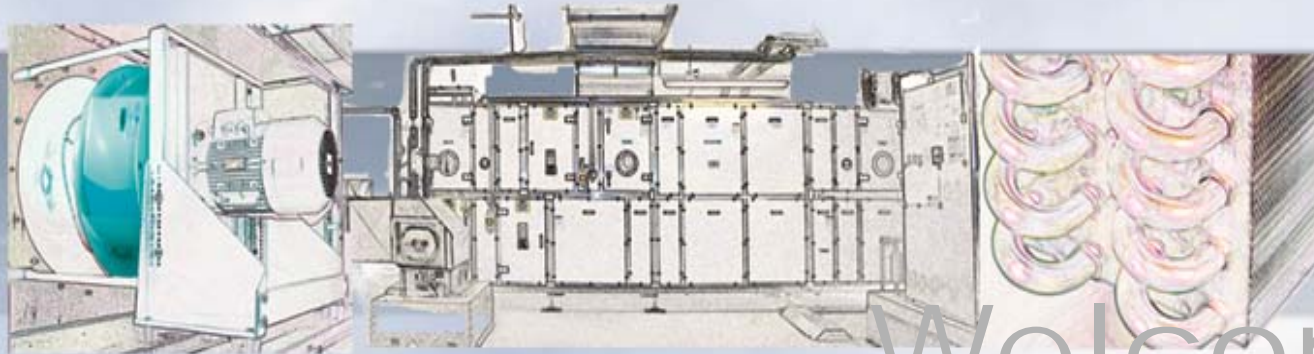


# Willkommen



# Bienvenue

# Welcome

## **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 [ $\mu\text{bar}$ ]

Druckschwankungen  
(messbar)

Hörschwelle

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

Schmerzschwelle

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

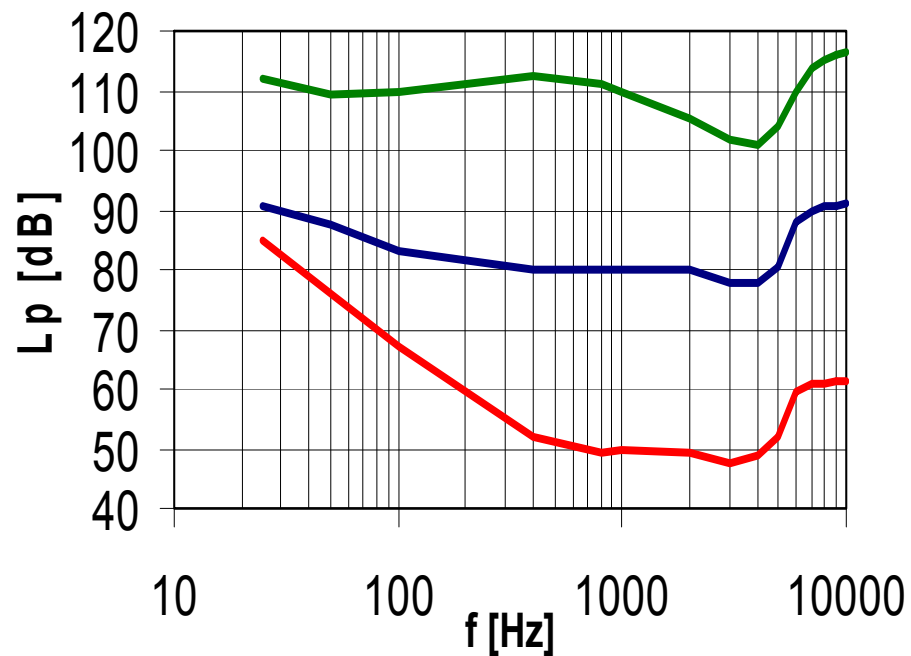
Pegelbewertung [dB]

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

## Phon [dB]

Ton von 1000 Hz

Phonkurven



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

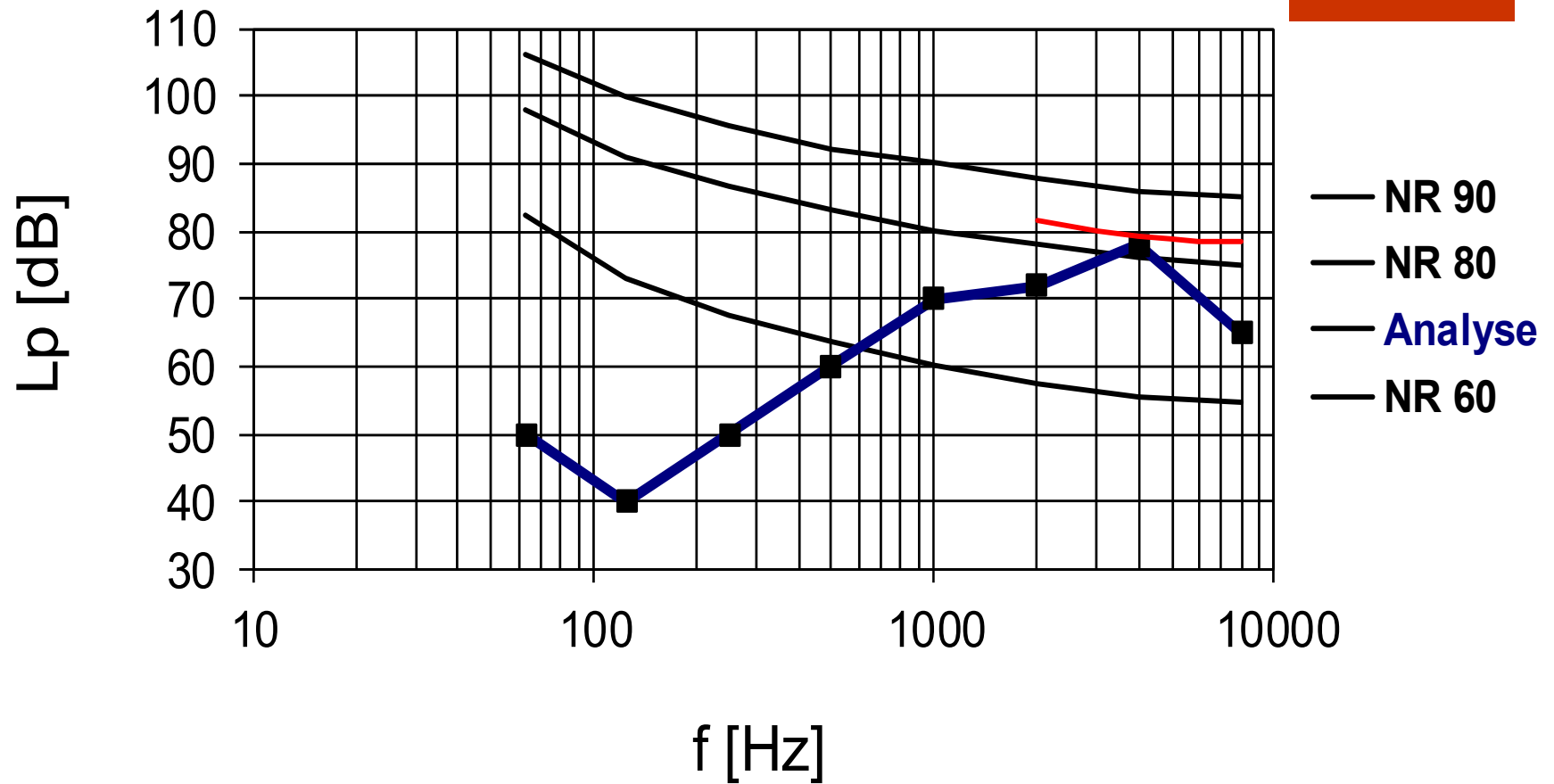
f [Hz]

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

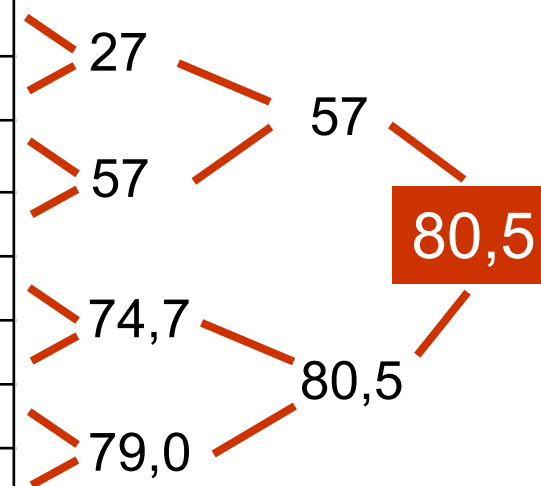


## Schalldruckpegel unbewertet

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

## Schalldruckpegel A - bewertet

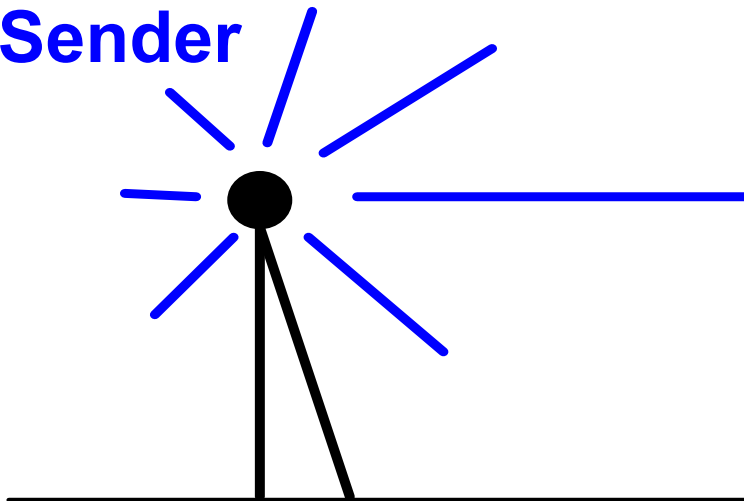
A - Bew.	Lp [dB(A)]
-26	24
-16	24
-9	41
-3	57
0	70
1	73
1	79
-1	64
<b>80,5</b>	



## Schalleistungspegel

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

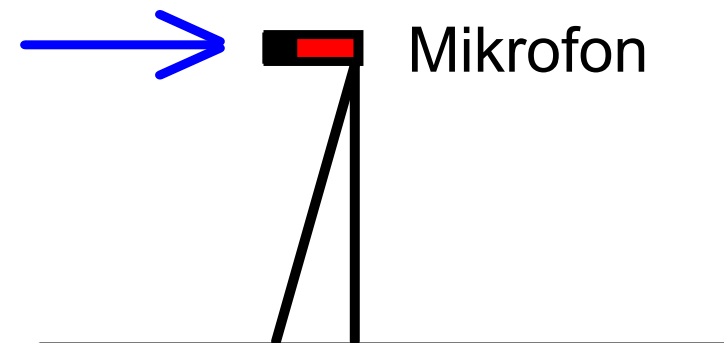
**Geräuschemission**  
**Sender**



## Schalldruckpegel

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

**Geräuschimmission**  
**Empfänger**



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

$S$  = Hüllfläche

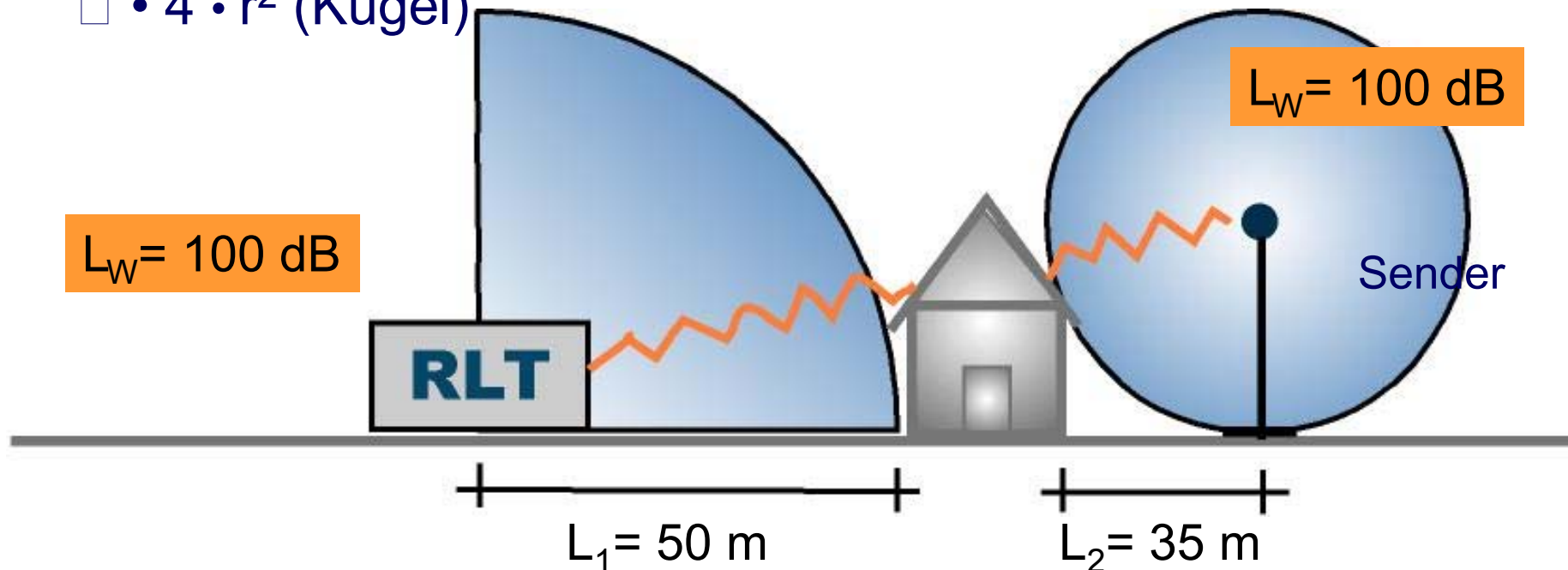
□  $\cdot 2 \cdot r^2$  (Halbkugel)

□  $\cdot 4 \cdot r^2$  (Kugel)

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

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

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



## Raumabsorption (Nachhallzeit)

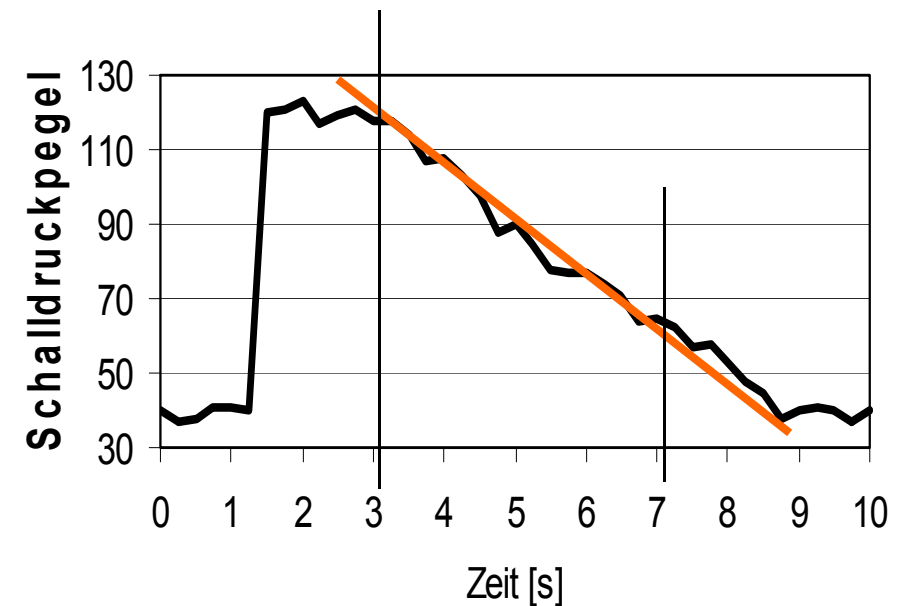
$$A = 0,163 \cdot \frac{V}{T} \text{ [m}^2 \text{ Sabine]}$$

$V$  = Raumvolumen [m<sup>3</sup>]

$T$  = Nachhallzeit [s]

