\lambda_g = 2a \quad (\text{Freiraumwellenlänge})$$

- Für die Grenzfrequenz f_c folgt:

$$f_c = c / 2a$$

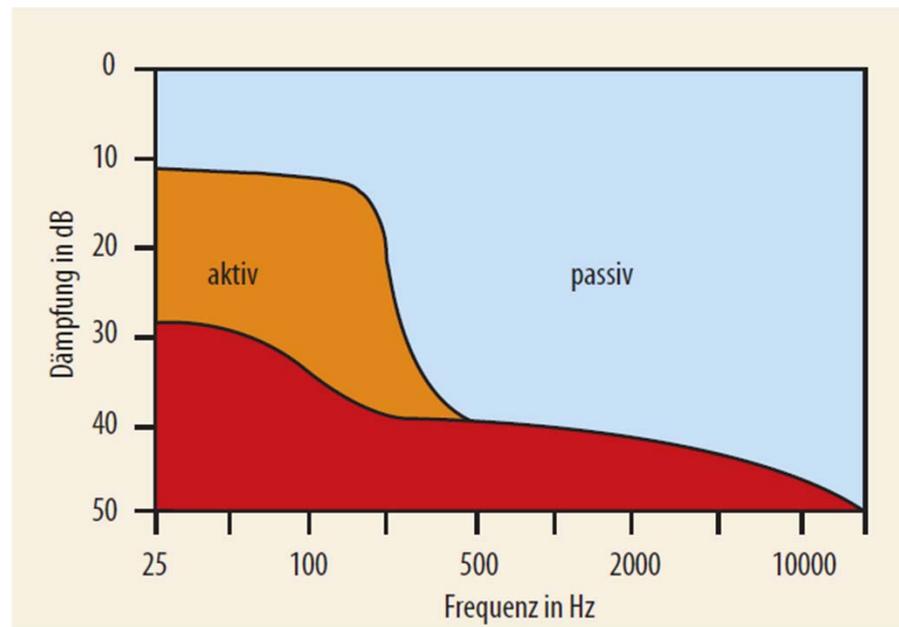
Bei einer Modulhöhe von $a = 660$ mm und damit einer Wellenlänge von:

$$\lambda_g = 1320 \text{ mm}$$

folgt mit $c = 343$ m/s (Luft)

$$f_c = 343 / 1,32 = 260 \text{ Hz}$$

- Kanalspaltkulisse (passiv) dämpft im gesamten Bereich $f > 500$ Hz
- aktives System dämpft bei $f < 250$ Hz