▶	schallhart		
	OP	3	s
	Kirche	3	s
▶	schallweich		
	Wohnraum	0,5	s
	Kino	1	s

### Bestimmung der Nachhallzeit





## Nahfeld

VDI 2081

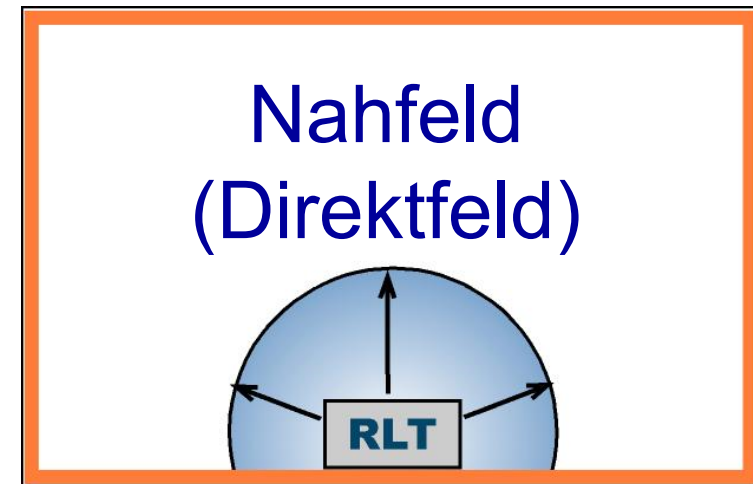
unabhängig von der Raumabsorption

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

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<sup>-1</sup>

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	<b>69</b>	<b>77</b>	<b>83</b>	<b>85</b>	<b>84</b>	<b>81</b>	<b>81</b>	<b>65</b>
dL R	-4	-3	9	5	7	5	8	1
LWA Okt RLT	<b>65</b>	<b>74</b>	<b>92</b>	<b>90</b>	<b>91</b>	<b>86</b>	<b>89</b>	<b>66</b>

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

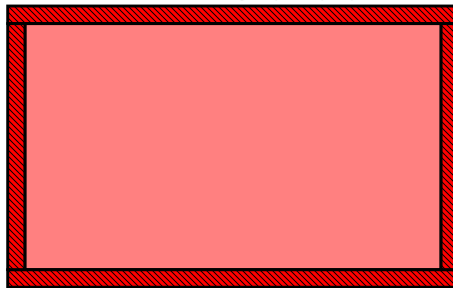
DIN EN 1886

## Einfügungsdämpfung $D_e$

Basis: EUROVENT und  
RWTÜV Messungen

(125 Hz – 8 kHz) in Oktavmittenfrequenzen

### RLT Gerät



Prüfgehäuse: 10 - 30 m<sup>2</sup>  
Außenmaße 0,9 - 1,4 m  
2 Sektionen  
2 Türen

### Messung

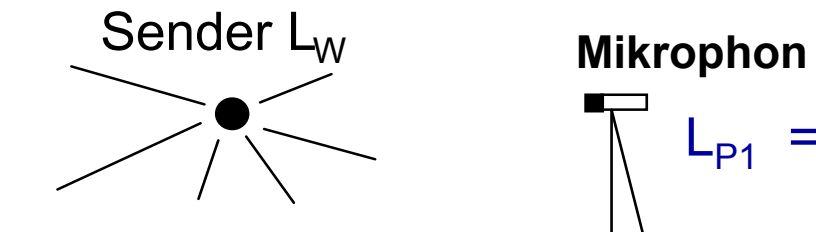
Wandpanele, Wandaussteifungen  
Rahmenprofile, Eckprofile,  
Verschraubungen, Verschlüsse,  
Dichtungen, etc.



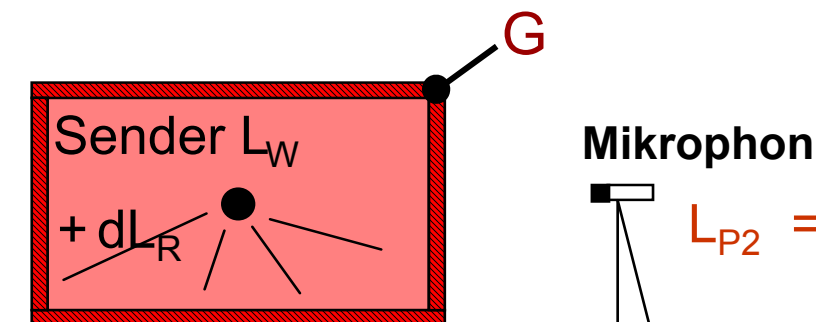
DIN EN 1886

## Messung der Einfügungsdämpfung $D_e$

(125 Hz – 8 kHz) in Oktavmittenfrequenzen



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



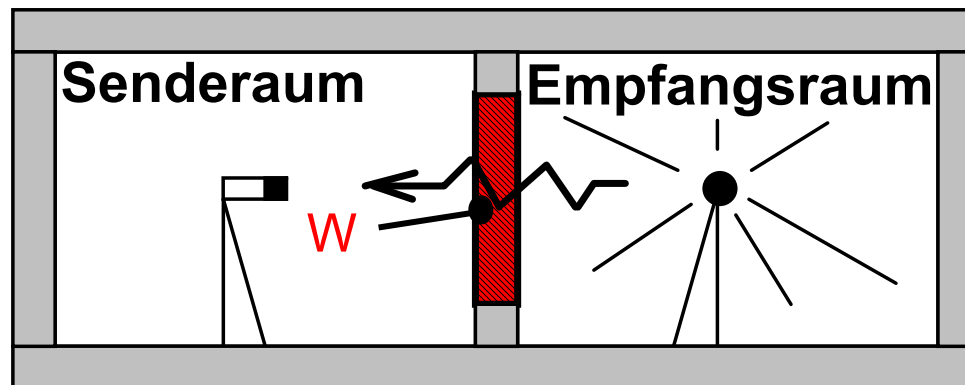
$$L_{P2} = L_W + 10 \cdot \log \left( \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot r^2} + \frac{4}{A} \right) + dL_R - G$$

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

DIN 52210

## Schalldämmmaß R

(100 Hz – 3150 Hz) in Terzmittenfrequenzen



bauakustische  
Beurteilung für:  
Decken, Fenster  
Wände, Fußboden

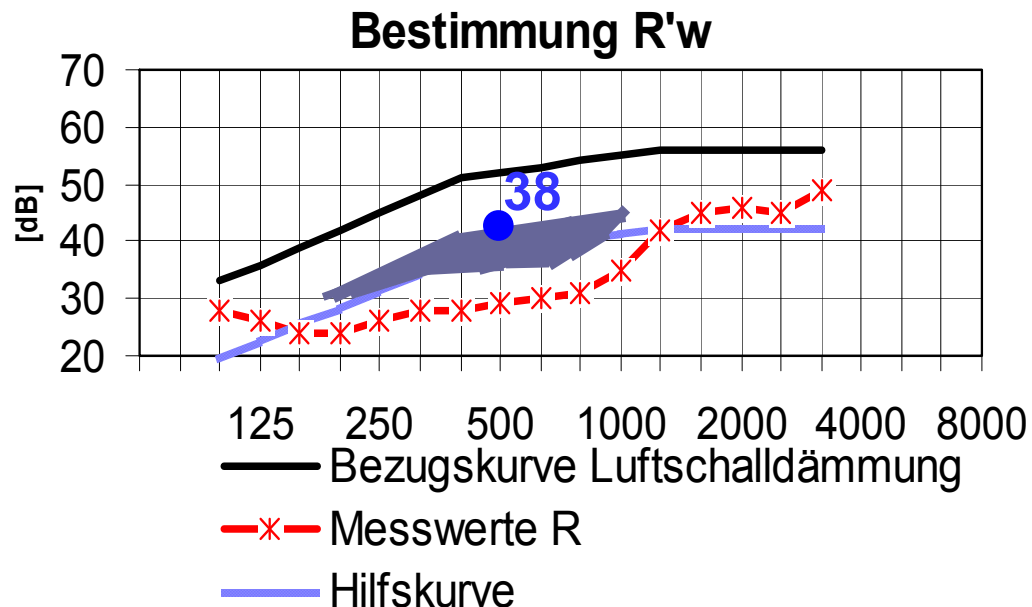
## Messung

Wandpaneel zwischen Sende- und Empfangsraum, ohne sonstige Einflüsse

DIN 52210

## Bewertetes Bauschalldämmmaß $R'_w$

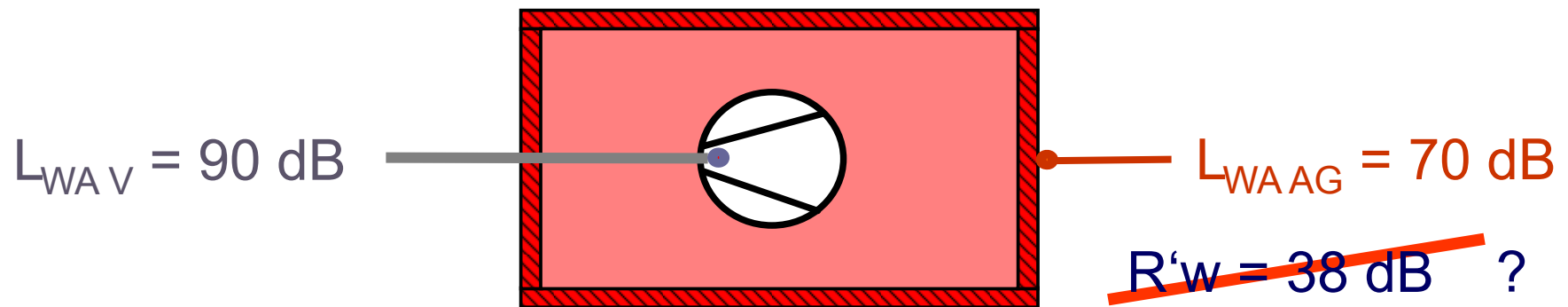
(Einwertangabe)



Fläche zwischen  
Hilfskurve und  
Bezugscurve  
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

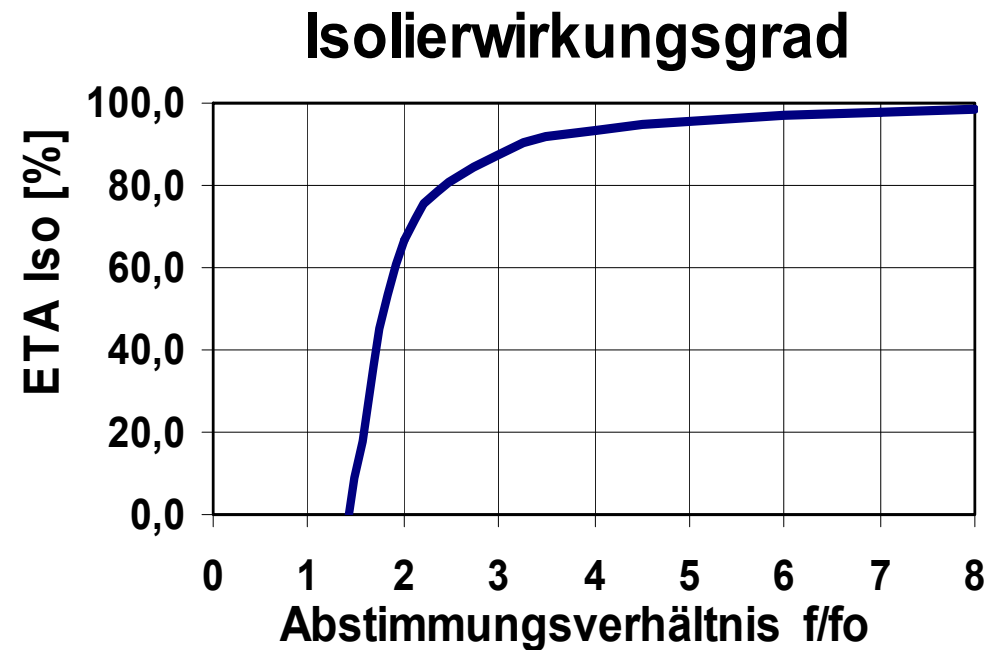
$$f / f_0 \geq 1,41$$

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

**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

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

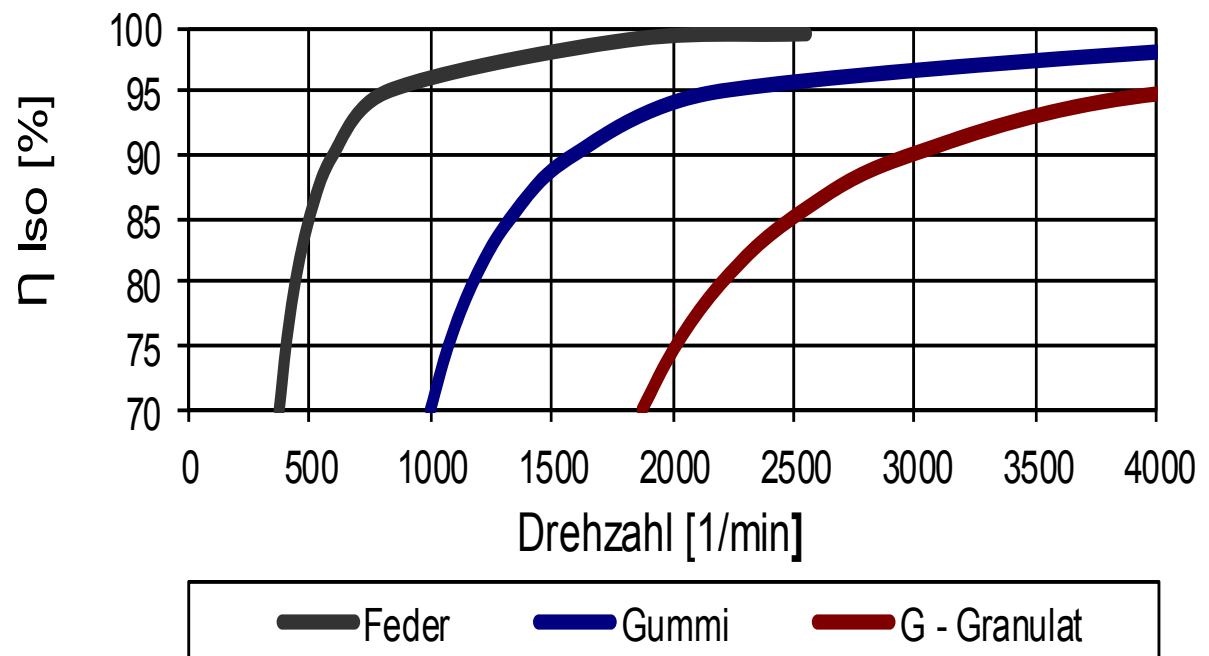
$X_s = 6 - 1 \text{ mm}$

Granulat

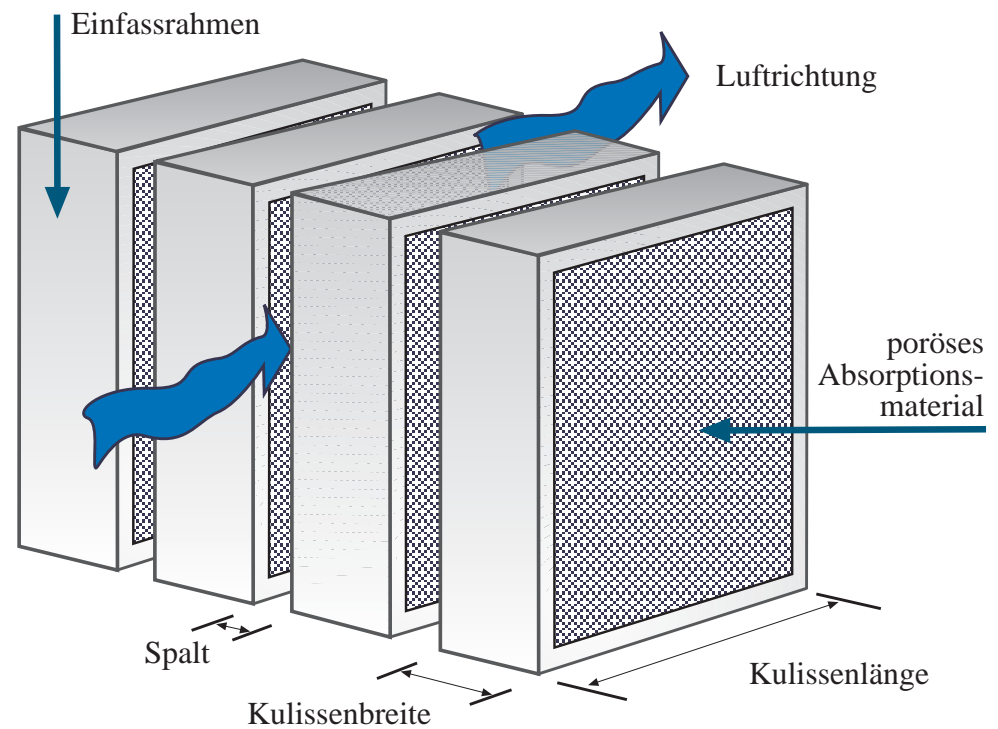
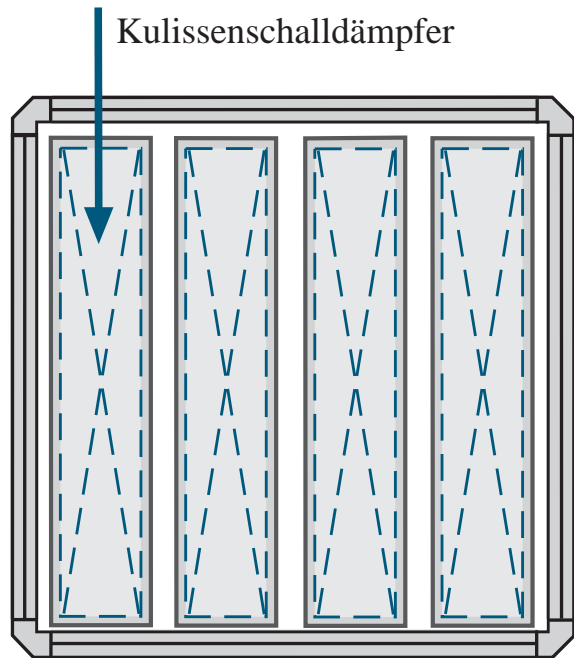
$f_o = 13 - 17 \text{ Hz}$

$X_s = < 1 \text{ mm}$

## Einsatz Schwingungselemente

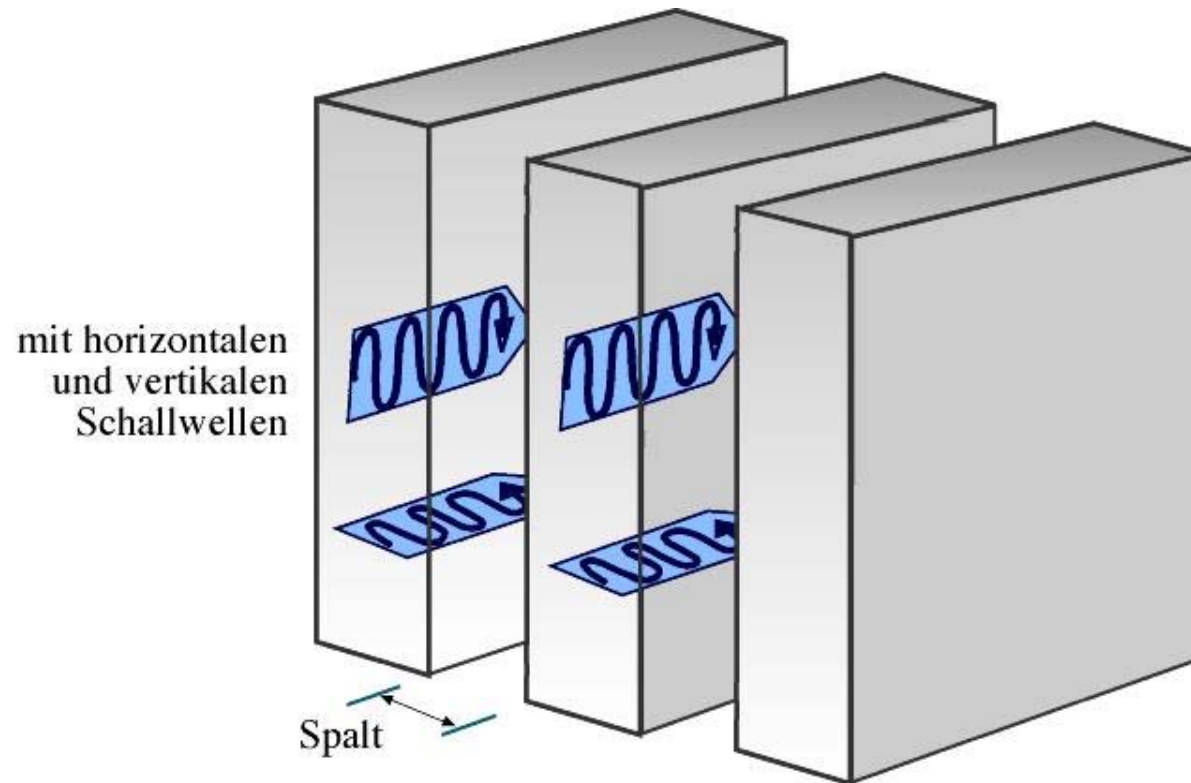


# Kulissenschalldämpfer

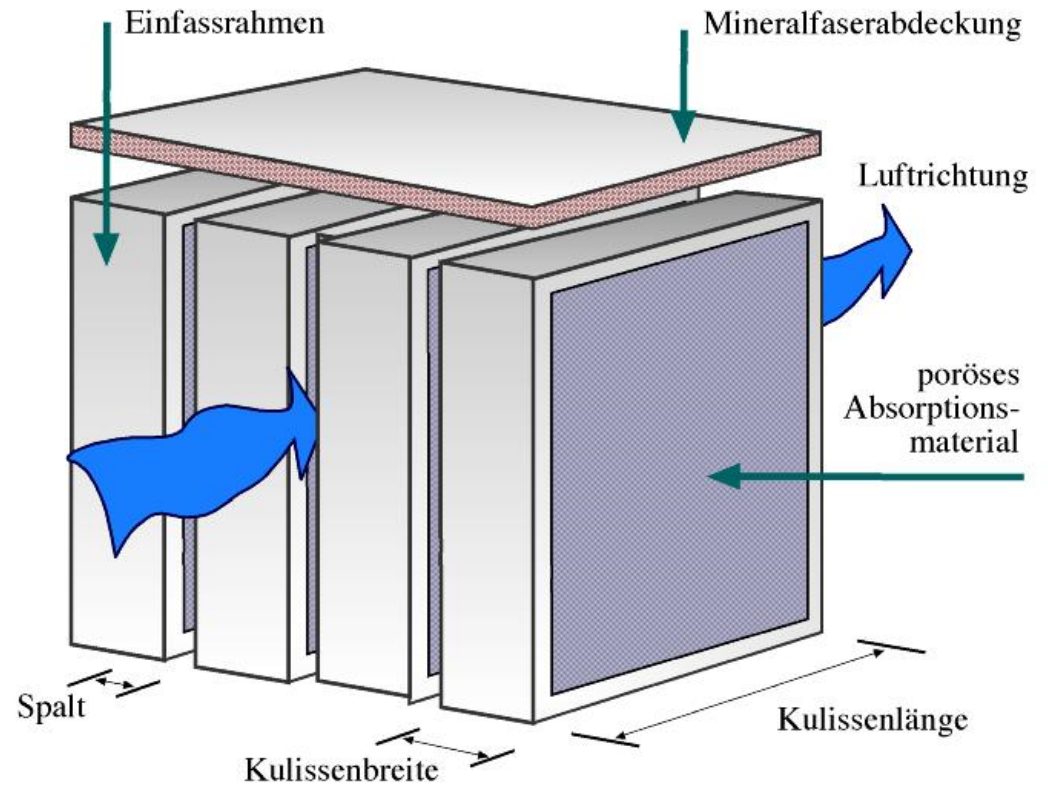
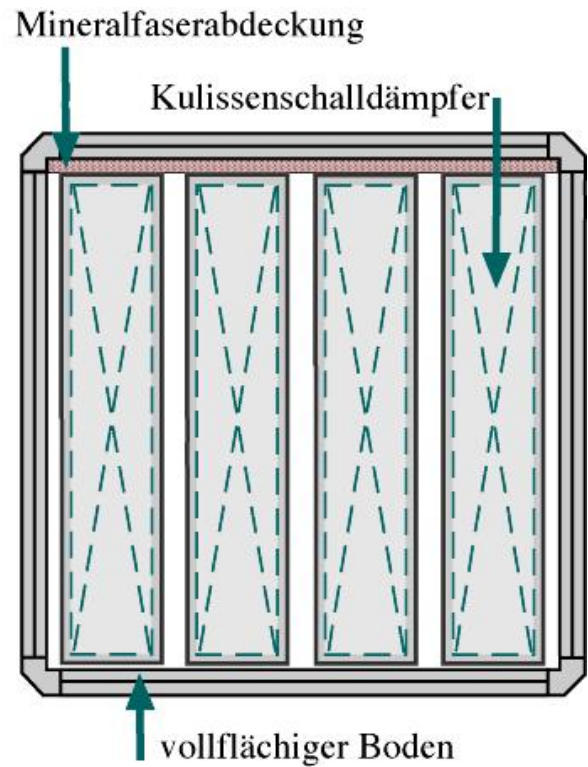


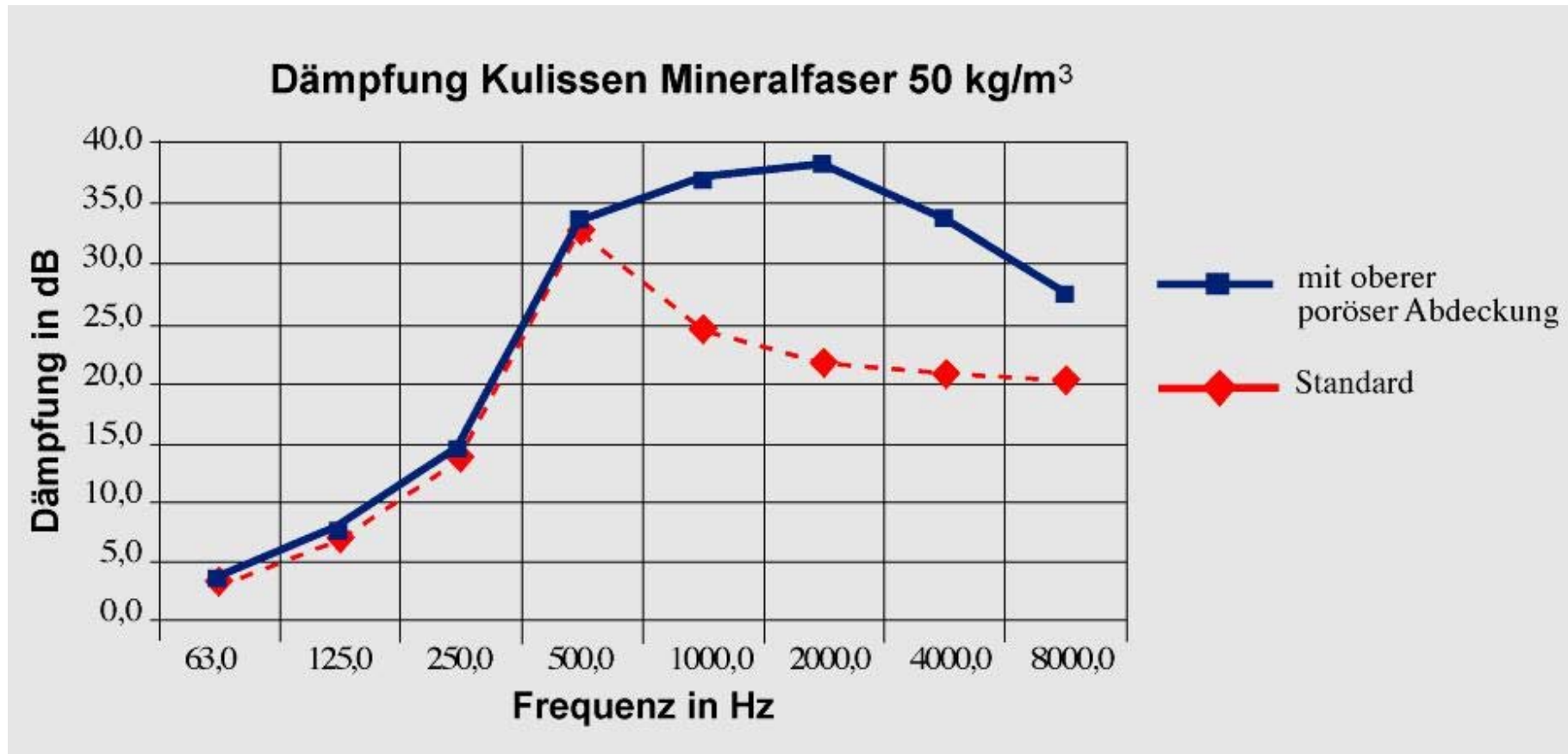
- einfach herzustellen
- gute Dämpfung bei dicken Kulissen
- gute Dämpfung bei kleinem Spalt
- $> dP$  bei dicken Kulissen
- $> dP$  bei kleinem Spalt
- Strömungsrauschen
- geringe Kosten



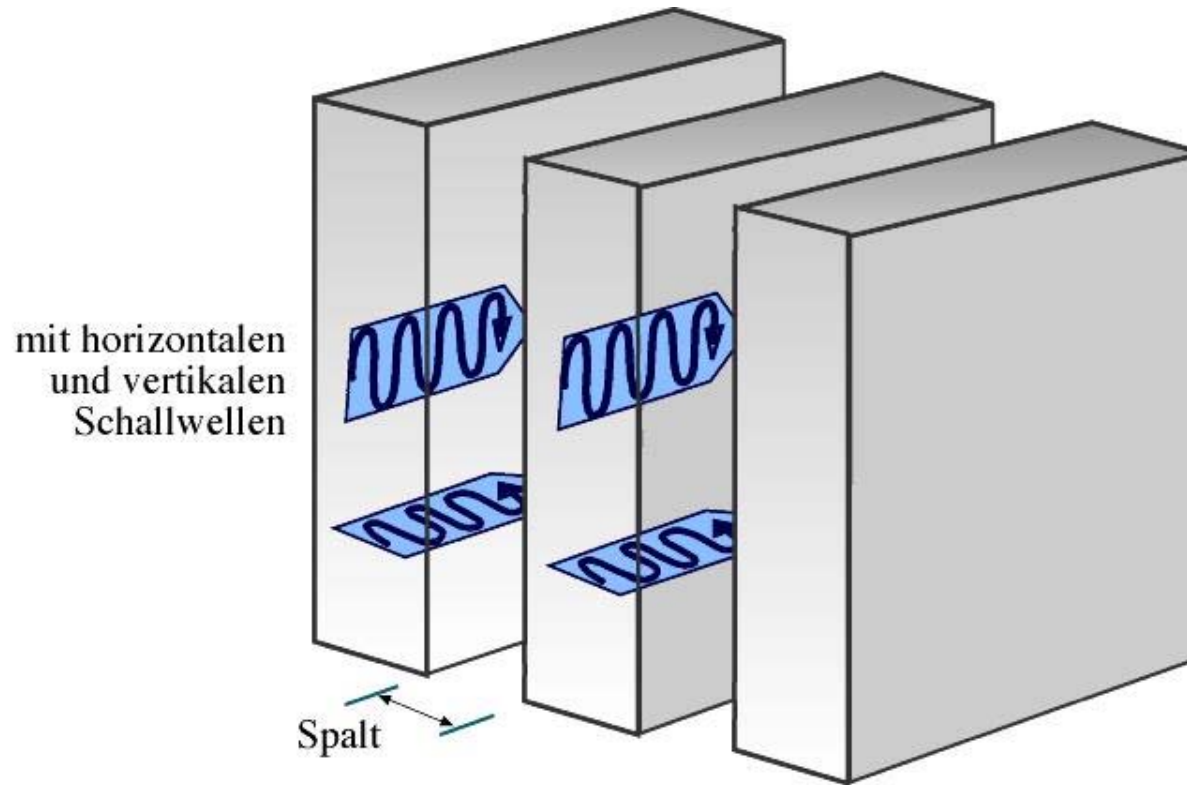


# Obere Abdeckung

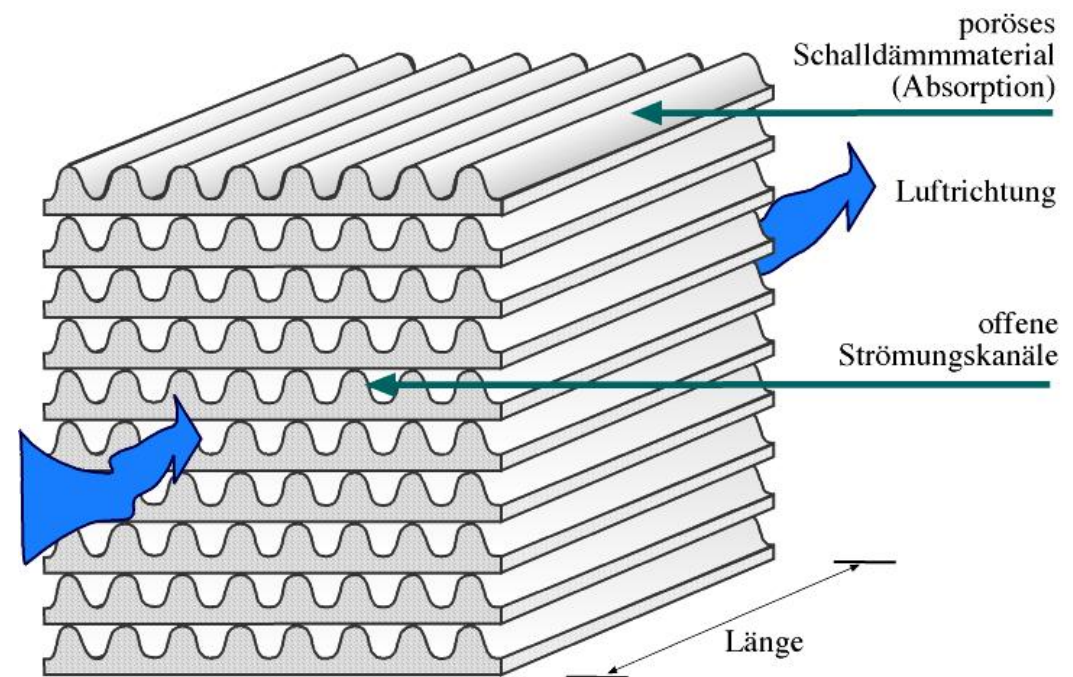
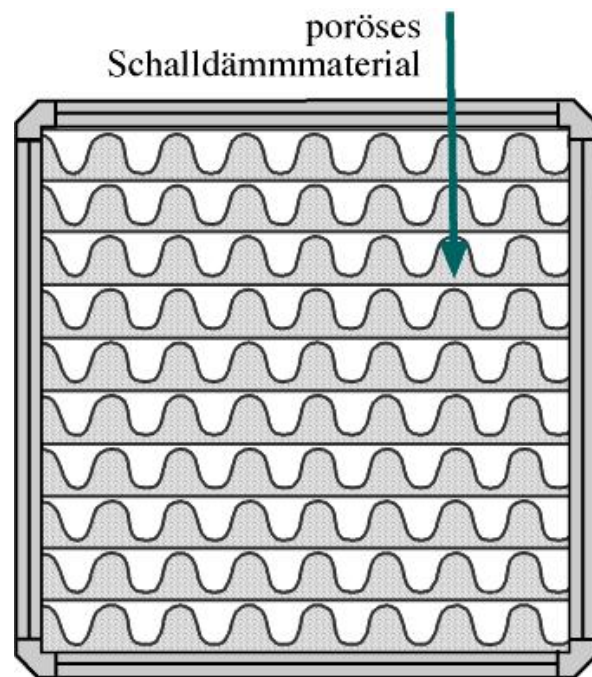