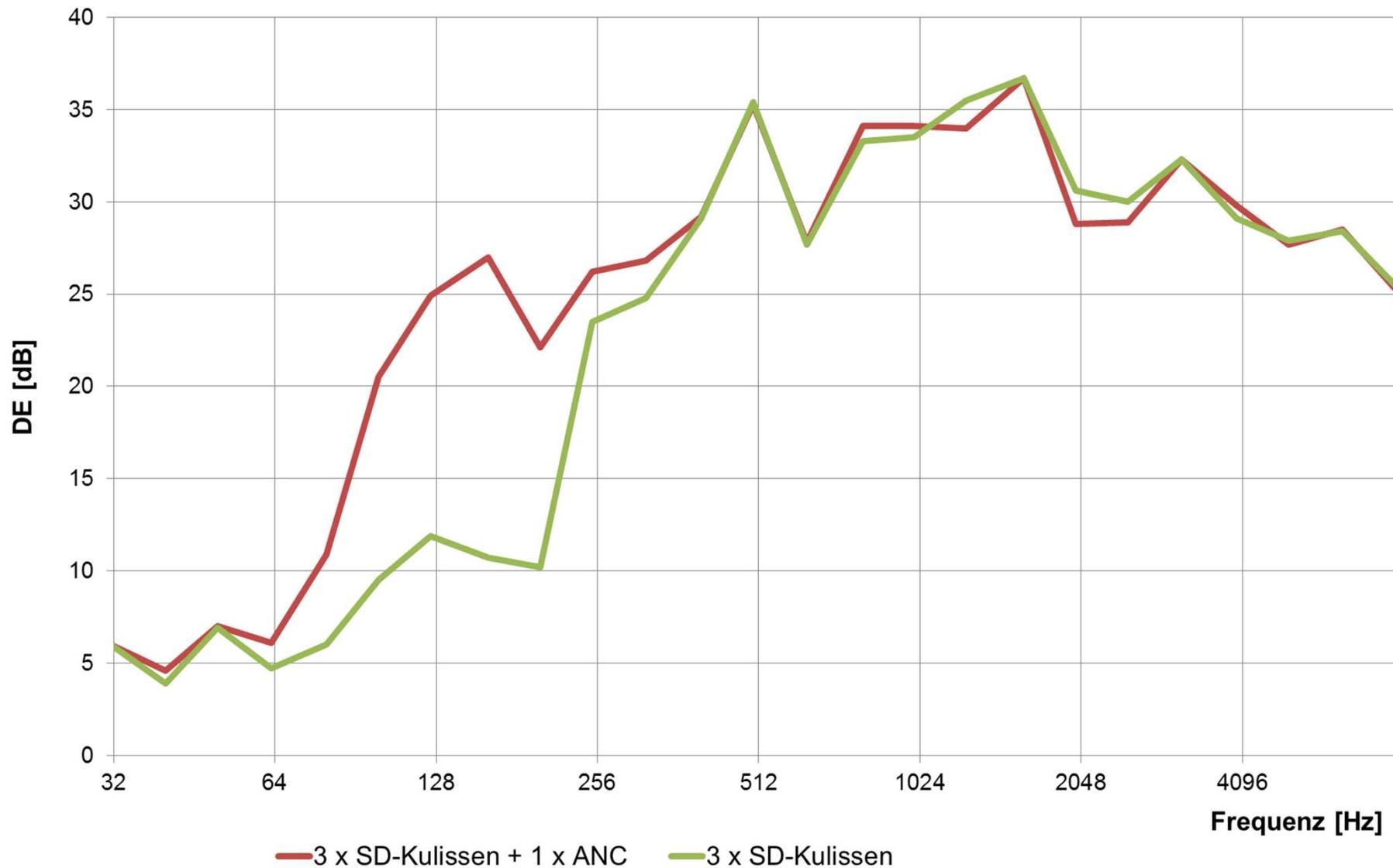


Quelle: Sennheiser

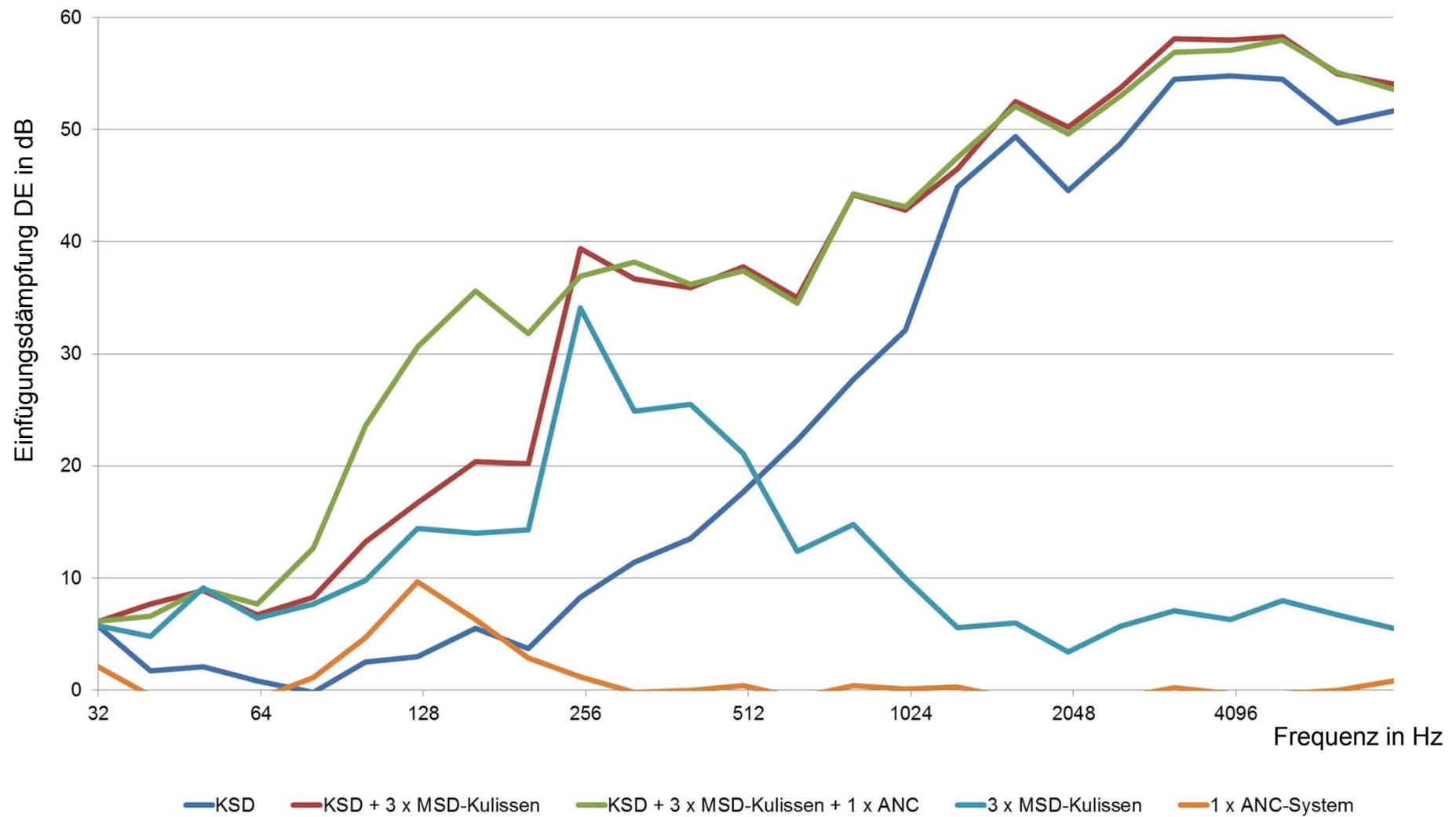