- Reduktion der Reflexion im Spalt
- Verbesserung bei  $f > 500$  Hz
- kein erhöhter Druckverlust
- geringe Kosten



# Kanalschichtenschalldämpfer



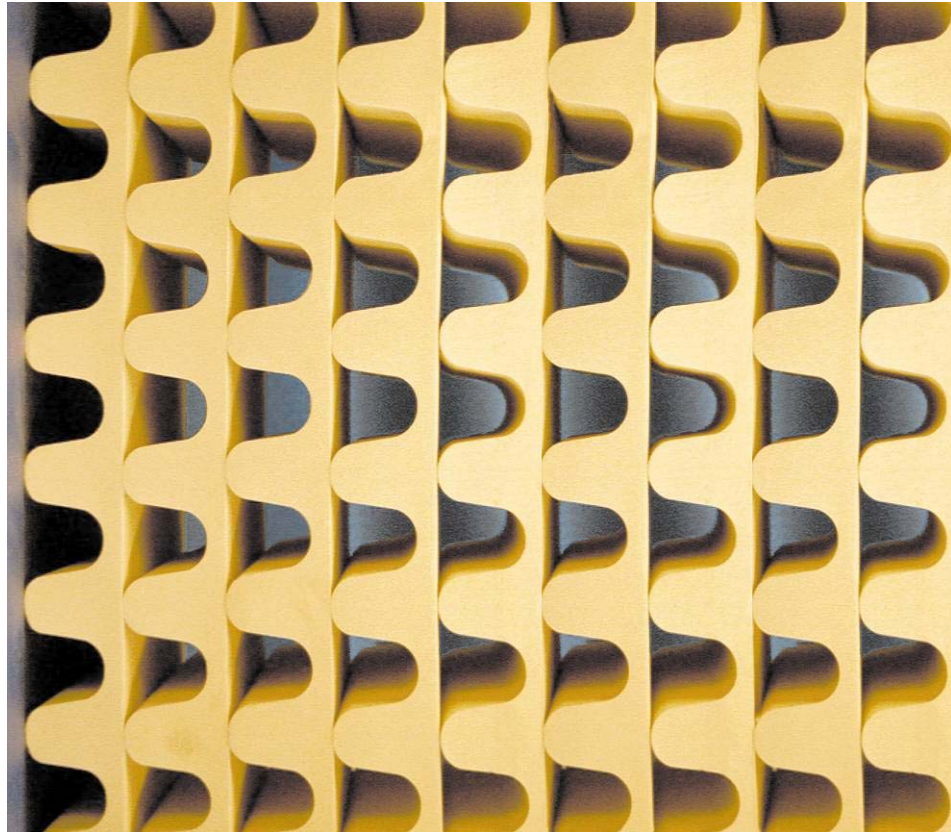
Patent DE 101 21 940



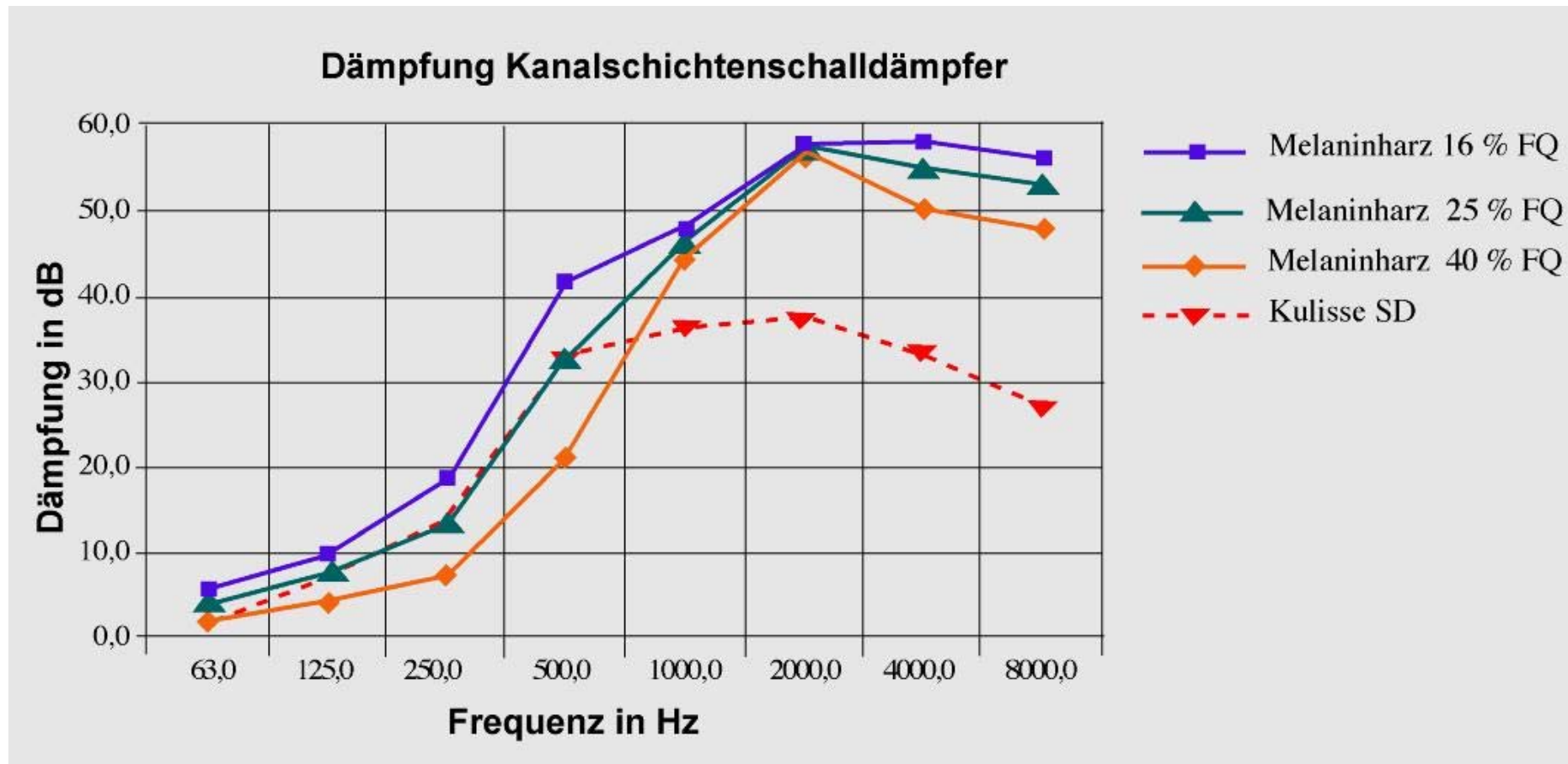
# Kanalschichtenschalldämpfer



HOCHSCHULE TRIER  
Umwelt-Campus Birkenfeld



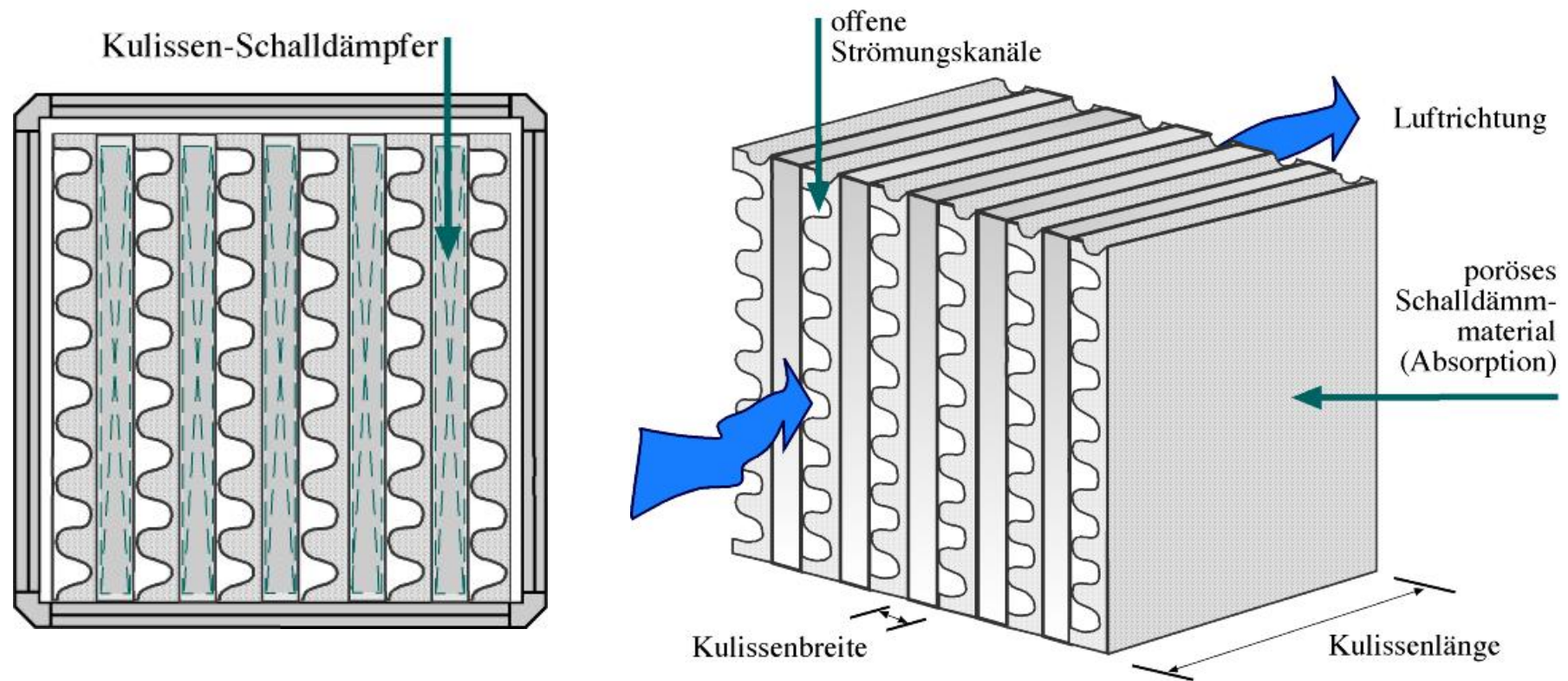
Patent DE 101 21 940





- 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

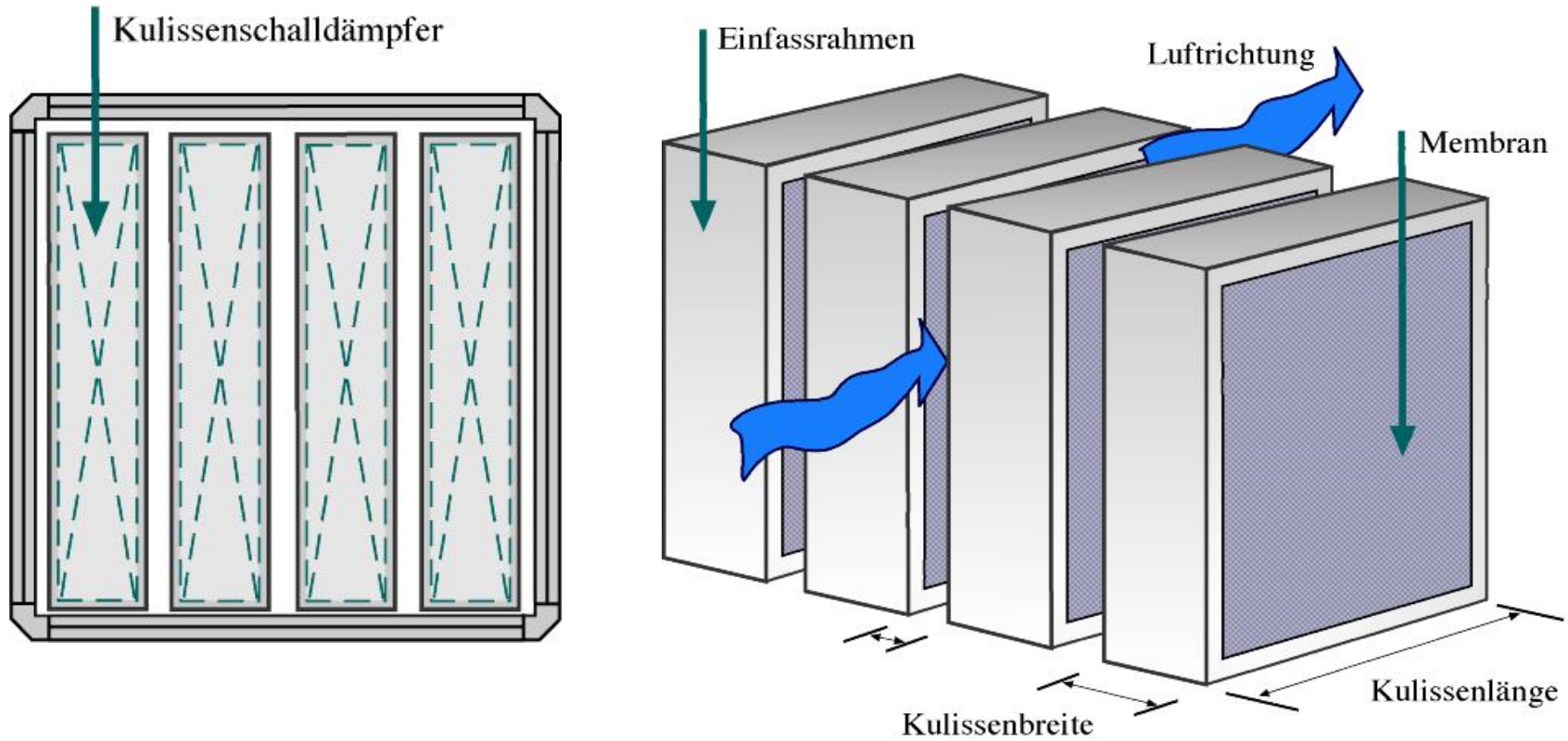
# Kanalschichtenschalldämpfer

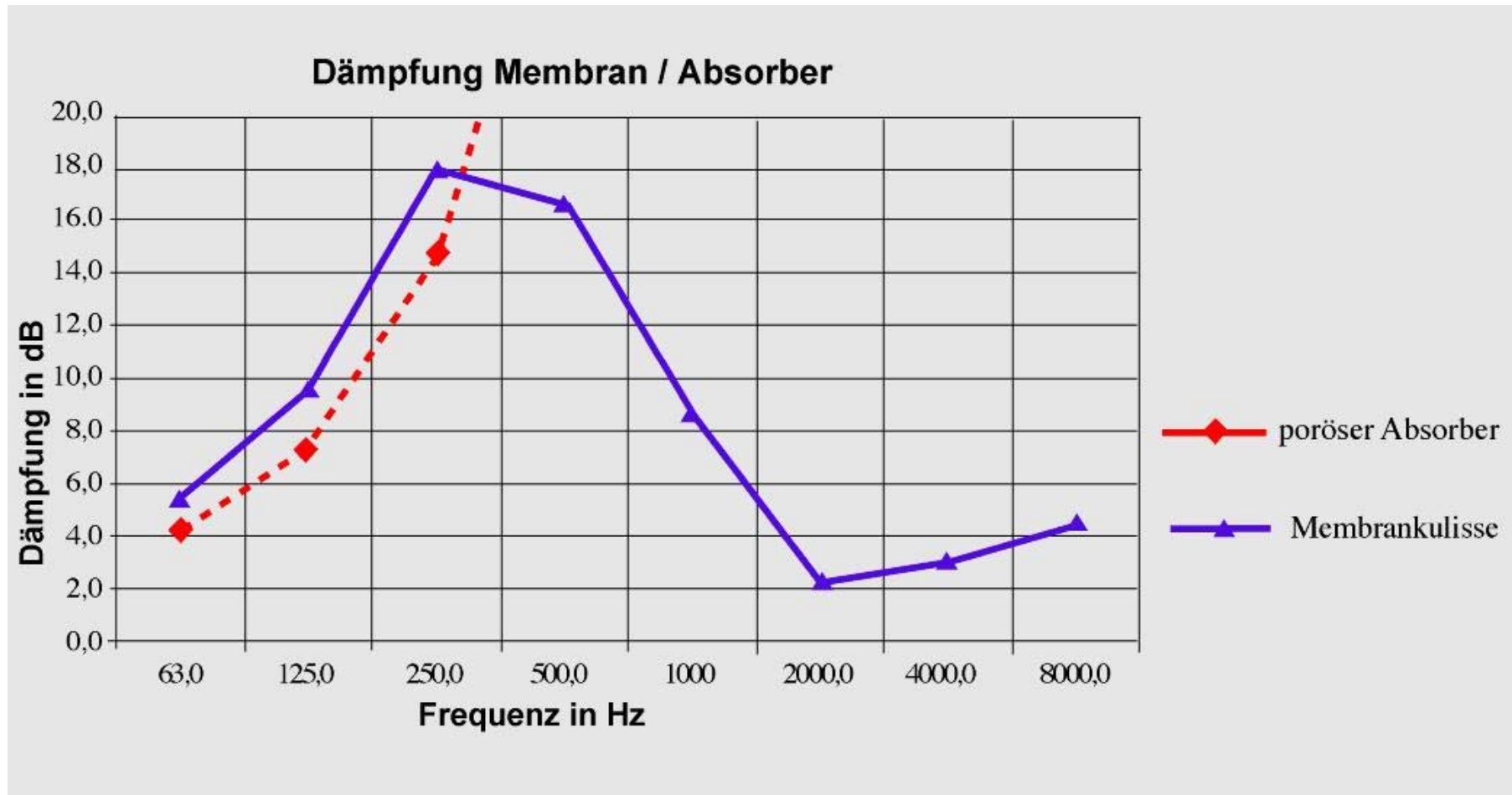


Patent DE 101 21 940

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

# Membranschalldämpfer

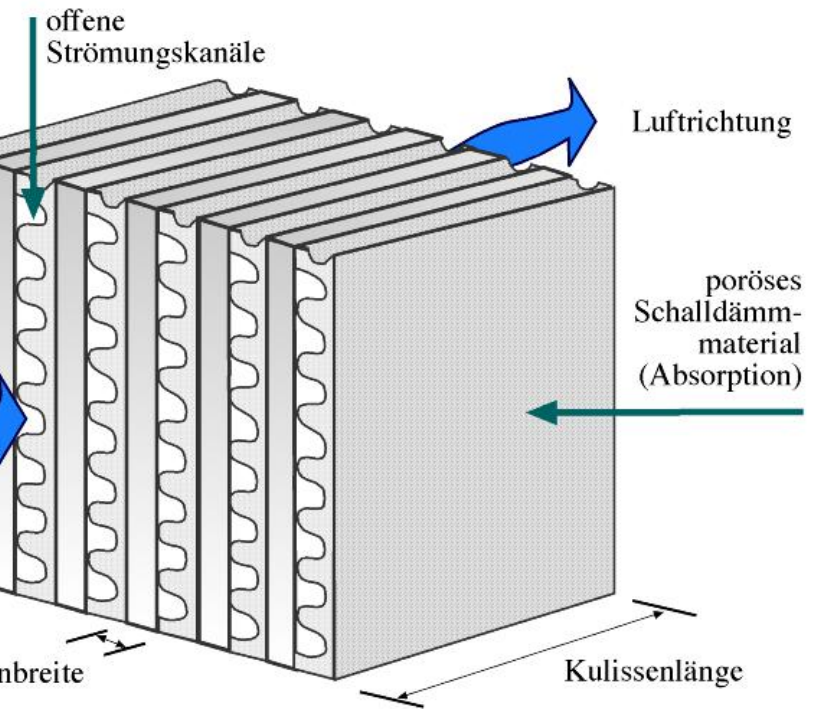
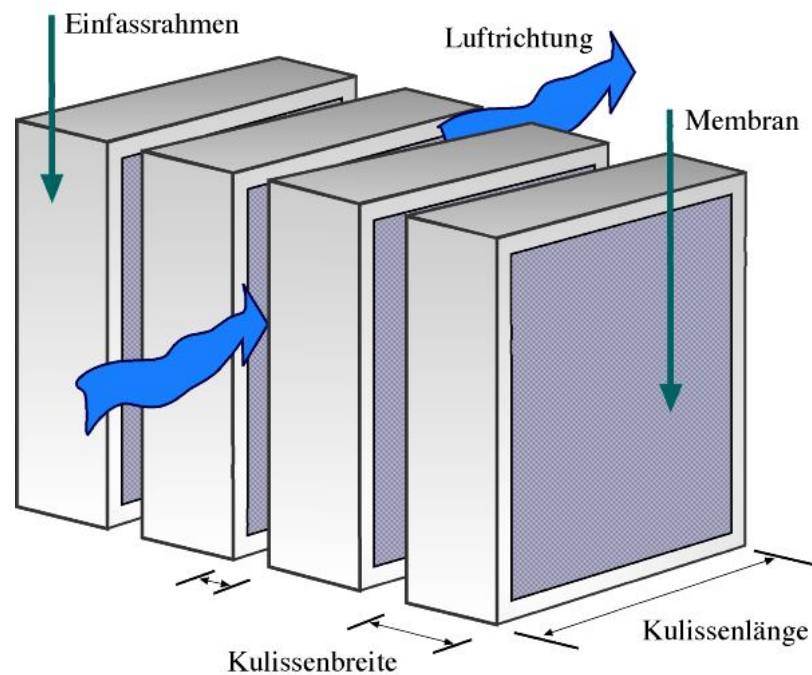






- Verbesserung der Dämpfung bei tiefen Frequenzen ( $< 500$  Hz)
- praktisch keine Dämpfung bei hohen Frequenzen ( $> 1000$  Hz)
- kein erhöhter Druckverlust
- geringe Kosten (Einsatz von Standardkulissen)
- einfache Fertigung
- optimale Hygiene (Ganzmetall)

## Membranschalldämpfer



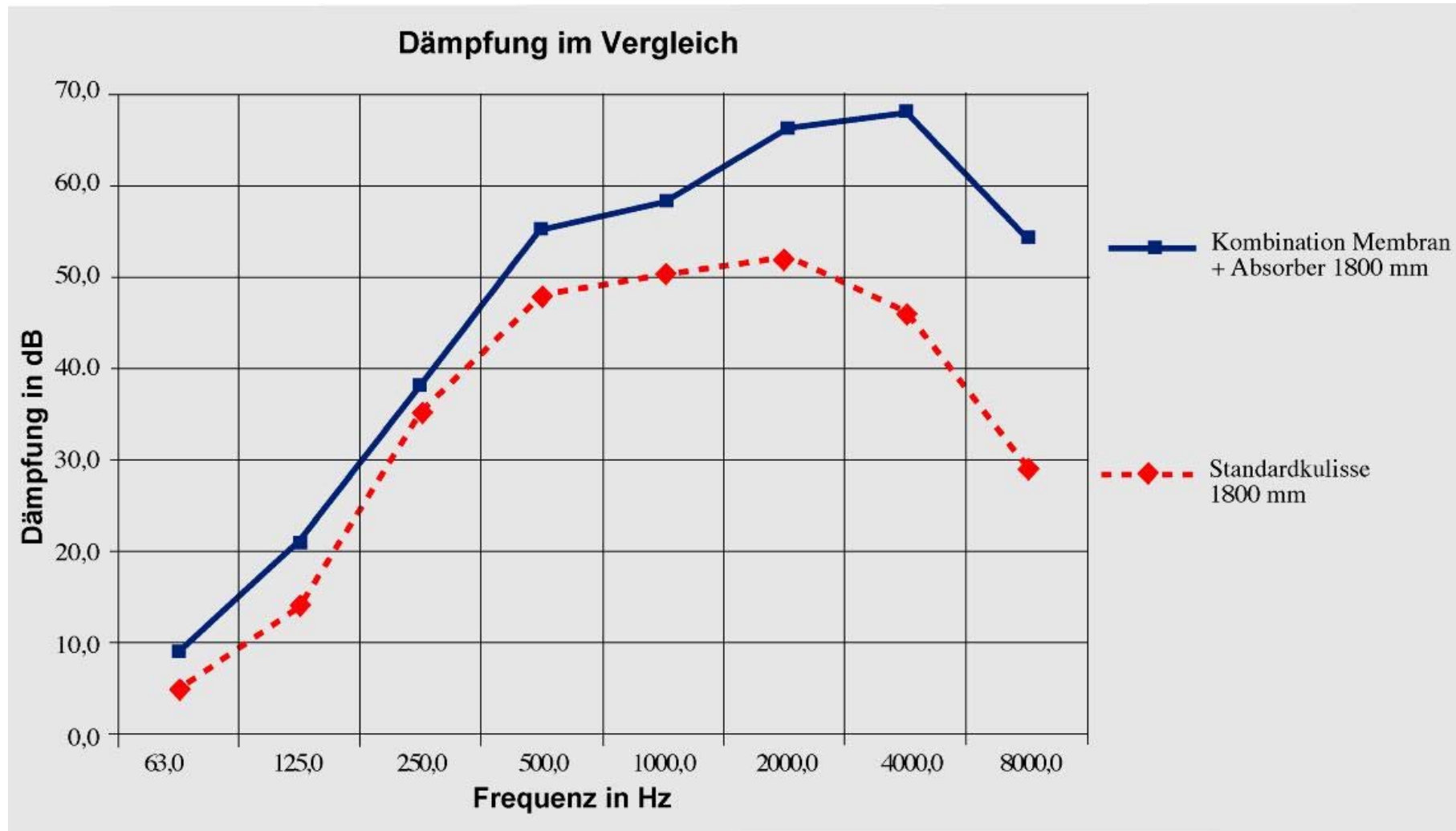
## Kanalschichtenschalldämpfer

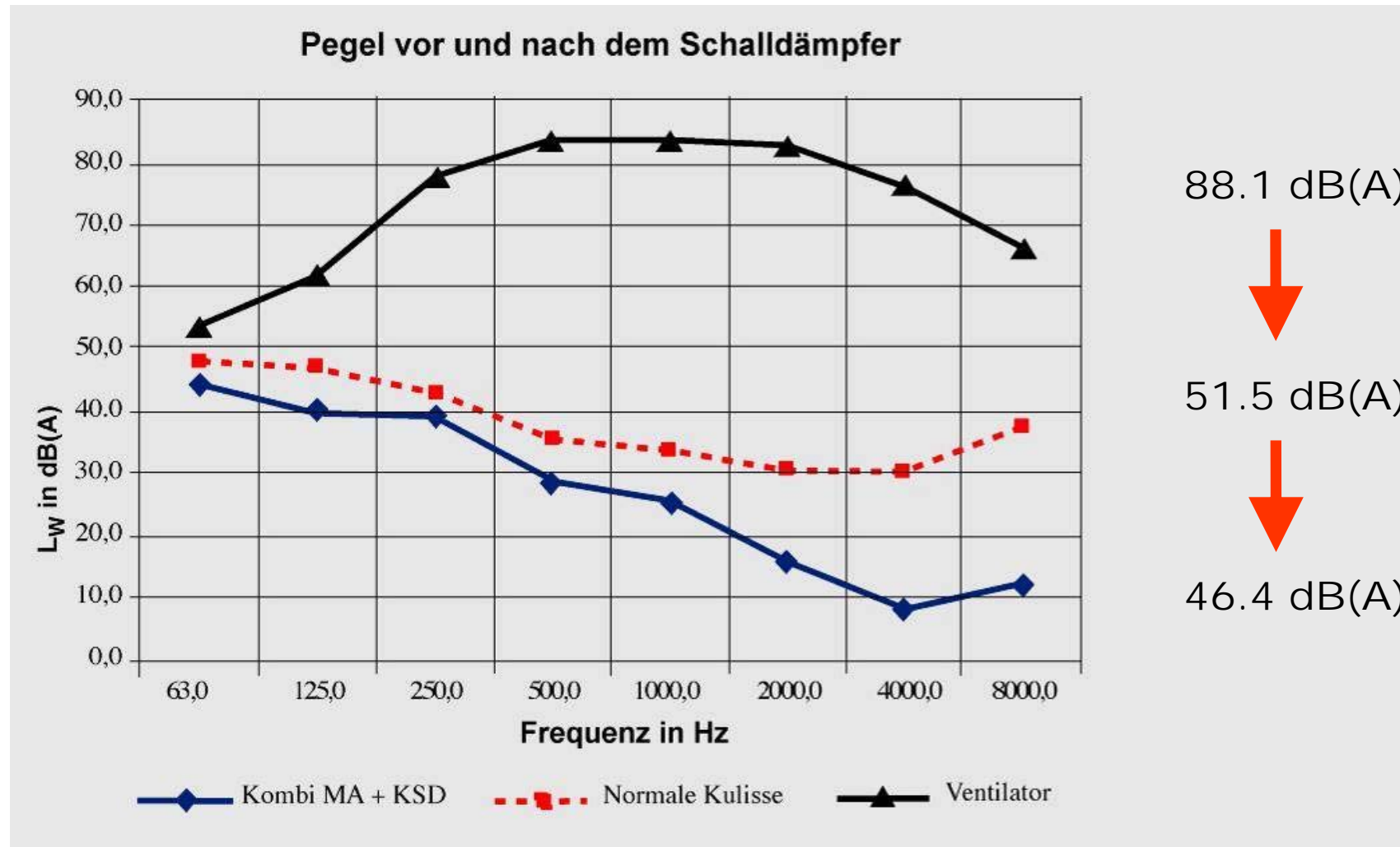


Membranschalldämpfer



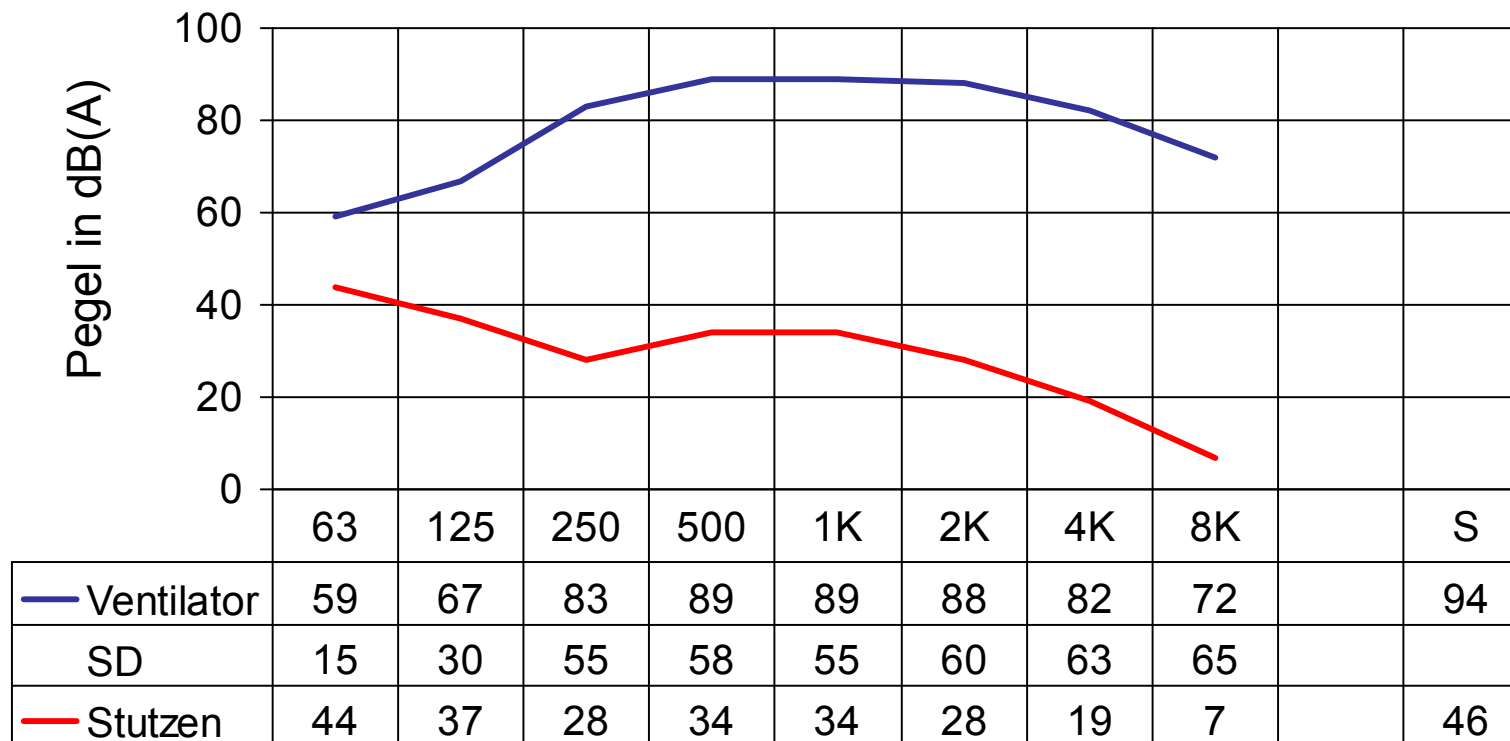
Kanalschichtenschalldämpfer



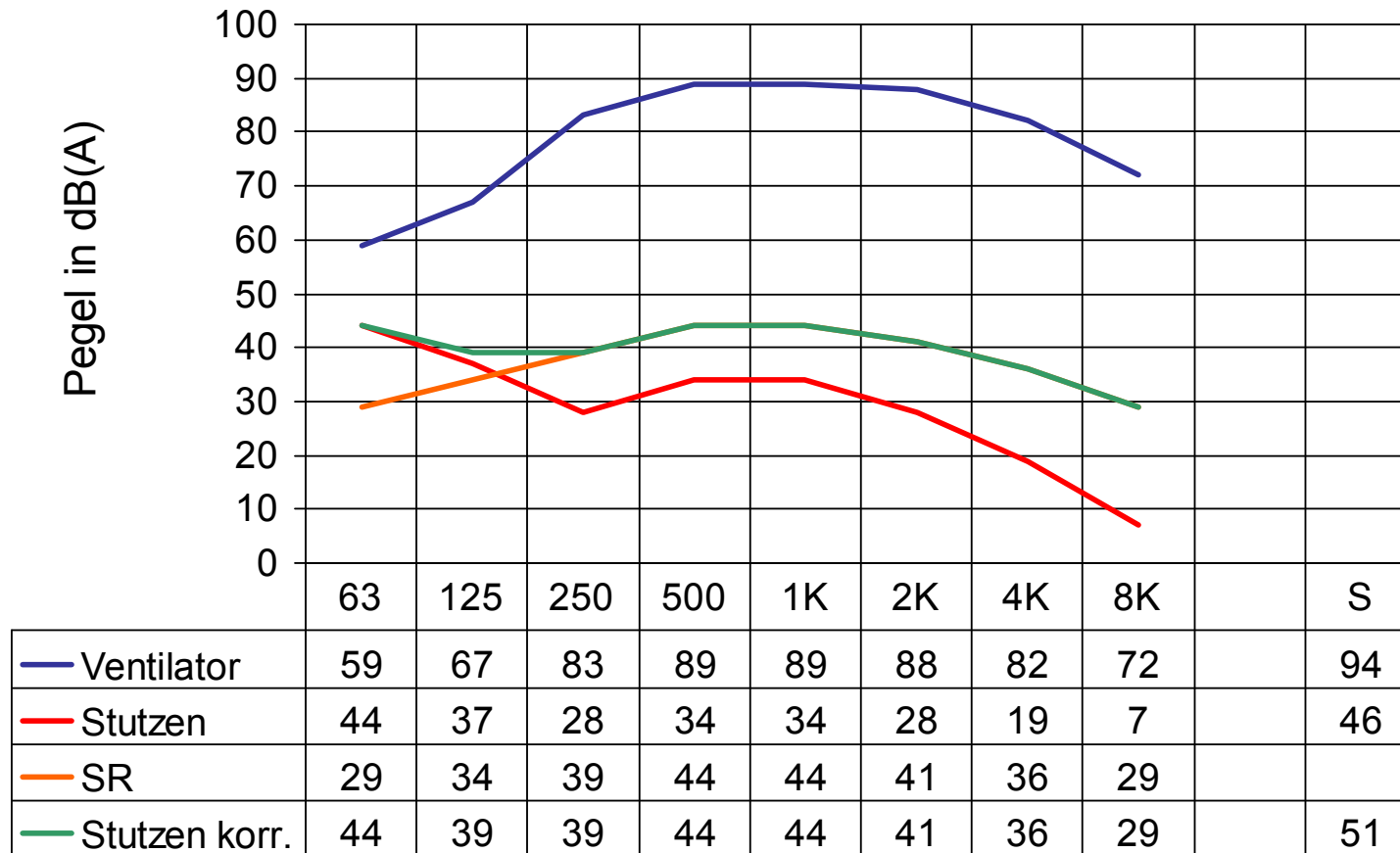


- Verbesserung der Dämpfung im gesamten Frequenzbereich.  
Reduktion in Summe um 70 % (5 dB)
- Membrankulisse hygienisch unbedenklich im Kanal
- Kanalspaltkulisse dämpft Strömungsrauschen
- zweiter Schalldämpfer aus Melaninharz