Kombinationsschalldämpfer

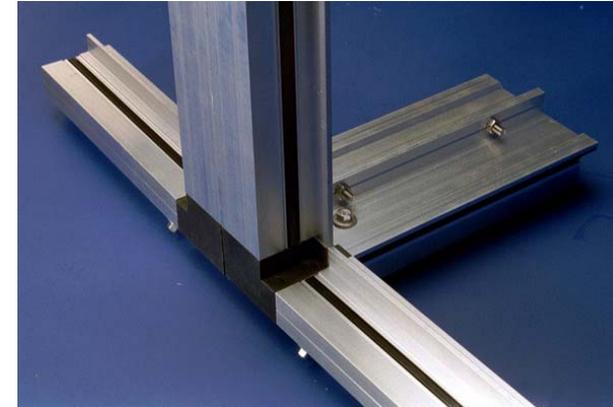
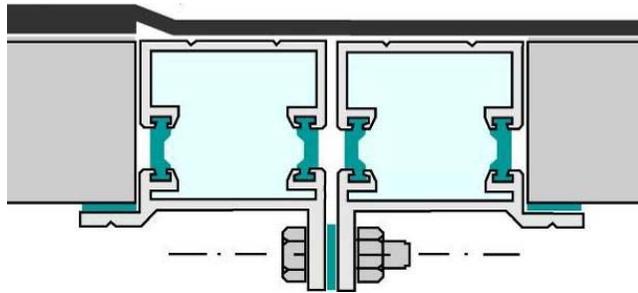


Kombinationsschalldämpfer



Kombinationsschalldämpfer





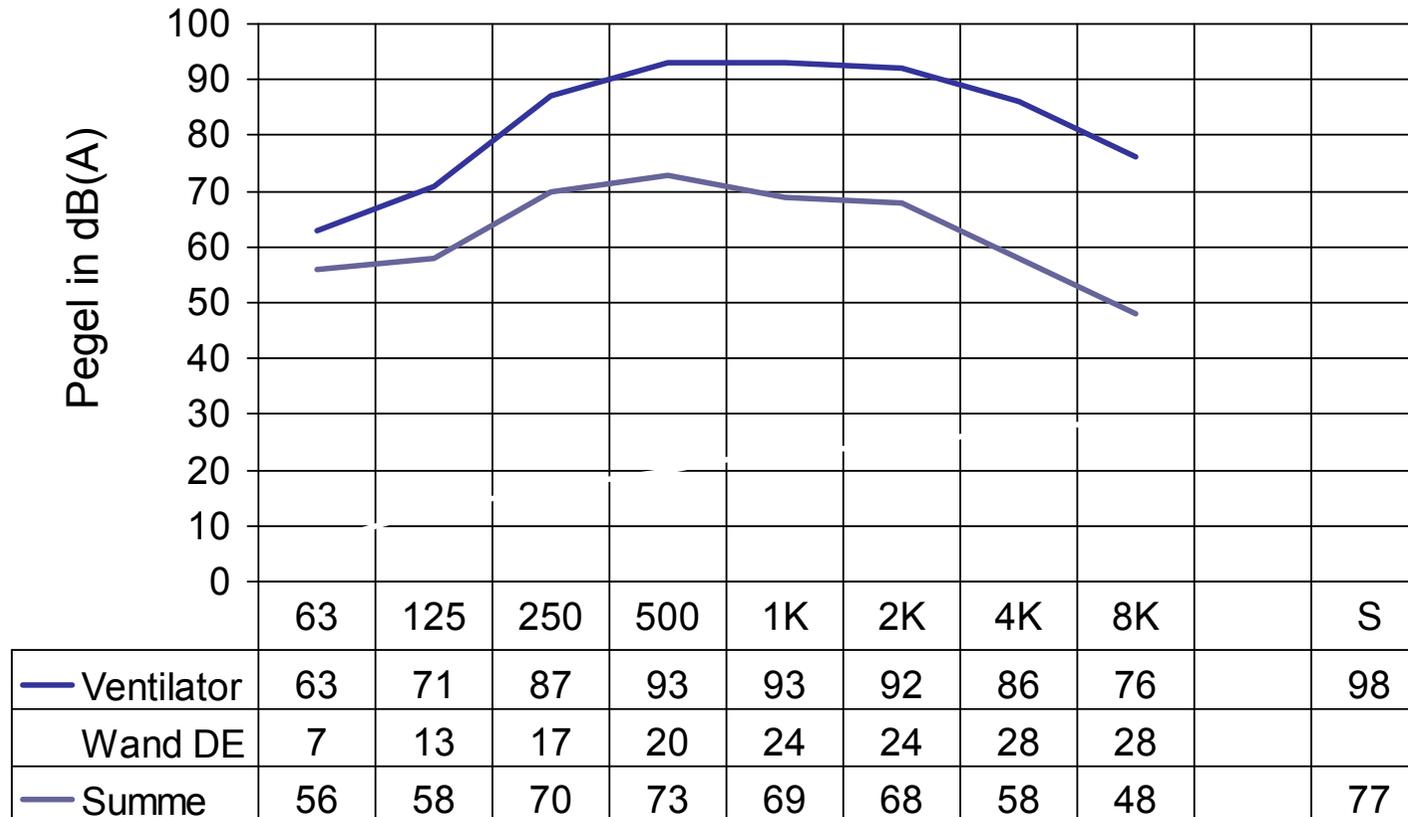
- Akustisch entkoppelte Konstruktion (EN 1886)



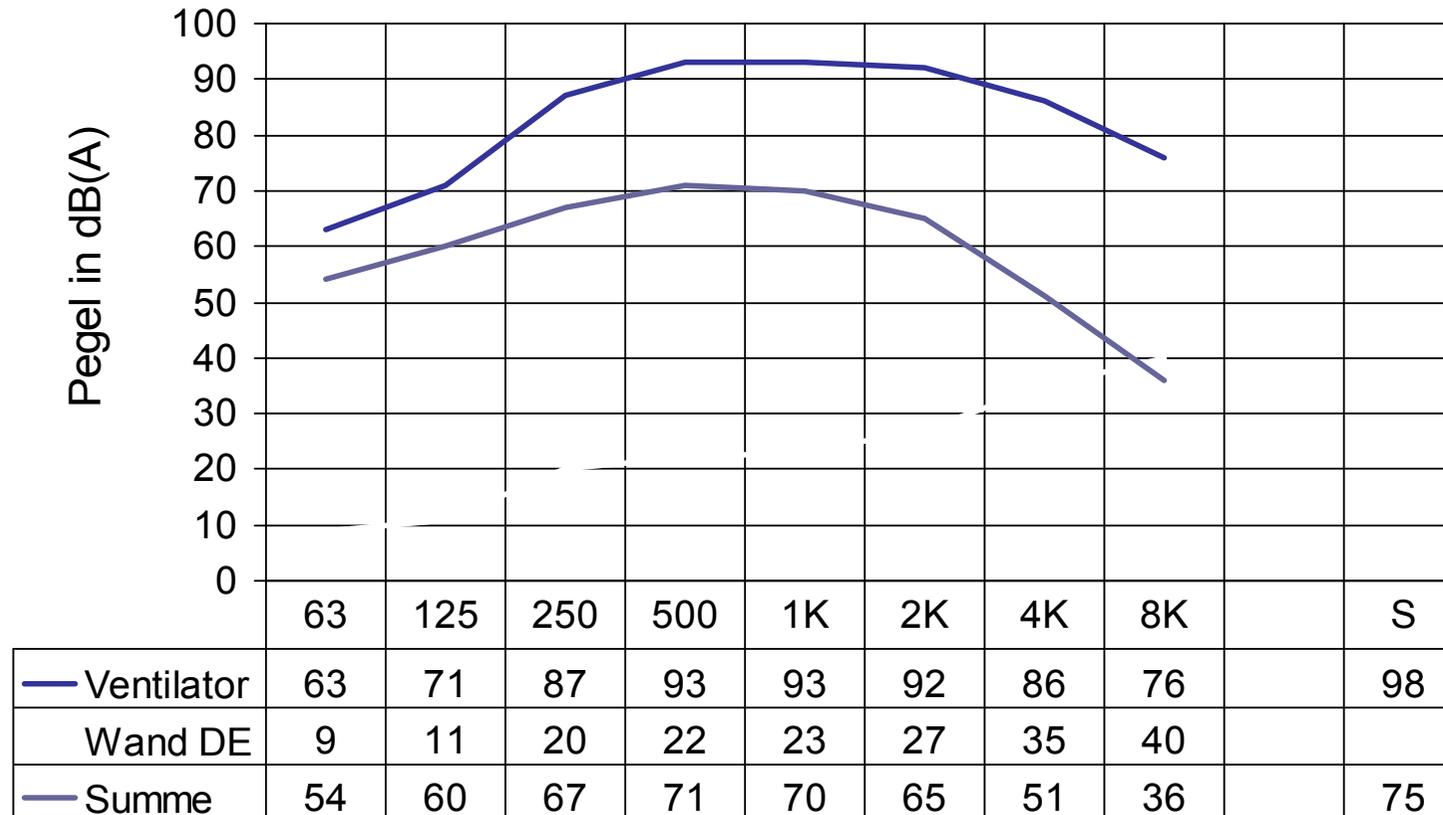
- Doppelschalig in vers. Kombinationen
- Geschlossenporige Dichtungen
- Geklebte Wandkonstruktion
- Schwerentflammbare oder nichtbrennbare Isolierung 150 kg/m^3
- Tragende Rahmenkonstruktion