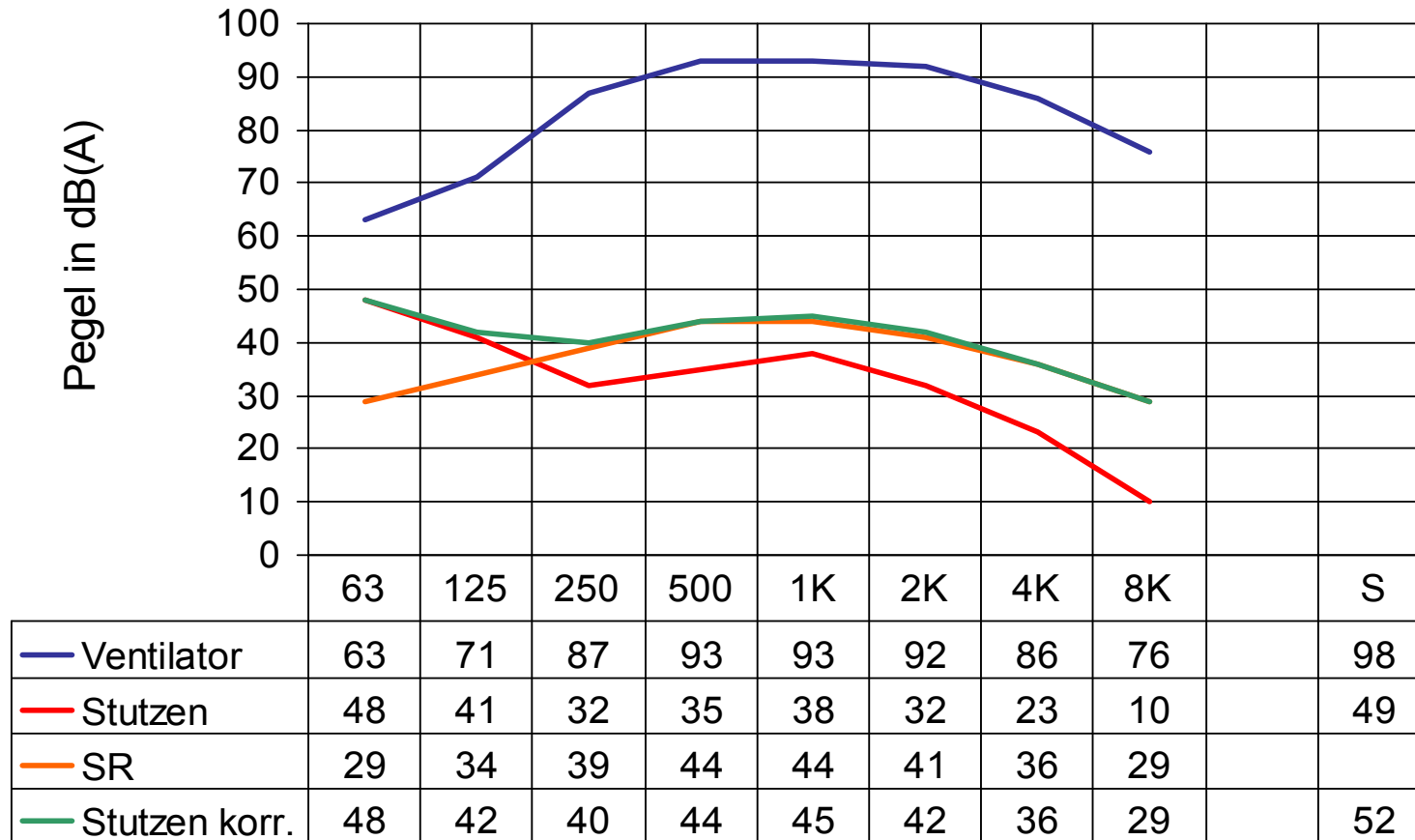
# Schalldämpferauslegung



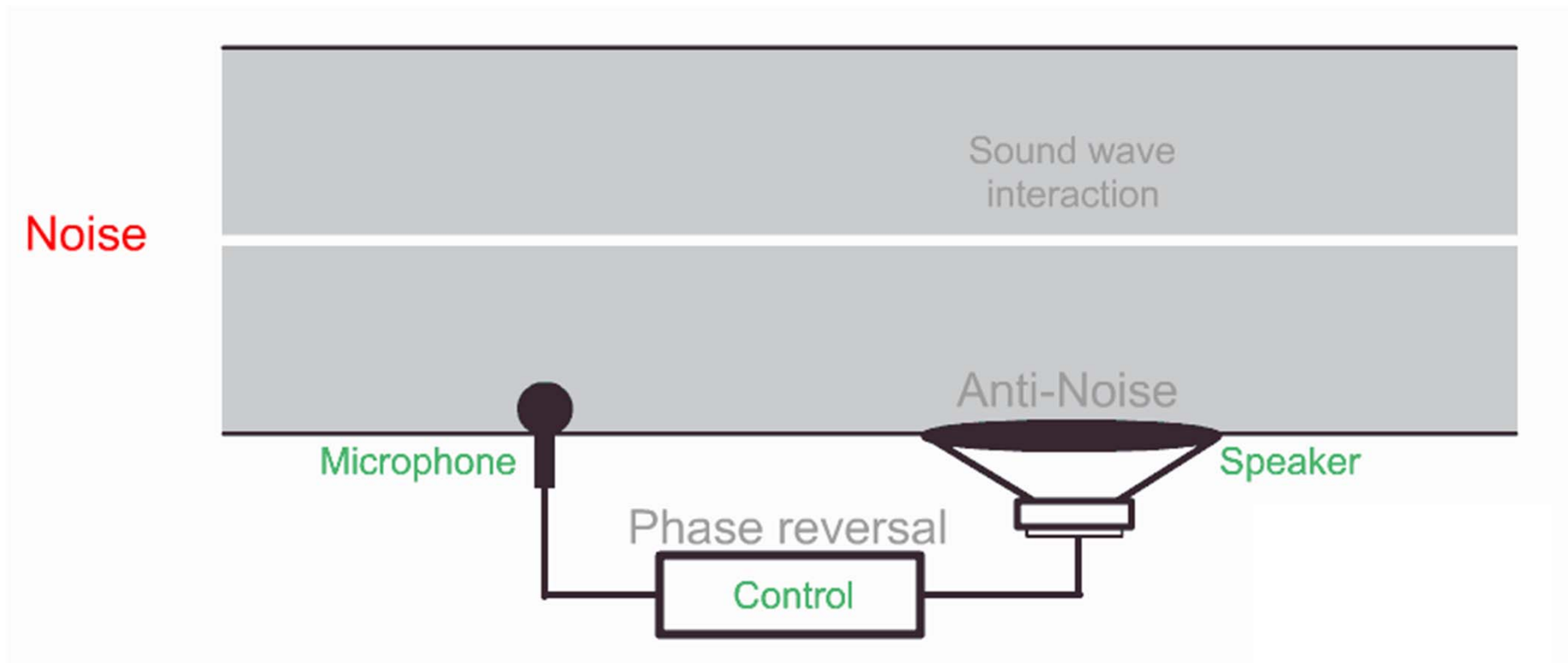
# Schalldämpferauslegung



# Schalldämpferauslegung

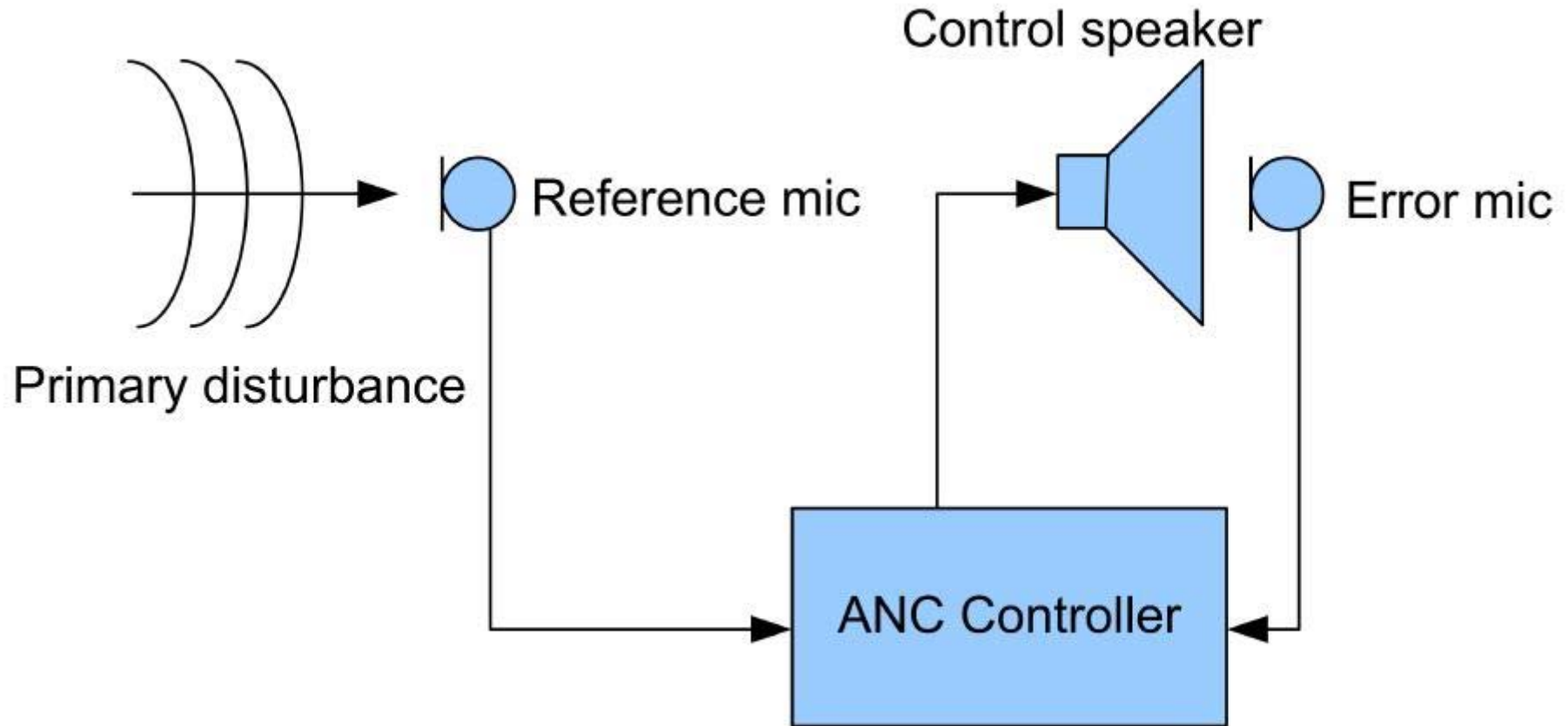


# Aktive Schalldämpfung



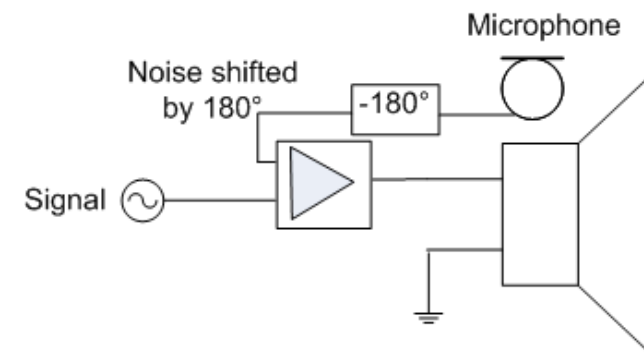
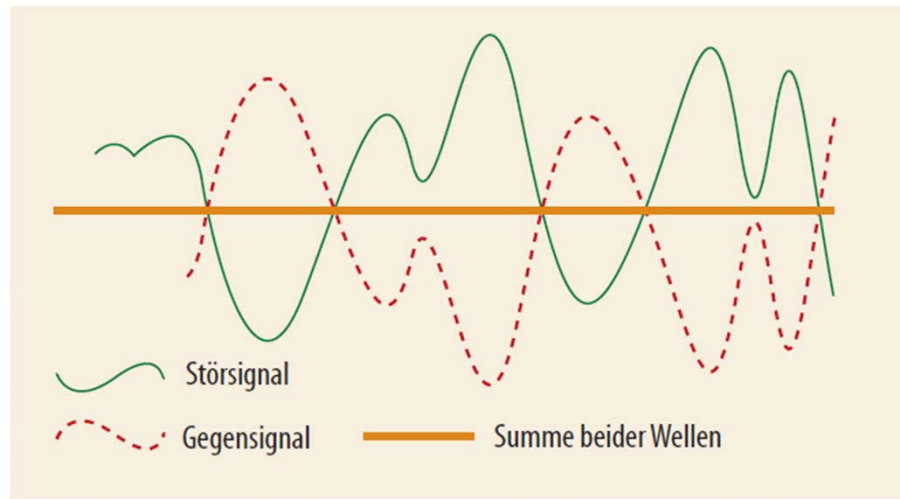
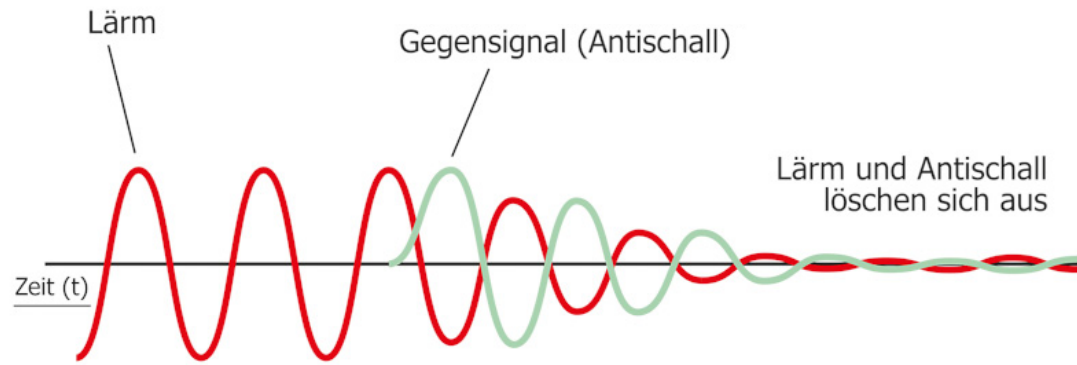
Quelle: RotoSub AB





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:

$$f_c = c / 2a$$

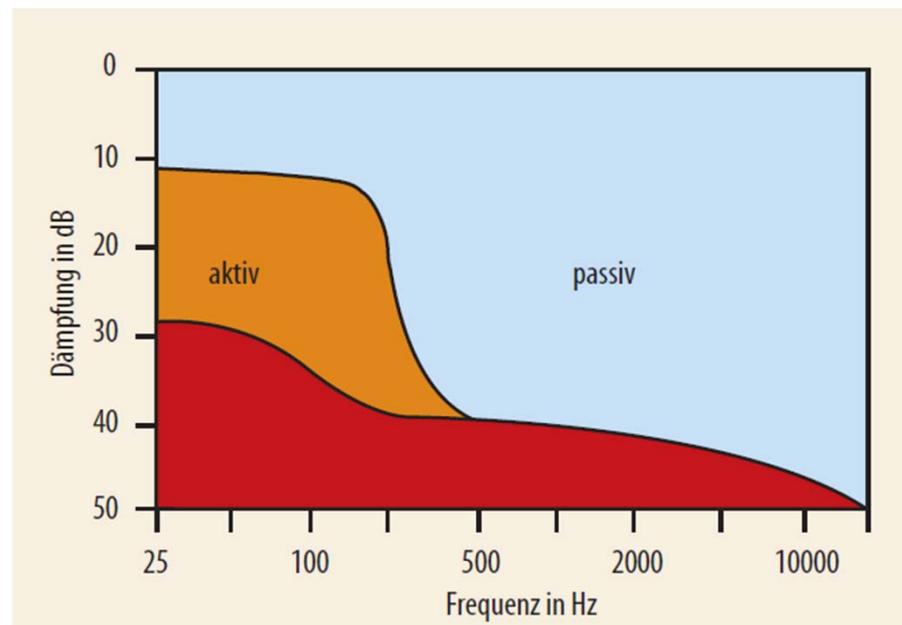
Bei einer Modulhöhe von  $a = 660$  mm und damit einer Wellenlänge von:

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

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

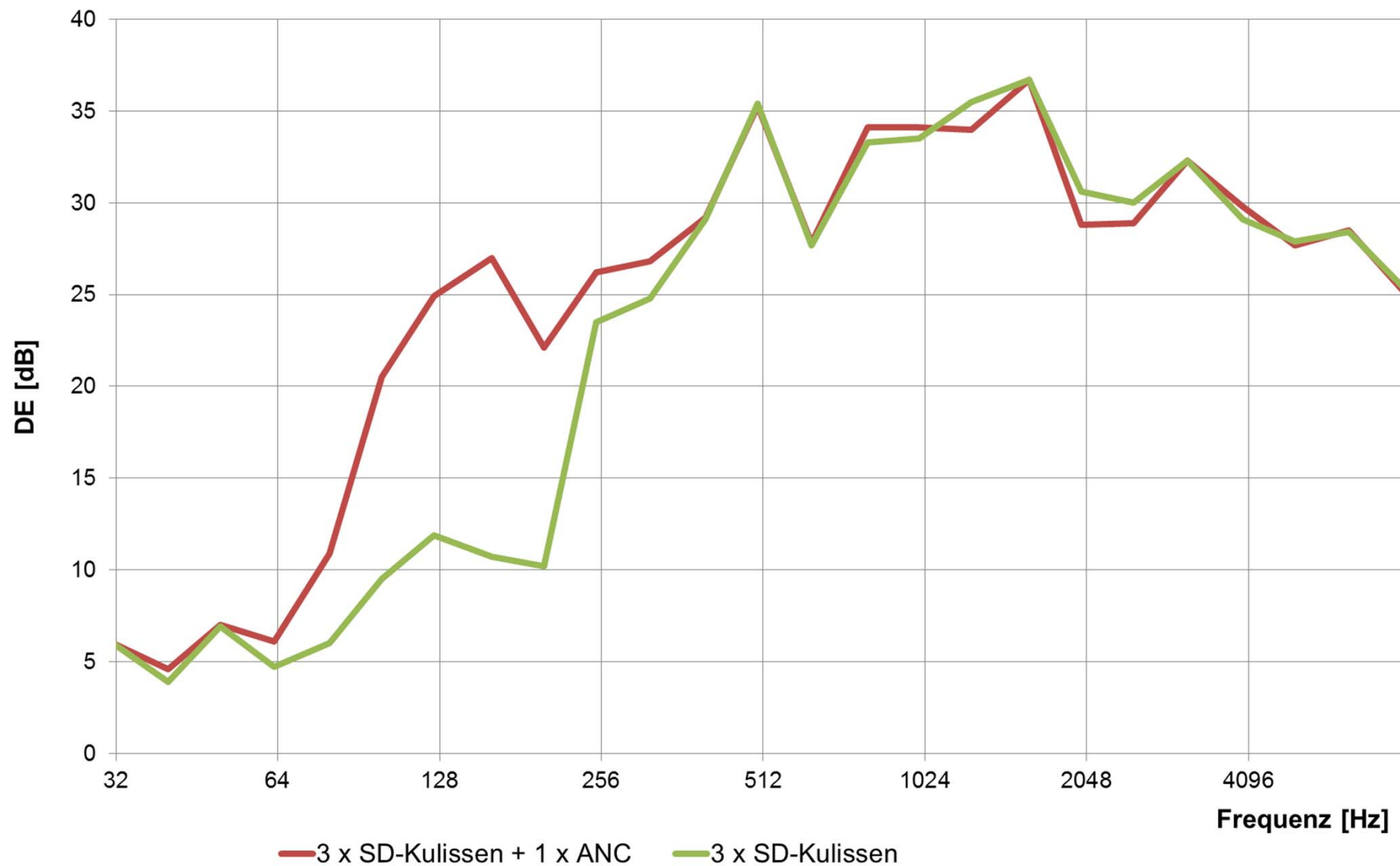
# Kombinationsschalldämpfer



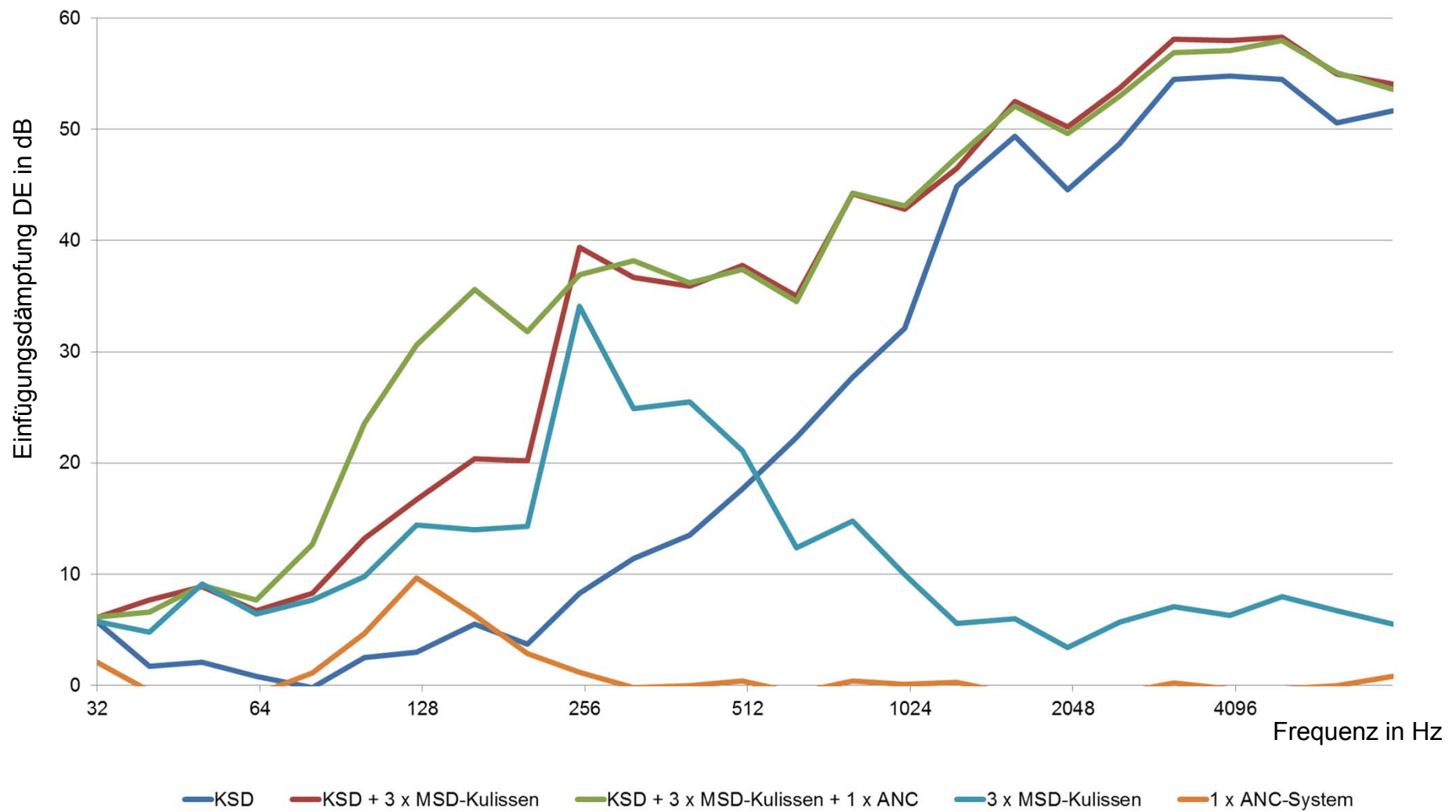
HOCHSCHULE TRIER  
Umwelt-Campus Birkenfeld



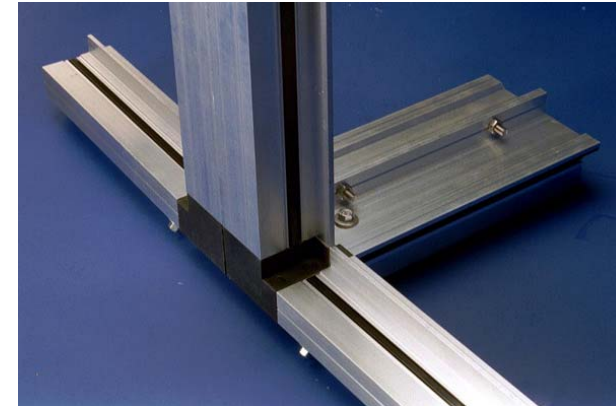
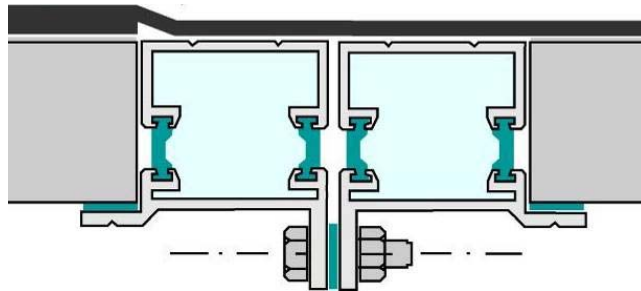
# Kombinationsschalldämpfer



# Kombinationsschalldämpfer







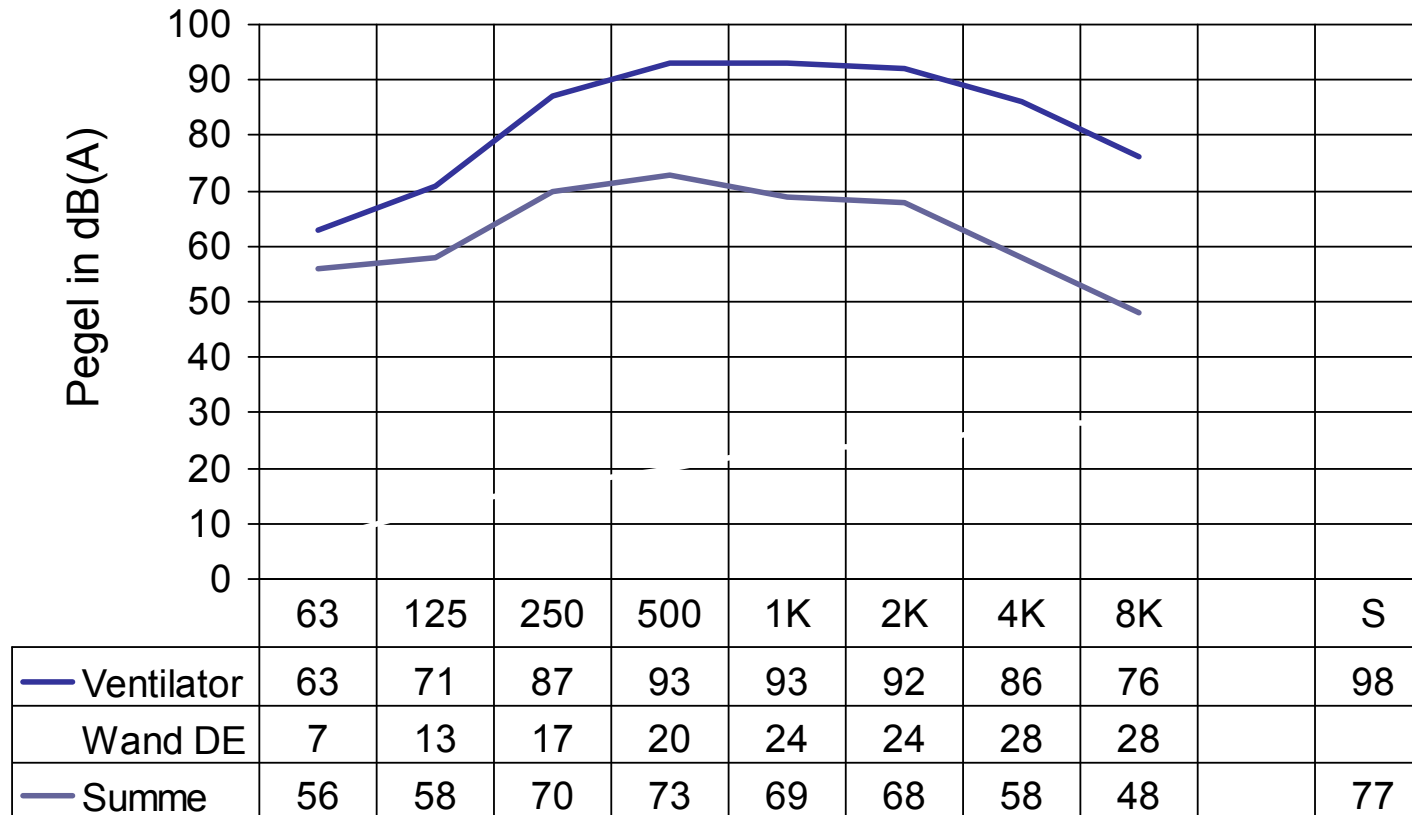
- Akustisch entkoppelte Konstruktion (EN 1886)