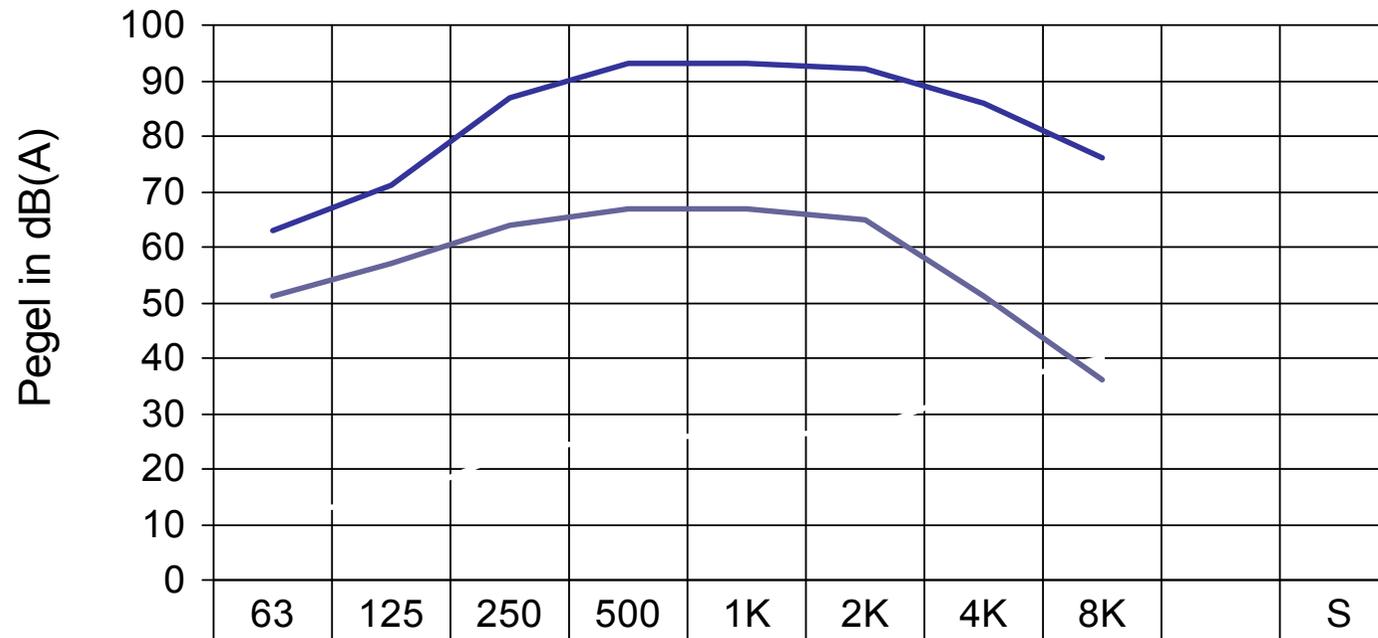
■ Gehäusedämmung 40 mm (DE RWTÜV)