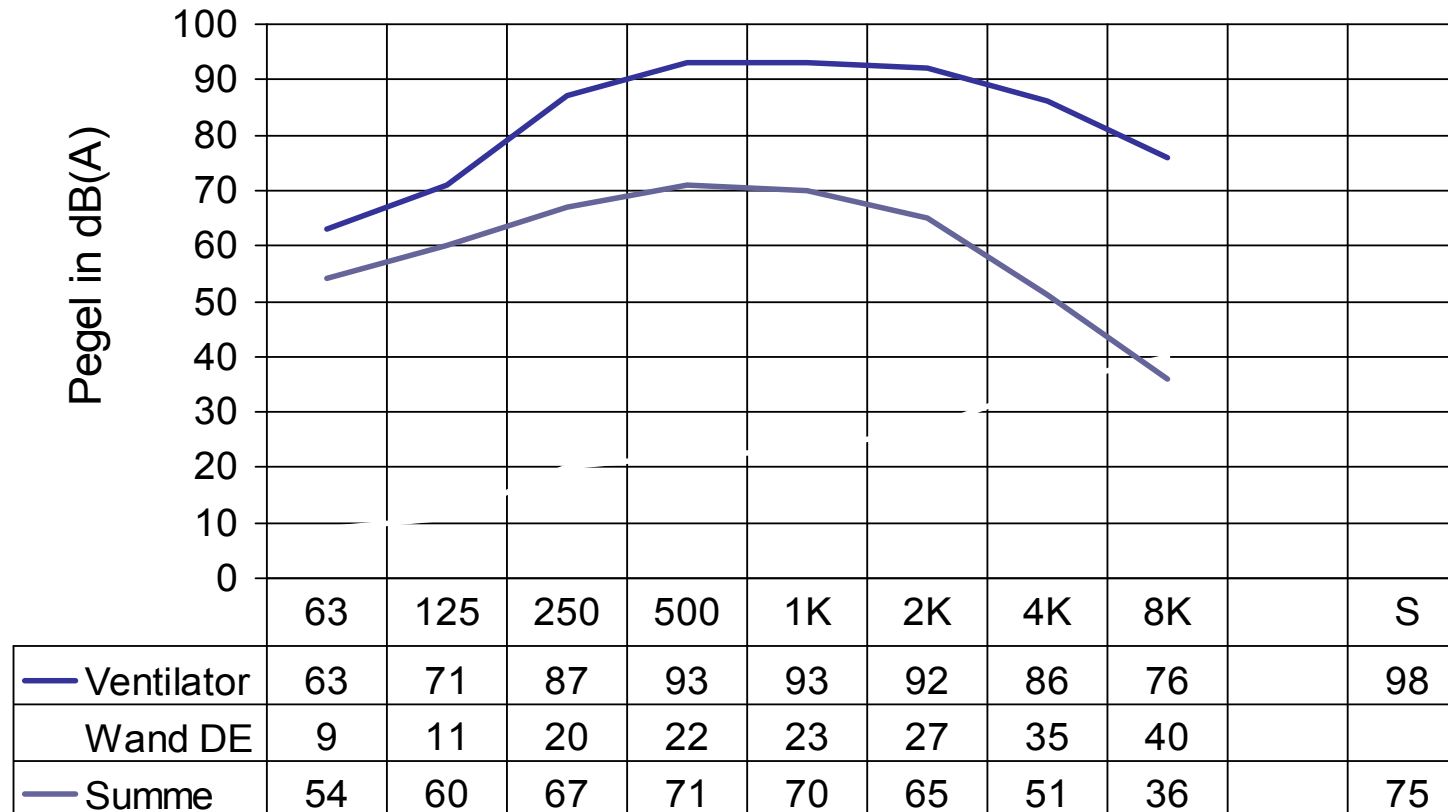
- Doppelschalig in vers. Kombinationen
- Geschlossenporige Dichtungen
- Geklebte Wandkonstruktion
- Schwerentflammbare oder nichtbrennbare Isolierung  $150 \text{ kg/m}^3$
- Tragende Rahmenkonstruktion



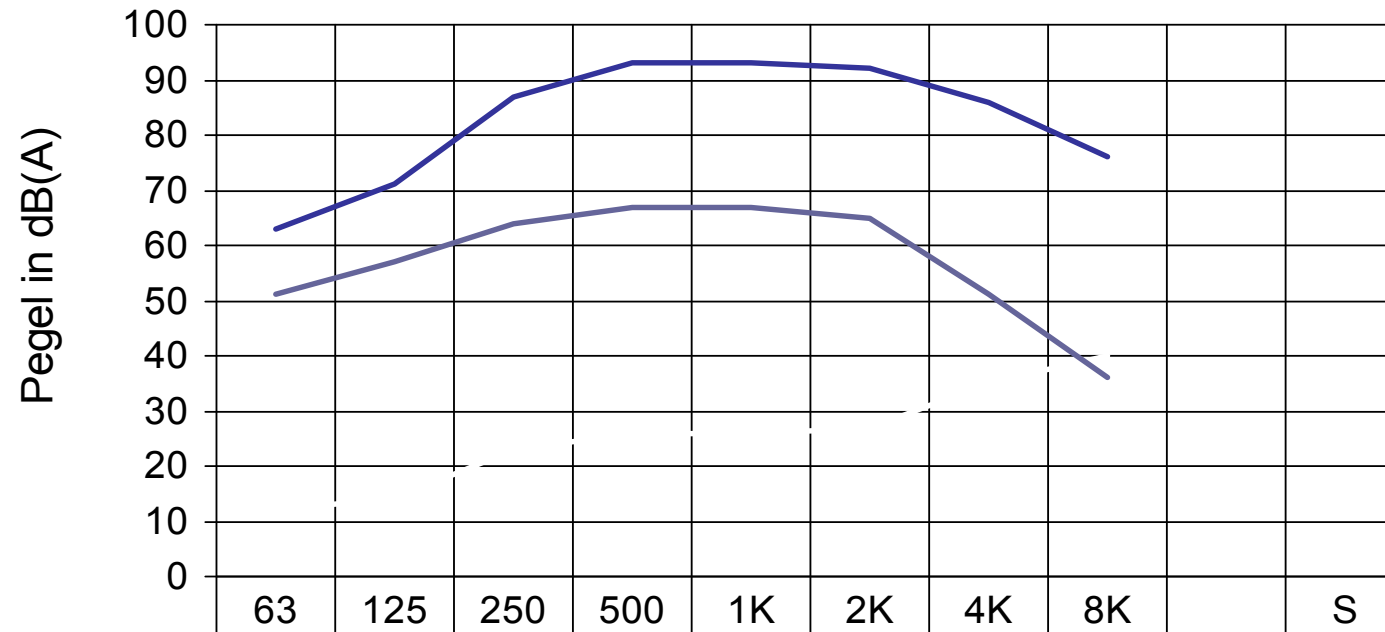
## ■ Gehäusedämmung 40 mm (DE RWTÜV)



## ■ Gehäusedämmung 40 mm entkoppelt (DE RWTÜV)



## ■ Dämpfung Akustikwand 40 mm



— 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

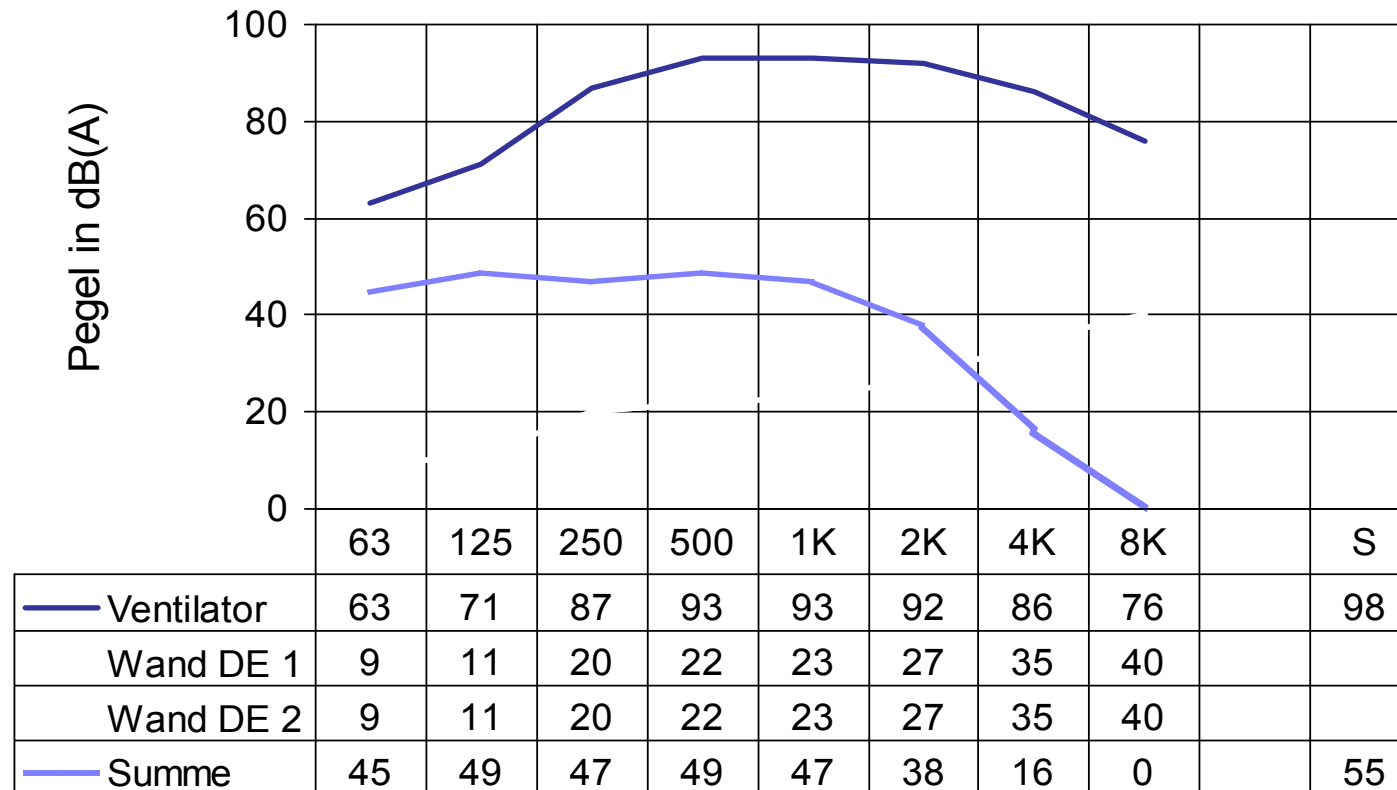


Körperschallentkoppelt



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

5360  
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/2010) 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)
ges.:										

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)
ges.:										

**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 )

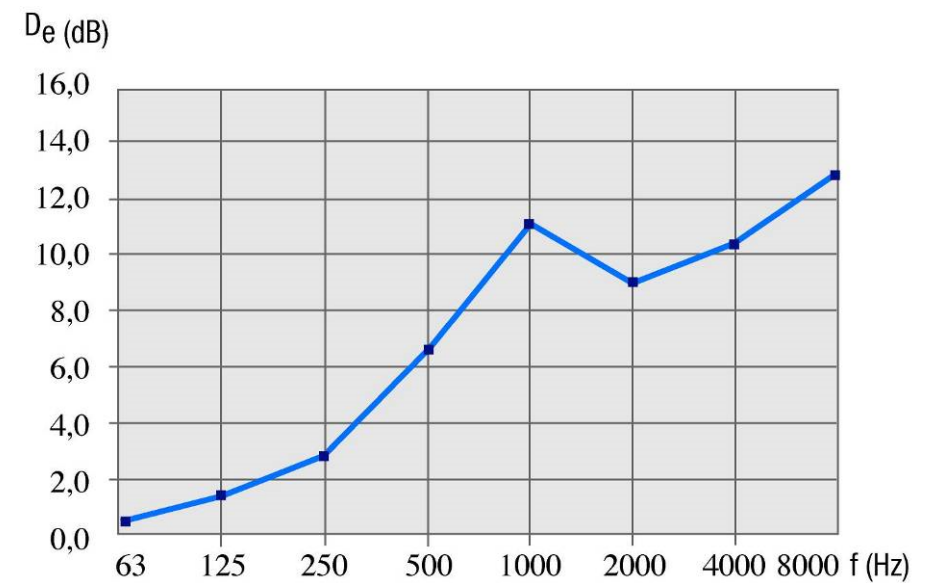
f [Hz]:	63.5	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Σ	Hz
FO:	69	77	91	98	97	96	88	80	102	dB(A)
-SD:	3	2	0	1	3	6	4	5		
FO:	66	75	91	97	94	90	84	75	100	dB(A)

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

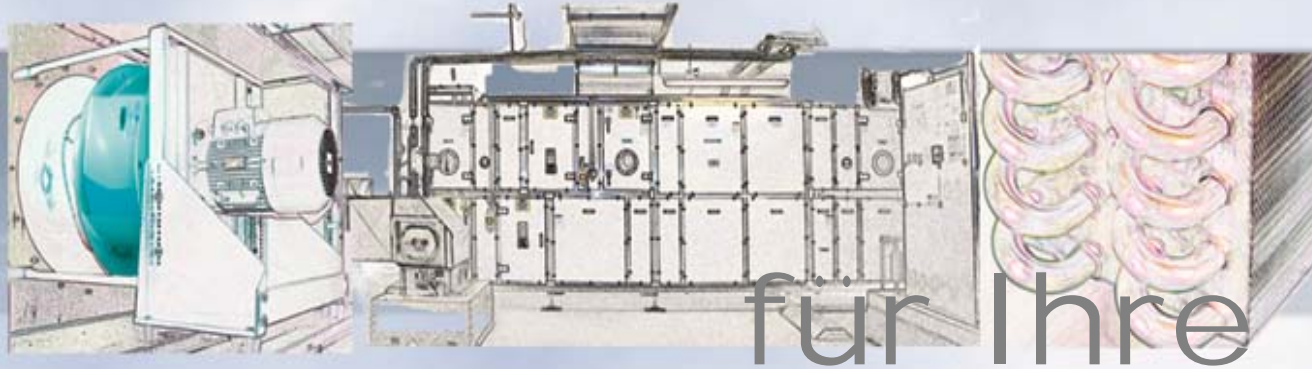
Toleranz = + 4 dB (ohne Berücksichtigung der Absorption u. Reflexion unter Freifeldbedingungen)  
LP = LW - LW (korr.) / Dämpfung aller Einbauteile berücksichtigt!  
Garantiewerte nur als Summenpegel, Oktawerte nur von informativem Charakter

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](mailto:c.kaup@umwelt-campus.de)

Dipl.-Ing. **Christian Backes**

[backes@howatherm.de](mailto:backes@howatherm.de)



HOCHSCHULE TRIER  
**Umwelt-Campus Birkenfeld**

Umwelt macht Karriere.