■ Gehäusedämmung 40 mm entkoppelt (DE RWTÜV)



■ Dämpfung Akustikwand 40 mm



	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K	S
— Ventilator	63	71	87	93	93	92	86	76	98
— Wand DE	12	14	23	26	26	27	35	40	
— Summe	51	57	64	67	67	65	51	36	72

■ Dämpfung Doppelgehäuse



■ Dämpfung Doppelgehäuse



■ Dämpfung Doppelgehäuse

Doppelgehäuse



Gerät im Gerät

■ Dämpfung Doppelgehäuse

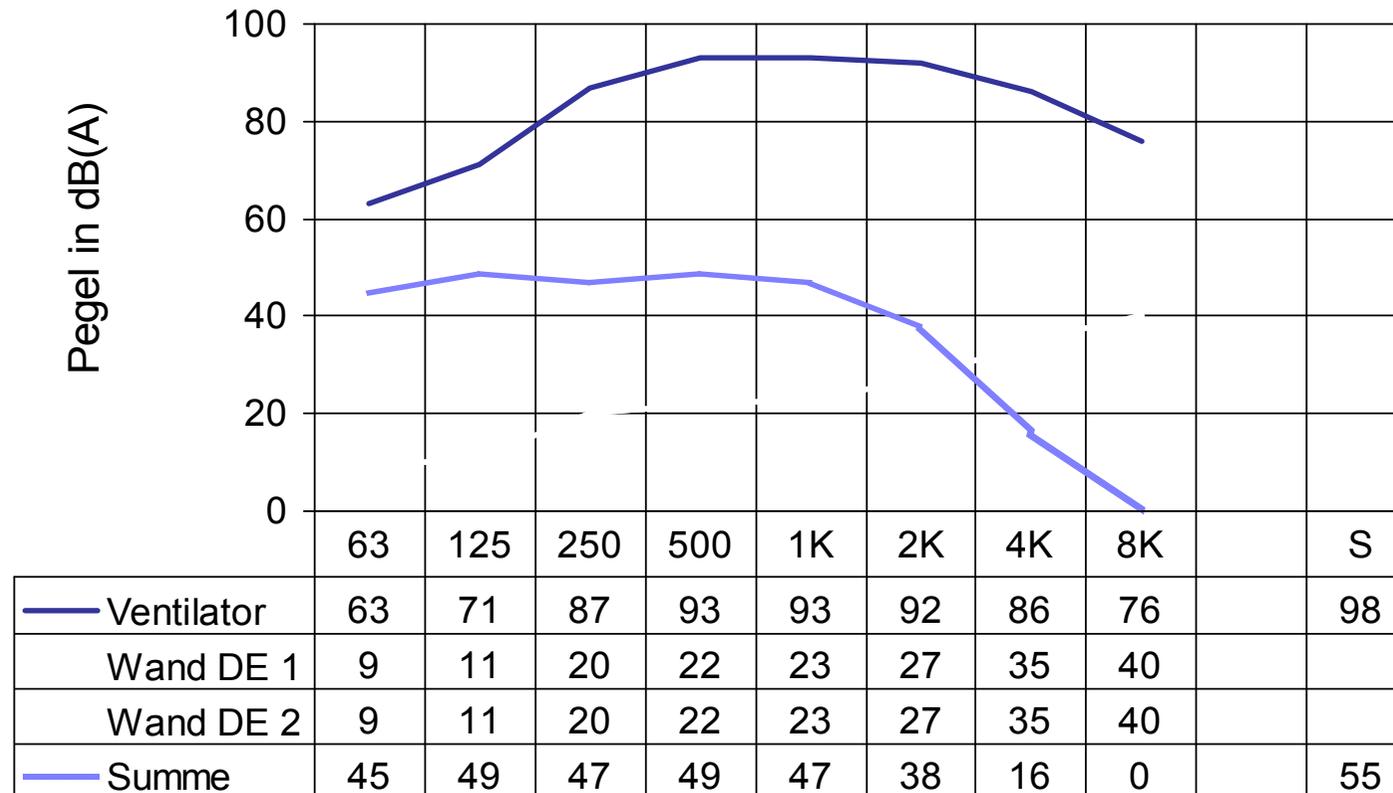


Körperschallentkoppelt



Innenliegende Anschlüsse

■ Dämpfung Doppelgehäuse (DE RWTÜV)



■ Dämpfung Doppelgehäuse



■ Dämpfung Doppelgehäuse





WINNTsystem32\cmd.exe

HOWATHERM KLIMATECHNIK GmbH
KLIMAGERÄTE-AUSLEGUNG
SYSTEM ETA/KZG 40/60

ABLUF

KZG 40

WL : 2.9 m/s

NUF3V-H2J

■ = kalkuliert

KOMPONENTEN-ABLUF

Wärmeübertrager <1>
Wärmeübertrager <2>
Verdampfer <K>
Kondensator <C>
WRG (KV/WR/P/R) <R>
Filter/JK/SD <7>
Filter/JK/SD <8>
Wäscher <W>
UV Inaktivierung <I>
Ventilator <V>

Zubehör <Z>
Drucken <D>

Fertigung Listen <L>
PROGRAMMENDE <X>

Komponente wählen, <N> für MACRO-Verarbeitung oder <LEER> für Ab- o. Zuluft
Geräteskizze Druckvorschau

11730
2885 > 638kg 1365 > 479kg 4665 > 1007kg 3015 > 880kg

5380
2025
2025
1365
1695

Schalldämpf 41 dB

< 1695 < 4995
736kg 1597kg

8690

HOWATHERM Projekt-Nr: 0020290 Projektname: KUECHE Projektbearbeiter: HOWATHERM, SCHERER W Gerätyp: ETA40-9.0/ETA40-5.0 Aus
Pos. HOWA/Kunde: 103/103 Anlagenbezeichnung: UEBERARBEITUNG Name des Kunden: Kein RAL-Gerät RAL-Typ: Markt: Sta
(Werk 118/H2J/200) 1:48 22.11

1/1 Fertig

Start | Poste... | FileM... | C:\Do... | Micro... | C:\WI... | Akust... | Erge... | NDO... | Gerät... | Gerät... | 99% | 12.47

Akustikauslegung

zusätzliche Dämpfung der Wand in dB:

zus. Dämpfung Aussenluft in dB:

zus. Dämpfung Zuluft in dB:

zus. Dämpfung Raumluft in dB:

zus. Dämpfung Fortluft in dB:

Abstand Aussenpegel in m:

Abstand Luftstrompegel in m:

Löschen Abbrechen

Ergebnisse Geräte-Akustik

Version : 050704
Degussagelände 11-15 55767 Brücken Tel.: 06782/9999-0 Fax: 06782/9999-10
Internet: www.howatherm.de email: info@howatherm.de
Datum: 22.11.2004 Sachbearbeiter: SCHERER W

GERÄTE-AKUSTIK Seite : A 1

Kommission: 0020290 / KUECHE
Position: 103/UEBERARBEITUNG KD-LV-Pos.: 103

Pegel Gehäuse

ABLUF - Schalleistungspegel **ETA 40 / 9.0** 39500 m³/h / 1558 Pa tot.

f [Hz]:	63.5	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Σ	Hz
LW Vent.:	67	76	92	93	95	90	87	76	99	dB(A)
-DE	7	13	17	20	24	24	28	28		
Gehäuse:	60	63	75	73	71	66	59	48	79	dB(A)

ZULUF - Schalleistungspegel **ETA 40 / 5.0** 12000 m³/h / 1576 Pa tot.

f [Hz]:	63.5	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Σ	Hz
LW Vent.:	65	74	90	91	93	88	85	74	97	dB(A)
-DE	7	13	17	20	24	24	28	28		
Gehäuse:	58	61	73	71	69	64	57	46	77	dB(A)

Gesamtschalleistungspegel(Ventilorkammer): 81 dB(A)

Gesamtschalldruckpegel(1,0mAbstand): 67 dB(A)

Pegel Stutzen

Schalleistungspegel Raumluftstutzen (LW (korr.) = 3,5 dB)

f [Hz]:	63.5	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Σ	Hz
RL:	67	74	86	94	93	91	85	80	98	dB(A)
-SD:	2	2	1	1	2	3	4	2		
RL:	65	72	85	93	91	88	81	78	96	dB(A)

Schalleistungspegel Fortluftstutzen (LW (korr.) = 3,5 dB)

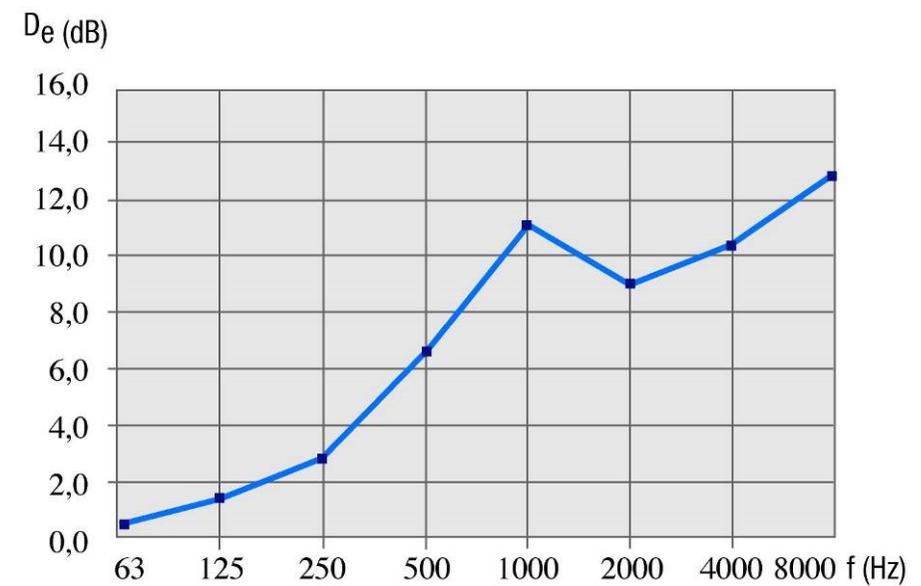
f [Hz]:	63.5	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Σ	Hz
FO:	69	77	91	98	97	96	88	80	102	dB(A)
-SD:	3	2	0	1	3	6	4	5		
FO:	66	75	91	97	94	90	84	75	100	dB(A)

RL=Raumluft / FO=Fortluft / SD=Schalldämpfung / SR=Strömungsrauschen

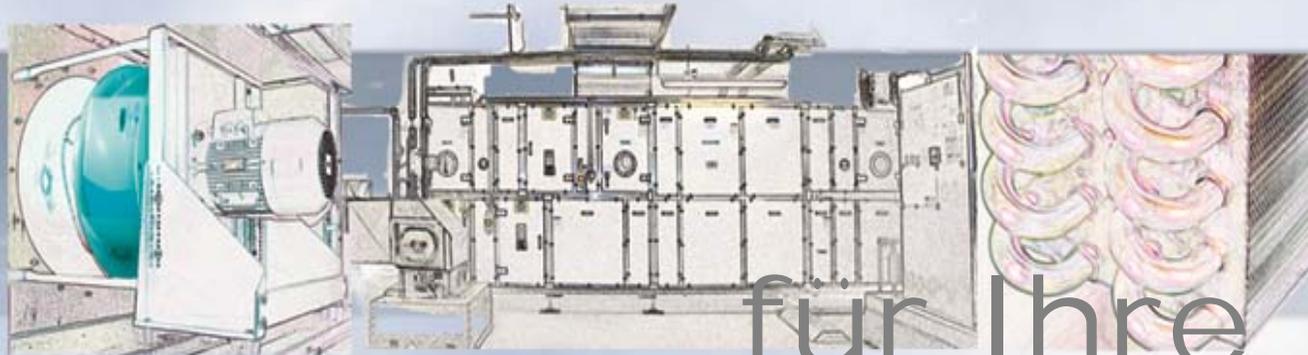
Toleranz = + 4 dB (ohne Berücksichtigung der Absorption u. Reflexion unter Freifeldbedingungen)
LP = LW - LW (korr.) / Dämpfung aller Einbauteile berücksichtigt!
Garantiewerte nur als Summenpegel, Oktawerte nur von informativem Charakter

1/105 1/3 Berek

Schalldämmhaube



Herzlichen Dank



für Ihre
Aufmerksamkeit

Raumlufttechnik Akustik

Energierückgewinnung und Energieeffizienz-
technologien in der Lüftungstechnik

Prof. Dr.-Ing. **Christoph Kaup**

c.kaup@umwelt-campus.de

Dipl.-Ing. **Christian Backes**

backes@howatherm.de



HOCHSCHULE TRIER
Umwelt-Campus Birkenfeld

Umwelt macht Karriere.